



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Fornyng av vann og avløpsrør i Gimleveien

Renewal of water and drain pipes in  
Gimleveien

**Christian Hovland**

**Christoffer Sandberg**

**Jarle Mjånes Evanger**

Prosjekt og byggeledelse

Profil konstruksjonsteknikk

Connie H. Reksten

Irene H. Johnsen

22.mai 2019

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle



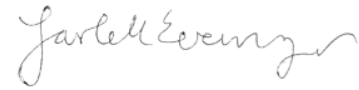
kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

## I. Forord

Denne bacheloroppgaven markerer slutten på en treårig byggingeniørutdannelse vi har gjennomført ved Høgskulen på Vestlandet, innen prosjekt- og byggeledelse. Oppgaven ble til etter noen innledende møter med senioringeniør Trym Trovik i Vann- og avløpsetaten i Bergen kommune senhøsten 2018, og en preliminær problemstilling ble formulert før juletid. I løpet av noen travle og interessante måneder på nyåret har vi som gruppe jobbet med praktiske utfordringer i et nabolag i Bergen, med fokus på spill- og overvannshåndtering. Vi har fått god hjelp og veiledning av ovennevnte Trovik, overingeniør Karoline Hamnes, samt andre hjelpsomme ressurspersoner i etaten. Vi har fått sitte i kontorene til Vann- og avløpsetaten i Fjøsangerveien og har jobbet jevnt og trutt med denne oppgaven, noe som har vært meget lærerikt og nyttig for oss!

Vi ønsker å takke veilederne Trym Trovik og Karoline Hamnes for all den hjelpen de har kommet med, samt Bergen kommune for subsidiert sjokomelk.

Bergen, 22.mai 2019

		
Christian Hovland	Christoffer S. Sandberg	Jarle M. Evanger

## II. Sammendrag

Tittel:	Fornyning av vann og avløpsrør i Gimleveien
Dato:	22.mai 2019
Forfattere:	Christian Hovland
	Christoffer Sandberg
	Jarle Mjånes Evanger
Veileder(e):	Connie H. Reksten (Høgskulen på Vestlandet) Irene H. Johnsen (Høgskulen på Vestlandet) Trym Trovik (Bergen kommune, Vann- og avløpsetaten)
Stikkord:	Separering av spill- og overvann, økt nedbør, klimaforandringer og bærekraft
Antall sider/ord:	53 / 16 202
Antall vedlegg:	18
Referansestil:	IEEE
Kort beskrivelse:	
<p>Bergen kommune fornyer rundt 1,2% av vann- og avløpsnettet årlig. Mange av rørene har ligget i grunn og grøftet i mange tiår, og er modne for utskiftning. Kommunen har i nyere tid fått retningslinjer om å skille spill- og overvann for å unngå at sistnevnte transporteres til renseanlegg for kostbar og unødig rensing. I stedet skal overvann sees på som en estetisk miljøressurs i den grad det lar seg gjøre rent praktisk. For å muliggjøre dette kan det derfor ikke blandes med spillvann, som skal renses.</p> <p>I vår oppgave har vi sett på et lite nabolag på Kronstad i Bergen der rørene som trenger utskiftning/fornyning er mellom 50 og 80 år gamle, der spill- og overvann blandes og der ledningsnettet ikke er rustet for en forventet økning i nedbørmengde og intensitet på grunn av klimaforandringene. Området har ofte mye overvann som renner i gatene, og enkelte av beboerne opplever tilbakeslag i kjellerne. Vi har sett på plassering av gamle rør, hvordan området ser ut rent fysisk med tanke på fall for rørene – og hvordan rørfornyning kan løses praktisk slik at spill- og overvann skilles fra hverandre.</p> <p>Vi har vist at separering av spill- og overvann ved plassering av nye og erstatning av gamle rør er praktisk mulig, og at det ved store nedbørshendelser er kapasitet for å ta unna overvann. Dette gjelder også ved en framtidig økt nedbørintensitet på grunn av klimaforandringer. Separeringen sørger for at overvann ikke transporteres til unødig rensing, noe som reduserer energibruken.</p>	

### III. Abstract

Title:	Renewal of water and drain pipes in Gimleveien
Date:	May 22nd 2019
Authors:	Christian Hovland
	Christoffer Sandberg
	Jarle Mjånes Evanger
Supervisor(s):	Connie H. Reksten (Western Norway University of Applied Sciences) Irene H. Johnsen (Western Norway University of Applied Sciences) Trym Trovik (Bergen Municipality, Water and Sewerage Authority)
Keywords:	Separation of waste- and storm water, increased precipitation, climate change and sustainability
Number of pages/words:	53 / 16 202
Number of appendices:	18
Reference style:	IEEE
Short description:	
<p>The Bergen Municipality renews around 1.2% of its water and sewer system on a yearly basis. Quite a few of the pipes are very old, and due for a replacement. New regulations has deemed it necessary to separate waste- and storm water, to ensure the latter is not transported to a treatment facility where costly and unnecessary treatment is performed. Instead, storm water is to be considered an aesthetic resource as far as it is practically possible. To ensure this, it cannot be mixed with wastewater, which requires treatment.</p> <p>In our project, we have looked at a small neighborhood at Kronstad in Bergen, where the piping requires replacement. The pipes are between 50 and 80 years old, wastewater mixes with storm water and the sewage system is not equipped for an expected increase in precipitation and intensity due to climate change. The area has a lot of storm water floating down the streets, and some of its inhabitants experience backflow in their basements. We have looked at the placement of old pipes, the topography of the area in terms of slope for water drainage – and how pipe renewal can be solved to ensure the separation of waste- and storm water.</p> <p>We have shown that it is possible to separate waste- and storm water by renewing and placing new pipes in the ground, and that there is capacity to withstand flooding even during intense rain. This is also true for a future scenario with more rain due to climate change. The separation also ensures storm water is not transported to the sewage treatment facility for treatment, which saves energy.</p>	

# Innholdsfortegnelse

I. Forord .....	
II. Sammendrag .....	
III. Abstract .....	
IV Figurliste .....	
V Sentrale begreper .....	
1. Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Problemstilling .....	1
1.3 Oppgavens formål .....	1
2. Presentasjon av prosjektområdet og relevant VA-teori .....	3
2.1 Oppgavens område og avgrensninger .....	3
2.2 Topografi, vær og klima .....	3
2.3 Historikk, demografi .....	5
2.4 Vann- og avløpsnett, historikk og utfordringer .....	7
2.5 Nedbør og overvannshåndtering .....	8
2.6 Rør, forskjellige typer og egenskaper .....	9
2.7 Behandling av spill- og overvann .....	12
2.8 Nedbørsfelt .....	13
2.9 Eksisterende rør i dag .....	14
3. Metode .....	15
3.1 Innledning .....	15
3.1.1 Programvare brukt i oppgaven .....	15
3.1.2 Øvrig utstyr benyttet .....	15
3.1.3 HMS .....	15
3.2 Kartlegging av området .....	15
3.3 Dimensjonering av overvann ved hjelp av den rasjonelle metode .....	16
3.3.1 Avrenningskoeffisient $\varphi$ .....	17
3.3.2 Arealet $A$ .....	17
3.3.3 Nedbørintensitet $I$ .....	18
3.3.4 Klimafaktoren $k_f$ .....	19
3.3.5 Om den rasjonelle metode og bruk av denne i prosjektet .....	20
3.4 Dimensjonering av spillvann .....	22
3.4.1 Metode for dimensjonering .....	23
3.5 Colebrook-diagram .....	25
3.6 Dimensjonering av vannrør .....	26

3.7 3D-prosjektering.....	27
3.8 Metoder for legging av rør .....	30
3.9 Avgrensninger av oppgavens omfang .....	30
3.10 Andre tiltak.....	30
3.11 Mulige feilkilder.....	32
3.11.1 Områdets geografiske avgrensning.....	32
3.11.2 Avrenningskoeffisient.....	32
3.11.3 Usikkerhet med vær og klima, frost og snø.....	32
3.11.4 Datagrunnlag .....	32
4. Resultat.....	33
4.1 Overvannsmengder i prosjektområdet .....	34
4.1.1 Dimensjonerende nedbørsmengde i prosjektområdet sett under ett .....	34
4.1.2 Dimensjonerende nedbørsmengde i soneinndelt prosjektområde .....	36
4.2 Dimensjonering av overvannsledninger.....	38
4.2.1 Felt 1 – strekk tilknyttet blått felt.....	38
4.2.2 Felt 2 – strekk tilknyttet gult felt .....	39
4.2.3 Felt 3+4 – strekk tilknyttet rødt + grønt felt.....	40
4.2.4 Komplette ledningstrekk overvannsrør.....	41
4.3 Spillvannsmengder i prosjektområdet .....	42
4.3.1 Felt 1 – Blått felt $Q_1$ .....	42
4.3.2 Felt 2 – Gult felt $Q_2$ .....	42
4.3.3 Felt 3 – Rødt felt $Q_3$ .....	42
4.3.4 Felt 4 – Grønt felt $Q_4$ .....	43
4.3.5 Gimle Ungdomsskole og Bergen Frikirke $Q_4$ .....	43
4.3.6 Felt 1-5 Resultater .....	43
4.4 Dimensjonering av spillvannsledninger.....	44
4.4.1 Felt 1 – strekk tilknyttet blått felt.....	44
4.4.2 Felt 2 – strekk tilknyttet gult felt .....	44
4.4.3 Felt 3 – strekk tilknyttet rødt felt .....	44
4.4.4 Felt 4 – strekk tilknyttet grønt felt .....	45
4.4.5 Strekk tilknyttet Gimle Ungdomsskole og Bergen Frikirke.....	45
4.4.6 Alternativ metode .....	46
4.4.7 Komplette ledningstrekk spillvannsrør .....	47
4.5 Vannledninger i området.....	48
4.6 Prosjektering i AutoCAD og Novapoint .....	49
4.6.1 Skjærkraftberegninger – ledningstrekk S17 og S20.....	51

4.7 Praktisk utførelse av arbeidet .....	52
5. Konklusjon .....	53
Bibliografi .....	54
Vedlegg.....	
Vedlegg 1 .....	
Vedlegg 2 .....	
Vedlegg 3 – Overvannsberegninger blått areal.....	
Vedlegg 4 – Overvannsberegninger gult areal .....	
Vedlegg 5 – Overvannsberegninger rødt areal .....	
Vedlegg 6 – Overvannsberegninger grønt areal .....	
Vedlegg 7 – Dimensjonering overvannsledninger.....	
Vedlegg 8 – Spillvannsberegninger – inndeling av felt.....	
Vedlegg 9 – Dimensjonering spillvannsledninger .....	
Vedlegg 10 – Lengdeprofil.....	
Vedlegg 11 – Lengdeprofil.....	
Vedlegg 12 – Lengdeprofil.....	
Vedlegg 13 – Lengdeprofil.....	
Vedlegg 14 – Lengdeprofil.....	
Vedlegg 15 – Lengdeprofil.....	
Vedlegg 16 – Lengdeprofil.....	
Vedlegg 17 – Kumskisse .....	
Vedlegg 18 – Beregninger skjærkraft .....	

## IV Figurliste

Figur 1 - De tre sentrale dimensjonene i bærekraftbegrepet (Norsk Vann 2014) .....	2
Figur 2 - Prosjektområdets beliggenhet nær Haukeland Universitetssjukehus. Hvitt felt markerer områdets avgrensninger .....	3
Figur 3 - Prosentvis nedbørsfordeling på Bergenshalvøya, av målinger fra Fredriksberg målestasjon 1947 (Færøyvik, 1951).....	4
Figur 4 - Området 1907 .....	6
Figur 5 - Området 1951 .....	6
Figur 6 - Området 1970 .....	6
Figur 7 - Området 1980 .....	6
Figur 8 - Området 2016 .....	6
Figur 9 - Avløpsrenne i Bergen, ca 1100-tallet (bilde fra Bare boss – håndtering av avfall gjennom 1000 år – Bryggens Museum, utgitt 2000 ) [25].....	7
Figur 10 - Holen avløpsrenseanlegg dekker området markert i gult. De røde strekene er avløpsfellesledninger, de grønne er spillvannsledninger. Prosjektområdet er markert.....	12
Figur 11 – Eksisterende rør-situasjon i dag .....	14
Figur 12 - Nomogram for beregning av tilrenningstid.....	18
Figur 13 - IVF-kurve Sandsli .....	19
Figur 14 - Soneinndeling av prosjektområdet .....	21
Figur 15 - Timevariasjon i vannforbruk fra kompendium i Vann og Miljøteknikk ved NTNU. (Institutt for vann og avløpsteknikk NTNU).....	22
Figur 16 - Soneinndeling for spillvann .....	24
Figur 17 – Utklipp fra Gemini VA.....	27
Figur 18 – Utklipp fra Novapoint .....	27
Figur 19 - Konfigurasjon av grøftesnitt.....	28
Figur 20 - Prosjekterte ledninger i AutoCAD. ....	28
Figur 21 - Prosjekterte ledninger i Novapoint. ....	28
Figur 22 - Eksempel på takvann ned i grunn (Google Streetview) .....	30
Figur 23 - Eksempel på takvann ned i grunn (Google Streetview) .....	31
Figur 24 - Plenareal ved Gimle Ungdomsskole (Google Streetview).....	31
Figur 25 - Overvann for alle delfelt.....	34
Figur 26 - Avlesning av tilrenningstid, komplett felt .....	35
Figur 27 - IVF-kurve for målestasjon Bergen Sandsli, basert på perioden 1981-2019.....	35
Figur 28 - Gammel kum og eksisterende overvannsledning (Google Streetview) .....	38
Figur 29 - Ledningsnett overvann, svarte stiplede linjer .....	41
Figur 30 - Avløpsberegning (Svensk Vatten 2015) via VA-blad 115 .....	46
Figur 31 - Endelig ledningsnett spillvann, grønne stiplede linjer .....	47
Figur 32 – Endelig ledningsnett vannrør, blå linjer .....	48
Figur 33 – Gimleveien/St.Torfinns vei. Kryssing av ledninger i Novapoint.....	49
Figur 34 - Mangel på plass grunnet eksisterende rør. Figuren viser splitting av svart overvannsledning for å imøtekomme krav.....	50
Figur 35 - Strekk spillvannsledning S17 til S20 .....	50



## V Sentrale begreper

Begrepsforklaringer er hentet fra fagboken Vann- og avløpsteknikk, [1] ressursdatabasen hos Miljøkommune.no [2] og Store Norske Leksikon på nett [3] . Det er en liste over begreper, forkortelser og uttrykk som er vanlig innen vann- og avløpsfaget, og vi benytter oss av dem i denne oppgaven.

Uttrykk/begrep	Forklaring
Anboring	Tilknytting av stikkledning til hovedledning.
AutoCAD	Programvare for 2D og 3D dataassistert konstruksjon, DAK, (computer-aided design, CAD) og teknisk tegning.
Avløpsvann	Fellesbetegnelse for vann som ledes bort via avløpsledninger. Gjelder både sanitært avløpsvann (fra husholdninger), industrielt avløp og overvann. Avløpsvannet kan bestå av en blanding av alle komponentene, eller bare en av komponentene.
Bærekraft	Et begrep der det tas hensyn til både sosial, miljømessig og økonomisk bærekraft, for at løsninger som velges i dag ikke skal være til ulempe for framtidige generasjoner.
Colebrook-diagram	Diagram som brukes grafisk til å finne dimensjon på rør, nødvendig fall på ledninger eller kapasitet (l/s). Er basert på en formel, men av praktiske årsaker er det utarbeidet diagrammer for enklere bruk av metoden.
Den rasjonelle metoden	Nedbør/avrenningsmodell for beregning av avløps- og overvannsledninger i små, homogene nedbørsfelt. Benyttes av Bergen kommune for areal < 50 hektar. Brukes med eller uten klimafaktor (se under).
DWG	Filformat utviklet til AutoCAD, inneholder all informasjonen en bruker legger i CAD-tegningene, som design, geometriske data, kart og bilder.
Fellessystem (avløp)	Avløpssystem der spillvann, overvann og drensvann fra hus ledes bort i en felles ledning.
Flom	Unormal høy avrenning over tette flater som kan skyldes intensiv nedbør eller hindringer i avrenningssystemet.
Flomveg	Lavpunkt i terreng eller bebygd areal der vann kan ledes bort dersom det overstiger ledningsnettets kapasitet. Legges mest mulig praktisk for å unngå skade på infrastruktur/bygg.
Fordrøyning	Metode som benyttes for å utjevne mengden vann som renner i avløpsnett til enhver tid for å unngå overbelastning i perioder med intens nedbør/snøsmelting. Eksempler på dette kan være vannbasseng, oppsamling i magasin eller grønne tak.
Gemini VA	Programvare for kartlegging av vann- og avløpsinformasjon. Database for hvilke ledninger som finnes, hvor de er og hva tilstanden er.

Grønne tak	Torvtak eller andre former for beplantning på bygg i stedet for ikke-permeable flater. Jordsmonnet tar opp og forsinker mengden vann som renner av bygningsmassen og ned mot bakken/avløpsnett. Fungerer også som estetisk innslag i by- og urbanområder.
Hektar (forkortet ha)	Én hektar tilsvarer 10 000 m <sup>2</sup> og skrives i oppgaven som ha. Det er den mest relevante arealbetegnelsen når en regner på avløpskapasitet.
IVF-kurve	Grafisk framstilling av forventet nedbør og intensitet i et område, gitt ved forskjellig varighet (minutt) og gjentakelsesperiode (år). Basert på historisk data, vektet for nyere utvikling.
Klimafaktor	Et tall som brukes som en faktor i «den rasjonelle metoden» nevnt over, som er høyere enn 1.0 og som brukes for å beregne framtidig nedbør og avløp basert på antatte modeller om økte nedbørsmengder i framtiden. Gir et påslag i forventet vannmengde basert på størrelsen av faktoren.
Nedbørsfelt	Område med en felles avrenning til en gitt lokasjon.
NoDig	Metode for fornying av rør som ikke krever graving. Ett ledningsstrek, fra én kum til den neste, utbedres/fornyes ved å behandle det innenfra, enten ved strømpe som føres inn og herder, innsprøyting av belegg som tetter brudd eller utblokkning av gammelt rør med nye rør. Kan også brukes for nye rør ved styrt boring eller borehull.
Novapoint	Programvare rettet mot samferdselsinfrastruktur, landskapsforming og kommunalteknikk. Bruker AutoCAD som DAK-plattform.
Overvann	En samlebetegnelse på nedbør og smeltevann som renner over overflater.
PE	Personekvivalenter/personenhet, brukes for å beregne vannforbruk og avløpsvann per person i et gitt geografisk område som er knyttet til et eksisterende eller prosjektert vann- og avløpsnett.
Permeable / ikke-permeable dekker.	Permeable dekker er konstruerte overflater som tillater vanninntrenging ned i grunn eller magasin, med små hull i en ellers solid konstruksjon. Ikke-permeable dekker er eksempelvis ordinær asfalt, der vann renner over og videre til andre overflater eller avløp.
Quadri	Fil- og modell-format utviklet for lagring av georefererte data.
Renseanlegg	Installasjoner på avløpsnett som renses avløpsvann før det slippes ut i resipienter, med forskjellig grad av rensing basert på om det slippes i sjø, elv, grunn eller innsjø.
Resipient	Mottaker av renses eller urenses avløpsvann.

Selvrens	Når et rør har nok helning, 10 ‰ eller mer, har man vanligvis selvrens. Eksempelvis 1 cm fall per 100 cm lengde. Selvrens forhindrer sedimentering av slam i rør.
Separatsystem (avløp)	Avløpssystem der spillvann og overvann er separert og renner i egne rør. Velegnet når det gjelder å sørge for at spillvann renner til renseanlegg.
Skjærkraft	I VA-sammenheng og i oppgaven brukt om den kraft over- eller spillvann som renner gjennom rørene påfører innsiden av dem for å sikre at partikler føres videre uten å sedimentere og størkne fast.
SOSI	Filformat bygget opp av klartekst som representerer punkter, linjer og andre områder.
Spillvann	Vann som kommer fra husholdninger, sykehus, skoler, hoteller, bedrifter, industri osv. Skal til renseanlegg for rensing før utløp i resipient.
Stikkledning	Vann- eller kloakk-ledning som forbinder en bygning med et offentlig eller privat hovedledningsnett.
Tilbakeslag	Avløps- eller spillvann som renner opp over bunnpunkt hos abonnenter pga overbelastning i avløpsnettet. Kan forekomme ved store nedbørmengder eller brudd i systemet, samt om det er manglende fall i systemet.
Trykkstøt	Oppstår ved endringer i vannets hastighet, og representeres ved en trykkbølge som går fra opphavssted til neste hindring. Kan medføre skader på rør og utstyr langs rør, men kan forebygges ved bruk av trykktank, sikkerhetsventiler eller forsiktige endringer i vannets hastighet.
Utløpspunkt	Et punkt som markerer hvor et område/felts akkumulerte vannmengder samles opp for utløp videre.
VA	Forkortelse for vann og avløp
Årsdøgntrafikk	Forkortet ÅDT, er summen av antall kjøretøy som passerer et punkt på en veistrekning i løpet av et år, delt på antall dager. Gir et gjennomsnittstall for daglig mengde trafikk ved et punkt.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

I denne oppgaven har vi sett på mulige løsninger for fornying av avløpsnett i et nabolag på Kronstad i Bergen – heretter kalt *prosjektområdet*. Det ble tildelt oss etter noen innledende møter med senioringeniør i Bergen Vann- og avløpsetaten, Trym Trovik, som også er vår hovedkontakt og veileder for denne oppgaven. Prosjektområdet har mange gamle rør som trenger utskiftning, noen beboere har opplevd tilbakeslag i kjellerne og spill- og overvann blandes i fellesrør. I tillegg har det vært store utskiftninger og oppgraderinger i samme område, slik at det for vann- og avløpsetaten er naturlig å se på videre fornying her. Dette dannet grunnlaget for hvorfor vi ble tildelt dette området for oppgaven vår.

Vi har sett på hvordan nedbør kan forekomme i området og hvordan det kan behandles som overvann som enten skal infiltreres i grunn eller fraktes bort via rør. I tillegg har vi vurdert spillvannsmengder fra områdets beboere og brukere, og vurdert hvordan et separatsystem kan implementeres på en måte som løser problemet med overvann.

Vi har delt oppgaven inn i innledning, metode, resultat og konklusjon. I innledningen presenterer vi problemstillingen for oppgaven, området vi har jobbet med, dets historikk og utforming – samt hvilke utfordringer som ligger til grunn for oppgaven. I metodekapitlet vektlegger vi verktøyene vi har brukt for å løse oppgaven med hensyn på problemstillingen, og vi forklarer hvilke forutsetninger som er brukt for oppgaven. I resultatkapitlet presenterer vi våre funn og data, og drøfter disse. Til sist kommer våre konklusjoner, der vi presenterer en endelig vurdering av oppgavens funn, og hvordan disse er vurdert opp mot problemstillingen.

## 1.2 Problemstilling

*Hvordan prosjektere et nytt, bærekraftig spill- og overvannssystem i et nabolag med mye nedbør og utfordringer med overvann?*

*Delproblemstillinger:*

- Hvordan kan nok fall på ledningene sørge for selvreng?*
- Hvordan få plass til nye rør og samtidig oppfylle dagens tekniske krav?*
- Hvilken metode for legging av rør er mest hensiktsmessig?*

## 1.3 Oppgavens formål

Bergen har mange gamle vann- og avløpsrør som trenger utskiftning, i tillegg til en usikker klimaframtid der økt nedbør og befolkningsvekst må tas høyde for. I denne oppgaven har vi sett på hvordan man kan håndtere spill- og overvann på en framtidsrettet måte innenfor et utvalgt område. En kombinasjon av økt bebyggelse, større nedbørsmengder og gamle rør gjør at de eksisterende løsningene ikke lenger strekker til. Beboere i enkelte hus opplever tilbakeslag i kjellerne sine på grunn av et overbelastet avløpsnett. I tillegg blir unødvendig mye overvann fraktet til renseanleggene, noe som gjør det både miljømessig og samfunnsøkonomisk nyttig å separere det fra spillvannet ved å fornye ledningsnett.

Begrepet «bærekraft» er sentralt i oppgaven vår, og er et begrep som gis ulik betydning avhengig av bransje og hva en ser på. Vår tilnærming til begrepet har i hovedsak vært å se på praktiske løsninger som reduserer energibruk til rensing av avløpsvann. I tillegg har vi tenkt at løsningene vi velger skal

holde i et 50-100 års perspektiv, med forventet økt nedbør og lagt til rette for mulige endringer i infrastrukturen.

Begrepet «bærekraftig utvikling» ble introdusert av FN i rapporten *Vår felles framtid* i 1987, ofte omtalt som «Brundtland-kommisjonen» [4], og begrepet finnes igjen i FN sitt delmål om «Rent vann og gode sanitærforhold» i FN bærekraftsmål, delmål seks [5]. Norsk Vann, som er interesseorganisasjonen for den norske vannbransjen, har tatt dette delmålet inn som grunnlag for sitt arbeide med bærekraftig utvikling, sist i et vedtak ved årsmøtet 2017. Formålet er å forvalte og utvikle vann- og avløpsinfrastrukturen slik at brukere har rent vann i springen, forurensede utslipp og bruk av klimagasser minimeres, ledningsnettets lekkasjer reduseres og dets robusthet bedres slik at brukere ikke opplever uventede brudd i forsyningen mer enn én gang per tiende år per abonnent [6]. I Norsk Vann sin rapport 205 fra 2014, *Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene*, forklares begrepet «bærekraft» som et tredelt begrep; sosial, miljømessig og økonomisk bærekraft, som vist i Figur 1 og videre forklart:



Figur 1 - De tre sentrale dimensjonene i bærekraftbegrepet (Norsk Vann 2014)

**Sosial bærekraft** ivaretas gjennom en utvikling som sikrer trygghet, sosiale rettigheter og gode levevilkår.

**Miljømessig bærekraft** må skje innenfor naturens tålegrenser. Det vil si at alle tiltak skal være akseptable for økosystemenes kapasitet og mangfold og sikre fremtidens ressursgrunnlag. Fokuset skal ligge på et langsiktig perspektiv, fremfor kortsiktig gevinst.

**Økonomisk bærekraft** innebærer en økonomisk utvikling som opprettholder velferdsnivået og tillater velferdsvekst for den fattige delen av befolkningen. Global befolkningsvekst fordrer at knappe ressurser utnyttes mer effektivt og tap i verdikjeden minimeres - Norsk Vann rapport 205 [7, p. 11].

Denne definisjonen danner grunnlaget for vår bruk av begrepet «bærekraft» i denne oppgaven.

## 2. Presentasjon av prosjektområdet og relevant VA-teori

Prosjektområdet består av eneboliger og rekkehus, grøntarealer, en skole og en kirke – i tillegg til noen veier. I dette kapitlet ser vi på dets avgrensninger, historikk, utforming og andre egenskaper som har betydning for hvordan problemstillingen kan løses. I tillegg ser vi på vann- og avløpsteori som har relevans til hvordan vi vil jobbe med oppgaven.

### 2.1 Oppgavens område og avgrensninger

Prosjektområdet ligger på Kronstad i Årstad bydel, og følger Gimleveien i nord og øst, St. Olavs vei i vest og St. Clemens' vei i sør. Areal er på omtrent 6,5 ha.



Figur 2 - Prosjektområdets beliggenhet nær Haukeland Universitetssjukehus. Hvitt felt markerer områdets avgrensninger

### 2.2 Topografi, vær og klima

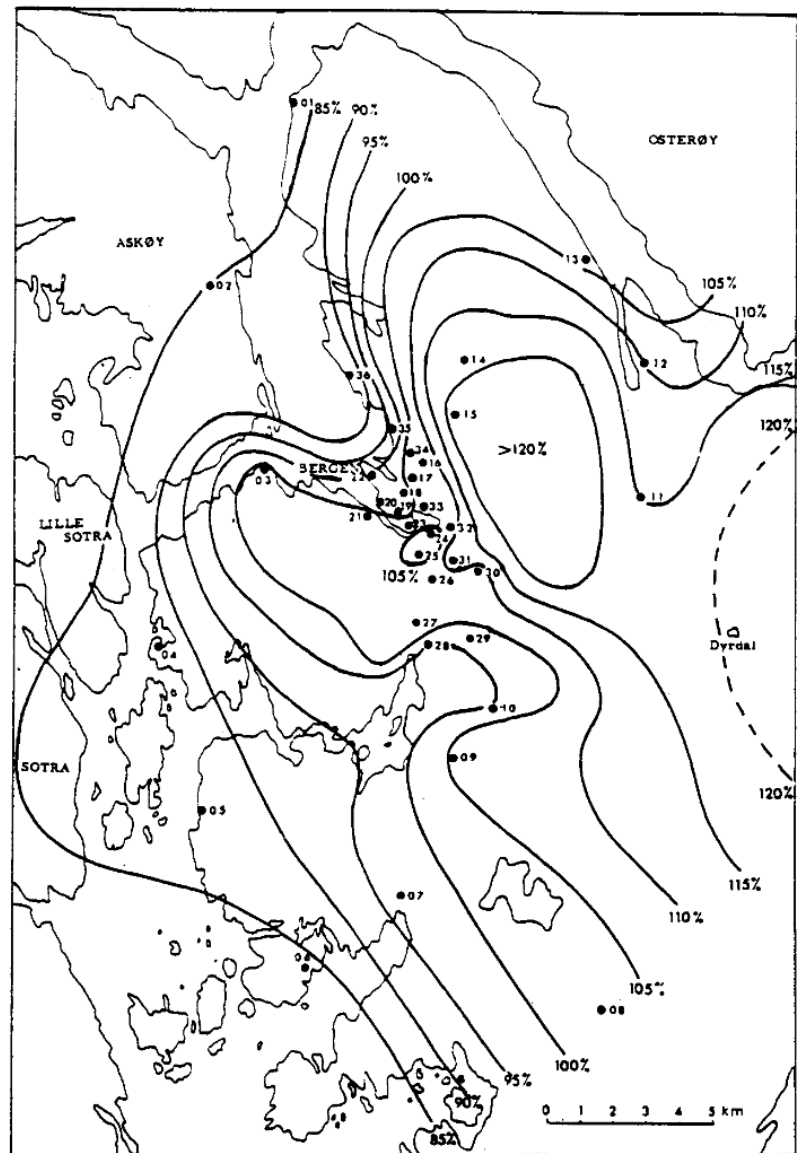
Prosjektområdet er noenlunde flatt, med en svak helning ned mot vest. Høyeste punkt er på ca 30 m.o.h, laveste på ca 25 m.o.h. Geoteknisk sett består berggrunnen av fyllitt og glimmerskifer, med en liten del som diorittisk til granittisk gneis [8]. Hva løsmasser angår, er området «ikke klassifisert» ifølge Nasjonal Løsmassedatabase [9], så det er uvisst hvilken infiltrasjonsevne grunnen har. I deler av prosjektområdet har det tidligere vært en innsjø.

Årsnormalen for nedbør er 2485 mm [10], målt ved Florida målestasjon, som er nærmeste offisielle målestasjon, ca 1.7 km unna prosjektområdet. For beregningene i området vil nedbørsdata for Sandsli benyttes, på grunn av et bedre datagrunnlag med lengre tid i operasjon enn hva tilfellet er for målestasjonen på Florida - 33 mot 13 sesonger. For en regnskyll med varighet 20 minutter og 10 års gjentakintervall, vil det normalt komme 12,4 mm nedbør på Sandsli mot 14,4 mm nedbør på Florida [11]. Det illustrerer kanskje at man burde bruke Florida som datagrunnlag, men det knyttes også en viss usikkerhet til datasettet siden det ikke har vært i operasjon så lenge som på Sandsli. Sigrid Johansen skriver, i sin masteroppgave *Ekstremverdianalyse av nedbør og oppdatering av intensitet - varighet - frekvens kurver i Bergen kommune* ved Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen fra 2016, at den korte dataserien ved Florida gir økt usikkerhet mot den mye lengre dataserien for Sandsli. Det

er riktignok også svakheter ved Sandsli-tallene pga hull/manglende perioder, så det viser viktigheten av kontinuitet og kvalitetssikring av tall og data [12, pp. 69-70].

Bergen er en stor kommune i utstrekning, og med mye variert landskap med fjell og daler er det gjerne store variasjoner i nedbør, noe forskjellen mellom Florida og Sandsli målestasjon illustrerer over. Figur 3 illustrerer dette, der det i det forholdsvis flater Fana og øyene vest for Bergen er lavere nedbørførekost enn i de mer kupert, sentrale delene av Bergen. Målingene ble utført på Fredriksberg fort på Nordnes, en nå nedlagt stasjon [13]. Selv om bildet er fra 1951, viser det med all tydelighet fjellenes påvirkning på skydekkets nedbørsmengder [14].

Økningen i årsnormalen siden 1896 har vært på 20% [15], og det er forventet en ytterligere økning på mellom 10-20% fram mot år 2100 ifølge Miljødirektoratets rapport *Klima i Norge 2100* [16]. Bergen antas å ligge i det øvre sjiktet av dette spennet.



Figur 3 - Prosentvis nedbørsfordeling på Bergenshalvøyen, av målinger fra Fredriksberg målestasjon 1947 (Færøyvik, 1951)

### 2.3 Historikk, demografi

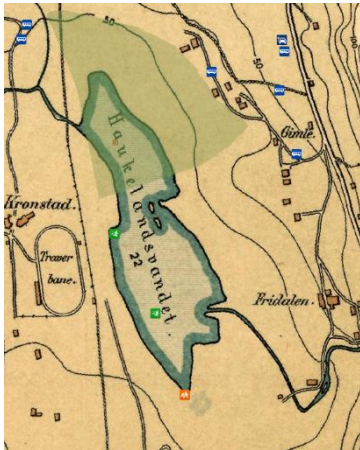
Årstad bydel ligger sør for Bergen sentrum, og var fram til 1915 en egen kommune før den ble innlemmet i Bergen. Dette etter en lang tids diskusjon siden slutten av 1800-tallet, der det ble påpekt at områdets kvaliteter hva vann, kloakk og øvrig infrastruktur angår var av særdeles dårlig stand. Bergen og Årstad hadde tette bånd, med industriell virksomhet i form av fabrikker og verksteder. Befolkningen økte i takt med den industrielle ekspansjonen, fra rundt 1400 i 1865 til over 10 000 i 1914 [17].

Knut Vidar Schjenken skriver, i sin hovedoppgave *Bergens ekspansjon mot sør 1890 – 1940* ved Institutt for arkeologi, historie, kultur og religionsvitenskap ved Universitetet i Bergen, at befolkningen i Årstad vokste i takt med nabokommunen Bergens vekst. Videre har han skrevet at bybrannen i 1916 også fungerte som en katalysator for byggetempoet i bydelen. Stor bolignød etter en brann som ødela store deler av Bergen sentrum nødvendiggjorde dette, og en bydel som tidligere var en jordbrukskommune ble nå mer og mer en tettbygd del av Bergen. Befolkningen økte til 15836 i 1920, 32195 i 1935 og 37820 i 1946 – alle tall medregnet Gyldenpris, dette på grunn av Schjenkens kildegrunnlag [18, pp. 39-51].

Bydelen har sitt navn etter kongsgården Alrekstad, og har en historie som strekker seg tilbake til 400-tallet. Bebyggelsen i prosjektområdet er i hovedsak fra mellomkrigstiden og fram til 60-tallet, med de eldste avløpsrørene fra 1930-tallet [19]. Haukelandsvannet lå tidligere i dette området, men ble etter hvert drenert og området frigjort for boligbygging og øvrig infrastruktur. Siste rest av vannet forsvant i 1979, da Haukelandshallen ble ferdigstilt [20].



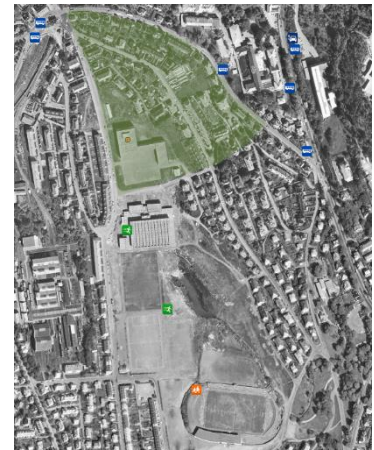
Bildeserie av Haukelandsvannet, historiske kart [21]. Grønt felt markerer prosjektområdets beliggenhet.:



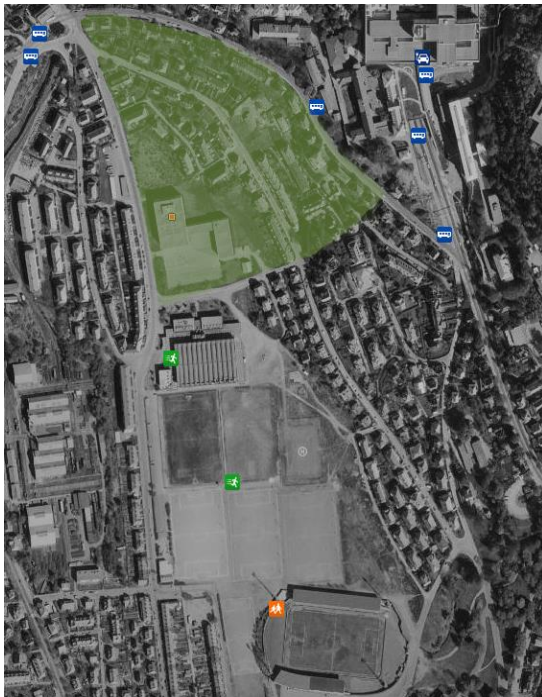
Figur 4 - Området 1907



Figur 5 - Området 1951



Figur 6 - Området 1970



Figur 7 - Området 1980



Figur 8 - Området 2016

Områdets befolknings sammensetning er preget av dets nærhet til Høgskulen på Vestlandet, campus Kronstad. Rundt 39 % er unge voksne (19-34 år), 35 % voksne (35-64 år) [22]. Det er knyttet ca 85 husstander til prosjektområdets avløpsnett, i tillegg til Gimle Skole (ungdomsskole) samt Bergen Frikirke. Det er altså en ganske ordinær sammensetning av abonnenter, og ingen industri med potensiell særskilt forurenset avløp eller drift å ta hensyn til.

## 2.4 Vann- og avløpsnett, historikk og utfordringer

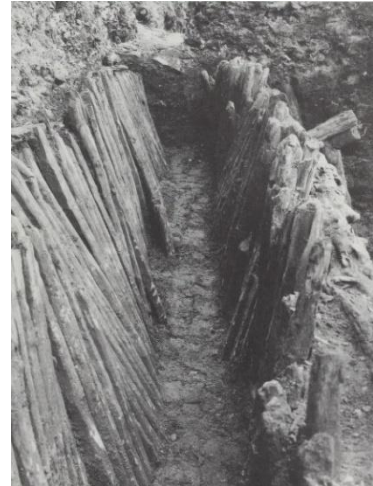
Tilgang på vann har vært sentralt for etablering av bosetninger, bygder og tettsteder i alle tider, og man har brukt vann til drikke, medisin, mat, vasking, irrigasjon og husdyr. Vannets kvalitet har alltid vært sentralt for hvorvidt et sted var egnet for bosetning. Vann har vært sentralt i religiøse tekster, både som livgivende og som straff. Både *Gilgamesh* og *Det Gamle Testamentet* refererer til en stor flod som ble sendt til menneskeheten som straff [23]. Noen årtusen senere er det kanskje noen bergensere som lurder på om noe lignende er på gang, før skydekket sprekker opp og solen igjen skinner.

Bergen fikk, som første by i Norge, et moderne vannverk som leverte trykksatt vann via et integrert nett i 1855. Vannet kom fra Svartediket, som den dag i dag fortsatt er en viktig kilde til byen. Vannverket var den første store kommunale satsingen i byen, og var nødvendig for å forbedre de sanitære forholdene. I tillegg hjalp det på bevisstheten rundt renslighet og hygiene, spesielt for de laverestående samfunnslag [24, p. 14]. Behovet for å forsyne byens økende befolkning med rent vann var prekært, da gamle løsninger ikke lengre var gode nok. Riktignok hadde byen nytt godt av dens mange lokale kilder i tiden før etableringen av vannverket. «Bergen haver saa stor Forraad paa fersk Vand og saa herlige Springkilder, som nogensteds er at finde» sa Ludvig Holberg i sin tid [24, pp. 14-15]. De gamle metodene inkluderte kilder, bekker og oppsamling av regnvann – men var utsatt for variasjoner i været. I konsesjonssøknaden for å få bygge vannverket i Bergen ble tørkeperioder oppgitt som grunn:

Indræffer som oftere er Tilfældet, isærdeleshed ved Midsommer og om Vinteren langvarigt Tørveir eller stærk og varig Frost, er Vandmangelen saa stor, at man selv fra Byens nordligste Strøk, Nordnæs, nødes til at hente saagodtsom alt det Vand der dagligen forlanges fra Byens sydligste Kant beliggende saakaldte Bispekilde, eller da adkomsten paa Grund av den stærke Søgning her ofte bliver alt for vanskelig, fra en søndenfor Byen ved Toldvagthuset beliggende Kilde. [24, pp. 18-19]

Med muligheten for å legge vann der naturlige kilder ikke var tilgjengelige, ble flere områder åpnet opp for bebyggelse. Bergen kunne nå ekspandere videre.

I motsetning til systemet av trerør som lå i Christiania, dagens Oslo, var systemet i Bergen anlagt med støpejernsrør. Årsaken til hovedstadens valg av materiale var kostnadene ved støpejern, som ved prosjektering i 1830 var anslått til å være over fire ganger så dyrt som tre [24, p. 10]. Støpejern tålte et langt høyere trykk enn trerør, kunne produseres i flere forskjellige dimensjoner og var langt mer holdbare. Etter hvert som byen vokste, spredte vann- og avløpsnettet seg videre utover byen. Metoder for å lede bort vann og avløp har vært brukt i Bergen lenge. Utgravninger fra middelalderen har vist rester av systemer der formålet var å lede bort vann og kloakk, samt annet avfall [24, pp. 82-84]. En vanlig metode var å anlegge avløpsrenner, konstruksjoner bestående av parallelle rader med treplanker som stod på høykant, som kunne lede regnvann og andre flytende substanser mot sjøen. De var kanskje i utgangspunktet kun tiltenkt regnvann, men arkeologiske utgravninger har gitt funn av ekskrementer, matavfall og annet boss [25, pp. 16-17].



Figur 9 - Avløpsrenne i Bergen, ca 1100-tallet (bilde fra *Bare boss – håndtering av avfall gjennom 1000 år* – Bryggens Museum, utgitt 2000) [25]

I løpet av få år ble det etablert flere nye vannverk i Norge, og etableringen av disse gjorde det nødvendig å bygge avløpssystemer for å få bort det brukte vannet [1, p. 17]. I begynnelsen av vannverkens historie var det mer fokus på mengde vann levert enn på vannkvaliteten, med unntak av Larvik vannverk, som allerede på 1860-tallet etablerte sitt vannverk med rensing gjennom et sandfilter. Etter hvert som kunnskapen om forurensing, medisinsk nytte og hygiene økte, ble det større prioritering av rensing av vannet. Sarpsborg var først ute med rensing via kjemisk felling og hurtigsandfiltre i 1913 og Arendal med ozoneringsanlegg i 1917.

Per 1923 var det bare sju vannverk i de 41 største byene som hadde noen form for rensing. Hallvard Ødegaard skriver i sin bok *Vann- og avløpsteknikk* fra 2014 at «den vanlige oppfatningen var at vannkildene i Norge stort sett var av så god kvalitet at det ikke var nødvendig med noen form for rensing». Klor-desinfisering ble mer og mer vanlig utover 40-tallet, og med *Drikkevannsforskriften* av 1953 ble det endelig etablert klare krav til drikkevannet som skulle leveres kundene. Denne har vært i utvikling til den dag i dag [1, pp. 17-18]. Dagens krav er at drikkevannet skal gjennom minst to hygieniske barrierer før det når ut til abonnentene [26]. En hygienisk barriere er definert i *Drikkevannsforskriften* §3 som:

Naturlig eller konstruert hindring eller tiltak som fjerner eller inaktiverer sykdomsfremkallende virus, bakterier, parasitter eller andre mikroorganismer, eller som fortynner, fjerner eller omdanner kjemiske stoffer til et nivå hvor de ikke lenger utgjør en helseisiko [27].

Prosjektområdets avløpssystem har sine eldste betongrør fra 1930-tallet, og er dimensjonert og anlagt under helt andre forutsetninger enn det som kreves i dagens situasjon. Fellessystem var normen i områder utbygd før 1965 [28, p. 25], og det er en lite effektiv måte å behandle avløpsvann på. Overvann blir da transportert til renseanlegg sammen med spillvann, noe som øker presset på renseanleggenes kapasitet.

Statistikk fra det siste århundret viser en økning i nedbør og intensitet, og med antakelser om ytterligere økte nedbørmengder i framtiden er det nødvendig å utruste samfunnets infrastruktur deretter. Det må altså planlegges løsninger som er bærekraftige i den forstand at de strekker til både i dag og langt inn i framtiden. Herunder faller avløpsnett, som ikke bare har som formål å minimere overvann, men også som et hygienisk tiltak. Konsekvensene av forurensing pga brudd eller ytre påvirkninger kan være meget store da et normalt trykksatt vannrør «suger opp» omliggende fukt dersom trykket synker og det ikke er helt tett. Vann- og avløpsetaten overvåker vannkvaliteten kontinuerlig, og foretar rundt 2500 prøver på vannledningsnett årlig [29]. I tillegg fornyes ca 1,2% av avløpsnett hvert år, og da 68% av dette med gravefrie (NoDig) metoder [28, pp. 27-28].

## 2.5 Nedbør og overvannshåndtering

Nedbør er en meteorologisk beskrivelse av vann som treffer jordens overflate [30]. Den kan komme som regn eller snø, avhengig av værforhold. Overvann er samlebetegnelsen på nedbør og avrent smeltevann som renner over tette overflater, og må håndteres på en praktisk måte for å unngå flomskader på mennesker og infrastruktur [1, p. 344]. Overvann er et problem når nedbøren blir intens, når snø og is hindrer normal avrenning eller når andre faktorer gjør at trykket på avløpsnett og naturlige avrenningsveier overstiger dets evne til å ta unna vannmengdene.

Nasjonalt sett ligger det føringer og retningslinjer for hvordan overvann skal behandles, men ingen særskilt standard lovfestet i et eget regelverk [31, p. 79]. De regler som finnes per dags dato er

fordelt over flere lover og forskrifter, og er en del av et omfattende system der fokus ligger på menneskers liv og helse. Siden problematikken er såpass forskjellig fra sted til sted, er det vanskelig å ha en fastsatt standard for overvannsbehandling. Et flatt jordbruksareal i det relativt tørre innlandet vil neppe ha de samme utfordringer som et mer kupert og våtere vestlandsterrang. Førstnevnte har kanskje større utfordringer med typiske innlandsklimatiske forhold som snø og snøsmelting, mens sistnevnte gjerne har varmere vintre og mindre snø. Til gjengjeld kan intens nedbør være problematisk for sistnevnte, og er således relevant for vår situasjon i prosjektområdet. Et framtidig klima med økt nedbør og intensitet vil kreve nye, bærekraftige løsninger for å unngå problemer med overvann i dette området.

God vannforvaltning innebærer å sørge for ikke bare trygg levering av rent vann til forbruk, men også tilbakeføring av brukt vann (dusj, vask, avløp) og overvann (nedbør) til rens og resipient [32]. For overvann er ambisjonen at det først og fremst skal infiltreres direkte til grunn, og ikke blandes med forurenset spillvann. Overvann renner over tette flater og vasker med seg partikler, støv og kjemiske stoffer (salt, miljøgifter) og er med det en ekstra miljøutfordring med tanke på resipientens økologiske tilstand. Det er i samfunnets interesse at små, lokale innsjøer holdes rene for å sikre god trivsel og at de oppleves som et fint sted å være, en blå lunge midt i en ellers tett bebyggd bydel – slik Solheimsvannet er.

Bergen har en overvannsstrategi som en del av VA-normen for byen. Denne er beskrevet i *Retningslinjer for overvannshåndtering* og er utgitt 11. februar 2005 [33]. Det jobbes for øvrig med en oppdatert versjon av denne. Den tar for seg utfordringene ved endringer i topografi, der permeable dekker som gress, skog, grus og terreng viker plass for hus, asfalt og andre ikke-permeable dekker. Den naturlige fordrøyningen av overvann blir dermed erstattet med vann som renner på overflaten, med de utfordringer det innebærer. Fortetting endrer gjerne grunnvannsstand pga. drenering og byggevirkosomhet, naturlige flomveier fjernes og det gir et økt press på overvannssystemene. Overvannshåndteringen i byen skal være framtidsrettet og bærekraftig, med fokus på fordrøyning, reduisering og infiltrering av overflateavrenning ved størst mulig bruk av lokal håndtering av overvannet [33, p. 3]. Dette innebærer bruk av løsninger som bidrar til å redusere mengden vann som må transporteres bort ved de mest intense, dimensjonerende regnbygene. Dette legger grunnlaget for hvordan vi vurderer overvannshåndteringen i prosjektområdet.

Overvannsstrategien beskriver en rekke tiltak som kan brukes i overvannshåndteringen. Disse inkluderer bl.a. infiltrasjon av vann direkte til grunn, fordrøyning i magasin under bakken, opparbeidelse av renner/kanaler/bekker som leder vann bort og samtidig framstår som et estetisk tiltak, beplantning og vegetasjon, bruk av permeable dekker, anlegging av basseng/vannspeil samt bruk av grønne tak som «forsinker» avrenningen [33, pp. 19-25].

Prosjektområdets grunnvannstand er, i relevante undersøkelser i nærområdet, beskrevet som høy og utfordrende [34], så det er begrensede muligheter for plassering av fordrøyningsmagasin under bakken.

## 2.6 Rør, forskjellige typer og egenskaper

Under prosjekteringen er riktig valg av rørmateriale viktig for å oppnå tilstrekkelig levetid på rørene. De forskjellige rørmaterialene har ulike egenskaper med tanke på trykkpåkjenning, forhold i grøften de legges i, eksterne belastninger, temperaturforhold, økonomi og vannkvalitet. Det er sjeldent en nøyaktig fasit på hvilket materiale som er best egnet, men det skal være motstandsdyktig mot eksterne og interne påkjenninger av fysisk og kjemisk art med en dimensjonerende levetid på minst

100 år. De mest aktuelle belastningene er trykkstøt, innvendig trykk, overganger/skjøter, innvendig erosjon, termiske spenninger, frost, utvendig jordtrykk, trafikklaster, punktlaster, hydrauliske krefter i bend, korrosjon og setninger i grunnen [35]. Lang levetid betyr at anleggskostnader kan nedskrives over lang tid, og dyr nylegging av rør utsettes i lang tid, noe som dekker den økonomiske delen av bærekraftsprinsippet vi har lagt til grunn i oppgaven.

Når det gjelder valg av rørmateriale og tekniske løsninger, har bransjen et oppslagsverk av normer de kan forholde seg til. Norsk Vann er en interesseorganisasjon eid av kommunene og har i samarbeid med Norsk kommunalteknisk forening (NKF) grunnlagt stiftelsen VA/Miljø-blad. De har som hensikt å «produsere veiledende normer for tekniske løsninger og arbeidsoperasjoner innen VA-fagene basert på beste praksis løsninger» [36]. Disse kalles VA/Miljø-blad. Hver kommune har sine egne, spesifikke normer for utførelse og bruk av materialer, og Norsk Vann har samlet disse på sine nettsider. Der henvises det til de enkelte VA/Miljø-bladene og det som står der. Hvis nødvendig presiseres det egne lokale bestemmelser.

Forskjellige rørtypen har vært brukt til avløp historisk sett, og vi har sett på de som er benyttet i det aktuelle området, og som vil være aktuelle for eventuelle utskiftninger. I Bergen skal det brukes duktilt støpejernsrør til vannrør [37], betong eller støpejernsrør til spillvannsrør [38] og betongrør til overvannsrør [39] ifølge VA-Norm, lokale bestemmelser.

Rørtyper	Bruksområde/egenskaper
Betongrør	<p>Det mest brukte materialet for avløpsrør, historisk sett. Produseres uten armering for diameter &lt; 600 mm og med armering &gt; 600 mm. Tåler høyt trykk og har minimal utvidelse ved endringer i temperaturen.</p> <p>Materialet er sårbart ved korrosivt miljø og lave pH-verdier, er tungt og vanskelig å legge, og er sårbart for trykkstøt.</p>
Støpejernsrør	<p>Korrosjonsbeskyttet duktilt støpejern er et slitesterkt materiale som tåler stort trykk og temperaturendringer. Tidligere ble grått støpejern benyttet, men dette var et sprøtt materiale som ofte gikk til brudd. I senere tid har duktilt (seigt) støpejern blitt mer vanlig, og har ikke de samme problemer som forgjengeren.</p> <p>Er i likhet med betong et tungt materiale som må håndteres nøye ved legging med tanke på håndtering og fundamentering under ledning. Sårbart for korrosjonsskader.</p>
Polyetylenrør (PE)	<p>PE, termoplast, er et meget nyttig materiale som ofte benyttes som trykkledning for avløp. Kan tilvirkes i lange lengder, noe som reduserer antall skjøter og sårbare punkter.</p>

	<p>Materialet er mindre motstandsdyktig mot trykkstøt og mekaniske påkjenninger, så det er viktig med grundig overdekning og sidefylling.</p>
Polyvinylkloridrør (PVC)	<p>Sterkt materiale med lav egenvekt, motstandsdyktig mot kjemisk nedbrytning med visse unntak (løsemidler). Normalt meget slitedyktig.</p> <p>Materialet er mindre motstandsdyktig mot trykkstøt og mekaniske påkjenninger, så det er viktig med grundig overdekning og sidefylling.</p>
Polypropylenrør (PP)	<p>Termoplast som har mange de samme egenskaper som PVC, og er vanlig benyttet i avløpssammenheng. Tåler varme bedre enn både PE og PVC, og har god kjemisk motstandsevne.</p> <p>Materialet er mindre motstandsdyktig mot trykkstøt og mekaniske påkjenninger, så det er viktig med grundig overdekning og sidefylling. Er litt sterkere enn PVC.</p>
Glassfiberarmert herdeplastrør (GRP)	<p>Materialet er vanlig brukt for avløpsledninger med diameter &gt; 300 mm. Konstruert av to rør, som regel glassfiber og herdeplast, med et sjikt mellom dem bestående av eksempelvis sand som fyllstoff, avhengig av hvilke egenskaper en ønsker. Tåler temperaturer mellom -60 til +100°C. Lav egenvekt i forhold til styrke, og har god motstandsdyktighet mot korrosjon.</p> <p>Sårbar for trykkstøt, da skader er vanskelig å observere pga rørets oppbygning. Krever meget nøye legging, side- og omfylling for å ivareta rørets integritet og funksjon.</p>
Plastrør med konstruert rørvegg	<p>Materialet brukes kun til avløp, og hovedsakelig som overvannsledning i Norge, og er en korrugert og dobbeltvegget rør som er dimensjonert for å oppnå en viss ringstivhet med fokus på minimal bruk av materiale.</p> <p>Det er dessverre liten standardisering innen denne typen rør, og en risikerer dårlig og manglende passform fra én leverandør til en annen.</p>
<p>Beskrivelser er hentet fra fagboken <i>Vann- og avløpsteknikk</i>, [1, pp. 379-383]</p>	

## 2.7 Behandling av spill- og overvann

Etter *Forurensningsforskriften*, del 4, kapittel 14 stilles det krav til sekundærrensing for utslipp av kommunalt avløpsvann fra tettbebyggelse med samlet utslipp større enn 10.000 PE til sjø [40]. På bakgrunn av dette har Bergen kommune oppgradert fire av sine største avløpsrenseanlegg i Ytre Sandviken, Kvernevik, Flesland og Holen, som er det aktuelle renseanlegget for prosjektområdet.



Figur 10 - Holen avløpsrenseanlegg dekker området markert i gult. De røde strekene er avløpsfellesledninger, de grønne er spillvannsledninger. Prosjektområdet er markert.

Holen RA [41] er et biologisk-kjemisk renseanlegg dimensjonert for å klare sekundærrensing etter *Forurensningsforskriften* og kan håndtere spillvann fra 134.000 PE. Biologisk-kjemisk rensing er en flerleddet strategi for rensing av avløpsvann. Den går ut på å føre det gjennom flere prosesser før det endelig slippes ut på 40 meters dyp. Først skiller partikler > 6 mm ut ved båndrist, før sand og fett fjernes ved hjelp av trykkluft. Deretter føres avløpsvannet inn i tanker for biologisk rensing der blåseluft fra bunn sirkulerer vannet i kontakt med sylinderformede, sirkulerende rør der forurensede partikler fester seg. Neste trinn er kjemisk rensing, i Holens tilfelle kalt Actiflo. Jernklorid, sand og polymer tilsettes og vannet blir omrørt slik at slam og sand flokkuleres i større klumper. Dette synker da til bunn, og rensset vann renner ut på toppen og slippes deretter ut. Slam blir ytterligere rensset før det tas i bruk i biogassanlegget i Rådalen [42].

En bacheloroppgave av Stian Hofset og Sondre Ertsus, *Overvannshåndtering i Lillehammer sentrum*, fra NTNU Gjøvik i 2016, ser på håndteringen av overvann i Lillehammer sentrum og effekten på det lokale renseanleggets bruk av kjemikalier og ressurser ved en eventuell separering av overvannet. I oppgaven ble det konkludert med at «reduert overvannsmengde fra Lillehammer sentrum vil kunne ha stor effekt på LRA<sup>1</sup>» [43, p. 40] og det var flere gunstige aspekter ved å separere, som betydelig mindre bruk av kjemikalier, mindre grus/sand som gjorde slitasje på anlegget, frigjort kapasitet til rensing på dager med mye nedbør samt besparelser av strøm til pumping og drift [43].

Overvann fra prosjektområdet blir per i dag ført inn på avløpsnettet som til slutt ender på Holen RA. I lys av arbeidet som er blitt gjort i bacheloroppgaven fra NTNU vil man kunne anta at ved å separere

<sup>1</sup> LRA – Lillehammer renseanlegg.

overvannet fra spillvann får man en enda større effekt her i Bergen i motsetning til Lillehammer grunnet byens betydelig større mengder med nedbør. Lillehammer har relativt lite nedbør sett i motsetning til Bergen. I løpet av de siste tolv månedene har Lillehammer hatt 634 mm nedbør [44] i motsetning til Bergen med 2537 mm nedbør [45], for april 2018 til april 2019. Det at Bergen hadde fire ganger så mye nedbør som Lillehammer gjør det vesentlig viktigere å separere overvannet fra spillvannet og lede dette til en lokal resipient for å opprettholde vannbalansen i området og overholde kommunens retningslinjer for lokal overvannshåndtering. Prosjektområdet er utformet på en sånn måte at det laveste punktet allerede har et eksisterende overvannsrør som leder videre til Solheimsvannet.

I Statens Vegvesens *Håndbok 017* (2008 versjon) er det lagt retningslinjer om overvannet fra veg bør renses avhengig av ÅDT. *Håndbok 017* er i nyere tid blitt oppdatert og heter nå *Håndbok N100*, hvor anbefalingene om rensing av overvann ikke lenger er inkludert og det henvises til *Naturmangfoldloven* [46] og *Vannforskriften* [47], men hensikten med lovverket gjør fremdeles det faglige innholdet i den gamle håndboken gjeldende. Størrelsene på ÅDT som avgjør om det må settes inn tiltak for rensing må sees mer opp mot kravene fra *Naturmangfoldloven* og *Vannforskriften* enn tidligere. Veger og gater med ÅDT < 8.000 har normalt ikke behov for rensing, men saltmengden i overvannet bestemmer om det er behov for å lede bort overvann til en mer robust resipient [48]. Overvann fra prosjektområdet vil i hovedsak bestå av vann fra en bekk som er ført inn på ledningsnettet ved en kanal, og fem sluk som tar unna vann fra veiene. Området består av småhusbebyggelse og rekkehus, og har på det meste en ÅDT på 1500 da området ikke har noen gjennomfartsvei til andre områder [49].

I 2002 ble det utført kartlegging av naturtyper i Bergen kommune, hvor målet var å kartlegge det biologiske mangfoldet i Bergen kommune. Den ble sammenfattet i rapporten *Kartlegging av naturtyper i Bergen kommune* [50]. Kartleggingen fant ut at Solheimsvannet er hjem til fire forskjellige plantearter, hvor Krustjønna sto på Norsk rødliste for arter da rapporten ble gitt ut i 2002. I dag er arten oppført som livskraftig, som vil si at den ikke lenger er regnet som truet [51], men ettersom vannet er har et rikt biologisk mangfold anses det som viktig å opprettholde lav grad av forurensing.

Med forholdene i området tatt i betraktning, lite trafikk og ingen industriell forurensing, ser vi ikke behov for å iverksette større krav til rensing av overvannet fra området. For å opprettholde det biologiske mangfoldet i resipienten anbefaler vi likevel å utarbeide en plan for rutinemessig tømning av sandfangskommene i området ettersom at en del av de lokale forurensingene vil oppstue seg i disse.

## 2.8 Nedbørsfelt

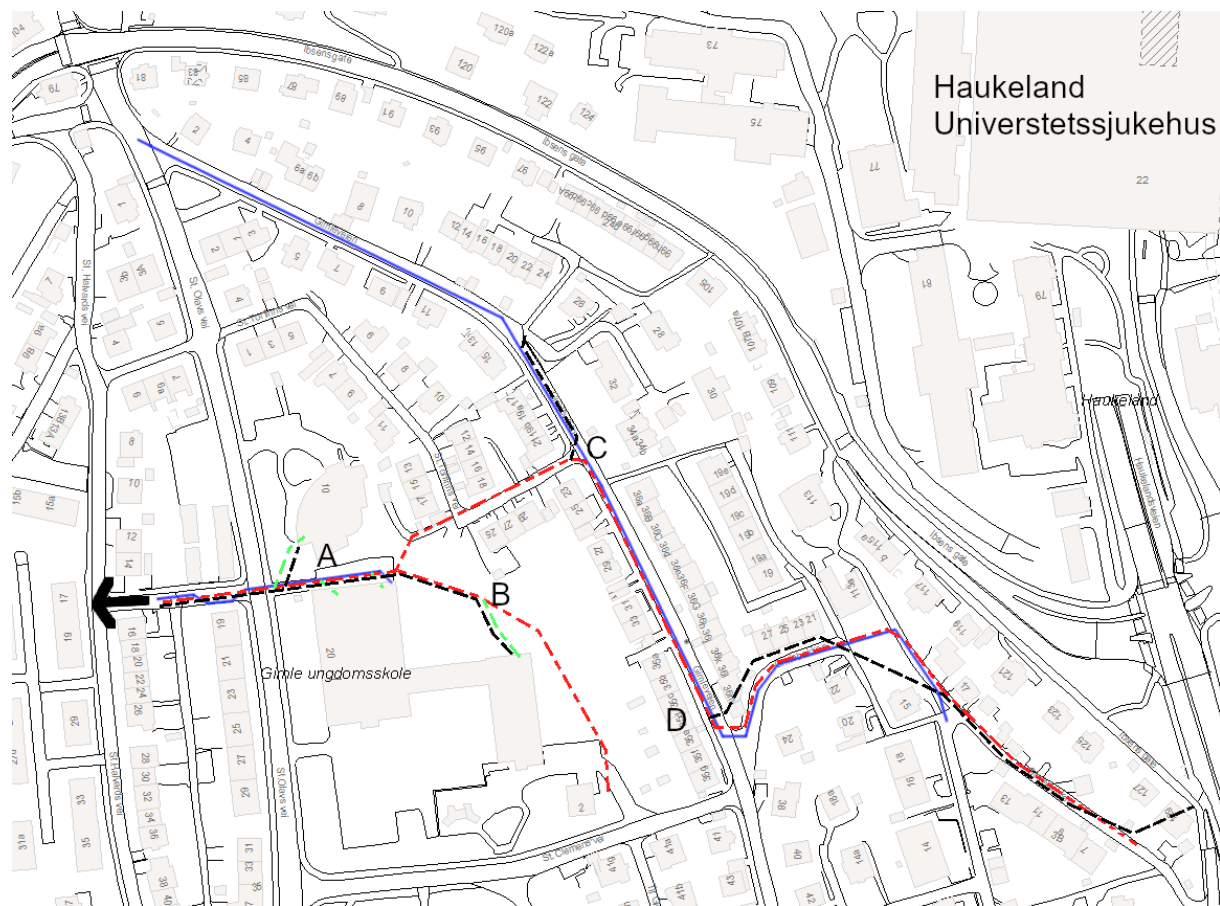
Vi har brukt et nettbasert måleverktøy basert på Google Maps sine kart for å anslå nedbørsfeltets areal i prosjektområdet [52], målt i hektar ha. Det er anslått på bakgrunn av utforming av terreng og plassering av boligenheter, og rundet opp til nærmeste hele hektar for sikkerhets skyld. Områdets areal er 6,5 ha, tilsvarende 65 000 m<sup>2</sup>, og er noenlunde homogent sammensatt med småhusbebyggelse og gater. Dette muliggjør forberegning av dimensjonerende avrenningsmengder for overvann for et gitt nedbørstilfelle ved bruk av den rasjonelle metoden, i tråd med Bergen kommunes metoder for areal mindre enn 50 ha [33].







I tillegg til prosjektområdets egne nedbørmengder, vil vi ta høyde for en overvannsledning som kommer inn i områdetets sørøstre startpunkt. Denne er på 300 millimeter, men er særdeles skadet (deformert) og det er uvisst hvor mye den genererer i overvannsmengder. Vi vil for sikkerhets skyld anta at den fører med seg vannmengder tilsvarende en uskadd ledning ved maksimal kapasitet.

## 2.9 Eksisterende rør i dag

Figur 11 – Eksisterende rør-situasjon i dagviser eksisterende situasjon med rør per dags dato. Dette baserer seg på data fra Bergen kommunes ledningsdatabase i Gemini VA. Kun rør som har relevans til prosjektet er illustrert her, da et komplett bilde vil framstå som meget uoversiktlig og som uansett ikke har relevans her. Eksempler på irrelevante rør er private stikkledninger og avløpsrør, samt rør som ikke er omfattet en eventuell fornying.



Figur 11 – Eksisterende rør-situasjon i dag

Tegnforklaring	
	Vannrør
	Avløpsrør felles
	Overvannsrør
	Spillvannsrør

Som vist i punkt A og B er det en del spillvannsrør som går inn på fellesrør, mens det i C og D vises overvannsrør som går inn på fellesrør. Som beskrevet tidligere er det en ulempe at overvann føres inn til fellesrør for avløp og videre til rensing da overvann normalt ikke trenger rensing. Hvilke strekninger vi foreslår graving og utskifting av rør for vil beskrives senere i oppgaven.

## 3. Metode

Dette kapitlet tar for seg de forskjellige metodene vi har valgt for området, samt den faglige begrunnelsen for disse.

### 3.1 Innledning

Vi har benyttet Vann- og avløpsetatens datagrunnlag, fagpersoners og veilederes innspill og kilder, faglig litteratur fra Høgskolen på Vestlandets litteraturliste, samt befaringer i prosjektområdet med nødvendige innmålinger for å ha et datagrunnlag for gjennomføringen av denne oppgaven. Oppgaven baserer seg stort sett på sekundærdata, enten i form av faglig litteratur, dokumenter fra webkilder samt Vann- og avløpsetatens egne data. Noen få posisjonsinnmålinger ble foretatt med GPS i prosjektområde, i tillegg til noen bilder (disse er i så fall merket med opphav).

Grunnen til våre valg av data ligger i prosjektets natur. Metoder for å løse utfordringene vi har beskrevet tidligere eksisterer fra før, og informasjon som angår oppgaven er allerede tilgjengelige i form av forskjellige kilder. Vår oppgave blir da å sortere i data, finne troverdige og relevante kilder og verifisere informasjonen for å sørge for at oppgaven har faglig integritet.

#### 3.1.1 Programvare brukt i oppgaven

Vi har brukt Gemini VA, Novapoint og Autocad til prosjekteringsarbeidet, programvare som ble gjort tilgjengelig for oss med lisenser fra Bergen kommune. Førstnevnte er Vann- og avløpsetatens database-program for VA-systemet i kommunen, og har vært et nødvendig oppslagsverk i vårt arbeide. Novapoint og Autocad har blitt brukt til prosjekteringen i 3D, og vi presenterer våre funn i et senere kapittel.

#### 3.1.2 Øvrig utstyr benyttet

I forbindelse med befarung og kartlegging av prosjektområdet, har vi brukt signalfarget vernetøy og vernesko, et metallspett for å vippe opp bekkalokk (kumlukk) samt en GPS-måler med muligheter til å ta bilder av inspiserte kummer. Ved inspisering av kummer i trafikkert vei er det viktig å ha minst én person til å stå vakt og varsle eventuelle kjøretøy om åpen kum. Det var ikke nødvendig å skilte for omkjøring da ingen av innmålingspunktene krevde varig stenging av normal ferdsel. Tidspunktet for inspisering ble satt til morgenen, og det var få biler i veiene.

#### 3.1.3 HMS

Helse, miljø og sikkerhet er viktig for Bergen kommune, som ønsker å være en trygg arbeidsplass der de ansattes sikkerhet ivaretas slik at man unngår skader på folk og materiale [53]. Byggingeniørstudenter ved Høgskulen på Vestlandet har alle blitt skolert i viktigheten ved sikkert arbeid, da dette temaet er integrert i alle fag som omhandler praktisk arbeid i felt. Vi har benyttet det verneutstyr som kreves ved arbeid i felt, samt sikring og hindring av trafikk i de tilfeller der vi har måttet åpne kummer for måling eller observasjon.

### 3.2 Kartlegging av området

Databasen til Bergen kommune sin VA-etat i Gemini VA har vært til stor hjelp. Her er det opplysninger om nåværende ledninger, traséer, og antall PE tilgjengelig, samt en rikholdig mengde rørinspeksjonsrapporter og rørleggermeldinger, som har vært nyttige i vårt arbeide med å kartlegge hva som befinner seg i grunnen. For å innhente mest mulig korrekte og oppdaterte opplysninger om området vårt, er det også blitt gjennomført egne befaringer hvor GPS-målinger er blitt gjort for å

supplere informasjonen i Gemini VA. Dette ble gjort ved å besøke anleggsområdet og måle inn posisjonsdata på kummer der det manglet, ved hjelp av GPS.

Videre er informasjon fra Gemini VA og egne målinger blitt brukt til å regne ut hvor mye kapasitet nåværende avløpsledninger og overvannsledninger har ved hjelp av Colebrooks diagram.

Databasen har en del mangler, da datagrunnlaget ofte er av gammel type og kun digitalisert i de senere år. En del kummer mangler høydeinnmålinger, og ikke alt av private rør som går inn på det offentlige nettet er registrert med eksakte innmålinger.

### 3.3 Dimensjonering av overvann ved hjelp av den rasjonelle metode

For dimensjonering av overvann vil vi bruke den rasjonelle metode. Den er en metode for enkel beregning av overvann i nedbørsfelt mindre enn en viss størrelse (< 50 ha). Den har et variert opphav, fra en irsk ingeniør som på midten av 1800-tallet var opptatt av drenering, til en amerikansk ingeniør ved navn Kuichling, som arbeidet hovedsakelig med kloakk. Også Lloyd-Davies fra England er nevnt i forbindelse med sistnevnte disiplin, da fra 1906 [54, p. 316]. Metodens tilblivelse bunner ut i et behov for å vite sammenhengen mellom nedbørsmengde, varighet og intensitet, samt arealet det foregår på. Det er altså en gammel metode som tross sin alder fortsatt gir et godt, robust estimat ved gode ingeniørmessige vurderinger, uten at en må bruke lang tid og store utregninger. Mer avanserte metoder inkluderer *Mike Urban* og *Mike Flood* [55], som er dataprogram som beregner den samme problematikken basert på modellering av landskap, rør og nedbør. Disse krever atskillig større innsats, og er uaktuelle for vårt prosjektområde

I senere tid har en ny faktor, klimafaktoren, blitt lagt til for å øke det endelige svaret på regnestykket i tråd med forventningene om økt nedbørsmengde og intensitet pga klimaendringene.

$Q = \varphi * A * I * kf$  [1, p. 306]:

Q = Avrent vannføring fra området i liter per sekund l/s

- $\varphi$  = Forholdstall/koeffisient for forholdet mellom total nedbørsmengde og avrent mengde på overflaten, mellom 0,0 og 1,0. Velges ut fra arealets egenart.
- $A$  = Areal i ha
- $I$  = Nedbørintensitet målt i liter per sekund \* ha.
- $kf$  = Klimafaktor som sikkerhetsmargin for forventet økt nedbørsmengde/intensitet i framtiden. Etter Statens Vegvesens håndbok N200 [56] er verdien 1,3 anbefalt, noe som gir en ekstra sikkerhetsbuffer i planleggingen av framtidig nedbør og dimensjoneringen som trengs.

Metoden benyttes av Bergen kommune i områder mindre enn 50 ha, og er et overslagsverktøy. Siden vær og klima er usikre faktorer å beregne, må man benytte seg av observasjoner gjort gjennom flere år, vektet på nylig utvikling samt forventet utvikling. Dersom en dimensjonerer feil, kan man ende opp med skader på infrastruktur og i verste fall mennesker. Vi har valgt å benytte den rasjonelle metoden for beregning av nedbør og intensitet i prosjektområdet, da den erfaringsmessig er en nyttig metode samt er brukt av kommunen selv.

### 3.3.1 Avrenningskoeffisient $\phi$

Avrenningskoeffisient  $\phi$  som benyttes av Bergen kommune [33]:

Tette flater (tak, asfalterte plasser/veger o.l.)	0,85 – 0,95
Bykjerne	0,70 – 0,90
Rekkehus-/leilighetsområder 0,60 - 0,80	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

Koeffisienten er en dimensjonsløs reduksjonsfaktor som endrer regnestykket ut fra hvor mye vann som kan forventes å infiltrere ned i grunn. Som vist i tabellen gir tette flater en høy verdi, siden lite vann kan antas å infiltreres bort, såkalte ikke-permeable flater. Det motsatte kan observeres for eksempelvis grøntområder der vann kan infiltrere ned i grunnen, da gir koeffisienten en større reduksjon i den rasjonelle metode. Vurderinger av hvor i de forskjellige intervallene en velger å plassere seg blir en form for kvalifisert gjetning, basert på en kombinasjon av observasjoner av ortofoto og i feltet. Det betyr at det kan knytte seg en viss usikkerhet til denne faktoren, som er ytterligere forklart i punkt 3.3.5.

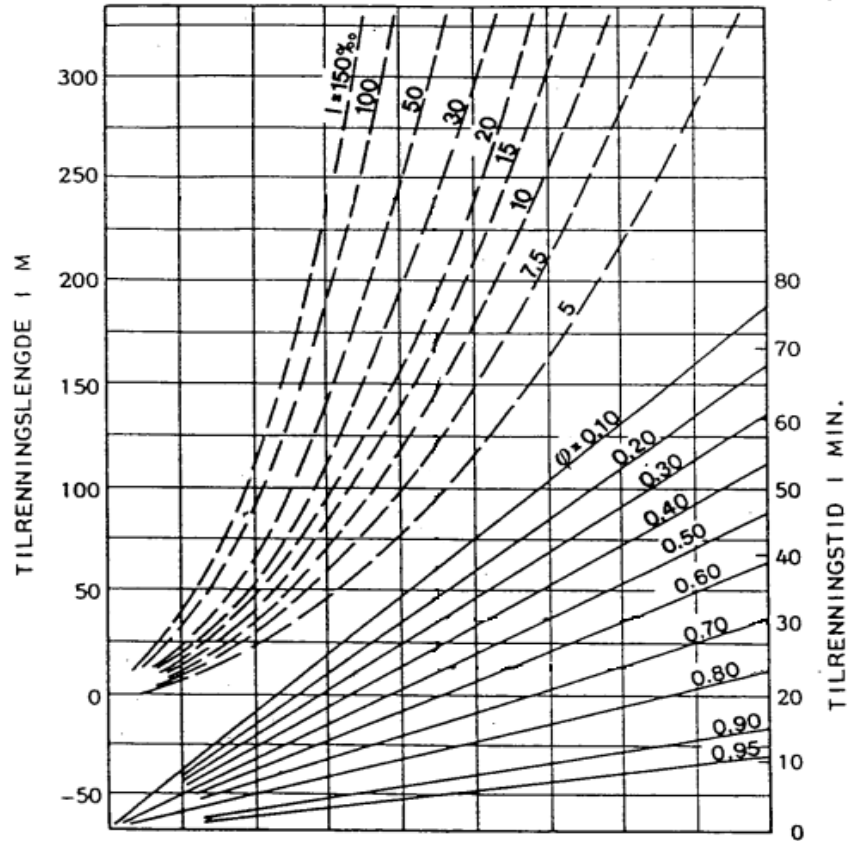
### 3.3.2 Arealet A

Arealet måles ved hjelp av det nettbaserte måleverktøyet som bruker Google Maps sine kartdata [52] og oppgis i m<sup>2</sup> eller ha.

### 3.3.3 Nedbørintensitet $I$

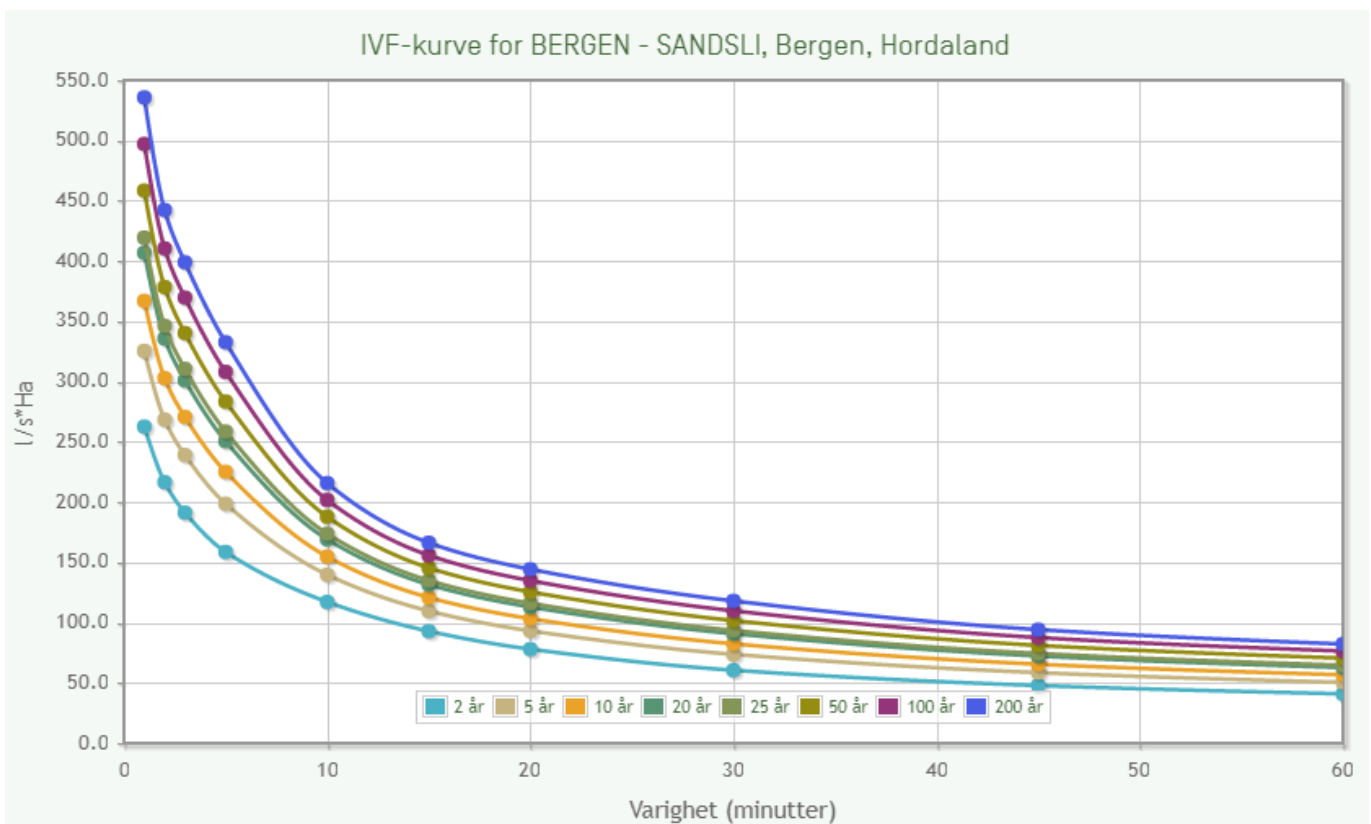
Verdien  $I$  hentes fra IVF-kurver, i vårt tilfelle fra Sandsli. Den er hentet fra Norsk Klimaservicesenter [57]. Vi har, etter *Retningslinjer for Overvannshåndtering i Bergen* [33, pp. 11-16], valgt en returperiode på 10 år, da dette er et åpent boligområde. I tillegg er en nedbørsperiode beregnet ved hjelp av et nomogram i nevnte retningslinjer. Først beregnes tilrenningstiden, den tiden det tar for regndråpene som treffer i «begynnelsen» av området, lengst unna «slutten», der vannet renner ut av området. Høydeavstanden disse to punktene i mellom deles på lengdeavstanden/1000 for å finne fallets verdi i promille ‰. Lengde- og høydemål er målt i Novapoint, og er basert på Bergen kommunes SOSI-filer som er gjort tilgjengelige for oss.

Avrenningskoeffisient  $\phi$  velges som nevnt tidligere ut fra en vurdering av områdets karakter, hvilke hustyper som er der, om det er grøntarealer eller andre flater som kan påvirke overvannets ferd nedover.



Figur 12 - Nomogram for beregning av tilrenningstid

Lengdeavstanden markeres på venstre del av nomogrammet, deretter føres en horisontal linje til den treffer kurven for fallet %. Fra det punktet føres en vertikal linje til kurven for valgt avrenningskoeffisient  $\varphi$ , før man til sist fører en horisontallinje til høyre del av nomogrammet.



Figur 13 - IVF-kurve Sandсли

Der Leser man av tilrenningstiden i minutter.

Med verdier for tilrenningstid og returperiode, går det an å lese av en verdi på IVF-kurven ved å starte på minutt, føre en vertikal strek opp mot kurve for returperiode, og derfra føre en horisontal strek mot venstre side av diagrammet og lese av verdien  $I$ , som gis i liter per sekund \* hektar.

### 3.3.4 Klimafaktoren $k_f$

Klimafaktor er en sikkerhetsmargin for forventet økning i nedbør på grunn av klimaforandringene. Bergen kommune refererer på sine nettsider til Overvannsutvalgets utredning NOU2015:16<sup>2</sup> hva framtidig forventet økning i nedbør angår [31], og rapporten skriver om klimafaktor:

En ofte benyttet metode for å ivareta de forventede effektene av klimaendringer er å uttrykke forventet relativ økning av nedbørintensitet, med en såkalt klimafaktor. Med klimafaktor menes den faktor en må multiplisere dagens nedbørdata med for å få et mål for framtidig nedbør.

Rapporten anslår en verdi for  $k_f$  for Bergensområde på 1,16 [31, p. 64], men vi har sett at praksis fra flere rådgivningskontorer har brukt 1,3 som verdi for  $k_f$ . Disse inkluderer blant andre Cowi AS for et prosjekt i Ytrebygda [58] og et prosjekt på Søreide [59], samt Efla for et prosjekt i Arna [60].

<sup>2</sup> Norges offentlige utredninger

Vi har valgt en verdi på 1,3 etter Statens Vegvesens håndbok N200 [56] og i samråd med veileder Karoline Hamnes<sup>3</sup>, overingeniør hos Bergen kommune. Dette gir en ekstra sikkerhetsbuffer i planleggingen av framtidig nedbør og dimensjoneringen som trengs [61]. Det sørger for et trygt og robust påslag som tar høyde for kraftige økninger i nedbørmengden.

### 3.3.5 Om den rasjonelle metode og bruk av denne i prosjektet

Å regne på nedbørmengder i et gitt område byr på en rekke usikkerheter. Arealets egenart, om det er skog/plen eller tak/asfalt regnet treffer må anslås på bakgrunn av en vurdering av området ved faktisk observasjon. Kriterier som legges til grunn her inkluderer eksempelvis [1, pp. 346-348]:

- Løsmassenes art, hvilken grad av permeabilitet de har
- Fallforholdene i området, om det er bratt eller flatt
- Grunnvannstand, hvor dypt nedbør kan infiltrere før det treffer denne
- Avrenningssituasjonen i området

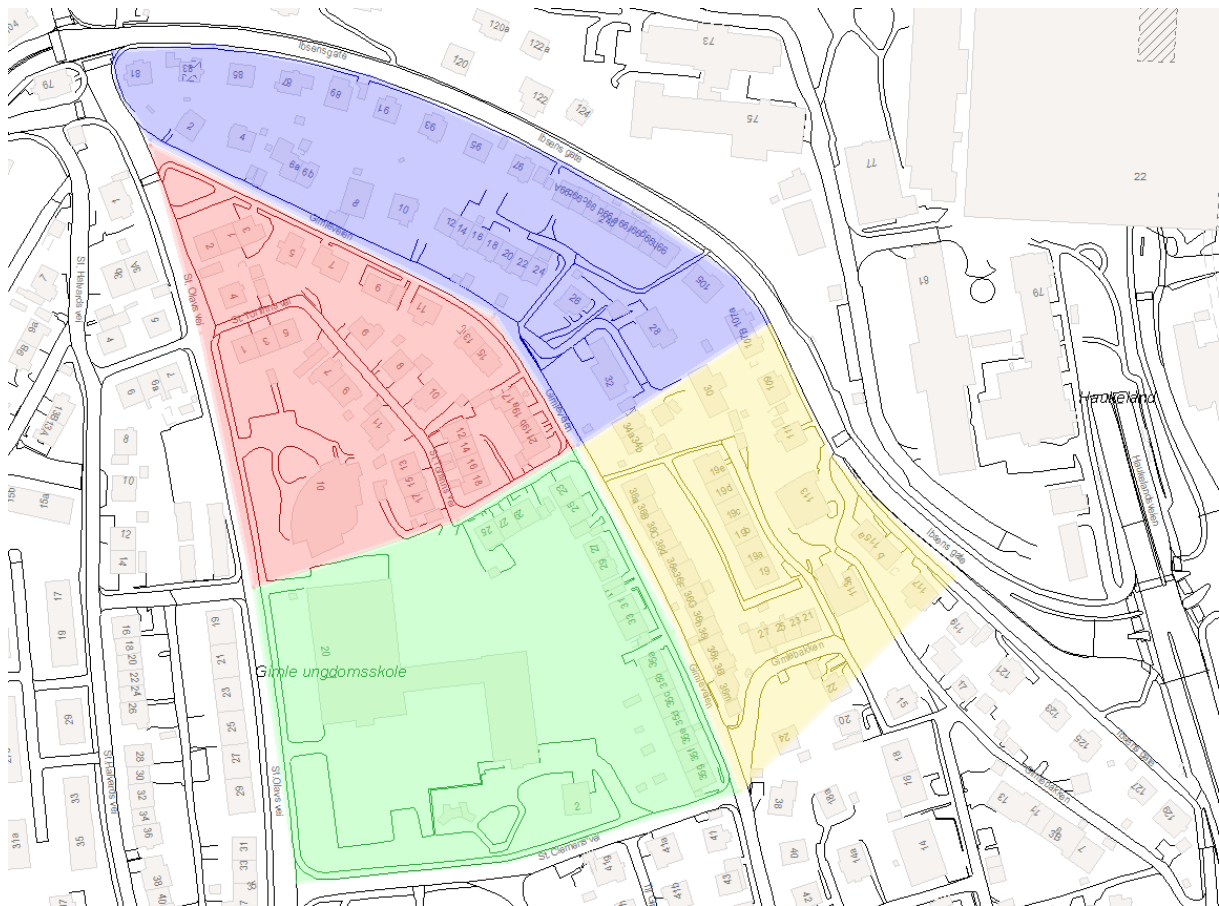
Hvilke endepunkt av de mulige faktorintervallene en kan lande på blir også en vurderingssak, og det er ingen sikker vitenskap å slå fast hvor mye det *kan* komme til å regne i et gitt område en gang i framtiden.

Vi ser først på området under ett, før vi deler prosjektområdets nedbørsfelt inn i flere mindre delområder. Dette gir oss en trinnsvis og systematisk måte å beregne de dimensjonerende nedbørmengdene for hver del av området, fra toppen til bunnen av området. Da kan vi se hvordan de forskjellige overløpsledningene bør dimensjoneres og plasseres for en mest mulig praktisk transport av vannet. Ved å dele opp slik unngår man unødig overdimensjonering av ledninger «øverst» i systemet, altså der overvannet starter å akkumulere i overvannsledningene.

En annen faktor å ta med i betraktningen er om det kanskje er planlagt ytterligere overvannsledninger oppstrøms som kan komme inn i vårt prosjektområde, og hvordan det skal

---

<sup>3</sup> Februar 2019



Figur 14 - Soneinndeling av prosjektområdet

dimensjoneres for dette. I tillegg må en unngå at våre løsninger blir overdimensjonert i forhold til tilsvarende anlegg nedstrøms, da dette vil flytte problemet med overvann til et annet sted i systemet. En mulig løsning er å se på fordrøyning og mest mulig lokal håndtering av overvann, i tråd med kommunens retningslinjer. I *Bestemmelser og retningslinjer til kommuneplanens arealdel 2010* (gjeldende arealplan) punkt 18 «Vann, avløp og overvannshåndtering» står det:

VA-rammeplan skal inngå i alle reguleringsplaner. Rammeplanen skal angi prinsipløsninger for området, sammenheng med overordnet hovedsystem og dimensjonere og vise overvannshåndtering og flomveier. Nedbør skal fortrinnsvis gis avløp gjennom infiltrasjon i grunnen og i åpne vannveier. Reguleringsplaner skal identifisere og sikre arealer for overvannshåndtering, og beskrive hvordan løsningene kan gi nye bruksmessige og visuelle kvaliteter til det offentlige rom.

Det er altså krav om detaljerte planer og beskrivelser for håndteringen av VA-relaterte faktorer i en utbygging [62, p. 15]. En ny arealplan er for øvrig under utarbeidelse [63], men ingenting særskilt foreligger i dette området per dags dato.

I problemstillingen fokuserer vi på bærekraft og at det skal være praktisk i bruk – da er det positivt at noe av vannet blir i området uten at det er til ulempe for beboere eller infrastruktur, slik at det kan infiltrere ned i grunn uten å måtte fraktes i rør. Dette sparer kommunen både i form av mindre kostnader til rør og anleggsarbeid, samt energi som brukes i renseanleggene.

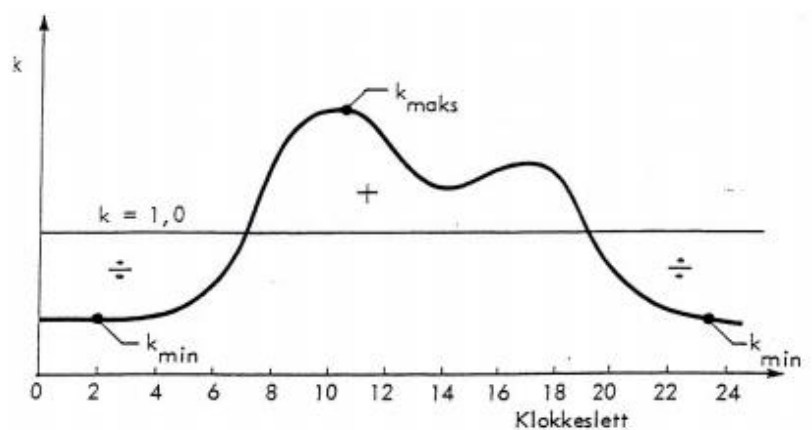


### 3.4 Dimensjonering av spillvann

Dimensjonering av ledninger for spillvann (brukt vann fra hus) krever kjennskap til noen faktorer. Disse inkluderer:

- Dimensjonerende spillvannsmengde  $Q_{s\ max}$ , er basert på antall personekvivalenter (PE) som skal bidra med bruk av vann. Det inkluderer vann til dusj, bad, toalett og annet som ender opp i avløpsrørene ut fra husene. Dette forbruket oppgis i middelvannmengden  $Q_{midl}$  l/s, og er ifølge Bergen kommunes «Hovedplan for vannforsyning 2015-2024» satt til 150-170 l/PE \* d (liter per PE gange døgn) [64, p. 39]. Vi velger 170 l/PE for sikkerhets skyld. For prosjektområdets del skal det tas hensyn til ca 350 innbyggere.
- Det må også tas hensyn til eventuell industri og næring. Herunder faller, for prosjektområdets, en skole med elever og lærere/ansatte. Disse uttrykkes med en egen faktor for industri  $Q_{ind}$  som settes til hhv 40 og 80 l/PE\*døgn etter anbefalinger i *Norsk Vann rapport 193*, tabell 4.2.1 [65].
- Eventuell lekkasje oppgis ved  $Q_{lekk}$  og er satt til 200 l/PE \* d. Dette med bakgrunn i tall fra *Hovedplan for vannforsyning*, der samlet forbruk inkludert lekkasje oppgis til 349 l/PE \* døgn (2014) [64, p. 7]. Med et tidligere begrunnet valg av 170 l/PE i forbruk gjenstår da (349 – 170 = 179 l som vi for sikkerhets skyld runder opp til 200 l/PE \* døgn. Dette er også i tråd med veileder Karoline Hamnes<sup>4</sup> sitt råd [28, p. 7].
- Fallgradient, altså hvor bratt det er i grøften der ledningen planlegges. For avløp er selvfølgelig mot renseanlegg det foretrukne, for å i størst grad la tyngdekraften gjøre jobben og unngå bruk av pumper.
- Hvilken trasé som skal velges.

Det vil som regel være variasjoner i hvor mye spillvann som går i ledninger, basert på hvilken tid det er på døgnet. En grafisk fremstilling som vist i Figur 15 illustrerer dette [66, p. 101]. Folk sover som regel på natten, dusjer gjerne om morgenen og lager middag på ettermiddagen. Variasjonene vil være større i områder med få mennesker som bor der, mens det i større tettsteder og byer er mindre variasjoner – som illustrert ved døgn- og timefaktorer i «Vann- og avløpsteknikk» tabell 11.1 [1, p. 303]. Her er døgnfaktorens tallverdier for eksempelvis campingplasser satt til 2,0-4,0, mens det for byområder er satt til 1,3-1,5. Dvs. *mindre* variasjoner når antall PE øker.



Figur 15 - Timevariasjon i vannforbruk fra kompendium i *Vann og Miljøteknikk ved NTNU*. (Institutt for vann og avløpsteknikk NTNU)

<sup>4</sup> Januar 2019

Prosjektområdet er i så henseende å betrakte som et lite område hva spillvann angår, da det ikke kommer avløpsvann inn fra andre områder og total antall PE er rett i overkant av 900. Man bruker faktorene  $f_{max}$  og  $k_{max}$  til å beregne døgnvariasjonene og finne når det kan forventes størst vannføring i røret. De er hhv maksimal døgnfaktor og maksimal timefaktor. Disse er kombinert i én faktor, basert på VA/Miljøblad 115 – og satt til tallverdien 5.0 [67].

Formel for  $Q_{s\ max}$  :

$$Q_{s\ max} = \frac{Q_{midl} * PE * 5.0}{86400s} + \frac{Q_{lekk} * PE}{86400s} + \frac{Q_{ind} * PE_2}{86400s}$$

$Q_{midl}^5$ ,  $Q_{lekk}^6$  og  $Q_{ind}^7$  er verdier som gis i liter per PE \* døgn. Hvert ledd i regnestykket deles på 86400, som er antall sekund per døgn. Svaret som fås her danner grunnlaget for dimensjonering og valg av avløpsrør, sammen med faktoren fallgradient. Med dimensjonerende vannføring i l/s og fall-% kan man finne ut hvilke rør som det bør prosjekteres for ved hjelp av et Colebrook-diagram, som vi kommer tilbake til senere.

### 3.4.1 Metode for dimensjonering

Vi deler også her inn i soner, basert på en helhetlig vurdering av området, og dimensjonerer avløpsrør iht behov. Vurderingen går ut på å se på løsninger som eksisterer i dag og hvordan de kan samles til et nytt forslag hva spillvann angår. I tillegg må vi vurdere normer og standarder, samt minstemål og eksisterende løsninger for å sammenligne med det vi kommer fram til i våre utregninger. Siden vårt anlegg ikke mottar avløp fra andre områder ut over noen få ekstra husstander, er det som et startområde å regne. Spillvannsmengdene blir da meget små, med det resultat at det trolig vil bli en kraftig overdimensjonering av rørene, siden minstekravet for kommunal spillvannsledning i Bergen er 150 mm [68].

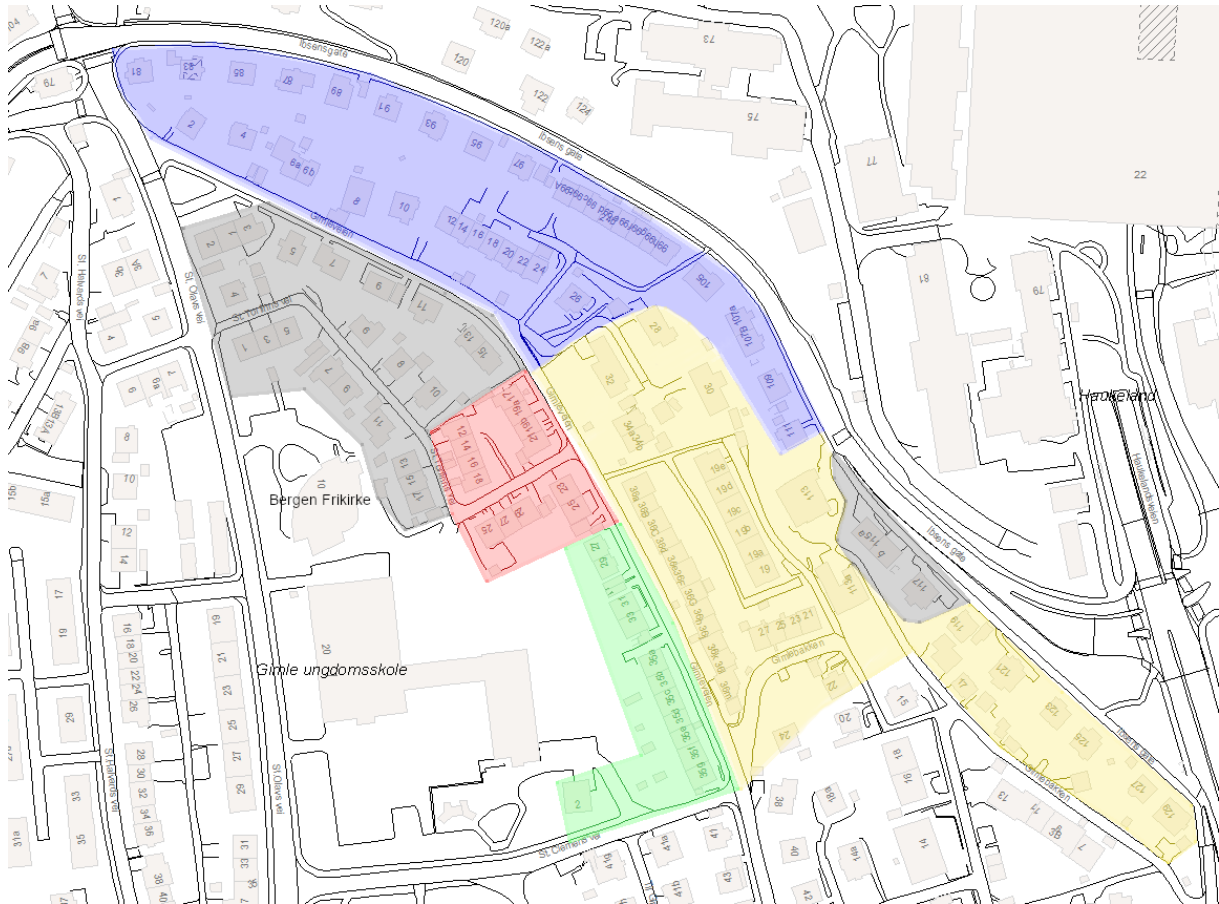
Vår prosjektoppgave tar for seg prosjektering og dimensjonering av den kommunale delen av systemet, og vil ikke ta for seg de private stikkene som fører ut i det. Ved eventuell realisering av rørfornyning i området, bør det tas en vurdering om det skal anbefales utskiftning av de private stikkene. En slik vurdering må ta hensyn til praktisk plassering av disse i forhold til et nytt anlegg samt tilstanden til rørene.

<sup>5</sup>  $Q_{midl}$  = Middels vannforbruk i liter per person per dag

<sup>6</sup>  $Q_{lekk}$  = Lekkasje mengde i liter per person per dag

<sup>7</sup>  $Q_{ind}$  = Industrielt vannforbruk i liter per person per dag

For spillvannsberegning har vi måttet utvide prosjektområdets avgrensninger med noen få husstander langs veikrysset sør for Haukeland Universitetssjukehus, på grunn av tilknytninger til det eksisterende avløpsnett. I tillegg er noen soner utelatt da de har tilknytning til avløpsnett som går til andre områder, og som det ikke er praktisk å prøve å innlemme i vårt prosjekt. Disse er markert i



Figur 16 - Soneinndeling for spillvann

grått. De resterende, aktuelle sonene er da blå, gul, rød og grønn sone, samt beregning for Bergen Frikirke og Gimle Ungdomsskole, som begge knytter seg til nettet nær slutten av prosjektområdet der vi tenker at spill- og overvannsledninger skal ha sitt utløpspunkt.

### 3.5 Colebrook-diagram

Et Colebrook-diagram kan leses av for å finne forskjellige parametere (mulig vannføring  $Q$  i l/s, nødvendig fallgradient/trykktap i ‰ eller hastighet i m/s) basert på hvilke data som foreligger fra før.

Det er basert på Colebrooks-formelen:

$f$ = friksjonskoeffisienten (dimensjonsløs)	$f^{-\frac{1}{2}} = -2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{\text{Re} \cdot f^{\frac{1}{2}}} + \frac{k}{(3,71 \cdot D)} \right)$	[1, p. 308]
$k$ = absolutt ruhet (mm)		
$D$ = Innvendig diameter i ledningen (m)		
$v$ = vannhastigheten (m/s)		
$\vartheta$ = kinematisk viskositet (m <sup>2</sup> /s)		
	$\text{Re} = \frac{D \cdot v}{\vartheta}$ (Reynolds tall)	

På grunn av dens kompleksitet, er det utarbeidet diagrammer for å forenkle bruken av metoden, som vist i Colebrook-diagrammet i Vedlegg 1.

I vårt tilfelle blir vannføring  $Q$  utregnet som beskrevet over, og en ny fallgradient ‰ for selve rørene kan regnes ut ved hjelp av høyde- og lengdedata som er disponible. I tillegg skal en velge en ruhetsverdi  $k$ . Denne verdien er konstant for hvert diagram en benytter, basert på ledningsstrekets art (strakt, med sving, samt om det er tilkoblinger langs den) [1, pp. 308-309]. Vann- og avløpsetaten i Bergen sin praksis er å benytte verdien  $k=1.0$  mm for utregninger av denne art, og vi benytter samme verdi [61].

På venstre side av Colebrook-diagrammet leser man av den dimensjonerende vannføringen  $Q$ , mens man leser av fallgradient/trykktapet i bunnen av diagrammet. I krysningspunktet til hhv den horisontale og vertikale linjen til disse lander man i et område der man kan lese av nødvendig indre dimensjon på rør langs de diagonale strekene med verdier fra 50 til 3000 mm, stigende nede fra høyre opp til venstre. Man runder alltid opp fra krysningspunktet til nærmeste standard-dimensjon oppgitt langs diagonalene, for sikkerhets skyld og for å unngå underdimensjonering.

### 3.6 Dimensjonering av vannrør

Dimensjoneringen av vannledninger baserer seg på antall brukere samt størrelse på rør som ligger der fra før. Rørene som skal skiftes ut er fra 1930-tallet, og er av typen grått støpejern. Som tidligere beskrevet i punkt 2.6, er dette et sprøtt materiale som ofte går til brudd, og som i nyere tid er erstattet med duktile støpejernsrør. Dette er et seigere materiale som kan bevege seg mer før det går til brudd. I VA-norm for Bergen, punkt 5.6, er dette materialet det som normalt skal brukes [69].

Etter instruksjoner fra senioringeniør i Vann- og avløpsetaten, Zlatko Cemalovic<sup>9</sup>, har vi fått beskjed om at eksisterende dimensjoner skal benyttes på nye rør da det ikke er behov for å endre på disse. Vannforsyningen i området er ikke en aktuell del av problemstillingen, men utskiftning av rør er tatt med da det er en god anledning for fornying da det uansett skal graves i gatene. Rørene nærmer seg 90 år i alder, og det er da en fin anledning å skifte dem ut [70].

Rørene har en dimensjon på 300 mm, samt et lite strekk på 150 mm. Minstedimensjon ihht Bergens VA-norm er 100 mm, 150 mm hvis vann til brannslukking skal inkluderes [71], noe tilfellet er her i vårt prosjektområde.

---

<sup>9</sup> Februar 2019

### 3.7 3D-prosjektering

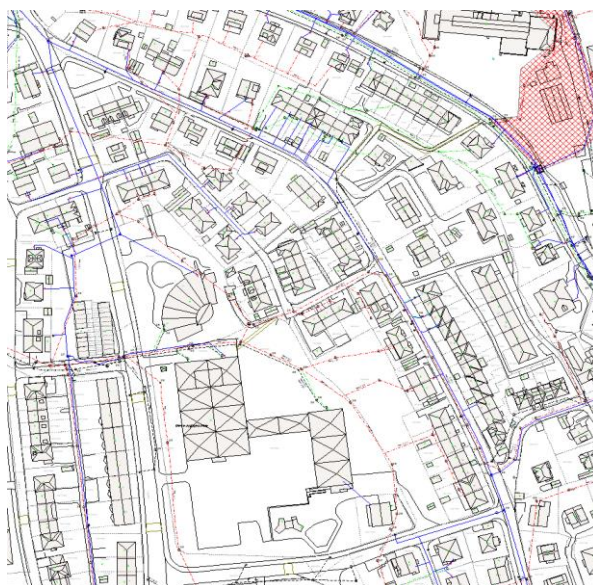
Basert på behovene vi kommer frem til hva overvann, spillvann og vann angår, vil vi deretter se på plasseringen av rør, ledninger og utstyr. Med problemstillingen tatt i betraktning ser vi på hvilke praktiske og kostnadseffektive løsninger som er å foretrekke. Jo mer en kan samle i ett ledningsstrek, jo mindre beløper det seg til kostnadsmessig. I tillegg ønsker kommunen minst mulig graving, og bruk av NoDig der dette er mulig [72]. Prosjektområdet gater er trange og anleggsarbeid krever stenging av gater og tiltak for trygg ferdsel i anleggsperioden. I forbindelse med prosjekteringen av vann- og avløpsnett har vi tatt i bruk modelleringsverktøy for å få et bedre innblikk i om løsningene vi velger er gjennomførbare og for å lære programmene som blir brukt i bransjen.

Etter at Vianova Systems (nå Trimble) i 2012 lanserte sin nye BIM-løsning har denne etter hvert løst den tekniske utfordringen med modellering og samhandling. Novapoint og Quadri har nærmest blitt bransjestandarden i Norge når det gjelder prosjekteringsverktøy.

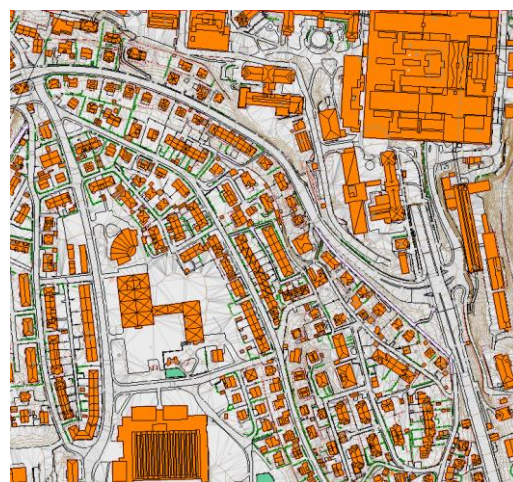
-Erlend Sand, BIM-koordinator og VA-ingeniør i COWI Bergen [73].

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er en måte å planlegge og gjennomføre byggeprosesser på ved hjelp av digitale verktøy. BIM knytter enklere sammen de ulike bidragsyterne, som byggherre, entreprenør, rådgivende ingeniør, ulike tekniske fag og offentlige myndigheter under byggeprosessen og gjennom det utførte arbeidets levetid. Ved å samle informasjon i en BIM-modell kan de ulike aktørene lettere planlegge arbeidet, se endringer som er gjort av andre og oppdatere sitt eget arbeid underveis. Novapoint og AutoCAD er to programmer som brukes i arbeidet med BIM, og som vi benytter til å prosjektere med. AutoCAD er et tegneprogram brukt verden over som kan prosjektere i 3D, men kan hovedsakelig visualisere i 2D. Novapoint bruker innmålte og prosjekterte data for å modellere overflater og masser i 3D og er et av de mest brukte prosjekteringsverktøyene for veg- og infrastrukturprosjekter i Norge.

Vi har i dette prosjektet brukt en kombinasjon av disse verktøyene for å generere modeller av det arbeidet entreprenørene skal utføre. Figur 17 viser hvordan Gemini VA illustrerer noe av informasjonen om ledningsnett som ligger i grunnen, høyder på ulike elementer, koblingspunkt mm. De blå strekene viser vannledningene, de røde viser felles avløpsledningene og de grønne viser spillvannsledningene. Ved hjelp av Gemini VA har vi fått hentet ut SOSI-filer som gir datagrunnlaget som Novapoint genererer et terreng ut i fra. På Figur 18 kan man se en 2D planpresentasjon av området med terreng og bygninger.



Figur 17 – Utklipp fra Gemini VA.



Figur 18 – Utklipp fra Novapoint

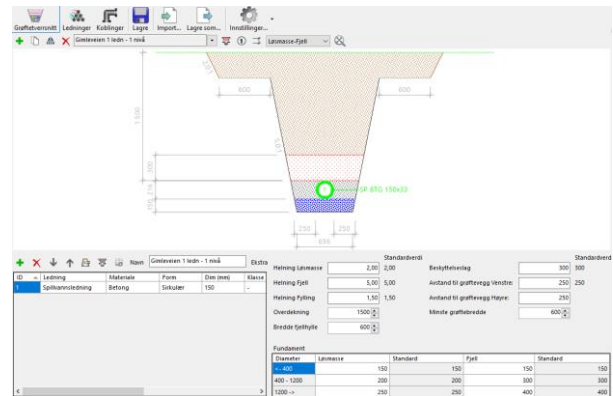
Når terrenget er generert hentes kartgrunnlaget ut fra Novapoint som en DWG-fil og settes inn i AutoCAD som en ekstern referanse. Med det kan vi i AutoCAD tegne hjelpelinjer der traséen skal gå.

Novapoint og dets VA modul er koblet opp mot AutoCAD slik at grøftesnitt kan tilpasses med hvilke ledninger en vil ha, materialtype, overdekning, ulike mål, helning på skjæring mfl. Man tegner hjelpelinjer i trase retningen som blir valgt som linjer å følge og AutoCAD tegner inn grøftesnittet slik som det er vist i Figur 20.

Grøftetverrsnittet er tegnet inn langs traséen, men det er fremdeles mye som skal justeres. Ettersom terrenget endrer seg vil fallet på ledningene variere og skape utfordringer i forhold til krav til overdekning og fall etter Bergen Kommunes VA-norm [74]. Høyder må justeres og kryssende ledninger må legges opp slik at de ikke kolliderer og opprettholder krav til minimumsavstand. I tillegg legger vi til grunn et krav om minimum 10 ‰ fall på spill- og overvannsledningene for å oppnå krav til selvreis ihht VA/Miljø-blad 79 [75]. Hvis fall er mindre enn dette må det dokumenteres selvreis vha skjærkraftberegninger. Dette er også i tråd med Bergen Kommunes VA-norm [76], og anbefalinger fra veileder Karoline Hamnes<sup>10</sup> [61].

Underveis kan ledningene beregnes inn i Novapoint og det kan vises i 3D for å lettere se hvordan resultatet blir prosjektert. I Figur 21 er noen ledninger beregnet inn og enkelte av de visuelle lagene er deaktivert for å få et innblikk i hvordan ledningene kan se ut under bakkeplan. Til slutt vil det som er prosjektert bli presentert i plan og profiltegninger i tilsvarende stil som det ville ha blitt i et offentlig konkurransegrunnlag.

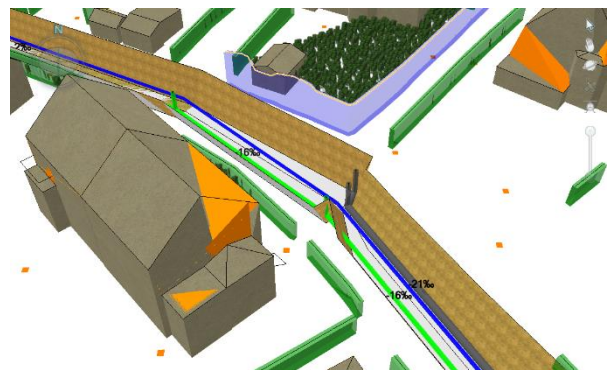
Under utdanningen har vi fått jobbe noe med Novapoint, men vi har ikke hatt noe større innføring i AutoCAD annet enn et raskt dagskurs med en bratt læringskurve i det første av våre seks semestre på Høgskulen på Vestlandet. Vi har derfor måtte bruke en del tid på å lære oss AutoCAD, samt VA-modulen til Novapoint. Heldigvis har vi fått god hjelp av Karoline Hamnes med innføring i hvordan bransjen prosjekterer med 3D-verktøy. Vedlagt oppgaven er plan og profiltegninger av de



Figur 19 - Konfigurasjon av grøftesnitt.



Figur 20 - Prosjekterte ledninger i AutoCAD.



Figur 21 - Prosjekterte ledninger i Novapoint.

<sup>10</sup> Mars 2019

prosjekterte løsningene som er utarbeidet etter metoden beskrevet i 3.7 3D-prosjektering. Disse tegningene er eksempler på tegninger som blir brukt i anbudsdokumenter, og må forstås av en som er teknisk kyndig innen emnet. Vi har lagt dem ved for å få et helhetlig bilde av hvordan dette arbeidet skal utføres.



### 3.8 Metoder for legging av rør

NoDig er en nyttig gravefri løsning som reduserer anleggstid og ulempe for berørte parter. I Bergen gjennomføres 68 % av ledningsfornyingen med denne formen for fornying [28, p. 35], og det er en praktisk metode for ledninger og rør som går fra én kum til en annen. Man utbedrer og fornyer et rør ved å behandle det innenfra, enten ved strømpe med epoxy som føres inn og herdes ved luft eller varmt vann, ved innsprøyting av belegg som tetter brudd eller ved utblokking av gammelt rør med nye rør. Adkomsten til røret gjøres fra kum med tilgang fra bakkeplan. Så lenge man har en «uforstyrret» rørstrekning, uten anboringer eller avgreininger, er dette en god metode – noe graden av bruk i Bergen kommune illustrerer godt. Åpen grøft er en annen metode hvor det kort fortalt blir etablert en ny grøft hvor rørene blir lagt. Det er en større operasjon hvor graving, fundamentering, sidefylling m.m må gjennomføres for å legge ned nye rør.

Ulempen i prosjektområdet er at hvert strekk mellom kummene som regel har flere stikk og anboringer som ikke ligger tilgjengelige i kummene, noe som nødvendiggjør graving da rørfornyning ved hjelp av gravefri metoder ikke er hensiktsmessig ettersom man må grave seg ned der andre ledninger skal inn på den nye ledningen. I tillegg er graving nødvendig i så å si hele prosjektområdet, da vi planlegger å legge ned nye overvannsrør der ingen eksisterer fra før. En masteroppgave av Bjørn Solnes Skaar ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet, *Fornyingsstrategi for vann- og avløpsnett og bærekraftanalyse for rehabilitering av vannledninger*, tar for seg ledningsfornyning i et bærekraftsperspektiv. Han konkluderer med at en helhetlig tilnærming for fornying er nødvendig, og at noen ganger kan full oppgraving være mest fordelaktig kontra metoder som faller inn under NoDig-konseptet [77, pp. 94-96].

### 3.9 Avgrensninger av oppgavens omfang

Utenom hvilken metode for legging av rør som skal benyttes, har vi valgt å ikke se på den praktiske gjennomføringen av anleggsarbeid, da vi har måttet begrense oppgavens omfang.

### 3.10 Andre tiltak

God overvannshåndtering i urbane strøk kan oppnås gjennom løsninger som i størst mulig grad opprettholder den naturlige vannbalansen i området (naturlig tilstand). Slike løsninger kan betegnes «Lokal overvannshåndtering» (LOH). Gode helhetlige løsninger forutsetter også en hydrologisk orientert arealplanlegging. - Bergen kommunes retningslinjer for overvannshåndtering. [78]

Hensikten med dette prosjektet vil være å håndtere overvannet på en bærekraftig måte, og da må det gjøres en helhetlig vurdering i hvor stor grad man kan håndtere overvannet lokalt. Nøkkelordene her vil være infiltrasjon og fordrøyning.

Det må sørges for at vann som samles i takrenner ikke videreføres til avløpsnett. Dette kan, som nevnt tidligere, infiltrere mest mulig lokalt – i hager og øvrig grøntareal. Dette kan observeres ved de enkelte hus, der takrenner samles i ett rør som føres ned i grunn. Huseiere kan, ved anlegging av nye separate rør i veien, pålegges å kappe disse rørene ved



Figur 22 - Eksempel på takvann ned i grunn (Google Streetview)

bakkeplan, dersom det er forsvarlig. Det må tas hensyn til omkringliggende situasjon, om terrenget rundt er permeabelt eller ei.

Et tiltak kan også være å opprette et fordrøyningsmagasin, for å «mellomlagre» overvannet. Dette kan gjøres enten med et åpent basseng som f.eks. dammer og naturlige søkk i terrenget, eller med et lukket basseng som f.eks. nedgravde konstruksjoner og steinfyllinger. Prosjektområdet vårt består hovedsakelig av private eiendommer og Gimle ungdomsskoleskole, og ettersom at et fordrøyningsanlegg krever en del plass ville det mest logiske vært å plassere et slikt basseng på skolens område, men det er andre utfordringer knyttet til dette. Et åpent vannspeil kan ha estetiske kvaliteter for området, men vil bruke av det allerede lille utearealet som en skole nært sentrum har, i tillegg til drukningsfarene knyttet til at barn vil oppholde seg der daglig. Et lukket basseng vil ikke bruke noe av utearealet, men det er kostnader knyttet til byggingen i tillegg til at det må vurderes å opprette en rutine for spyling og slamsuging av magasinet.



*Figur 23 - Eksempel på takvann ned i grunn (Google Streetview)*

Som følge av områdets store infiltrasjonsevne pga. andel grønt areal, samt det at flomfaren ikke får spesielt store konsekvenser ser vi ikke på det som nødvendig eller spesielt gunstig å opprette noe kunstig fordrøyningsmagasin for dette området.



*Figur 24 - Plenareal ved Gimle Ungdomsskole (Google Streetview)*

### 3.11 Mulige feilkilder

Dette kapitlet tar for seg de forskjellige feilkildene vi må ta hensyn til i arbeidet med oppgaven.

#### 3.11.1 Områdets geografiske avgrensning

En del av beregningene baserer seg på arealmål, som eksempelvis overvannsberegningene i den rasjonelle metoden. En mulig usikkerhet her er arealmål som er anslått, og hvorvidt de er 100% riktige basert på de faktiske forhold i prosjektområdet. Vi mener at det er tatt høyde for eventuelle undervurderinger her da det i metode- og resultatkapitlet hele tiden blir rundet *opp* til nærmeste standard hva overvannsrør angår for å være på den sikre siden.

#### 3.11.2 Avrenningskoeffisient

I valg av denne parameteren gis det rom for vurdering. Den rasjonelle metoden er som nevnt en omtrentlig tilnæringsmetode, og denne koeffisienten er en del av usikkerhetene som det må tas høyde for. Det vil være praktisk umulig å sjekke hver bidige kvadratmeter i et område for hvor stor grad av permeabilitet det er, eller hvor vannmengder vil samle seg, infiltrere eller renne videre. Til dette har man som nevnt tidligere mer nøyaktige datamodelleringer som krever atskillig større tid og datagrunnlag enn metodene vi har brukt.

#### 3.11.3 Usikkerhet med vær og klima, frost og snø

Snø, frost og kulde kan påvirke et område sin evne til å infiltrere vann, samt hvordan vann renner nedover. Ved store snømengder kan det tette seg til og endre avrenningssituasjonen når været snur til plussgrader og regn.

En annen usikkerhet er nedbørsdataene. For prosjektområdets del er Florida målestasjon i sentrum atskillig nærmere enn Sandsli, men som nevnt tidligere er sistnevntes datagrunnlag mer robust enn førstnevntes. Likevel kan det være store variasjoner hva nedbør angår, da intensitet kan være større enn hva erfaringstallene hittil har dannet et datagrunnlag av.

#### 3.11.4 Datagrunnlag

Vi har brukt kommunens dataressurser i våre 3D-modelleringer. En mulig kilde til feil her er utdaterte innmålinger, manglende målinger og endringer i faktiske forhold som ikke er reflektert i databasen.

## 4. Resultat

I dette kapitlet ser vi på de forskjellige funn vi har kommet fram til. Vi presenterer utregninger og drøfting om overvann, spillvann og vann til bruk – i tillegg ser vi på hvordan de forskjellige rørene skal plasseres i grunnen ved hjelp av 3D-modellering. Med utgangspunkt i problemstillingen, vil vi begrunne de valg som foretas basert på faglig data, faktiske forhold i prosjektområdet samt råd fra veiledere.

Problemstillingen:

*Hvordan prosjektere et nytt, bærekraftig spill- og overvannssystem i et nabolag med mye nedbør og utfordringer med overvann?*

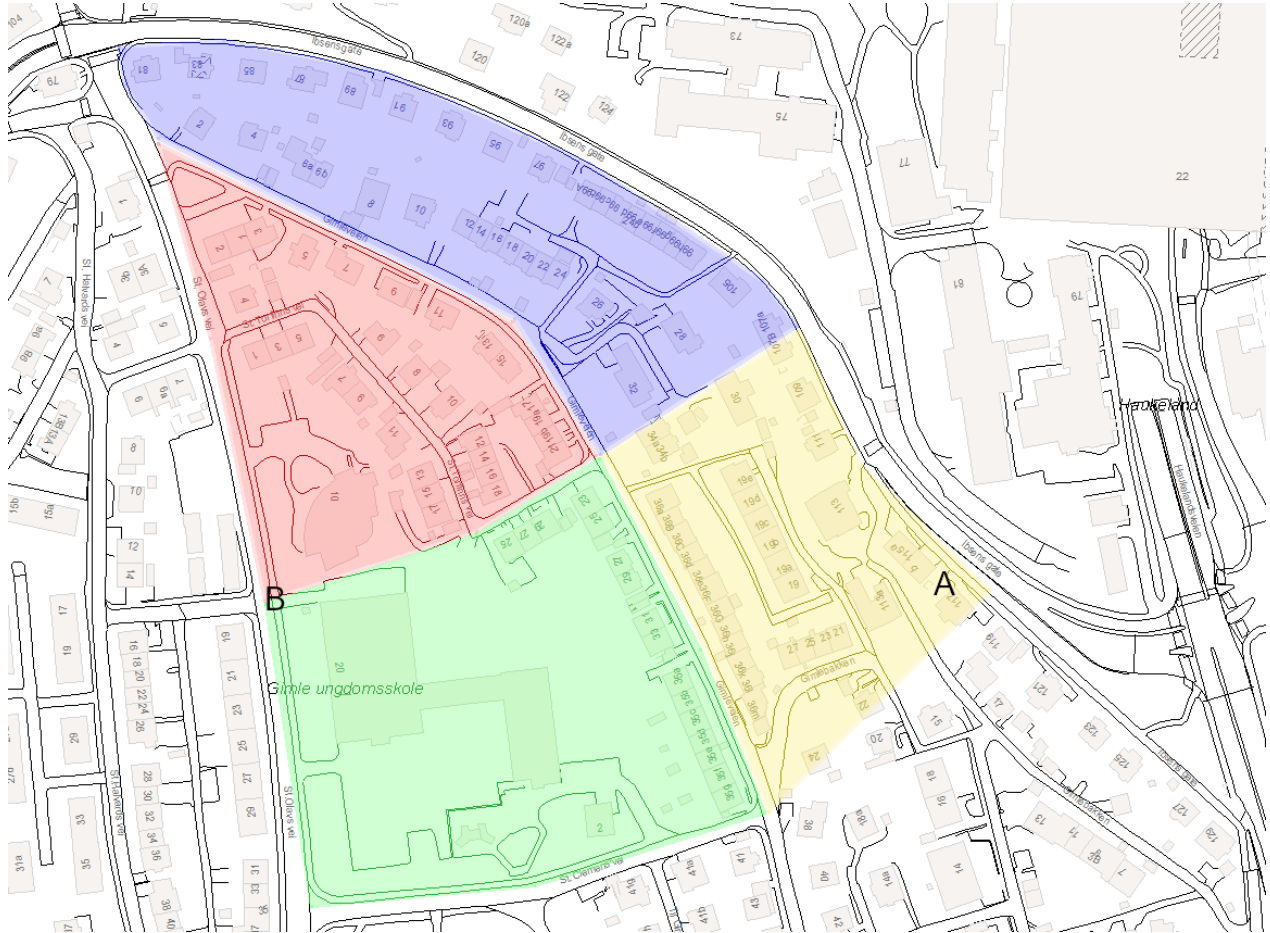
*Delproblemstillinger:*

- Hvordan kan nok fall på ledningene sørge for selvrens?*
- Hvordan få plass til nye rør og samtidig oppfylle dagens tekniske krav?*
- Hvilken metode for legging av rør er mest hensiktsmessig?*

## 4.1 Overvannsmengder i prosjektområdet

Her tar vi for oss problematikken knyttet til overvann, hvordan utregningene blir foretatt samt hvordan vi kan velge løsninger som kan løse utfordringene med overvann.

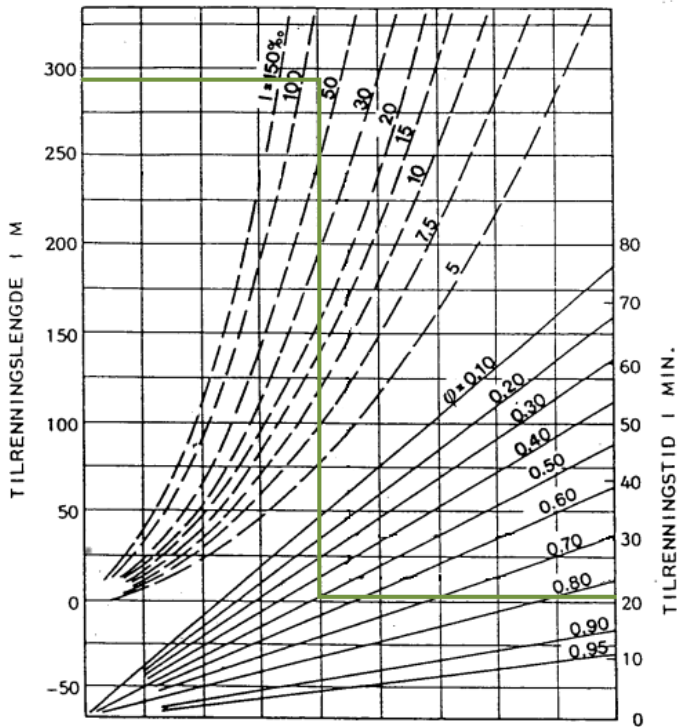
### 4.1.1 Dimensjonerende nedbørsmengde i prosjektområdet sett under ett



Figur 25 - Overvann for alle delfelt

Den rasjonelle metoden:  $Q = \varphi * A * I * kf$

- Avrenningskoeffisienten  $\varphi$  settes til 0,50 - dette fordi området karakter er av en slik art (eneboliger, få rekkehus, mye grøntareal) at dette er en fornuftig verdi.
- Arealet  $A$  er målt til 6,5 ha.
- Nedbørintensiteten  $I$  beregnes:  
Avstand mellom toppunkt A til bunnpunkt B – ca 290 meter. Høydeforskjell er 45m – 23m = 22m  
Fallgradient =  $22m / (290m / 1000) = 76 \text{ ‰}$   
Avlesning i Figur 26 gir en tilrenningstid på i overkant av 20 minutter for hele området. Dette tas inn i IVF-kurvediagram i Figur 27 med returperiode 10 år som beskrevet i metode.  
Dimensjonerende nedbørintensitet  $I$  leses av til ca 105 l/s\*ha
- Klimafaktor  $kf$  settes til 1,3



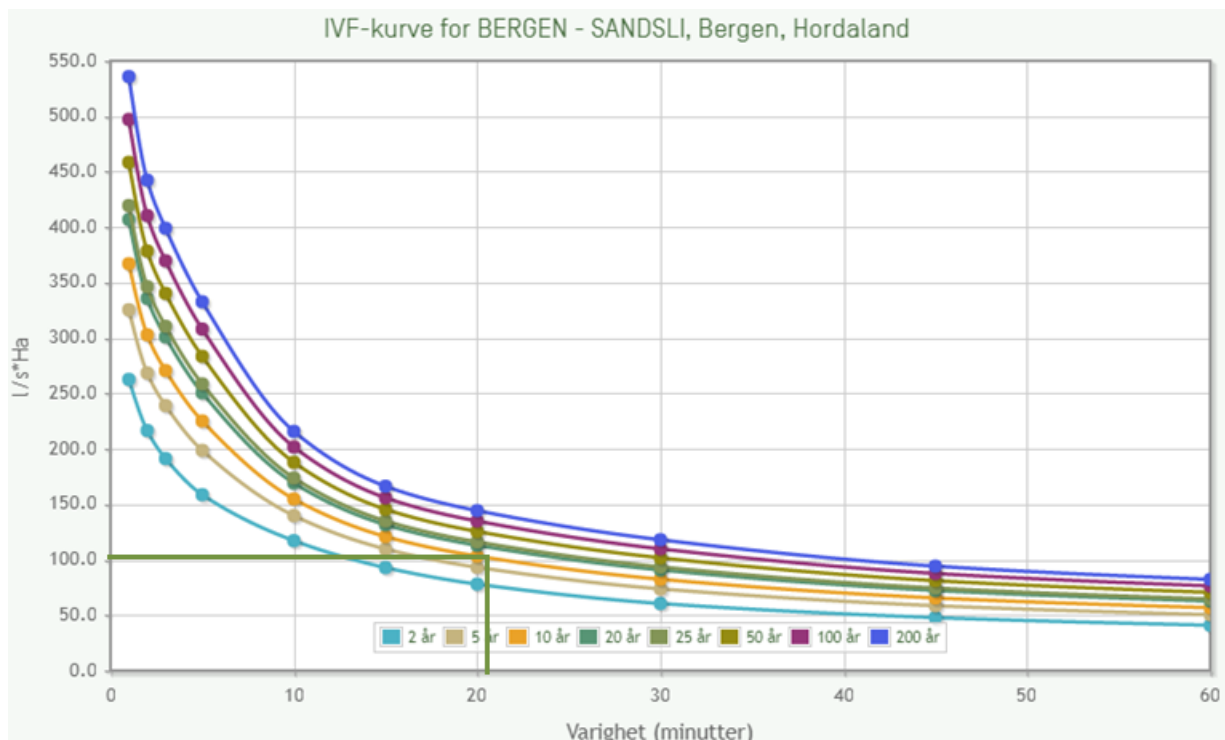
Figur 26 - Avlesning av tilrenningstid, komplett felt

Avrenning for hele området blir da:

$$Q = 0,5 * 6,5 \text{ ha} * 105 \text{ l/s*ha} * 1,3 =$$

**444 l/s** – tilsvarende 0,44 m<sup>3</sup> per sekund. Mengden vann som dermed må føres ut av området i en gitt situasjon som illustrert over, med forventet økning i nedbørintensitet pga klimaendringene, blir da 0,44 kubikkmeter per sekund.

Eksisterende overløpsledning ut av prosjektområdet er et betongrør, 1000 mm bredt indre diameter (DN), lengde 23,85 m og med et fall på 0,4 ‰. Avlesning i et Colebrook-diagram gir en kapasitet på ca 500 l/s, tilsvarende 0,5 kubikkmeter per sekund, og er således dimensjonert for den første overslagsberegningen for området sett under ett (500 l/s > 444 l/s).



Figur 27 - IVF-kurve for målestasjon Bergen Sandsli, basert på perioden 1981-2019

Et fall på 5‰, altså 12 cm på samme lengde 23,85m, ville ha gitt en kapasitet på i underkant av 1800 l/s, som vist i Vedlegg 2, tilsvarende 1,8 kubikkmeter per sekund og dermed enda bedre rustet for eventuelle økninger i overvann for fremtiden. Det illustrerer viktigheten av fall hva kapasitet angår.

#### 4.1.2 Dimensjonerende nedbørsmengde i soneinndelt prosjektområde

De neste punktene tar for seg prosjektområdet delt opp i fire delområder og vurdert med den rasjonelle metoden, og overvannet som beregningsmessig kan forventes her. Feltenes areal er skravert med farger, fargede piler markerer terrengets fall, svart pil markerer antatt overvannstrasé, bokstaven A markerer feltets startpunkt og symbolet stjerne markerer utløpspunkt. Det er faktoren nedbørintensitet  $I$  som må beregnes for hvert felt her, de andre faktorene er kjent. Gjentakintervall på IVF-kurve velges til 10 år som begrunnet i metodekapitlet.

Hvert underkapittel har figurer referert i vedlegg. Én figur som viser det aktuelle arealet som det beregnes for, en figur der tilrenningstid leses av og en figur der dimensjonerende nedbørintensitet leses av.

##### 4.1.2.1 Felt 1 – Blått felt $Q_1$

Se figurer i Vedlegg 3 – Overvannsberegninger blått areal.

- Avrenningskoeffisient blått felt  $\varphi = 0,50$
- Areal  $A = 1,7 \text{ ha}$
- Nedbørintensitet  $I = 95 \text{ l/s*ha}$

Avstand A-utløpspunkt : 238 m, høydeforskjell A-B : 8 m.

Fallgradient :  $8\text{m}/(238\text{m}/1000) = 34 \text{ ‰}$

Avlesning gir en tilrenningstid på ca 23 minutt.

Videre gir dette en dimensjonerende nedbørintensitet ved avlesning av IVF-kurve. Denne leses av til ca  $95 \text{ l/s*ha}$ .

- Klimafaktor  $k_f$  er gitt.  $k_f = 1,3$

$$Q_1 = 0,50 * 1,7 \text{ ha} * 95 \text{ l/s*ha} * 1,3 = 105 \text{ l/s}$$

##### 4.1.2.2 Felt 2 – Gult felt $Q_2$

Se figurer i Vedlegg 4 – Overvannsberegninger gult areal.

- Avrenningskoeffisient gult felt  $\varphi = 0,50$
- Areal  $A = 1,3 \text{ ha}$
- Nedbørintensitet  $I = 125 \text{ l/s*ha}$

Avstand A-utløpspunkt : 172 m, høydeforskjell A-B : 19 m.

Fallgradient :  $19\text{m}/(172\text{m}/1000) = 110 \text{ ‰}$

Avlesning gir en tilrenningstid på ca 15 minutt.

- Videre gir dette en dimensjonerende nedbørintensitet ved avlesning av IVF-kurve. Denne leses av til ca  $125 \text{ l/s*ha}$ .

- Klimafaktor  $k_f$  er gitt.  $k_f = 1,3$

$$Q_2 = 0,50 * 1,3 \text{ ha} * 125 \text{ l/s*ha} * 1,3 = 106 \text{ l/s}$$

#### 4.1.2.3 Felt 3 – Rødt felt $Q_3$

Se figurer i Vedlegg 5 – Overvannsberegninger rødt areal.

- Avrenningskoeffisient rødt felt  $\phi = 0,50$
- Areal  $A = 1,4$  ha
- Nedbørintensitet  $I = 125$  l/s\*ha  
Avstand A-utløpspunkt : 178 m, høydeforskjell A-B : 7 m.  
Fallgradient :  $7\text{m}/(178\text{m}/1000) = 39 \text{ ‰}$   
Avlesning gir en tilrenningstid på ca 18 minutt.
- Videre gir dette en dimensjonerende nedbørintensitet ved avlesning av IVF-kurve. Denne leses av til ca 110 l/s\*ha.
- Klimafaktor  $k_f$  er gitt.  $k_f = 1,3$

$$Q_3 = 0,50 * 1,4 \text{ ha} * 110 \text{ l/s*ha} * 1,3 = 100 \text{ l/s}$$

#### 4.1.2.4 Felt 4 – Grønt felt $Q_4$

Se figurer i Vedlegg 6 – Overvannsberegninger grønt areal.

- Avrenningskoeffisient grønt felt  $\phi = 0,50$
- Areal  $A = 2,1$  ha
- Nedbørintensitet  $I = 125$  l/s\*ha  
Avstand A-utløpspunkt : 211 m, høydeforskjell A-B : 4 m.  
Fallgradient :  $4\text{m}/(211\text{m}/1000) = 19 \text{ ‰}$   
Avlesning gir en tilrenningstid på ca 25 minutt.
- Videre gir dette en dimensjonerende nedbørintensitet ved avlesning av IVF-kurve. Denne leses av til ca 90 l/s\*ha.
- Klimafaktor  $k_f$  er gitt.  $k_f = 1,3$

$$Q_4 = 0,50 * 2,1 \text{ ha} * 90 \text{ l/s*ha} * 1,3 = 123 \text{ l/s}$$

#### 4.1.2.5 Felt 1-4 sum

Felt	Dimensjonerende Q (l/s)
$Q_1$	105
$Q_2$	106
$Q_3$	100
$Q_4$	123
Sum alle felt:	434
Tilsvarende resultat området sett under ett:	444 (forskjell 10 l/s)

Vi ser det er et lite avvik på 10 l/s mellom resultatene for området når vi vurderte det som ett enkelt areal, og når vi delte det opp i delareal og regnet hver for seg. Det anser vi som en fin måte å kontrollere på, at det ikke kommer store avvik selv om oppdelingen av området er forskjellig.



## 4.2 Dimensjonering av overvannsledninger

Med bakgrunn i våre funn angående overvann, kan vi nå dimensjonere de nødvendige overvannsledningene for prosjektområdet. Dimensjoneringen avledningene baserer seg på avlesning av et Colebrook-diagram der ruhet  $k=1.0$  mm. Hvert underkapittel refererer til samme figur i vedlegg, der de forskjellige fargene markerer hvilke avlesninger som gjelder

### 4.2.1 Felt 1 – strekk tilknyttet blått felt

Se figur i Vedlegg 7 – Dimensjonering overvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, blå streker.

Av praktiske årsaker, samt kommunens ambisjon om fordrøyning og infiltrasjon av overvann i hager og grøntareal, planlegger vi å *ikke* legge en overvannsledning langs hele strekket i det blå delarealet. Det vil også ta hensyn til problemstillingen hva bærekraft og funksjonalitet angår. En viss mengde vann kan infiltreres i hager og renne langs grøftekanter uten at det er til unødig ulempe.

I stedet ønsker vi å starte overvannsledningen der det i dag er en eksisterende gatesluk, plassert ca 55 meter fra sluttpunktet av dette arealet. Det går i dag en 150 mm overvannsledning fra 1979 fra denne kummen, noe som trolig er underdimensjonert. Fallet fra denne kum til utløpspunkt er 1,2 m.



Figur 28 - Gammel kum og eksisterende overvannsledning (Google Streetview)

Lengde: 55m   Fall: 1,2m   Fallgradient: 22 ‰   Vannføring  $Q_1$ : 105 l/s

Avlesning i Colebrook-diagram gir her en nødvendig dimensjon mellom 250 og 300 mm indre dimensjon (diagonalstreker).

Vi runder da opp til nærmeste standarddimensjon.

**Nødvendig overvannsledning blått felt: 300 mm (betong)**

#### 4.2.2 Felt 2 – strekk tilknyttet gult felt

Se figur i Vedlegg 7 – Dimensjonering overvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, gule og svarte streker.

I det gule delarealet befinner det seg en eksisterende overvannsledning som kommer ned Gimlebakken fra områder oppstrøms, utenfor vårt prosjektområde. Den har en ukjent dimensjon oppstrøms, men er dimensjonert til 300 mm indre diameter der vi planlegger å starte vår nye overvannsledning. Ifølge rapport og bilde/videoopptak levert av Vitek Service AS på oppdrag for Vann- og avløpsetaten 23. juli 2014, er ledningen riktignok meget kraftig deformert innvendig, og burde skiftes ut for å være en pålitelig del av et framtidig overvannssystem.

Vi antar, for sikkerhets skyld, at dens tilførsel med overvann tilsvarer det som kan forventes fra en ledning med indre dimensjon 300 mm, lengde 29 meter og fall 0,8 meter, som om den var av tilfredsstillende kvalitet. Dette for å ta høyde for en eventuell framtidig reparasjon/utskiftning som vil kunne påvirke vårt system.

Lengde: 29m Fall: 0,8m Fallgradient: 28 ‰ Vannføring  $Q_{utenfor}$ : 170 l/s

Det gir altså ~ 170 l/s på ledning som kommer inn fra utenfor vårt prosjektområde.

Feltets eget bidrag til overvann  $Q_2 = 106$  l/s, legges til vannføringen utenfra.

Lengde: 135 Fall: 0,5m Fallgradient: 4 ‰ Vannføring  $170 + 106 = 276$  l/s

Avlesning gir her en nødvendig dimensjon mellom 500 og 600 mm indre dimensjon (diagonalstreker).

På grunn av usikkerheten knyttet til vannføring utenfra, samt etter råd fra veileder Karoline Hamnes<sup>11</sup> i etaten, velger vi å benytte 500 mm på dette strekket [61]. Det er som nevnt tidligere ingen egen overvannsledning per dags dato i dette området, da overvann føres inn på et felles avløpsrør her.

**Nødvendig overvannsledning gult felt: 500 mm (betong)**

---

<sup>11</sup> Februar 2019

#### 4.2.3 Felt 3+4 – strekk tilknyttet rødt + grønt felt

Se figur i Vedlegg 7 – Dimensjonering overvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, rødt og grønt strek.

Disse feltene er kombinert da de i stor grad påvirker samme planlagte overvannsledning. I tillegg får de tilført dimensjonerende vannmengder fra blått og gult felt.

Tilført fra:		Mengder tilført (l/s)
Blått felt	$Q_1$	105
Gult felt (inkludert utenfra)	$Q_2$	276
Egne mengder:		
Rødt felt	$Q_3$	100
Grønt felt	$Q_4$	123
<b>Sum</b>		<b>604</b>

Lengde: 146    Fall: 2,5m    Fallgradient: 17 ‰    Vannføring: 604 l/s

Avlesning av diagram gir en nødvendig dimensjon mellom 500 og 600 mm, med normalt sett nødvendig opprunding til 600 mm. På grunn av usikkerheten knyttet til vannføring utenfra til gult felt, samt råd fra veileder Karoline Hamnes<sup>12</sup>, velger vi å benytte 500 mm også her. Årsakene til dette er at siden vi nå planlegger å legge helt nye overvannsrør der det aldri har vært det før, og med det separere over- og spillvann, så gir det totalt sett området en kraftig opprustning hva kapasitet for vannføring angår. I tillegg er det kommunens strategi å ha mest mulig lokal infiltrasjon. Det kunne ha vært gjennomført vannføringsmålinger på overvann utenfra, men det er noe som gjennomføres over flere måneder. Det er kostbart, og dermed ikke aktuelt for vår oppgave, da overvannsrør utenfra uansett er kraftig skadet – som nevnt tidligere [61].

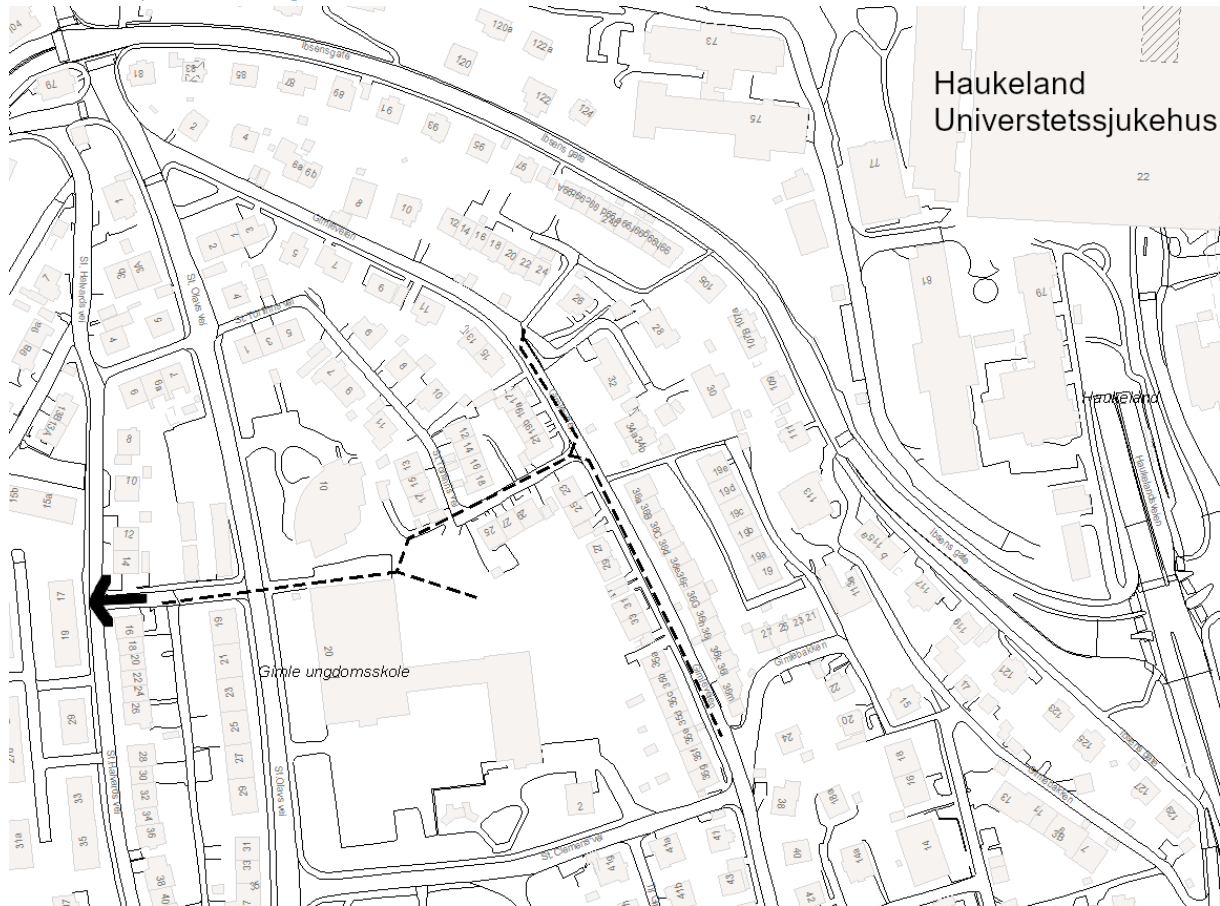
Det eksisterer per dags dato ingen egen overvannsledning langs dette strekket, da overvann og spillvann renner i én fellesledning på 300 mm. Med vår tiltenkte separasjon av spill- og overvann mener vi at vårt valg av dimensjon er tilstrekkelig, praktisk gjennomførbart og funksjonelt – i tråd med problemstillingen.

#### **Nødvendig overvannsledning rødt/grønt felt: 500 mm (betong)**

---

<sup>12</sup> Februar 2019

#### 4.2.4 Komplette ledningsnett overvannsrør



Figur 29 - Ledningsnett overvann, svarte stiplede linjer

Vi velger å dimensjonere et endelig ledningsnett for overvann som vist på Figur 29 - Ledningsnett overvann, . Eksisterende overvannsledning oppstrøms bidrar til vannmengdene, men det er ikke kjent hvilke vannmengder dette utgjør. I tillegg er ledningen kraftig skadet, som nevnt i Vitek-rapport under punkt 4.2.2. Våre forslag baserer seg på et framtidsscenario der nedbørsmengdene har økt med inntil 30%, og er en god oppgradering av overvannskapasitet sammenlignet med løsningene som eksisterer per dags dato.

Dagens løsning er at det eksisterende overvannet går inn på et avløpsrør (AF) på 300 mm. Med en separat ledning for overvann vil det frigjøre kapasitet for de nye spillvannsrørene vi ser for oss i området, og samtidig oppfylle kommunens krav om å separere spill- og overvann for å unngå unødig rens av overvann i rensanlegg. Overvannet renner ut av vårt område, videre til Solheimsvannet før det renner ut i sjø via Nordåsvannet. Vi anser denne løsningen i tråd med problemstillingens punkt om bærekraft da dette sparer energi og samtidig følger kommunens retningslinjer om overvannshåndtering.

### 4.3 Spillvannsmengder i prosjektområdet

Se figur i Vedlegg 8 – Spillvannsberegninger – inndeling av for soneinndeling.

Spillvannet vil akkumulere nedstrøms mot prosjektområdets utløpspunkt. Vi tar for oss de øvre feltene (blått og gult areal) først, og beregner deretter felt nedstrøms med disse feltenes spillvannsmengdene inkludert.

Formel:

$$Q_{s \max} = \frac{Q_{\text{midl}} * PE * 5.0}{86400s} + \frac{Q_{\text{lekk}} * PE}{86400s} + \frac{Q_{\text{ind}} * PE}{86400s}$$

#### 4.3.1 Felt 1 – Blått felt $Q_1$

Se figur i Vedlegg 8 – Spillvannsberegninger – inndeling av - blått felt.

For strekk tilknyttet blått areal er antall PE = 135 personer. Det er ingen industri i området.

$$Q_{s1 \max} = \frac{170l/PE*d * 135PE * 5.0}{86400s} + \frac{200l/PE*d * 135PE}{86400s}$$

$$\underline{Q_{s1 \max} = 1,64 \text{ l/s tilsvarende } 0,0016 \text{ m}^3/\text{s}}$$

#### 4.3.2 Felt 2 – Gult felt $Q_2$

Se figur i Vedlegg 8 – Spillvannsberegninger – inndeling av - gult felt.

For strekk tilknyttet gult areal er antall PE = 170 personer.

Det er ingen industri i området

$$Q_{s2 \max} = \frac{170l/PE*d * 170PE * 5.0}{86400s} + \frac{200l/PE*d * 170PE}{86400s}$$

$$\underline{Q_{s2 \max} = 2,1 \text{ l/s tilsvarende } 0,0021 \text{ m}^3/\text{s}}$$

#### 4.3.3 Felt 3 – Rødt felt $Q_3$

Se figur i Vedlegg 8 – Spillvannsberegninger – inndeling av - rødt felt.

For strekk tilknyttet rødt areal er antall PE = 51 personer.

Det er ingen industri i området. Feltet er nedstrøms blått og gult felt og mottar spillvann derfra.

$$Q_{s3 \max} = \frac{170l/PE*d * 51PE * 5.0}{86400s} + \frac{200l/PE*d * 51PE}{86400s}$$

$$\underline{Q_{s3 \max} = 0,62 \text{ l/s} + (1,64 \text{ l/s} + 2,1 \text{ l/s}) = 4,36 \text{ l/s tilsvarende } 0,00436 \text{ m}^3/\text{s}}$$

#### 4.3.4 Felt 4 – Grønt felt Q<sub>4</sub>

Se figur i Vedlegg 8 – Spillvannsberegninger – inndeling av - grønt felt.

For strekk tilknyttet grønt areal er antall PE = 53 personer.

Det er ingen industri i området.

$$Q_{s4 \max} = \frac{170 \text{ l/PE} \cdot \text{d} \cdot 53 \text{ PE} \cdot 5.0}{86400 \text{ s}} + \frac{200 \text{ l/PE} \cdot \text{d} \cdot 53 \text{ PE}}{86400 \text{ s}}$$

$$\underline{Q_{s4 \max} = 0,64 \text{ l/s tilsvarende } 0,0064 \text{ m}^3/\text{s}}$$

#### 4.3.5 Gimle Ungdomsskole og Bergen Frikirke Q<sub>4</sub>

Se figur i Vedlegg 8 – Spillvannsberegninger – inndeling av

For strekk tilknyttet ungdomsskolen og kirken er antall PE 523 elever + 51 lærere for skolen [79] og

en antatt PE på 200 for Bergen Frikirke. Forbruket for elever og lærere beløper seg til hhv 40 og 80

l/PE \* døgn, mens det for Frikirken settes til 6 l/PE\*døgn ihht *Norsk Vann rapport 193*, tabell 4.2.1

[65]. Det er ingen tilgjengelige data for hvor mye besøkende PE Frikirken har, men siden det kun er 6

l/PE\*døgn har det minimale innvirkninger på vannføringen.

Feltet er nedstrøms rødt og grønt felt og mottar spillvann derfra.

$$Q_{s5 \max} = \frac{40 \text{ l/PE} \cdot \text{d} \cdot 523 \text{ PE} \cdot 5.0}{86400 \text{ s}} + \frac{80 \text{ l/PE} \cdot \text{d} \cdot 51 \text{ PE}}{86400 \text{ s}} +$$

$$\frac{6 \text{ l/PE} \cdot \text{d} \cdot 200 \text{ PE} \cdot 5.0}{86400 \text{ s}} + (4,36 \text{ l/s} + 0,64 \text{ l/s})$$

$$\underline{Q_{s5 \max} = 1,52 \text{ l/s} + 5 \text{ l/s} = 6,52 \text{ l/s tilsvarende } 0,00652 \text{ m}^3/\text{s}}$$

#### 4.3.6 Felt 1-5 Resultater

De samlede spillvannsmengdene for området blir da som følger:

Felt	Spillvannsmengder (l/s)
Blått	1,64
Gult	2,10
Rødt	4,36
Grønt	0,64
Bergen Frikirke / Gimle Ungdomsskole	6,52

## 4.4 Dimensjonering av spillvannsledninger

Dimensjoneringen av spillvannsledningene som er foreslått i prosjektområdet baserer seg på avlesning av et Colebrook-diagram der ruhet  $k=1.0$  mm.

### 4.4.1 Felt 1 – strekk tilknyttet blått felt

Se figur i Vedlegg 9 – Dimensjonering spillvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, blå streker.

Vi ser allerede ved første felts beregning at spillvansmengdene som er beregnet er meget små, og at rørdimensjonene man ifølge metoden skal velge blir tilsvarende små. Med 1,64 l/s og et minstekrav om en fallgradient på 10‰, ser vi av Colebrook-diagrammet at nødvendig indre dimensjon ligger mellom 50 og 75 mm, da med nødvendig opprunding til 75 mm. Dette er halvparten av minstekravet på 150 mm. I tillegg er det, etter råd fra veileder Karoline Hammes<sup>13</sup>, praksis for å ikke redusere dimensjon på nye rør sammenlignet med det som ligger der i grunnen fra før [61]. Eksisterende rør i dette feltet er en blanding av private og kommunale rør, der 300 mm er en dimensjonerende standard. Typen rør er avløpsrør (AF) der spill- og overvann er blandet.

Vi velger derfor å prosjektere videre med 300 mm spillvannsledning. Det vil være dimensjonert for eventuelle framtidige endringer i boligmassen, eksempelvis hvis det fortettes med lavblokker på grunn av områdets nærhet til et framtidig bybanestopp ved Haukeland Universitetssjukehus [80]. Hvis øvrig spillvannsnett oppstrøms skulle kobles på vil det også kunne være kapasitet ledig, i tillegg er det fornuftig å ta høyde for ukjent innlekking i rør og andre forhold som gjør større kapasitet nødvendig. Vårt valg sørger da for god kapasitet for den eksisterende boligmassen og hva som kan forventes i overskuelig framtid, i tillegg er den rustet for mulige endringer. Dette ivaretar hensynet til at systemet skal være praktisk og funksjonelt, og uten behov for store endringer på mange år – i tråd med problemstillingen. Å velge for små løsninger øker risikoen for å måtte grave opp og legge nytt tidligere enn nødvendig. I tillegg er små rør mer følsomme for blokkering hvis eksempelvis stein, jord eller sand skulle komme inn på nettet uforutsett.

### 4.4.2 Felt 2 – strekk tilknyttet gult felt

Se figur i Vedlegg 9 – Dimensjonering spillvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, gule streker.

Som vi ser av Colebrook-diagrammet, lander vi på en dimensjonerende spillvannsledning langt under kommunens minstekrav, samt dimensjonene på rørene som allerede ligger i grunnen. I likhet med situasjonen beskrevet for blått felt i 4.4.1 vil det være unødvendig å velge små rør, så vi velger 300 mm også her.

### 4.4.3 Felt 3 – strekk tilknyttet rødt felt

Se figur i Vedlegg 9 – Dimensjonering spillvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, røde streker.

I dette feltet samles to individuelle ledningsstrekk, og føres videre i ett felles strekk. I likhet med blått og gult felt beskrevet i punktene før, er det små mengder spillvann dimensjonert her (4,36 l/s), og de eksisterende løsningene i grunnen gir 300 og 450 mm som nødvendig minstedimensjon. Avlesning av

---

<sup>13</sup> Februar 2019

Colebrook-diagram gir en dimensjon på 100 mm, som igjen ikke bare er mindre enn de gamle rørene, men også kommunens minstekrav.

Her har vi valgt å se bort fra den delen av strekket som har dimensjon 450 mm hva minstekrav angår, da dette er en størrelse fra en tid da dette strekket var en del av et større og mer omfattende avløpssystem. Det betyr at også her blir 300 mm dimensjonerende som minstekrav. Grunnen til dette er igjen at vår planlagte separering av spill- og overvann uansett er å anse som en betydelig oppgradering av ledningsnett.

Man kunne ha argumentert for at to tidligere strekk på 300 mm som samles til ett strekk bør gi en større dimensjon enn dette, da det er logisk at  $300+300$  gir et større svar enn 300. Men det er allerede valgt løsninger langt større enn nødvendig på de tidligere strekkene, og utregningene i 4.3.3 og Colebrook-diagrammet viser at man er fortsatt godt innenfor marginene her selv om en ikke øker rørdimensjonene i forhold til det som ligger i grunnen. Dette er også i tråd med veileder Karoline Hamnes<sup>15</sup> sitt råd. Vi velger derfor 300 mm som rørdimensjon også her [61].

#### 4.4.4 Felt 4 – strekk tilknyttet grønt felt

Se figur i Vedlegg 9 – Dimensjonering spillvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, grønne streker.

Her er det, i likhet med tidligere beskrevne felt, små mengder spillvann dimensjonert. De eksisterende rørene i grunnen her er del av et ledningsnett som tidligere var en del av et større nettverk som nå er blokkert og ikke lengre i bruk slik det var da rørene ble lagt i 1970, ifølge veileder Trym Trovik<sup>16</sup>. Siden vårt spillvannsystem skal ha et utgangspunkt her, og *ikke* være dimensjonert for å motta spillvann fra andre områder, velger vi 150 mm her, som er minstestandard ihht kommunens retningslinjer som beskrevet tidligere [81]. De gamle rørene på 500 og 450 mm er således ikke som dimensjonerende å regne etter råd fra veileder Karoline Hamnes<sup>17</sup> [61].

#### 4.4.5 Strekk tilknyttet Gimle Ungdomsskole og Bergen Frikirke

Se figur i Vedlegg 9 – Dimensjonering spillvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, svarte streker.

Også her gjelder de samme forhold som feltene før; små spillvannsmengder men eldre rørdimensjoner som er dimensjonerende standard. Vi velger her å gå for 300 mm som dimensjon, da det er tilstrekkelig ihht Colebrook-diagram.

---

<sup>15</sup> Mars 2019

<sup>16</sup> Januar 2019

<sup>17</sup> Februar 2019



#### 4.4.6 Alternativ metode

Se figur i Vedlegg 9 – Dimensjonering spillvannsledninger for avlesninger av Colebrook-diagram, oransje streker.

En alternativ metode er å se på området under ett, med en samlet PE på rundt 1000. Vi velger da å anta at eventuell tilstedeværelse av PE i Bergen Frikirke skjer på et tidspunkt utenom skoletid og spillvannsforbruk derfra.

VA-blad nr. 115 beskriver en enkel metode der man kan finne maksimalt avløp spillvann fra små områder. Her gir, som vist i Figur 30, 1000 PE en estimert verdi på 16 l/s, som i Colebrook-diagrammet gir en nødvendig dimensjon på 150 mm, i tråd med kommunens minstekrav [67].

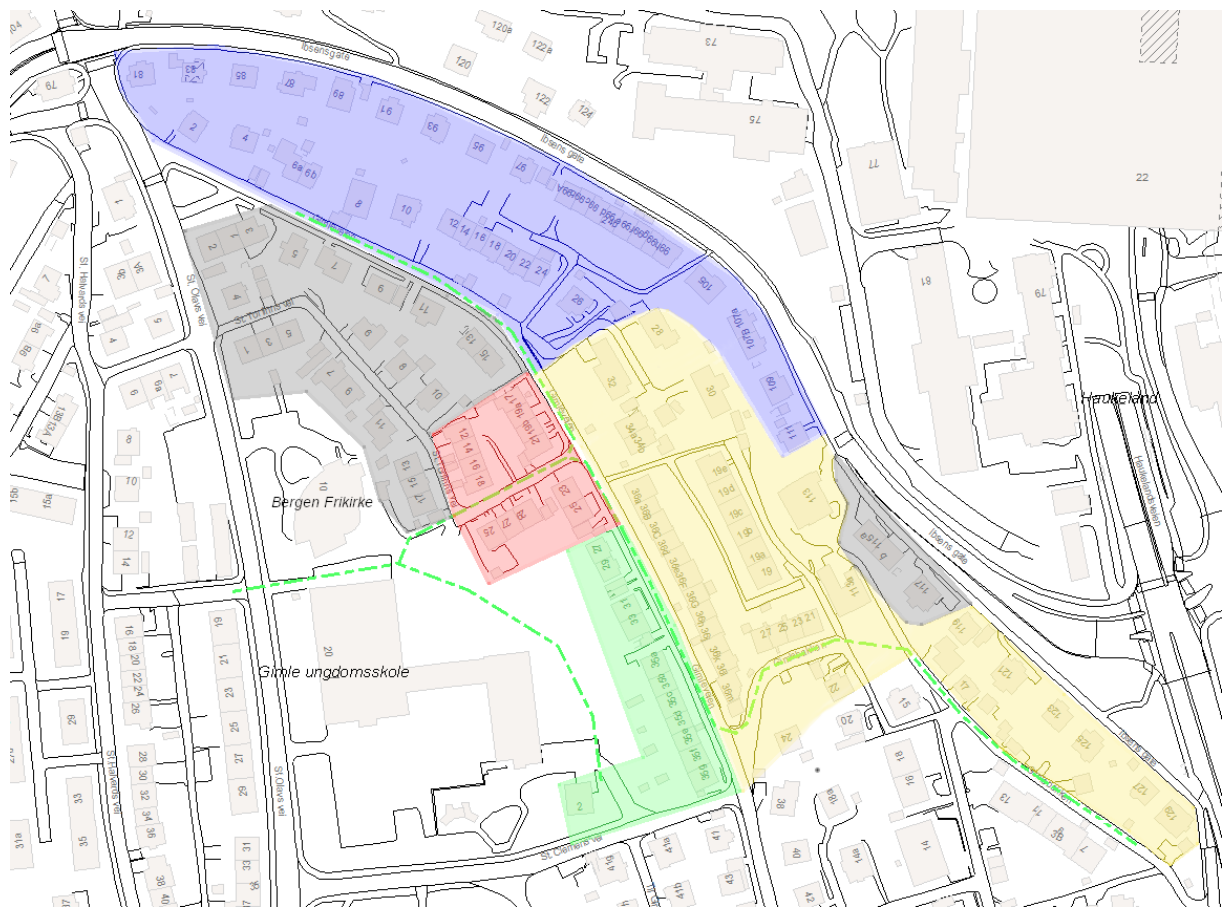


Figur 30 - Avløpsberegning (Svensk Vatten 2015) via VA-blad 115

Siden det ligger eldre rør av større dimensjon i grunnen fra før, ser vi bort fra denne metoden og prosjekterer videre med våre løsninger. Denne metoden er da en god kontroll for å se at en er innenfor fornuftige rammer.

#### 4.4.7 Komplette ledningsstrekke spillvannsrør

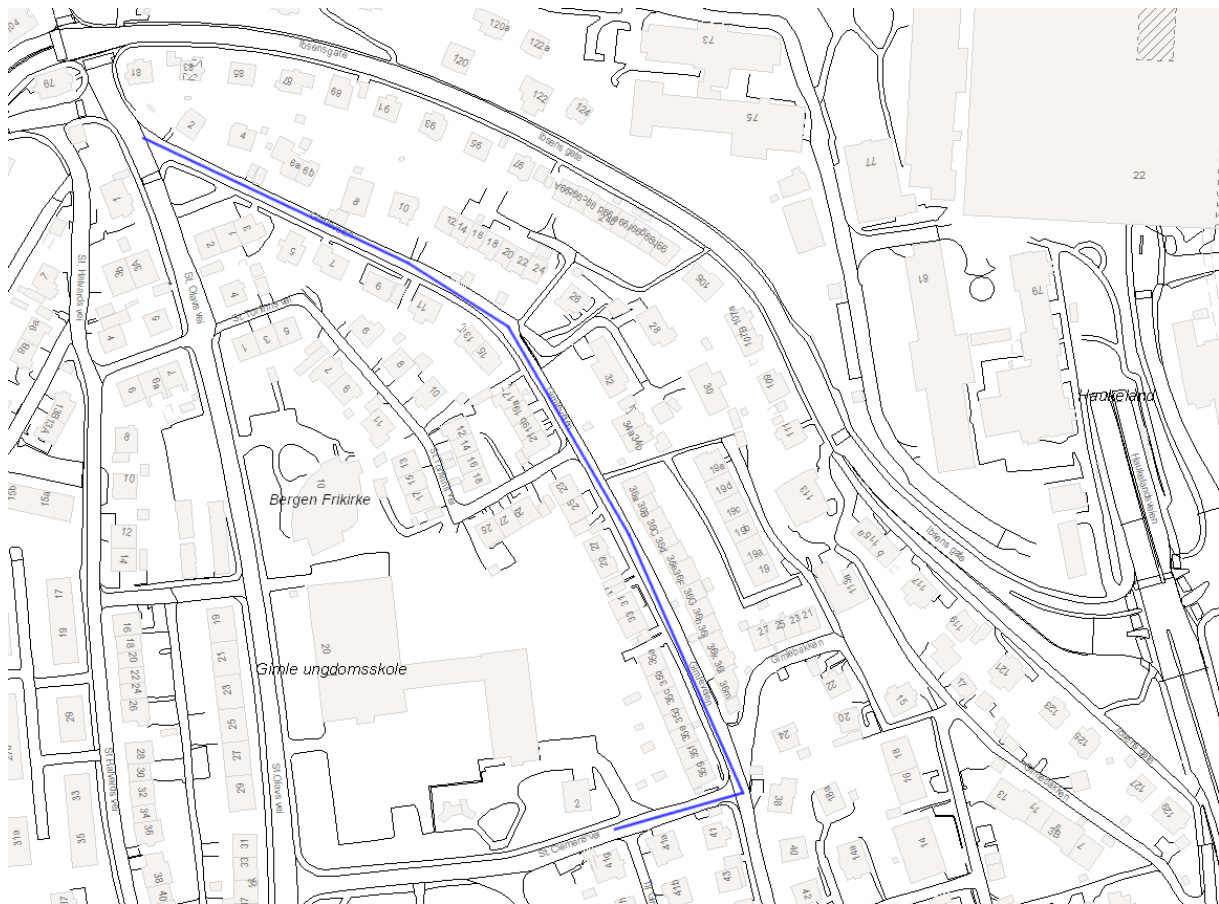
Et endelig ledningsnett for spillvann kan dimensjoneres som vist på Figur 31.



Figur 31 - Endelig ledningsnett spillvann, grønne stiplede linjer

Ledningsnettet er godt dimensjonert i forhold til de faktiske behov, er faglig fundamentert og i tråd med retningslinjer hos kommunen. Problemstillingens punkt om bærekraft anser vi som oppfylt da dette er en praktisk løsning som muliggjør separeringen av spill- og overvann, for å unngå unødvendig transport av overvann til rensesanlegget Holen. Vi vil se videre på de øvrige momentene i problemstillingen i punkt 4.6.

## 4.5 Vannledninger i området



Figur 32 – Endelig ledningsnett vannrør, blå linjer

Dimensjoneringen av vannledninger baserer seg på dimensjoner som ligger i grunnen fra før. Som vist i Figur 32, er det et langt strekk i Gimleveien og et kort strekk i St. Clemens' vei. Disse skal ha henholdsvis 300 mm og 150 mm som indre dimensjon. Materialvalg blir som nevnt før duktilt støpejern. Plassering av vannrør blir videre presentert i neste kapittel, som omhandler 3D-modellering og AutoCad / Novapoint.

## 4.6 Prosjektering i AutoCAD og Novapoint

I dette kapitlet ser vi på 3D-løsningene vi har kommet fram til, samt hvordan disse kan implementeres i prosjektområdet.

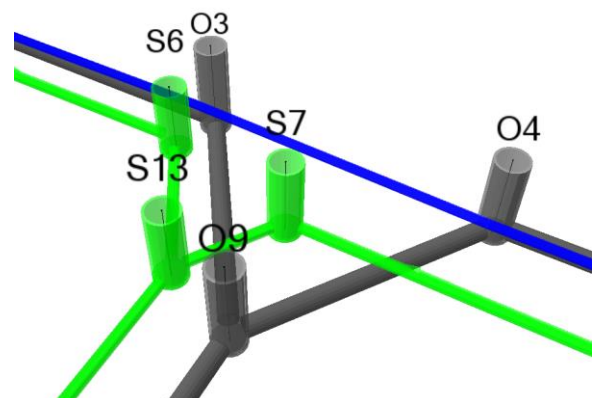
Resultatene vi har kommet fram til for vannrør, spill- og overvann danner grunnlaget for hvordan rørene kan legges i traséene vi har valgt. VA/miljø-bladene tar for seg en rekke spesifikasjoner og krav knyttet til hvordan de forskjellige rørene kan plasseres under bakken, som avstand mellom rør, til grøftkant, mellom kryssende rør, helning, materialkrav, dybder mfl. og vi har selvsagt tatt hensyn til dem ved utforming av grøftene. I tillegg er det en rekke kummer som må plasseres.

I kapitlet for dimensjonering av overvannsledninger valgte vi dimensjoner for rørene basert på de forskjellige feltenes respektive fallgradier. Siden vi vil legge overvannsledningene sammen med spillvannsledningene kommer vi til å se bort fra de førstnevntes fallgradier til fordel for én felles fallgradient på 10‰ for både spill- og overvannsledninger. Dette for å prosjektere en løsning som er enklere for eventuelle anleggsarbeidere, som da kan legge disse rørene parallelt i stedet for å måtte ha dem plassert i varierende dybder langs traséene. I tillegg oppfylles kravene til selvens. Det vil bety at det for noen av feltene betyr en redusert fallgradient for rør og dermed teoretisk sett behov for økte dimensjoner på rørene, som vist i vedlegg 7. Vi anser likevel de tidligere valgte dimensjonene som tilstrekkelig, da det uansett er stor usikkerhet knyttet til infiltrasjon i grunn i de forskjellige delfeltene, og at den rasjonelle metode som beskrevet før gir en omtrentlig tilnærming. Det er også etter anbefaling fra veileder Karoline Hamnes<sup>19</sup> [61].

Vedlegg 10 viser hvordan traséen begynner med kun vannledning fra den eksisterende vannkummen V1 til der spillvannskummen S1 er markert. Ved S1 starter spillvannsledningen, og går parallelt med vannledningen videre langs traséen. Vi har valgt å opprette spillvannskummene S1 t.o.m. S3 for at spillvannsledningene fra de overliggende husene skal kobles på det nye nettet. Dette anser vi som en enkel løsning som gir husene en tilkoblingsmulighet som er mer praktisk enn dagens løsning, der fellesrør føres videre på andre siden av veien under private eiendommer, noe som vanskeliggjør tilgang og vedlikehold.

Ettersom det ikke tillates bend på spillvannsledningene ifølge veileder Karoline Hamnes<sup>20</sup>[61], er spillvannskummene S4 og S5 opprettet for at ledningene skal kunne følge veien og traséen vi har valgt. O1 er et eksisterende gatesluk som kobles til overvannskum O2. Derfra og til vegkrysset består grøften av vann-, overvann- og spillvannsledninger.

Vedlegg 11 viser vannledningen mellom den eksisterende brannhydranten V5, gjennom de eksisterende vannkummene V4 og V3, og ned til V2. Per i dag er det en overvannskanal fra lenger opp i området som ledes inn på det eksisterende fellesavløpsnettet, derfor opprettes overvannskum O8 for å lede denne ned til det allerede separate systemet i utløpet av prosjektområdet, som sender overvannet til Solheimsvannet. Med denne løsningen ledes



Figur 33 – Gimleveien/St.Torfinns vei. Kryssing av ledninger i Novapoint.

<sup>19</sup> Mai 2019

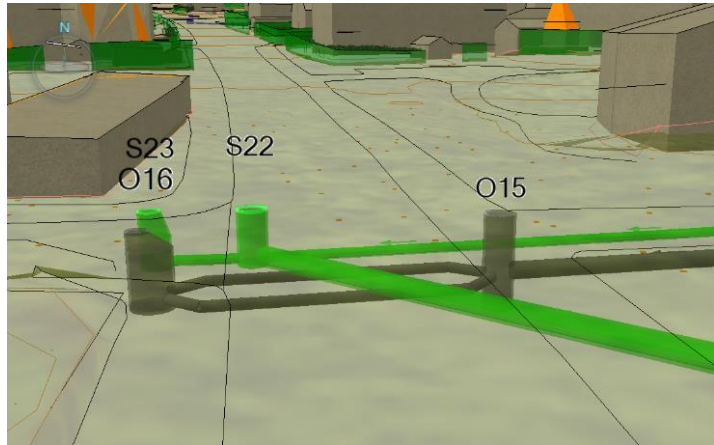
<sup>20</sup> Februar 2019

overvannet vekk fra avløpsnett og frigjør kapasitet på tunge regnværsdager. Vi mener dette kan eliminere problemet med tilbakeslag hos de nærliggende beboerne.

Figur 33 er hentet fra Novapoint og viser hvordan kryssing av ledningene i vegkrysset er løst.

Vedlegg 12 viser hvordan spillvann- og overvannsledningene føres videre ned i prosjektområdet.

I utløpet av prosjektområdet er det en eksisterende fellesavløpsledning på 600 mm som krysser traséen vi har prosjektert. VA-Miljø-blad nr. 6 stiller krav til en vertikalavstand på 200 mm for kryssende ledninger [82], men overvannsledningen vår ned til overvannskum O16 er dimensjonert til 500 mm, en dimensjon som ikke sørger for tilstrekkelig vertikalavstand til det eksisterende avløpsrøret. Vi har derfor prosjektert med to parallelle ledninger med diameter 300 mm for å overholde kravene til fall og vertikalavstand

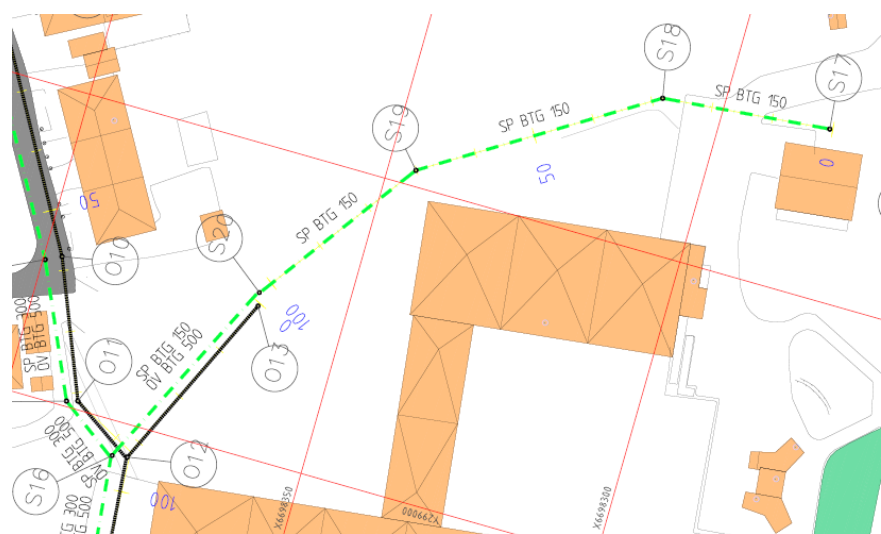


Figur 34 - Mangel på plass grunnet eksisterende rør. Figuren viser splitting av svart overvannsledning for å imøtekomme krav.

mellom eksisterende rør, som vist i Figur 34. To rør på 300 mm og 10 ‰ helning blir en teoretisk underdimensjonering sett i forhold til ett på 500 mm, da samlet areal blir  $2 \times 707 \text{ cm}^2 = 1414 \text{ cm}^2$  mot  $1 \times 1963 \text{ cm}^2$ . Dette er likevel en klar forbedring av eksisterende situasjon, som er ett enkelt rør på 300 mm med helning 4.8 ‰. Det er avstandskravene mellom rør som gjør denne dimensjonsreduksjonen nødvendig, men vi anser likevel kapasiteten som tilfredsstillende da både helning og dimensjon er økt.

Vedlegg 13 til og med 15 viser de resterende profilene av rørene, mens vedlegg 16 har de tre profilene fra 13 til og med 15 kombinert på samme layout som en sammenstilling av de foregående profilene.

Selv om noen av de eksisterende kummene skal brukes, er det prosjektert mange nye. Vedlegg 17 viser kumskisser på noen av de nye kummene. Det er skisser hentet direkte fra det som er prosjektert i Novapoint og AutoCAD, og er kun ment til å gi et inntrykk av hvordan tverrsnittet for de enkelte kummene blir seende ut.



Figur 35 - Strekk spillvannsledning S17 til S20

Mellom spillvannskummene S17 og S20 er terrenget nesten helt flatt, noe som medfører at den eksisterende spillvannsledningen på dette strekket er lagt med veldig lite fall og en overdekning på 0,6 meter, altså høyere i grøft enn krav på 1 m dybde, som er den lokale bestemmelsen for frostfri dybde for spillvannsrør i Bergen [83]. Avstanden mellom S17 og S20 er ca. 120m og faller på denne avstanden 0.42m, noe som vil si et gjennomsnittlig fall på  $0.42\text{m}/120\text{m} = 3,5\text{‰}$ . Dette er godt under de nødvendige 10‰.

For å bøte på problemet med lite fall på denne spillvannsledningen som går under plenen utenfor Gimle Ungdomsskole, har vi justert ned ledningen mellom S13 og S23, som går fra krysset Gimleveien/St.Torfinns vei og ned mellom Gimle Ungdomsskole og Bergen Frikirke, så mye som topografien og de eksisterende kummene tillater for å tilrettelegge for så mye fall som mulig for strekket mellom S17 og S20.

Vi oppnår et gjennomsnittlig fall på 5‰ som en følge av dette. Dette er fortsatt godt under de nødvendige 10‰, så vi vil beregne skjærkraft på både gamle og nye rør i et eget punkt for å illustrere hva som må gjøres når helningen er såpass liten som langs dette strekket.

I tillegg reduseres ledningsdimensjonen fra 500 mm til 150 mm. Grunnen til dette er at 500 mm blir kraftig overdimensjonering for en PE-verdi på 53 personer tilknyttet strekket mellom S17 og S20. 150 mm er som nevnt før minimumsverdi for spillvannsledning. Årsaken til at det ligger et såpass stort rør der i dag er at det tilhører et tidligere fellesnett som mottok avløpsvann oppstrøms. Det er ikke situasjonen i dag, og vi beregner kun spillvann for de nærliggende beboerne.

#### 4.6.1 Skjærkraftberegninger – ledningsstrek S17 og S20

Det første vi gjør når vi beregner skjærspenningen er å bestemme den minste skjærspenningen ( $T_{\min}$ ) som er tillatt for den aktuelle avløpsledningen. I vårt tilfelle er dette en spillvannsledning med en anbefalt minimumsverdi på  $T_{\min} = 2 \text{ N/m}^2$  [75]. Beregningene er vist i Vedlegg 18, og benytter Darcy-Weisbachs ligning og kontinuitetsligningen [1, pp. 67-72]. I tillegg benyttes en formel for dimensjonerende vannføring for selvrengberegningen hentet fra VA/Miljøblad 79 [75] punkt 4.3. Vi ser på både det eksisterende glassfiberrøret samt et nytt prosjektert betongrør.

Som vist i beregningene ser man at skjærkraften på både gammelt og nytt rør ikke tilfredsstiller kravet til minimum  $2 \text{ N/m}^2$ . Det vil da si at det må benyttes andre metoder for å få rensede rørene. Det kan anlegges pumpestasjon på ledningsstrekket, men dette er energikrevende og kostbart. Systematisk spyling er et annet alternativ, hvor det med jevne mellomrom spyles rent for å opprettholde indre dimensjoner og kapasitet.

På grunn av vårt ønske om mer fall på ledningen enn nåværende situasjon, må den som nevnt legges høyere i grunnen enn kravet til frostfri dybde. For å løse dette kunne det blitt lagt varmekabler der hvor overdekningen ikke er stor nok, men Bergen kommune er i utgangspunktet tilbakeholden til etablering av varmekabler grunnet hvor sårbare de er ved graving, behov for vedlikehold, begrenset levetid og setninger i grunnen. Eventuelt kunne terrenget blitt hevet noe mellom S17 og S16, men det ville blitt et vesentlig stort inngrep i området og er således uaktuelt.

Med beregninger gjort av det vi har prosjektert, ser vi at det ikke er nok fall for å oppfylle kravet om selvreng på strekket S17 - S20. Sett i forhold til dagens situasjon, er det økte fallet og mer passende dimensjon likevel en forbedring med nesten fem ganger så stor skjærkraft i røret. I beregningene inkluderes ikke innlekkasjer, og dette er også noe som kan øke vannføringen i røret noe.

#### 4.7 Praktisk utførelse av arbeidet

I forbindelse med de teoretiske løsningene vi har foreslått i denne oppgaven er det naturlig nok knyttet en del praktiske utfordringer til utførelse. En av utfordringene med området vi har prosjektert løsninger for er topografien. Bergen Kommunes VA-norm sier at ved mindre enn 10‰ fall på en ledning skal det dokumenteres selvrens via skjærkraftberegninger [76]. Selv om det blir mindre vannføring i de nye spillvannsledningene, som nevnt tidligere, reduserer vi ikke dimensjonene fra det eksisterende anlegget, på grunn av usikkerheten i mengden innlekkasje og fremtidige mengder med spillvann. Eneste endring i dimensjon blir på strekket mellom S17 og S20 som er begrunnet i 4.6 Prosjektering i AutoCAD og Novapoint.

Grunnet usikkerheten rundt minste mengde med spillvann og derav størrelsen på minste skjærkraft prosjekterer vi alle ledninger med minimum 10‰ fall. Det er riktignok noen unntak som beskrevet i forrige punkt, pga de faktiske forhold i terrenget. Ledningene skal treffe allerede eksisterende kummer i alle de tre endene av ledningsnettet med gitte høyder, og det første gatekrysset som ledningen skal føres ned mot ikke ligger som laveste punkt på strekket. Dette medfører at vi på et av strekkene har prosjektert vannledningen med mindre overdekning enn kommunens bestemmelse om 1,5 m overdekning, helt ned til 1,0 m overdekning, slik som vist mellom S7 og S9 på Plan- og lengdeprofil 3. Bakgrunnen for dette er at vi ellers ville fått en for dyp grøft videre fra veikrysset, samt at om det ikke var tilstrekkelig fall ville det blitt store ekstra kostnader for å opprette og drifte en pumpe til avløpet. For å unngå frost i vannledningen må det, med godkjenning fra VA-etaten, isoleres på det strekket der overdekningen er mindre enn 1,5 m. Isolering av ledninger er kjent for entreprenørene og føres opp som en ekstra post i den tekniske beskrivelsen. Dette er noe vi ser på som nødvendig for at ledningene skal oppfylle kravene om selvrens, unngå frost og utnytte topografien best mulig.

Ved graving i prosjektområdet er det viktig å ivareta hensynet til beboerne, at arbeidet ikke er til unødig stor ulempe da det vil foregå over tid og kunne være til sjenanse. Området har ingen gjennomgangstrafikk, og som nevnt tidligere er det en meget lav ÅDT på maksimalt 1500. Midlertidig tildekking av innkjørsel forbudt-skilt og oppheving av enveiskjørte gater er nødvendig for å imøtekomme beboernes krav til tilfredsstillende ferdsel og atkomst.

Vi har ikke tatt for oss den praktiske gjennomføringen av anleggsarbeidet vedrørende oppdelingen i faser for utføringen og etablering av midlertidig vannforsyning da vi har måttet begrense oppgavens omfang. Vi har også tatt begrenset hensyn til eksisterende kabler i grunn på grunnlag av dårlig kartlegging og system hos kabelselskapene. Da vi kontaktet dem ble vi rådet til å kontakte anleggsleder ute i driftsavdeling om hvor det kan ligge kabler. Vi valgte å ikke bruke mer tid på dette, men dette er noe som må gjøres dersom prosjektet hadde blitt realisert.

## 5. Konklusjon

I forbindelse med arbeidet har vi sett på prosjektområdets utforming, dets historikk, bebyggelse, eksisterende vann- og avløpsløsninger, samt hvordan et framtidig system kan bidra til at det skal være et velfungerende vann- og avløpsnett. I problemstillingen løftet vi fram viktigheten av bærekraft og vi har drøftet våre funn og konklusjoner med utgangspunkt i dette.

Vi har presentert løsninger for over- og spillvann som er faglig fundamenterte, som ivaretar tekniske krav som ligger til grunn i dag, og i tillegg tar høyde for en usikker framtid der det sannsynligvis vil bli både våtere og mer intenst hva vær angår.

Metode for legging av rør i prosjektområdet blir ved åpne grøfter, da det er flere anboringer på de forskjellige ledningsstrekke som gjør at NoDig-metoden ikke blir hensiktsmessig. I tillegg skal det legges nye rør og da er graving å anse som det mest praktiske.

Separasjon av spill- og overvann fremstår som det viktigste momentet for å unngå oppstuvning i nettet og tilbakeslag i kjellere, da man går fra å ha én underdimensjonert løsning slik situasjonen er i dag – til to separate fraktmetoder med god kapasitet for hhv spill- og overvann. Kommunens ambisjon om mest mulig lokal fordrøyning av overvann er ivaretatt ved de løsninger vi har presentert, og vi har løst problemet med overvann som fraktes unødig til Holen renseanlegg for rensing. Dette sparer kommunen for midler til drift og vedlikehold, og løsningene følger retningslinjene som Bergen har lagt til grunn for at avløpsnettet skal være effektivt, bærekraftig og rustet for framtiden. Overvannet er ikke å betrakte som særlig forurenset pga lite trafikk i området, og en rutinemessig tømning og rensing av sandfangskummer og gatesluk i området vil sørge for at overvann som fraktes videre til Solheimsvannet og Nordåsvannet er av tilfredsstillende kvalitet. Det er også grunn til å tro at problemene enkelte beboere har opplevd med tilbakeslag i kjellere vil kunne fjernes da vi har prosjektert med løsninger som frakter bort over- og spillvann raskere og mer effektivt enn dagens fellesløsninger. Vi anser våre løsninger som bærekraftige i den forstand at de løser problemer med dagens system, på sikt bidrar til spart energibruk og samtidig er rustet for framtiden.

Som presentert i punkt 4.6.1 og vedlegg 18, er det prosjektert et ledningsstrek som ikke oppfyller kravene til selvrens. Vi har forbedret løsningene betraktelig i forhold til det som gjelder i dag, men det er fortsatt ikke innenfor de kravene som er fastsatt. Her vil vi anbefale at det ses nærmere på dette spesifikke strekket for å finne en løsning som oppfyller de krav som foreligger, dersom prosjektet skulle realiseres. De resterende ledningsstrekke ligger med 10 % fall, og har dermed ingen behov for dokumentering av selvrens.

Løsningene vi har presentert er fundamentert i teori, praksis og prinsipper som skal være overførbare til andre områder, med forskjellig utforming, topografi, nedbørforhold og faktorer som spiller inn.



## Bibliografi

- [1] H. Ødegaard, «Vann- og avløpsteknikk,» Norsk Vann, 2014.
- [2] Miljøkommune, «Miljøkommune.no,» [Internett]. Available: <http://www.miljokommune.no/Ordforklaringer/A/>. [Funnet 29 mars 2019].
- [3] Store Norske Leksikon, «Store Norske Leksikon,» [Internett]. Available: <https://snl.no/>. [Funnet 24 januar 2019].
- [4] Verdenskommisjonen for miljø og utvikling (FN), «Vår felles framtid,» 1987.
- [5] FN, «Forente Nasjoner,» 2015. [Internett]. Available: <https://www.fn.no/Om-FN/FNs-baerekraftsmaal>. [Funnet 15 april 2019].
- [6] Norsk Vann, «Norsk Vann,» 5 september 2017. [Internett]. Available: [https://dihva.no/kurs\\_og\\_fagtreff/vanndagene\\_pa\\_vestlandet/vanndagene\\_2017/presentasjoner/content\\_1/text\\_044f3b7f-122d-4a7e-8afb-2fee7955cc40/1509699306591/\\_8\\_arne\\_haarr\\_b\\_rekraft\\_norsk\\_vann\\_vadagane1\\_nov\\_2017.pdf](https://dihva.no/kurs_og_fagtreff/vanndagene_pa_vestlandet/vanndagene_2017/presentasjoner/content_1/text_044f3b7f-122d-4a7e-8afb-2fee7955cc40/1509699306591/_8_arne_haarr_b_rekraft_norsk_vann_vadagane1_nov_2017.pdf). [Funnet 15 april 2019].
- [7] Norsk Vann, «Rapport A205 - Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene,» Norsk Vann, 2014.
- [8] Norges Geologiske Undersøkelse, «geo.ngu.no,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/minkommune/?kommunenr=1201>. [Funnet 16 januar 2019].
- [9] Nasjonal løsmassedatabase, «Norges Geologiske Undersøkelse,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>. [Funnet 1 april 2019].
- [10] Meteorologisk institutt og NRK, «yr.no,» [Internett]. Available: [https://www.yr.no/sted/Norge/Hordaland/Bergen/Bergen\\_\(Florida\)\\_m%C3%A5lestasjon/statistikk.html](https://www.yr.no/sted/Norge/Hordaland/Bergen/Bergen_(Florida)_m%C3%A5lestasjon/statistikk.html). [Funnet 16 januar 2019].
- [11] Norsk Klimaservicesenter, «Norsk Klimaservicesenter,» [Internett]. Available: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>. [Funnet 21 februar 2019].
- [12] S. Johansen, *Ekstremverdianalyse av nedbør og oppdatering av intensitet - varighet - frekvens kurver i Bergen kommune*, 2016.
- [13] Eva S. Johansen, «Nordnesrepublikken,» 27 desember 2015. [Internett]. Available: <http://nordnesrepublikken.no/2015/12/27/nedborsrekorden-pa-fredriksberg-har-falt/>. [Funnet 16 april 2019].
- [14] Færøyvik, *Færøyvik*, 1951.
- [15] E. v. o. A. Sorteberg, «www.bt.no,» 21 desember 2014. [Internett]. Available: [https://folk.uib.no/gbsag/Publications/Viste\\_sorteberg\\_BT\\_Innsikt\\_2014.pdf](https://folk.uib.no/gbsag/Publications/Viste_sorteberg_BT_Innsikt_2014.pdf). [Funnet 16 januar 2019].

- [16] I. H.-B. m.fl, «Miljødirektoratet,» 22 september 2015. [Internett]. Available: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2015/September-2015/Klima-i-Norge-2100/>. [Funnet 15 januar 2019].
- [17] Bergen Byarkiv, «Bergen Byarkiv,» 1 juli 2015. [Internett]. Available: <http://www.bergenbyarkiv.no/aarstad/archives/arstad-herred-innlemmes-i-bergen/6497>. [Funnet 16 januar 2019].
- [18] K. V. Schjenken, *Bergens ekspansjon mot sør 1890-1940. En studie i boligbygging og byutvidelse*, 2004.
- [19] Vann- og avløpsetaten, «Gemini VA,» Bergen.
- [20] Årstadposten, «Årstadposten,» 20 november 2017. [Internett]. Available: <http://www.arstadposten.no/2017/11/20/haukelandsvannet-barnas-eldorado-bekymring-foreldre/>. [Funnet 15 januar 2019].
- [21] Finn.no m.fl, «kart.finn.no,» [Internett]. Available: <https://kart.finn.no/>.
- [22] Geodata AS for Finn.no, «finn.no,» Geodata AS, 15 januar 2019. [Internett]. Available: <https://profil.nabolag.no/>. [Funnet 17 januar 2019].
- [23] K. K. Gunn, «National Geographic Norge,» 11 mai 2010. [Internett]. Available: <https://natgeo.no/folk-og-kultur/religion/det-hellige-vannet>. [Funnet 13 februar 2019].
- [24] M. Byrkjeland og M. Hammerborg, «Byens skjulte årer, vann og avløp i bergen gjennom 150 år,» Bergen, Bergen Kommune, 2005.
- [25] B. G. Økland, «Bare boss? Håndtering av avfall gjennom 1000 år,» Bergen, Bryggens Museum, 2000.
- [26] Norsk Vann, «Norsk Vann,» 25 juni 2013. [Internett]. Available: <https://www.norskvann.no/index.php/vann/vannbehandling>. [Funnet 15 februar 2019].
- [27] F. o. v. o. d. Drikkevannsforskriften, «Lovdata,» [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>. [Funnet 19 februar 2019].
- [28] Vann- og avløpsetaten, «Hovedplan for avløp og vannmiljø 2015-2024,» 2015.
- [29] Vann- og avløpsetaten, «Bergen kommune,» 2017. [Internett]. Available: <https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/avdelinger/vannog-avloppetaten/9085/9088/article-10985>. [Funnet 31 januar 2019].
- [30] Store Norske Leksikon, «Store Norske Leksikon,» 16 februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/nedb%C3%B8r>. [Funnet 29 april 2019].
- [31] Norges Offentlige Utredninger, «Regjeringen.no,» 2 desember 2015. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf>. [Funnet 12 februar 2019].

- [32] Mattilsynet, «Mattilsynet,» 18 mars 2013. [Internett]. Available: [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/vann/Protokoll\\_om\\_vann\\_og\\_helse/](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/vann/Protokoll_om_vann_og_helse/). [Funnet 11 februar 2019].
- [33] Vann- og avløpsetaten Bergen kommune, *Retningslinjer for overvannshåndtering*, Bergen, 2005.
- [34] Multiconsult, «Bergen Kommune,» 3 februar 2017. [Internett]. Available: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00319/VA-rammeplan\\_319339a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00319/VA-rammeplan_319339a.pdf). [Funnet 17 januar 2019].
- [35] VA/Miljøblad, «VA-blad 30,» 9 februar 2011. [Internett]. Available: <http://www.va-blad.no/kapittel-30/>. [Funnet 21 januar 2019].
- [36] VA/Miljøblad, «VA-blad,» [Internett]. Available: <http://www.va-blad.no/vamiljo-blad-stiftelsen/>. [Funnet 22 januar 2019].
- [37] Norsk Vann, «VA-Norm,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/5-transportssystem-vannforsyning/5-6-rorledninger/?source=9&override=1&real=3684&l=nb>. [Funnet 15 februar 2019].
- [38] Norsk Vann, «VA-Norm,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/6-transportssystem-spillvann/6-7-rorledninger-og-rordeler/?source=9&override=1&real=3722&l=nb>. [Funnet 15 februar 2019].
- [39] Norsk Vann, «VA-Norm,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/7-transportssystem-overvann/7-7-rorledninger-og-rordeler/?source=9&override=1&real=3646&l=nb>. [Funnet 15 februar 2019].
- [40] F. o. b. a. f. Forurensningsforskriften, «Lovdata,» 15 desember 2005. [Internett]. Available: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL\\_4-4#%C2%A714-14](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4-4#%C2%A714-14). [Funnet 30 januar 2019].
- [41] S. Wiik, «Snart i mål med storprosjekt,» Bergensavisen, 17 desember 2015. [Internett]. Available: <https://www.ba.no/nyheter/laksevag/bergen-sentrum/snart-i-mal-med-storprosjekt/s/5-8-233383#am-commentArea>. [Funnet 17 januar 2019].
- [42] Vann- og avløpsetaten, «Bergen Kommune,» [Internett]. Available: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00276/Holen\\_brosjyre\\_\\_pni\\_276900a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00276/Holen_brosjyre__pni_276900a.pdf). [Funnet 31 januar 2019].
- [43] S. Hofset og S. Ertshus, *Overvannshåndtering i Lillehammer sentrum*, NTNU Gjøvik, 2016.
- [44] Yr, «yr.no,» 2 mai 2019. [Internett]. Available: <https://www.yr.no/sted/Norge/Opland/Lillehammer/Lillehammer/statistikk.html>. [Funnet 2 mai 2019].
- [45] Yr, «yr.no,» 2 mai 2019. [Internett]. Available: <https://www.yr.no/sted/Norge/Hordaland/Bergen/Bergen/statistikk.html>. [Funnet 2 mai 2019].

- [46] Lovdata, «Lovdata.no,» 19 juni 2009. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100>. [Funnet 30 april 2019].
- [47] Lovdata, «Lovdata.no,» 19 desember 2006. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446>. [Funnet 30 april 2019].
- [48] Statens vegvesen, *Håndbok 017 Veg- og gateutforming*, Statens Vegvesen, 2008.
- [49] «Vegvesen.no , Vegkart,» Vegvesen, [Internett]. Available: [https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/hva:\(~\(farge:'0\\_0,id:540\)\)/@-30741,6731937,18/vegobjekt:730168945:40a744:540](https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/hva:(~(farge:'0_0,id:540))/@-30741,6731937,18/vegobjekt:730168945:40a744:540). [Funnet 8 April 2019].
- [50] B. Kommune, «Kartlegging av naturtyper i Bergen kommune,» Bergen Kommune, Bergen, 2002.
- [51] Artsdatabanken, «artsdatabanken.no,» [Internett]. Available: <https://artsdatabanken.no/Rodliste2015/rodliste2015/Norge/99353>. [Funnet 8 april 2019].
- [52] «Daft Logic,» 2019. [Internett]. Available: <https://www.daftlogic.com/projects-google-maps-area-calculator-tool.htm#>. [Funnet 29 januar 2019].
- [53] Bergen kommune, «Bergen kommune,» juni 2012. [Internett]. Available: [http://www3.bergen.kommune.no/BKSAK\\_filer/bksak%5C0%5CVEDLEGG%5C2013202495-3985186.pdf](http://www3.bergen.kommune.no/BKSAK_filer/bksak%5C0%5CVEDLEGG%5C2013202495-3985186.pdf). [Funnet 31 januar 2019].
- [54] E. Shaw, *Hydrology in Practice*, Taylor & Francis, 1983.
- [55] DHI Worldwide, [Internett]. Available: <https://www.mikepoweredbydhi.com/>. [Funnet 29 mars 2019].
- [56] Statens Vegvesen, «Statens Vegvesen,» 2014. [Internett]. Available: [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/188382/binary/980128?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+\(21+MB\).pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+(21+MB).pdf). [Funnet 31 januar 2019].
- [57] Norsk Klimaservicesenter, «Norsk Klimaservicesenter,» 2018. [Internett]. Available: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>. [Funnet 31 januar 2019].
- [58] Cowi AS, «Bergen kommune,» 25 mars 2013. [Internett]. Available: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00186/VA-rammeplan\\_186489a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00186/VA-rammeplan_186489a.pdf). [Funnet 16 april 2019].
- [59] Cowi AS, «Bergen kommune,» 8 juli 2015. [Internett]. Available: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00259/VA\\_rammeplan\\_259208a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00259/VA_rammeplan_259208a.pdf). [Funnet 16 april 2019].
- [60] Efla Rådgivende Ingeniører, «Bergen kommune,» januar 2015. [Internett]. Available: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00269/Rapport\\_VA\\_rammepla\\_269257a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00269/Rapport_VA_rammepla_269257a.pdf). [Funnet 16 april 2019].
- [61] K. Hamnes, *veileder*.

- [62] Bergen kommune, 24 april 2013. [Internett]. Available: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00184/Bestemmelser\\_og\\_ret\\_184189a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00184/Bestemmelser_og_ret_184189a.pdf). [Funnet 2 april 2019].
- [63] Bergen kommune, 28 mars 2018. [Internett]. Available: <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/kommuneplanens-arealdel-2018>. [Funnet 2 april 2019].
- [64] Bergen Kommune, *Hovedplan for vannforsyning 2015-2024*, 2015.
- [65] Norsk Vann, «Rapport A193 - Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem,» Norsk Vann, 2012.
- [66] Institutt for vann- og miljøteknikk NTNU, 2013. [Internett]. Available: [https://dvikan.no/ntnu-studentserver/kompendier/Kompendium\\_TVM4101\\_2013.pdf](https://dvikan.no/ntnu-studentserver/kompendier/Kompendium_TVM4101_2013.pdf).
- [67] VA/Miljøblad, «VA-blad 115,» 8 februar 2016. [Internett]. Available: <http://www.va-blad.no/beregning-av-dimensjonerende-avlopsmengder/>. [Funnet 16 mars 2019].
- [68] Norsk Vann, «VA-Norm,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/6-transportssystem-spillvann/6-4-minstedimensjoner/?source=9&override=0&l=nb>. [Funnet 19 mars 2019].
- [69] Norsk Vann, «VA-Norm,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/5-transportssystem-vannforsyning/5-6-rorledninger/?source=9&override=1&real=3684&l=nb>. [Funnet 27 mars 2019].
- [70] Z. Cemalovic, *Senioringeniør, Vann- og avløpsetaten*.
- [71] Norsk Vann, «VA-Norm,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/5-transportssystem-vannforsyning/5-4-minstedimensjon/?source=9&override=1&real=3694&l=nb>. [Funnet 25 mars 2019].
- [72] Vann- og avløpsetaten, «Bergen Kommune,» 18 februar 2014. [Internett]. Available: <https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/avdelinger/vannog-avlopsetaten/9081/article-113432>. [Funnet 13 mars 2019].
- [73] «Novapoint.com,» [Internett]. Available: <https://www.novapoint.com/cowi-sparer-tid-med-bim-og-va-produktbibliotek-0>. [Funnet 19 mars 2019].
- [74] Norsk vann, «VA-norm,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/6-transportssystem-spillvann/6-5-minimumsfallselvrensning/?source=9&override=1&real=3642&l=nb>. [Funnet 3 mars 2019].
- [75] VA/Miljøblad, «VA-blad 79,» 28 mai 2015. [Internett]. Available: <http://www.va-blad.no/dimensjonering-av-avlopsledninger-selvrensing/>. [Funnet 4 mars 2019].
- [76] Bergen Kommune, «va-norm.no,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/7-transportssystem-overvann/7-5->

- minimumsfallselvrensning/?source=9&override=1&real=3670&l=nb. [Funnet 15 april 2019].
- [77] B. S. Skaar, *Fornyingsstrategi for vann- og avløpsnett og bærekraftanalyse for rehabilitering av vannledninger*, 2013.
- [78] Bergen kommune, «bergen.kommune.no,» [Internett]. Available: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00010/Retningslinjer\\_for\\_o\\_10779a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00010/Retningslinjer_for_o_10779a.pdf). [Funnet 25 april 2019].
- [79] Skoleporten, «skoleporten.udir.no,» 25 januar 2019. [Internett]. Available: <https://skoleporten.udir.no/rapportvisning/grunnskole/fakta-om-opplaeringa/evevar-laerarer-skolar/gimle-oppveksttun-skole?orgaggr=o&kjonn=a&trinn=0&sammenstilling=1&fordeling=2>. [Funnet 15 februar 2019].
- [80] Bybanen Utbygging, «Bybanen Utbygging,» [Internett]. Available: <https://www.hordaland.no/nb-NO/bybanen-utbygging/sentrum-fyllingsdalen/>. [Funnet 20 mars 2019].
- [81] T. Trovik, *veileder*.
- [82] VA/Miljøblad, «VA-blad 6,» 13 august 2016. [Internett]. Available: <http://www.va-blad.no/387/>. [Funnet 25 mars 2019].
- [83] Norsk Vann, «VA-Norm,» [Internett]. Available: <http://va-norm.no/dokument/6-transportssystem-spillvann/6-6-styrke-og-overdekning/?source=9&override=1&real=3644&l=nb>. [Funnet 13 mai 2019].