

BACHELOROPPGAVE

Prosjektering av VA og
overvannsløsninger for Øvre Steinsviken

Design of water supply and sewage, and stormwater
solutions in Øvre Steinsviken

Ingvild Blækkan og Dag Nyhammer

BYG150 Bacheloroppgave – Bygg

Institutt for byggfag, fakultet for ingeniør og naturvitenskap

Veiledere: Leiv Petter Mjøs (HVL), Stine Erstad Hestetraet (COWI) og
Erlend Sand (COWI)

Innleveringsdato: 25. mai 2020

FORORD

Bacheloroppgaven er den avsluttende delen av det treårige studieløpet ved institutt for byggfag ved Høgskulen på Vestlandet, avdeling Bergen (HVL). Oppgaven er skrevet vårsemesteret av Ingvild Blækkan og Dag Nyhammer. Begge går retningen prosjekt og byggeledelse med fordypning innen miljø, plan og infrastruktur.

Vi vil bruke denne muligheten til å takke alle personer som har bidratt til å støtte oss med denne bacheloroppgaven. Først vil vi takke COWI for å få skrive oppgave i samarbeid med dem, og for å stille med veiledere, kontorplass og utstyr til disposisjon. Spesielt takk til våre veiledere i COWI, Stine Erstad Hestetraet og Erlend Sand, og avdelingsleder Kjersti Jahnsen. Vi vil også takke vår hovedveileder ved HVL, Leiv Petter Mjøs for god veiledning underveis i oppgaven. I tillegg vil vi takke Erik Tønseth Bendiksen for hjelp til å komme i kontakt med COWI.

Covid-19 har ført til visse utfordringer knyttet til bruk av lokaler og oppfølging av prosjekteringen. Til tross utfordringer har dette løst seg ved bruk av nettløsninger og at Stine Erstad Hestetraet har stilt seg til disposisjon en dag i uken.

Til slutt vil vi takke familie og venner for støtte gjennom semesteret og de som har tatt seg tid til å lese igjennom oppgaven og komme med innspill.

Bergen, 25. mai 2020



Ingvild Blækkan



Dag Nyhammer

SAMMENDRAG

En økende urbanisering fører til en økt andel tette flater på bekostning av permeable og naturlige flater. Med tanke på klimaendringer er det viktig å legge til rette for håndtering av overvann lokalt på tomten for å minimere økt påslipp av overvann på overvannsledninger og fellesledninger. Økt påslipp kan blant annet føre til økte kostnader for samfunnet i form av pumping og rensing. I tillegg har mange ledninger ikke kapasitet til å håndtere en økt vannmengde med tanke på klimaendringer.

Oppgaven tar for seg detaljprosjektering av ledningsnett til et ubebygde område, Øvre Steinsviken i Bergen kommune. I tillegg ser den på hvilken effekt grønne tak har som et lokalt fordrøyningsiltak i Bergen ved å sammenlikne data fra Bergen og andre områder med liknende klima opp mot hverandre. Detaljprosjekteringen av ledningsnettet og kummer er gjort ved bruk av Novapoint, AutoCAD og VarDAK. Ved prosjekteringen er VA-normen for Bergen kommune og henvisninger til VA/Miljø-blader lagt til grunn.

Ledningstraseen er prosjektert langs fortau der det er mulig for å unngå konflikter ved fremtidig drift og vedlikehold på ledningsnettet. Drikkevannsledningen skal ha tilstrekkelig trykk til alle leilighetene, samt tilfredsstillende kravene for uttak brannvann. Avløpsledningen legges med selvføll større enn 10 % for å oppfylle kravene for selvreis. Overvannet langs vegen vil ledes i en grøft fremfor å etablere en overvannsledning. Grøften fungerer da som ledd to i tre-trinnsstrategien hvor den vil forsinke og fordrøye overvannet før det ledes inn i en sandfangskum i Feråsvegen og videre inn på overvannsledninger derfra. Dette bidrar til en mer bærekraftig håndtering av overvannet.

Grønne tak har i lang tid blitt brukt til å forsinke avrenningen av tak ved nedbør. Resultatene fra tidligere studier er varierende, der noen hevder at grønne tak kan tilbakeholde opptil 50 % av den årlige nedbøren, mens andre studier viser at grønne tak reduserer så lite som 8 % av den årlige avrenningen. For å se på hvilken effekt grønne tak har i Bergen har resultater fra studier utført i lignende klima som Bergen blitt sammenlignet opp mot hverandre og mot data fra fem test-tak i Bergen. Sammenligningene har vist at oppbyggingen av tak har mye å si for hvor mye taket klarer å tilbakeholde av nedbøren. De fleste takene i sammenligningen er ekstensive tak med sedumdekke med ulik tykkelse og oppbygging av dreneringslaget. Resultatene viser at grønne tak holder tilbake 44-56 % mer nedbør i sommerhalvåret (mai – okt.) sammenlignet med den årlige tilbakeholdingen. I vinterhalvåret har studier vist at tilbakeholdingen kan være så liten som 0 %.

ABSTRACT

Increasing urbanisation leads to an increased proportion of impermeable surfaces at the expense of permeable surfaces. In view of climate change, it is important to arrange the stormwater management locally in order to minimize an increased amount of stormwater in stormwater pipes. An increased discharge may lead to increased costs to society when it comes to pumping and increased amount of sewage to wastewater treatment plants. Due to climate changes there is expected an increase in precipitation. Numerous of existing stormwater sewers do not have the capacity to handle an increased volume of stormwater.

This thesis focuses on the design of water supply and sewer pipelines to Øvre Steinsviken in addition to highlighting which impact green roofs has as a stormwater management solution. The design of water supply and sewer pipeline is done by using Novapoint and AutoCAD. Tanks are designed using VarDAK. Bergen municipality's VA-norm and VA/Miljø-blad have been important sources of information in the design of pipelines.

The pipelines are designed along the pavement to avoid conflicts when maintenance and operation is executed in the future. Water pipelines must have sufficient pressure to the highest apartments in addition to satisfy the requirements of 20 l/s for fire water. Sewer pipelines is design having a self-purifying capacity with a gradient greater than 10 ‰. It is established a ditch with permeable masses to infiltrate and delay stormwater from the road. In the intersection between Feråsvegen and Øvre Steinsviken two sand traps are places. The stormwater is led to the sand traps and then into the stormwater pipeline in Feråsvegen. The infiltration and delay of stormwater contribute to a sustainable management of stormwater.

Green roofs are used as a stormwater management solution to reduce run off from roofs during precipitation. Results from previous studies shows that the annual retention varies from 8 % to 50 %. To get a better understanding which effect green roofs have in Bergen, data from previous studies with similar climate as Bergen have been investigated and compare. The comparison shows that the construction of the roof is an important factor when it comes to how much stormwater the roof can retain during precipitation. Most of the roofs in the comparison is extensive green roofs with different thickness of sedum plants and draining layers. The results show that the detention is 44-56 % higher during the summer season (May – Oct.) in comparison with the annual detention. In the winter season studies reveal that the detention is as low as 0 % in some places.

INNHALDSFORTEGNELSE

| | |
|--|----|
| 1 Introduksjon | 1 |
| 1.1 Bakgrunn for oppgaven..... | 1 |
| 1.2 Problemstilling..... | 2 |
| 1.3 Avgrensning og forutsetninger for oppgaven | 3 |
| 2 Områdebeskrivelse | 4 |
| 2.1 Beskrivelse av området | 4 |
| 2.2 Eksisterende ledningsnett..... | 6 |
| 2.3 Grunnforhold..... | 7 |
| 3 Teori | 8 |
| 3.1 Overvann..... | 8 |
| 3.1.1 Tre-trinnsstrategien..... | 9 |
| 3.1.2 Lokal overvannsdisponering (LOD)..... | 10 |
| 3.2 Grønne tak..... | 13 |
| 3.2.1 Oppbyggingen av grønne tak..... | 14 |
| 3.2.2 Valg av planter..... | 16 |
| 3.2.3 Ulike typer grønne tak | 16 |
| 3.3 Rasjonelle formel | 18 |
| 3.3.1 Avrenningskoeffisient | 18 |
| 3.3.2 Areal | 19 |
| 3.3.3 Intensitet | 19 |
| 3.3.4 Klimafaktor..... | 19 |
| 3.3.5 Usikkerhet knyttet til den rasjonelle formelen | 19 |
| 3.4 Prosjektering av ledningsnett | 20 |
| 3.4.1 Drikkevann | 20 |
| 3.4.2 Spillvann..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 3.4.3 Ledningsmateriale | 22 |
| 3.4.4 Grøfteutforming..... | 24 |
| 4 Metode..... | 26 |
| 4.1 Innledning | 26 |
| 4.2 Befaring..... | 26 |
| 4.3 Litteratur og datainnsamling | 26 |
| 4.4 Programvare og data | 27 |
| 4.4.1 Programvare brukt til prosjektering..... | 27 |
| 4.4.2 Programvare til beregning av nedbørsfelt | 27 |
| 4.5 Prosjektering av ledningsnett | 28 |
| 4.6 Beregning overvann | 28 |
| 5 Resultat..... | 31 |
| 5.1 Beskrivelse av trasé..... | 31 |
| 5.2 Grøfteutforming | 33 |
| 5.3 Vannforsyning..... | 34 |
| 5.3.1 Dimensjonering av vannforsyningen..... | 34 |
| 5.3.2 Trykk i ledningsnett | 35 |
| 5.3.3 Ledningsmateriale | 36 |
| 5.3.4 Dimensjon av stikkledninger | 36 |
| 5.3.5 Vannkummer | 37 |
| 5.3.6 Utstyr på ledningsnett | 38 |
| 5.4 Spillvann | 39 |
| 5.4.1 Ledningsmateriale | 39 |
| 5.4.2 Dimensjonering av spillvann | 39 |
| 5.4.3 Spillvannskummer | 41 |
| 5.5 Overvann..... | 42 |

| | |
|---|----|
| 5.5.1 Før utbygging | 42 |
| 5.5.2 Etter utbygging | 43 |
| 5.6 Bekkelukking i Feråsvegen og håndtering av overvann | 44 |
| 5.7 Overvannsløsninger/grønne tak | 45 |
| 6 Diskusjon..... | 49 |
| 6.1 Håndtering av overvann og den rasjonelle formel..... | 49 |
| 6.2 Grønne tak..... | 51 |
| 6.2.1 Valg av plantetype | 51 |
| 6.2.2 Oppbygging av ekstensive grønne tak..... | 52 |
| 6.2.3 Sesongvariasjoner og variasjoner mellom ulike tak | 53 |
| 6.2.4 Tilbakeholding ved enkelte regnhendelser | 54 |
| 7 Konklusjon | 56 |
| 7.1 Konklusjon..... | 56 |
| 8 Referanser..... | 57 |
| 9 Vedlegg | 61 |
| Vedlegg A: VA-rammeplan for Øvre Steinsviken..... | 61 |
| Vedlegg B: Beregningsark | 61 |
| Vedlegg C: Tegningshefte | 61 |

FIGURLISTE

| | |
|--|----|
| FIG. 2.1: OVERSIKTSKART SOM VISER HVOR ØVRE STEINSVIKEN LIGGER I FORHOLD TIL BERGEN SENTRUM OG BERGEN LUFTHAVN FLESLAND. | 4 |
| FIG. 2.2: BILDER FRA OMRÅDET VISER HVORDAN DET SER UT I DAG. (A) UTSIKTEN FRA OMRÅDET OG (B) HVORDAN OMRÅDET SER UT I DAG MED KOLLEN I SØR SOM ER REGULERT TIL GRØNTOMRÅDE..... | 5 |
| FIG. 2.3: OVERSIKTSKART OVER EKSISTERENDE LEDNINGSNETT I FERÅSVEGEN..... | 6 |
| FIG. 2.4: TVERRSNITT OVER LØSMASSER SOM LIGGER OVER FJELL. BLÅ LINJE MARKERER LAGGRENSEN MELLOM ORGANISK MATERIALE OG SAND/SILT, SAMT MELLOM SAND/SILT OG FJELL. | 7 |
| FIG. 3.1: (A) KONVENJONELL OVERVANNSHÅNDTERING HVOR OVERVANNET LEDES DIREKTE TIL OVERVANNSNETTET OG (B) BÆREKRAFTIG OVERVANNSHÅNDTERING HVOR OVERVANNET LEDES PÅ OVERFLATEN OG INFILTRERES NED I GRUNNEN. HENTET FRA SKAARAAS (2015). | 8 |
| FIG. 3.2: ILLUSTRASJON HENTET FRA PAUS (2018). TRINN 1 HAR SOM HENSİKT OG FANGE OPP, RENSE OG INFILTRERE, TRINN 2 SKAL FORSİNKE OG FORDRØYE OG TRINN 3 GÅR UT PÅ Å SİKRE TRYGGE FLOMVEGER. 10 | |
| FIG. 3.3: FIGUREN VISER EKSEMPLER PÅ ULİKE LOKALE FORDRØYINGSLØSNİNGER FOR TRINN 1 OG 2 I TRE-TRINNSSTRATEGIEN. (A) OVERVANNSDAM, (B) REGNBED, (C) INFILTRASJONSGRØFT, (D) PLASTKASSETTER, (E) BETONGMAGASİN OG (F) PERMEABEL BELEGNINGSSTEIN HVOR VANNET INFILTRERER İGJENNOM FUGER. BILDE (D) ER HENTET FRA DELTA V (2020), MENS DE RESTERENDE BILDENE ER HENTET FRA ÅSTEBØL ET AL. (2013). | 12 |
| FIG. 3.4: ILLUSTRASJON PÅ HVORDAN GRØNNE TAK KAN VÆRE MED PÅ Å REDUSERE AVRENNINGEN FRA TAK NED NEDBØR. GT1 OG GT2 VISER AVRENNINGEN FRA TO GRØNNE TAK I OSLO. HER ER DET TYDELIG AT TAKENE HAR INFILTRERT, FORSİNKET OG FORDRØYET AVRENNINGEN. HENTET FRA BRASKERUD (2016). | 13 |
| FIG. 3.5: BILDET VISER HVORDAN TAKET GÅR I ETT MED RESTEN AV NATUREN (BERGKNAPP, U.Å.). | 15 |
| FIG. 3.6: (A) VISER OPPBYGGINGEN AV EKSTENSIVE GRØNNE TAK OG EKSEMPEL PÅ HVORDAN ET EKSTENSIVT GRØNT TAK KAN SE UT. (B) VISER OPPBYGGINGEN AV INTENSIVE GRØNNE TAK OG ET EKSEMPEL PÅ HVORDAN INTENSIVE TAK KAN FORMES. TYKKELSEN PÅ INTENSIVE GRØNNE TAK ER AVHENGIG AV BEHOVENE TIL PLANTENE SOM BRUKES. BILDENE ER HENTET FRA LECA (2017) OG NØRENG ET AL. (2012)..... | 17 |
| FIG. 3.7: ENKEL SKISSE AV GRØFTETVERRSNITT (WAVIN, 2009). | 24 |
| FIG. 3.8: YTRE LASTER PLOTTET MOT DYPET. GRAFEN VISER AT SUMMEN AV TOTALEN KREFTER SOM VIRKER PÅ LEDNINGSNETTET ER LAVEST NÅR LEDNINGENE LIGGER PÅ ET DYP PÅ 1-2 METER (ØDEGAARD ET AL., 2014). | 25 |
| FIG. 4.1: OVERSIKTSKART OVER LOKASJONER MED GRØNNE TAK SOM ER BRUKT I OPPGAVEN. | 27 |
| FIG. 4.2: IVF-KURVE FRA SANDSLI, BERGEN HENTET FRA KLIMASERVICE (KLIMASERVİCESENTER, 2020)..... | 29 |
| FIG. 4.3: VALG AV RETURPERIODE JF. BERGEN KOMMUNES VA-NORM (BERGEN KOMMUNE, 2020). | 30 |
| FIG. 5.1: SKISSE OVER PROSJEKTERT TRASÉ FRA PÅKOBLINGSPUNKTET I FERÅSVEGEN OPP TIL ØVRE STEINSVIKEN. | 32 |
| FIG. 5.2: GRØFTESNITT MED TILHØRENDE VANN- OG SPİLLVANNsledNING. VISER DE ULİKE LAGENE İ GRØFTEN OG AVSTAND MELLOM LEDNINGENE. LENGDENE ER OPPGITT İ MM. | 34 |
| FIG. 5.3: 3D-MODELL AV VANNKUM V1. BÅDE EKSISTERENDE OG NY LEDNING ER İ DUKTILT STØPEJERN. ALLE LEDNINGENE ER DN150. | 37 |
| FIG. 5.4: MODELL AV ARMATUR İ VANNKUM V1 BESTÅENDE AV VENTILKRYSS MED SERVICEUTTAK OG BRANNVANNsutTAK. | 38 |
| FIG. 5.5: OVERSIKT OVER SPİLLVANNskummene DER S1, S2, S4, S6 OG S7 HAR DIAMETER 1000 MM OG S3 OG S5 HAR 650 MM. | 41 |
| FIG. 5.6: VISER NEDBØRSFELT OG AVRENNINGSPİLER FØR OG ETTER UTBYGGING. | 42 |
| FIG. 5.7: FIGUREN VISER DE ULİKE SANDfangskummene BRUKT PÅ OMRÅDET, (A) VISER EN LIGNENDE KUPPELRİST, MENS (B) VISER EN LIGNENDE KJEFTSLUK. BEGGE HAR DIAMETER 1000 MM. BILDENE ER HENTET FRA (A) (BB PRODUKTER, 2015) OG (B) (STATENS VEGVESEN, 2017). | 45 |
| FIG. 5.8: GRAFISK FREMSTİLLING AV FORSKJELLEN MELLOM ÅRLIG TILBAKEHOLDING OG TILBAKEHOLDING İ SOMMERHALVÅRET. RESULTATENE VISER AT DEN ÅRLIGE TILBAKEHOLDINGEN ER OMTRENT HALVPARTEN AV TILBAKEHOLDINGEN İ SOMMERHALVÅRET FOR ALLE TAKENE. | 48 |
| FIG. 6.1: GRØNT SKRAVERT OMRÅDE VISER AREALER SOM SKAL FORSİNKE OG FORDRØYE NEDBØR, INFILTRASJONSGRØFT. | 51 |

TABELLISTE

| | |
|---|----|
| TABELL 3.1: ANBEFALT TYKKELSE PÅ VEKSTLAG OG DRENSLAG FOR ULIKE TYPER TAK OG PLANTEDEKKE..... | 16 |
| TABELL 3.2: AVRENNINGSFAKTORER JF. BERGEN KOMMUNE SIN VA-NORM. ULIKE TYPER DEKKER HAR ULIK AVRENNINGSKOEFFISIENT (BERGEN KOMMUNE, 2005). | 18 |
| TABELL 3.3: OVERSIKT OVER AKTUELLE MATERIALTYPER SOM BRUKES I VA-LEDNINGSNETTET – FORDELER OG ULEMPER MED ULIKE MATERIALER..... | 23 |
| TABELL 4.1: AVRENNINGSKOEFFISIENTER JF. BERGEN KOMMUNES VA-NORM (BERGEN KOMMUNE, 2020). | 29 |
| TABELL 5.1: TABELL MED OVERSIKT OVER PARAMETERE SOM ER BRUKT I BEREGNING AV DIMENSJONERING AV DRIKKEVANNsledning. | 35 |
| TABELL 5.2: PARAMETER BRUKT TIL BEREGNING AV DIMENSJONERENDE SPILLVANNsmengde..... | 39 |
| TABELL 5.3: OVERSIKT OVER HELNINGEN PÅ HVER AV DELSTREKKENE LANGS TRASEEN. FALLET PÅ SPILLVANNsledninger ER STORT NOK FOR Å SIKRE SELVRENS, OG HAR ET GJENNOMSNITTLIG FALL PÅ 82 %. | 40 |
| TABELL 5.4: OVERSIKT OVER DE ULIKE FELTENE I OMRÅDET OG FAKTORER KNYTTET TIL DEM. | 43 |
| TABELL 5.5: OVERSIKT OVER FELTENE ETTER UTBYGGING OG FAKTORER KNYTTET TIL DEM..... | 44 |
| TABELL 5.6: OVERSIKT OVER RESULTATER FRA ULIKE GRØNNE TAK SOM ER BRUK I OPPGAVEN. C = VARM - TEMPERERT KLIMA, D = KALD-TEMPERERT KLIMA, F = FUKTIG, S = SOMMERTØRKE, B = VARM SOMMER, C = KJØLIG OG KORT SOMMER (MAMEN, 2020). | 46 |
| TABELL 5.7: OPPBYGGING OG EFFEKTE AV FEM GRØNNE TEST-TAK I BERGEN. DATA HENTET FRA JOHANNESSEN, MUTHANNA OG BRASKERUD (2018). | 47 |

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Nye og eksisterende anlegg skal bygges, driftes og vedlikeholdes slik at kravene om godt, nok og sikkert drikkevann tilfredsstilles (Hansen, 2010). Ved utbygging av nye områder er det stilt krav til utarbeidelse av VA-rammeplan utarbeidet iht. kommunens VA-norm. VA-rammeplanen skal ta for seg eksisterende ledningsnett, etablering av nye ledninger, håndtering av overvann og flomveger. Denne legges til grunn ved detaljprosjektering av ledningsnettet. VA-rammeplanen for denne oppgaven er lagt ved som vedlegg A.

Endring av klima fører til økt nedbør, samtidig som innbyggertallet i Norge stadig øker. En stadig større andel naturlige flater byttes ut med mindre permeable dekker med lavere infiltrasjonsevne, og det stilles krav til håndtering av overvann for å unngå skader på personer og konstruksjoner. Konvensjonelle metoder for håndtering av overvann går ut på å lede vannet raskest mulig vekk fra overflaten til eksisterende overvannsnett. Dette er ikke en bærekraftig metode for håndtering av overvann, og med forventet økt nedbør i fremtiden er det viktig at overvann håndteres lokalt på tomten fremfor og ledes direkte inn på et overvannsnett. Ved lokal overvannshåndtering kan blant annet overvann brukes som et positivt element i nærmiljøet ved å etablere åpne dammer og vannveger før vannet infiltrerer i grunnen eller ledes videre til fordrøyningsmagasin eller overvannsnettet. I tillegg er lokal håndtering av overvann med på å opprettholde vannbalansen i området, samtidig som overvannet blir naturlig renses. Bergen kommune stiller krav om at overvann i størst mulig grad skal håndteres lokalt fremfor å ledes direkte inn på overvannsnettet.

En metode for lokal overvannsdisponering (LOD) er ved bruk av grønne tak. Grønne tak bidrar til å forsinke og fordrøye nedbør, er positivt for det biologiske mangfoldet og fanger opp svevestøv. En rekke studier er utført hvor det er forsket på grønne tak. Effekten grønne tak har til å redusere avrenning fra tak varierer fra de ulike studiene som er utført. Mentens, Raes og Hermy (2006) fant ut at intensive tak holder tilbake opptil 75 % av den årlige nedbøren i Tyskland, mens ekstensive tak holder tilbake opptil 45 % av den årlige nedbøren. Stovin, Vesuviano og Kasmin (2012) observerte at den årlige tilbakeholdingen på grønne tak i Sheffield var 50 %.

På bakgrunn av dette vil oppgaven ta for seg utarbeidelse av en VA-rammeplan og detaljprosjektering av denne. Oppgaven ser i tillegg på bærekraftig håndtering av overvann og hvilken effekt grønne tak vil ha i Bergen.

1.2 Problemstilling

Ved økt urbanisering øker andelen impermeable flater. Formålet med oppgaven er å prosjektere vann- og spillvannsledning til et nytt boligområde, samt å se på hvordan overvann kan håndteres på en bærekraftig måte. I tillegg er det sett på hvilken effekt grønne tak vil ha på tilbakeholding av nedbør i Bergen.

Lokalt klima har en stor innvirkning på effekten av grønne tak. Flere av studiene som har blitt utført på grønne tak har et annet klima enn det som er i Bergen, for eksempel Tyskland (Mentens, Raes og Hermy, 2006) og USA (Vanwoert *et al.*, 2005; Carter og Rasmussen, 2006). Tilgjengelig data fra studier med lignende klima som Bergen er derfor brukt til å finne ut hvilken effekt grønne tak vil ha i Bergen.

- *Hvordan prosjektere vann- og avløpsledninger til Øvre Steinsviken på en bærekraftig måte?*
- *Hvilken effekt har grønne tak i Bergen? Hvor stor tilbakeholding av nedbør kan grønne tak ha i en by som Bergen, med mye nedbør og temporært klima?*

1.3 Avgrensning og forutsetninger for oppgaven

Det foreligger en godkjent reguleringsplan for området, og et skoghogstfirma har allerede gjort klart for neste trinn i byggefasen. Eksisterende reguleringsplan er lagt til grunn for prosjekteringen av VA-ledningene. Adkomstvegen til området er allerede prosjektert. Denne modellen har blitt brukt som grunnlag i prosjekteringen i vertikalprofil for å få riktig overdekning av ledningsnett.

Oppgaven fokuserer på prosjektering av vann- og spillvannsledning som går fra eksisterende ledningsnett i Feråsvegen og opp til prosjektområdet, samt håndtering av overvann lokalt på området. Under prosjekteringen er det ikke tatt høyde for hvor fjernvarmesystem og eventuelle elektriske ledninger vil gå.

Sør i Feråsvegen er det i dag en bekkelukking som har utløp i Nordåsvannet. Det vil bli gjort undersøkelser om denne har tilstrekkelig kapasitet til å håndtere økte overvannsmengder når andelen tette flater øker ved utbygging og ved forventet økt nedbør i fremtiden.

Det har ikke vært noen tilgjengelige målinger eller data som viser tykkelsen på løsmassene. I Novapointmodellen er det derfor antatt en tykkelse på en meter. Dette er basert på observasjoner gjort i felt hvor et tverrsnitt av fjell og løsmasser var synlig på vestsiden ned mot Feråsvegen på grunn av arbeid på området. Det er likevel uvisst om tykkelsen er lik over hele området.

2 Områdebeskrivelse

2.1 Beskrivelse av området

Planområdet Øvre Steinsviken ligger i Ytrebygda bydel, sør i Bergen kommune. Området ligger på en høyde avgrenset av fv. 5186 (Steinsvikvegen) og Nordåsvannet i øst og Feråsvegen i vest (Fig. 2.1). Området er i dag kupert og ubebygget. Det består av vegetasjonsdekke med lyng, busker og løvtrær. Området ligger 37 moh.



Fig. 2.1: Oversiktskart som viser hvor Øvre Steinsviken ligger i forhold til Bergen sentrum og Bergen lufthavn Flesland.

Området er i Bergen kommune KPA (kommunedelplanens arealdel) satt som ytre byfortettingssone. Ved fortetting og utbygging i områder klassifisert som ytre byfortettingssone skal det legges vekt på gang- og sykkelveger, grøntareal og eksisterende bebyggelse (Kringstad og Matre, 2019).

Planområdet ligger skjermet fra trafikk og forbipasserende med utsikt over Nordåsvannet med Løvsstakken og Ulriken i bakgrunnen. Kollen sør i området er regulert som grøntareal hvor det skal tilrettelegges for turmuligheter. På området regulert til boligbebyggelse skal det bygges tre boligblokker med til sammen 56 leiligheter i varierende størrelse. Området rundt er i dag preget av eneboliger og rekkehus med nærhet til friluftsområder, sjø og kollektivtilbud.



Fig. 2.2: Bilder fra området viser hvordan det ser ut i dag. (a) utsikten fra området og (b) hvordan området ser ut i dag med kollen i sør som er regulert til grøntområde.

Sør for utbyggingsområdet er det et stort sammenhengende grøntområde med tursti og mulighet for rekreasjon. Langs Steinsvikvegen er det gode løsninger for både myke og harde trafikanter. Det er etablert rekkverk mellom bilveg og gang- og sykkelveg som ivaretar de myke trafikantenes sikkerhet. Ifølge vegvesenet sin ulykkesstatistikk foreligger det få ulykker langs Steinsvikvegen som har alvorlig skadegrad (Statens Vegvesen, 2020).

2.2 Eksisterende ledningsnett

Drikkevannet i området kommer fra Kismul vannbehandlingsanlegg, mens avløpsvannet fraktes til Flesland rensesanlegg hvor det renses før det slippes ut i resipient. De prosjekterte ledningene skal kobles til det kommunale ledningsnettet. I Feråsvegen ligger et kommunalt ledningsnett (Fig. 2.3) med følgende dimensjoner.

- Drikkevannsledning i duktilt støpejern med indre diameter på 150 mm.
- Spillvannsledning i betong med indre diameter på 150 mm.
- Overvannsledning i betong med indre diameter på 500 mm.

I tillegg er det montert brannvannsuttak i en av vannkummene i Feråsvegen.

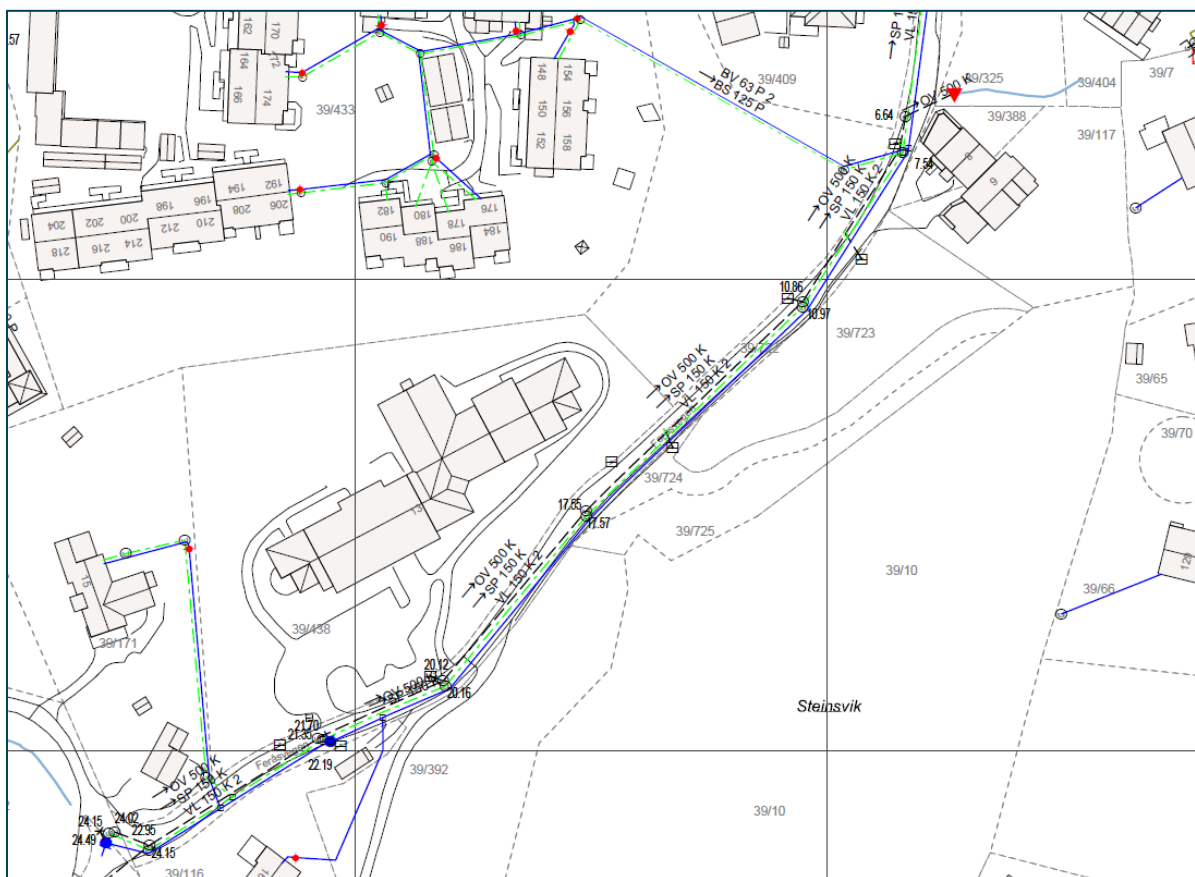


Fig. 2.3: Oversiktskart over eksisterende ledningsnett i Feråsvegen.

2.3 Grunnforhold

Ut fra løsmassekart tilgjengelig hos NGU er området beskrevet som bart fjell. Observasjoner fra satellittdata viser at utbyggingsområdet har et vegetasjonsdekke med lyng, gress og trær. Under befaring 28. mars 2020 ble det observert et tverrsnitt av løsmassene i forbindelse med arbeid på området (Fig. 2.4). Arbeidet ble utført i helningen ned mot Feråsvegen. Her ble det observert et lag med jord og organisk materiale over et tykkere lag med sand/silt. Det ble ikke gjennomført noen målinger for å fastslå tykkelsen på hvert av lagene, og det er uvisst om lagene har samme tykkelse over hele området. Det vil derfor være en usikkerhet knyttet til tykkelsen av lagene, men ettersom det vokser trær på området vil det være rimelig å anta at det må ha en viss utbredelse over hele området. Grunnforholdene er en viktig faktor ved infiltrasjon av overvann. I tillegg er infiltrasjon avhengig av topografi, helning, vegetasjon, avstand til grunnvannsnivå og årstider. Fin sand/silt har en permeabilitet på 4 cm/t og sandige masser en permeabilitet på 11 cm/t. Mye finstoff er med på å tette porerommene i jordarten, og dermed redusere permeabiliteten og infiltrasjonsevnen jordarten har.



Fig. 2.4: Tverrsnitt over løsmasser som ligger over fjell. Blå linje markerer laggrensene mellom organisk materiale og sand/silt, samt mellom sand/silt og fjell.

3 Teori

3.1 Overvann

Overvann kommer fra nedbør og smeltevann. Vannet som ikke infiltreres ned i grunnen vil renne på overflaten og defineres som overvann (Ødegaard *et al.*, 2014, s. 344). Med tanke på klimaendringer og økt nedbørsmengde i fremtiden vil overflateavrenningen kunne øke. Dette vil igjen kunne føre til oversvømmelser, erosjon og skader på konstruksjoner og personer (Klimatilpasning, 2016). Tradisjonelle metoder for å håndtere overvann har vært å få vannet raskest mulig vekk fra overflaten ved å lede vannet bort i lukkede overvannssystemer (Fig. 3.1 a). Dette kan blant annet resultere i senkning av grunnvannstand som igjen kan gi setningsskader på infrastruktur og bygninger (Ødegaard *et al.*, 2014, s. 344).

Tre-trinnsstrategien er med på å legge føringer på hvordan overvann kan håndteres for å oppnå en mer bærekraftig og fremtidsrettet overvannshåndtering. Mindre nedbørsmengder infiltreres i grunnen og større nedbørsmengder forsinkes og fordrøyes ved etablering av lokale fordrøyningsmagasiner og dammer (Fig. 3.1 b). Overvannet kan i tillegg brukes som et positivt element i bybildet som åpne dammer, bekker etc.

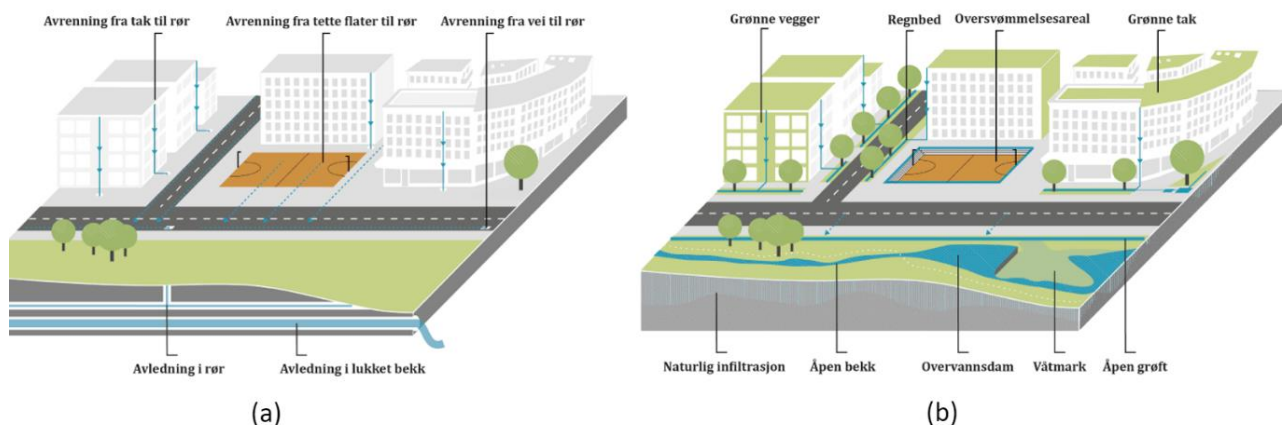


Fig. 3.1: (a) Konvensjonell overvannshåndtering hvor overvannet ledes direkte til overvannsnett og (b) bærekraftig overvannshåndtering hvor overvannet ledes på overflaten og infiltreres ned i grunnen. Hentet fra Skaaraas (2015).

3.1.1 Tre-trinnsstrategien

Norsk vann har utarbeidet en tre-trinnsstrategi for håndtering av overvann.

"Mens hovedfunksjonen til trinn 2 og 3 er skadebegrensning, vil funksjonen til trinn 1 kunne inkludere å sikre en naturlig vannbalanse gjennom infiltrasjon, fordampning og opptak av vann i vegetasjon, rense forurenset overvann, redusere mengden uønsket vann tilført avløpsrensaneanlegget, utnytte vannets estetiske eller økologiske potensial og/eller gjenbruke overvann" (Paus, 2018).

Overvannet som skal håndteres er nedbøren og smeltevann som renner av på overflaten av harde flater der naturlig vegetasjon og planter ikke lenger har kapasitet til å holde på nedbøren. I områder der bebygd areal er høyt og andelen tette flater er vesentlig høyere enn naturlige overflater, bør det stilles strengere krav til hvordan overvannet bør håndteres. De ulike trinnene i tre-trinnsstrategien skal infiltrere, forsinke og fordrøye nedbør av ulik størrelse lokalt. Tradisjonelt har strategien handlet om infiltrering, forsinkning og fordrøyning, samt å sikre trygge flomveger. Paus (2018) presenterte et nytt ledd, planlegging. Ifølge han har erfaringer vist at det er vanskelig å håndtere de tre trinnene dersom det ikke er lagt til rette for det i planleggingsfasen. Planlegging går ut på å fastsette kravene i en tidlig fase. Dersom kommuner som Bergen stiller krav til at overvann skal håndteres lokalt, er det enklere for de som planlegger å følge retningslinjene som er gitt.

Trinn 1 går ut på å fange opp, rense og infiltrere nedbør på opptil 20 mm lokalt. Når det prosjekteres nye områder, vil det være hensiktsmessig å etablere overflater som fanger opp avrenning fra mindre nedbør lokalt i egen tomt. Tiltak for å håndtere mindre nedbørshendelser er blant annet grønne tak, regnbed og permeable dekker.

Overflateavrenning som ikke fanges opp av trinn 1 føres videre til trinn 2 som har som formål å forsinke og fordrøye nedbør på mellom 20 – 40 mm. Overvannet fordrøyes lokalt før det slippes ut i vassdrag eller på ledningsnett (Paus, 2018). Det skilles mellom åpne og lukkede fordrøyningsløsninger. Lukkede løsninger inkluderer blant annet plastkassetter eller steinfyllinger og rørmagasiner. Eksempel på åpne løsninger er åpne fordrøyningsdammer og mindre bekker.

Trinn 3 går ut på å sikre trygge flomveger. Ved større nedbørshendelser på over 40 mm skal overflødig vann ledes bort til sikre flomveger før det ledes videre ut i vassdrag. Ifølge Norsk vann (2020) bør det tredje leddet i tre-trinnsstrategien kunne håndtere hundreårsnedbør. For å unngå store inngrep i naturen/byggeområdet, benyttes adkomstveger, oppholdsplasser og andre store områder som flomveger. Flomveger må sikres mot erosjon.

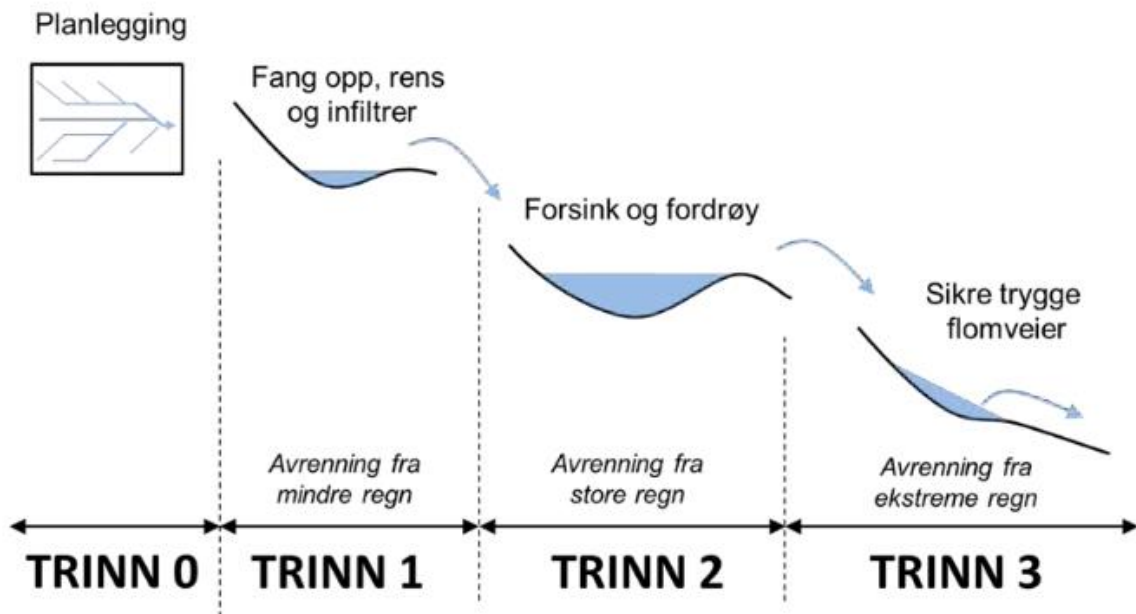


Fig. 3.2: Illustrasjon hentet fra Paus (2018). Trinn 1 har som hensikt og fange opp, rens og infiltrere, trinn 2 skal forsinke og fordrøye og trinn 3 går ut på å sikre trygge flomveger.

3.1.2 Lokal overvannsdiskonering (LOD)

LOD går ut på at overvann håndteres lokalt, enten ved infiltrasjon eller at det ledes bort på overflaten via åpne vannveger. Ved infiltrasjon tas vann opp naturlig av grunnen, forbrukes av planter og kondenserer fra overflaten ved mindre nedbørshendelser. Forsinkelse og fordrøyning av overvann går ut på å lede vann til et magasin eller basseng hvor det forsinkes og fordrøyes før det ledes videre til grunnen, resipienter eller overvannsnett (Bergen kommune, Byrådsavdeling for byutvikling og Vann- og avløpsetaten, 2005).

Ved urbanisering øker andelen tette flater, og den naturlige infiltrasjonen vil reduseres. Ved å bytte ut tette flater som asfalt og betongdekker med infiltrasjonsdekker med en viss porøsitet og permeabilitet vil en del av infiltrasjonen opprettholdes. Infiltrasjonsdekker kan være vegetasjonsdekke, dekke av pukk og grus, permeabel asfalt og brostein (Bergen kommune, 2005). Permeable dekker er konstruert slik at overvann kan drenere gjennom fuger og porerom, og ned i grunnen (Fig. 3.3 f). På denne måten vil det bidra til at mindre overvann vil ledes til eksisterende overvannssystem samtidig som grunnvannsnivået opprettholdes. Slike dekker kan anlegges på gardsplasser eller steder der overvann samles (Sivertsen, 2018).

Lokale fordrøyningssystemer er med på å redusere flomtopper og avrenningen. Det skilles mellom åpne og lukkede fordrøyningssystemer (Fig. 3.3). Åpne fordrøyningssystemer omfatter blant annet søkk i terrenget, grøfter, våtmarksområder, naturlige- og kunstige dammer. Fordrøyningsdammer har et permanent vannspeil og bunnventil for tømning av dammen (Fig. 3.3 a). I tillegg til å fordrøye overvann kan de også rense overvannet. Dammen må ha regelmessig drift og vedlikehold for å fungere optimalt, og det er nesten umulig å unngå alger og eutroforering. En løsning kan være å plassere en fontene i dammen eller sørge for at det ikke blir stillestående vann ved andre tilsvarende tiltak (Ødegaard *et al.*, 2014).

Regnbed er en beplantet forsenkning med stedege masser plassert i terreng som har til hensikt å forsinke og fordrøye overvann som kommer fra hustak, gardsplasser, parkeringsareal og veg (Fig. 3.3 b). Regnbedet består som regel av et drenerør i bunn og et drenerlag som hindrer tetting av drenerøret. Over plasseres et filtermedium med tilstrekkelig infiltrasjonsevne og planter som bidrar til transpirasjon (Bent Braskerud, 2016).

Lukkede fordrøyningssystemer inkluderer steinfyllinger, infiltrasjonsgrøft, plastkassetter og betongmagasiner (Bergen kommune, Byrådsavdeling for byutvikling og Vann- og avløpsetaten, 2005). Fordelen med lukkede fordrøyningssystemer er at de også egner seg for ettermontering der eksisterende overvannsløsninger ikke er tilstrekkelige. Plastkassetter og steinmagasiner har et stort porevolum som kan fylles med overvann (Fig. 3.2 d). Vannet vil videre perkolere ut i omkringliggende masser, ledes videre til utløp eller overvannsnett (Ødegaard *et al.*, 2014). For at porevolumet ikke skal tettes igjen av finere masser bør magasinet dekket av en fiberduk.

Betongmagasiner (Fig. 3.2 e) klassifiseres som en lukket løsning og har til egenskap å "mellomlagre" vannet. Magasinet brukes ofte på områder som ikke har tilstrekkelig kapasitet til å infiltrere alt overvannet og kan ettermonteres ved behov (Bergen kommune, 2005).

Infiltrasjonsanlegg dimensjoneres for volumavrenning. Kapasiteten anlegget vil ha påvirkes av blant annet vegetasjon, jordart, oppbygging, helning mm. For å tilfredsstille god infiltrasjon og/eller fordrøyning brukes som regel gress-/vegetasjonsdekke i grøfter med lite fall (Fig. 3.3 c). I tillegg bør kunstige vannveier etableres slik at tilrenningstiden til vannet ikke reduseres. Et infiltrasjonsanlegg vil også kunne fungere som et rensiltak av forurenset overvann (Bergen kommune, 2005).



Fig. 3.3: Figuren viser eksempler på ulike lokale fordrøyningsløsninger for trinn 1 og 2 i tre-trinnsstrategien. (a) overvannsdam, (b) regnbed, (c) infiltrasjonsgrøft, (d) plastkassetter, (e) betongmagasin og (f) permeabel belegningsstein hvor vannet infiltrerer igjennom fuger. Bilde (d) er hentet fra Delta V (2020), mens de resterende bildene er hentet fra Åstebøl et al. (2013).

3.2 Grønne tak

I løpet av de siste årene har bruken av grønne tak økt (Johannessen, Muthanna og Braskerud, 2018). Norge har et varierende klima med store temperatur- og nedbørsforskjeller gjennom året på ulike steder. Dette kan gi utfordringer knyttet til bruken av grønne tak. Grønne tak har som hensikt å infiltrere, forsinke og fordrøye avrenningen fra tak ved nedbørshendelser, spesielt i urbane områder (Fig. 3.4). I tillegg kan grønne tak bidra til bevaring av økosystemer og gi et bedre bymiljø (Oberndorfer *et al.*, 2007; Lundholm og Williams, 2015). Nedbør kan fanges opp av dreneringssystem, tas opp av planter eller fordampes. Ifølge Hanslin og Johannessen (2018) vil grønne tak kunne fordrøye og forsinke mindre ved middels store nedbørsmengder, mens ved kraftig nedbør har taket liten effekt da massene fort blir mettet av vann. Ved nedbør over lengre tid vil også taket bli mettet, og effekten av grønne tak vil da forsvinne. Overskuddsnedbør som taket ikke klarer å holde på, ledes videre med takrenner, ut på vegetasjonsdekker og videre til fordrøyningsystemer nedstrøms. Dette gjøres fremfor å lede overvann direkte på overvannsnett eller fellessystemet. Ved å forhindre at overvann ledes direkte inn på ledningsnett kan dette bidra til å opprettholde vannbalansen i området.

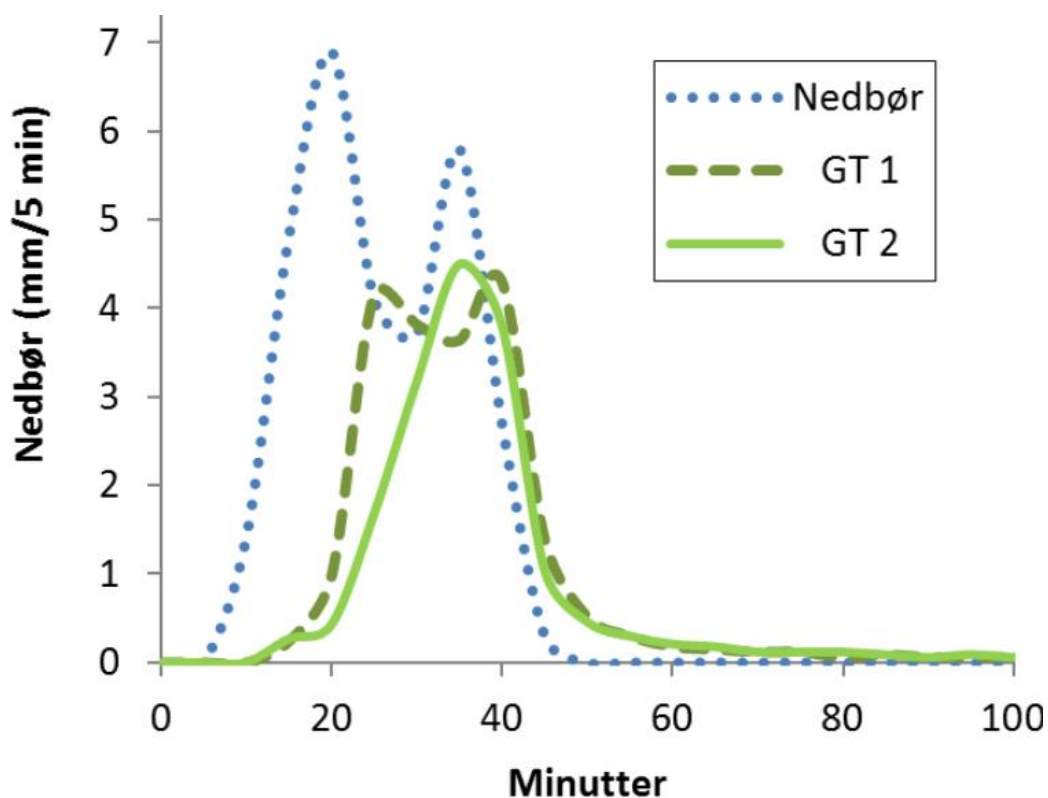


Fig. 3.4: Illustrasjon på hvordan grønne tak kan være med på å redusere avrenningen fra tak ved nedbør. GT1 og GT2 viser avrenningen fra to grønne tak i Oslo. Her er det tydelig at takene har infiltrert, forsinket og fordrøyet avrenningen. Hentet fra Braskerud (2016).

Det skilles mellom tre ulike typer grønne tak, intensive-, semi-intensive- og ekstensive tak (Li og Yeung, 2014). Forskjellen mellom de er tykkelsen på vekstmediumet og variasjonen av planter. Intensive tak har et tykkere vekstlag og er egnet på bygg som dimensjoneres til å tåle stor belastning. På denne typen tak ser man ofte trær og busker. Semi-intensive tak har middels vekstmedium der muligheten er større for artsmangfold. Ekstensive tak er primært brukt, og består av tørketolerante plantearter som ikke har vesentlig stor vekt sammenlignet med de andre typene. I Norge er det store variasjoner i nedbør og temperatur i de ulike landsdelene gjennom året. Materialer som benyttes må dermed tåle store nedbørsmengder og lengre tørkeperioder for å unngå at funksjonen svekkes (Braskerud, 2014a, s. 8). Ekstensive tak er den vanligste formen for grønne tak. Denne løsningen har et tynt lag med jord og tåler lengre perioder med tørke, og krever lite eller ingen vedlikehold (Leca, u.å.).

Stadig større andel grøntareal ombygges til boligområder, noe som medfører at andelen tette flater øker. Grønne tak kan erstatte de tradisjonelle tette takene for å dempe avrenningen av overvann til avløps- og overvannsnettet i byer, samtidig som de fanger opp svevestøv og bidrar til renere luft. I byer og tettbygde strøk bidrar grønne tak til et bedre miljø. Vegetasjonen fungerer som et kjøleelement for bygninger på varme dager og kan fungere isolerende på kalde dager. Det biologiske mangfoldet øker, hvor de grønne områdene er et oppholdssted for fugler og andre arter (Braskerud, 2016).

Grønne tak har flere positive egenskaper, men det er også knyttet flere ulemper til bruk av grønne tak. En ulempe er anleggskostnadene i forhold til bruk av takpapp/shingel. Selv om det stilles lavere krav til drift og vedlikehold av ekstensive grønne tak, er behovet vesentlig større sammenlignet med normale tette tak. Sluk på tak må blant annet holdes åpne for at takene skal ha ønsket effekt. Kostnadene ved en potensiell skade er normalt høyere, da det krever mer arbeid å kartlegge og utbedre skaden. Standard Norge anbefaler å bruke ekstensive grønne tak (Braskerud, 2016).

3.2.1 Oppbyggingen av grønne tak

Grønne tak utformes forskjellig, slik at det for hvert prosjekt tas hensyn til omgivelsene, nedbørsmengder og fremtidige klimaendringer (Fig. 3.5). En mye brukt oppbygging av grønne tak har et lag av vann- og rottett membran, drenslag, geotekstil og jord-/vekstlag. Disse lagene ligger over den bærende konstruksjonen.



Fig. 3.5: Bildet viser hvordan taket går i ett med resten av naturen (Bergknapp, u.å.).

Vann- og rottett membran ligger nærmest konstruksjonen og har som funksjon å hindre at vann trenger igjennom. Dersom membranen skulle skades, vil det påvirke holdbarheten til vegetasjonen. Derfor anbefales det en ekstra kontroll av tetthet ved utførelse av membranen.

Vekstlaget består av grus, knust stein, lava, pimpstein, leca, samt diverse kunststoff. Denne sammensetningen av materialer skiller seg fra vanlig vekstjord ved at den har en høy porøsitet. Resultatet er at sammensetningen evner å holde på store mengder vann, mens overflødig vann transporteres bort for å unngå drukning av plantene.

Store flater med grønne tak vil medføre høy belastning på konstruksjonene. Dermed er ulike kunststoff tatt i bruk som vekstmedium og drenslag for å senke den totale vekten. Drenslaget sikrer god drenering av overskuddsvann og har ulik tykkelse avhengig av helning og beplantning, tilsvarende gjelder for vekstlaget. Vannet på flate tak ledes til sluker og taknedløp, mens det ved skråtak ledes til takrenner som deretter transporterer vannet ut på andre flater som infiltrerer vannet. Tabell 3.1 under viser anbefalt tykkelse på vekst- og drenslaget (VA/Miljøblad, 2013).

Tabell 3.1: Anbefalt tykkelse på vekstlag og dretnslag for ulike typer tak og plantedekke.

| Bepplantning | Vekstlag i mm | Dretnslag i mm |
|---------------------------|---------------|----------------|
| Flate tak: | | |
| <i>Mose og bergknapp</i> | 20-50 | 40-70 |
| <i>Bergknapp og gress</i> | 80-120 | 100-140 |
| Tak med helning: | | |
| <i>Mose og bergknapp</i> | 20-50 | 40-70 |
| <i>Bergknapp og gress</i> | 100-150 | 120-170 |

3.2.2 Valg av planter

Plantene som velges må tåle de påkjenningene som oppstår i form av nedbør, fuktighet, varierende temperaturer og uttørkende vind. De grønne takene bør etableres tidlig i vekstsesongen slik at røttene får tilstrekkelig med tid til å etablere rotsystemet før vintersesongen. Det finnes flere ulike typer planter med ulike egenskaper som egner seg på grønne tak. Ofte brukte planter er moser, bergknapp (sedum), ulike urter og gress. Disse kommer som ferdige matter der røttene til plantene er tilstrekkelig utbredt eller som frø der plantene sås i et utlagt vekstmedium (VA/Miljø-blad, 2013). Bergknapp og mose er mer hardføre planter, og tåler lengre perioder med tørke sammenlignet med gress. De krever også mindre vedlikehold (Noreng et al., 2012).

3.2.3 Ulike typer grønne tak

Ekstensiv grønne tak er den typen tak som er mest utbredt. Takene kan enten bygges som rene sedumtak eller en blanding av sedum, urter og gress (Fig. 3.6 a). For rene sedumtak varierer byggehøyden mellom 50-150 mm, og i vannmettet tilstand veier de ca. 50 kg/m². Tak bestående av en blanding av sedum, urter og gress bygger litt ekstra, og har et vekstlag på om lag 120 mm, og veier ca. 130 kg/m² i vannmettet tilstand. Ekstensiv tak er lette, og kan derfor ofte legges på allerede eksisterende bygg uten at bygget må forsterkes for å tåle vekten. Denne typen tak er ikke konstruert for opphold bortsett fra nødvendig vedlikehold og inspeksjon av tak (Noreng et al., 2012).

Semi-intensive grønne tak har et tykkere vekstlag, bygger om lag 130–230 mm og veier mellom 120-200 kg/m² i vannmettet tilstand. I motsetning til ekstensive tak er semi-intensive tak oftest flate og kan utformes slik at de er beregnet for opphold. Torvtak tilhører denne gruppen. Intensive grønne tak er utformet som en takhage, og har ofte stauder, busker og trær som krever tykkere vekstmediet (Fig. 3.6 b). Vekstlaget varierer derfor mye fra 150-400 mm, og ekstra tykkelse der det er trær. Den totale vekten varierer mellom 200-1000 kg/m² i mettet tilstand avhengig om busker og trær benyttes (Noreng *et al.*, 2012). Intensive tak er formet som en takhage og er utformet for opphold og rekreasjon.

Ved valg av grønne tak er det hensiktsmessig å ha klart for seg hvilke behov taket skal tilfredsstillere. Tykkelsen på taket avhenger av hvilke funksjoner sluttresultatet får og hvor mye nedbør som fanges opp. Tilbakeholdelsen av nedbør øker i forhold til tykkelsen på vekstmediet og må drøftes sammen med fordelene og ulempene knyttet til valg av grønne tak (Braskerud, 2016). Ekstensive tak er den typen grønt tak som krever minst vedlikehold etterfulgt av semi-intensive tak og intensive tak.

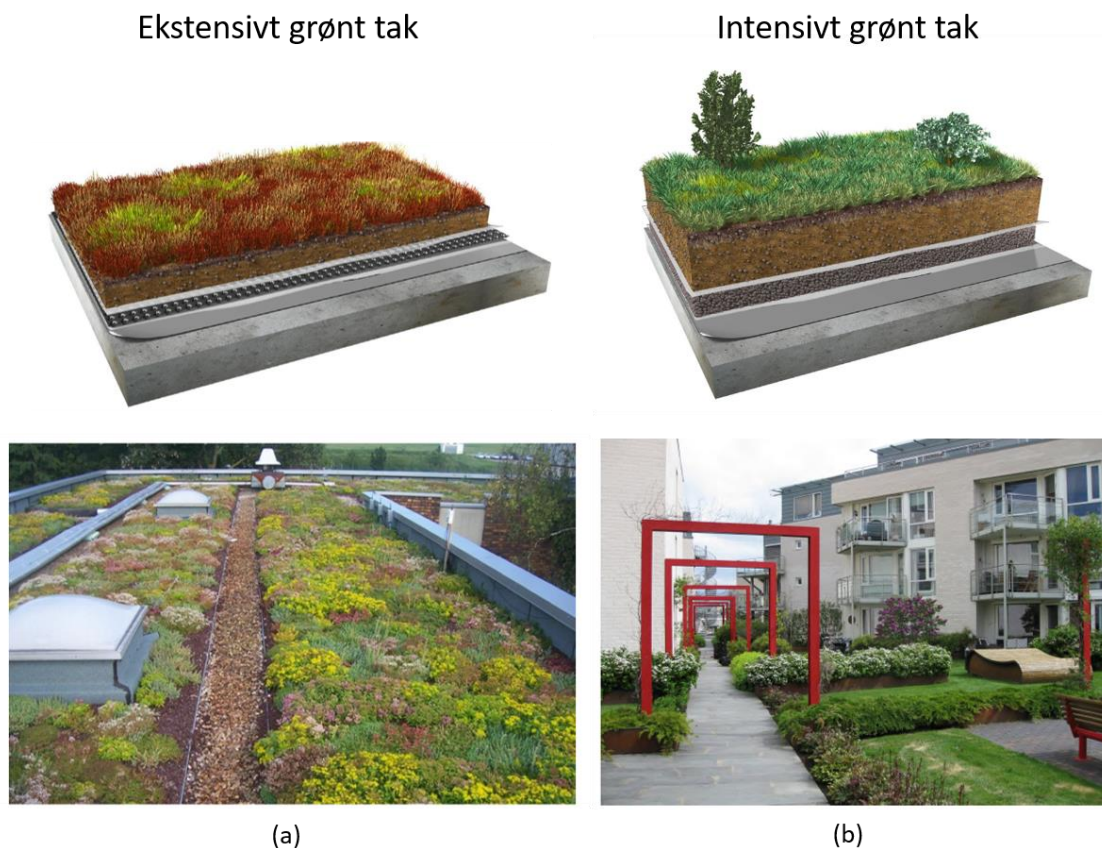


Fig. 3.6: (a) viser oppbyggingen av ekstensive grønne tak og eksempel på hvordan et ekstensivt grønt tak kan se ut. (b) viser oppbyggingen av intensive grønne tak og et eksempel på hvordan intensive tak kan formes. Tykkelsen på intensive grønne tak er avhengig av behovene til plantene som brukes. Bildene er hentet fra Leca (2017) og Noreng *et al.* (2012).

3.3 Rasjonelle formel

For arealer mindre enn 50 ha kan den rasjonelle formelen brukes ved beregning av overvannsmengder (Bergen kommune, Byrådsavdeling for byutvikling og Vann- og avløpsetaten, 2005). Den rasjonelle formel med klimafaktor er gitt i formel 3.1 og beregner dimensjonerende vannføring:

$$Q_t = \phi \times A \times I * K_f \quad [3.1]$$

ϕ - Avrenningskoeffisient

A - Areal

I - Intensitet

K_f - Klimafaktor

3.3.1 Avrenningskoeffisient

Avrenningsfaktoren er avhengig av vegetasjonsdekket/andelen tette flater, helning på terrenget og arealet av vassdrag innenfor nedslagsfeltet. Tette flater vil ha en høyere avrenningsfaktor enn permeable flater, og slakt og flatt terreng vil gi en lavere avrenningsfaktor enn bratt terreng. Vassdrag/innsjøer innenfor nedslagsfeltet er med på å redusere midlere avrenningsfaktor. En oversikt over avrenningsfaktorer basert på type dekke er gitt i Tabell 3.2.

Tabell 3.2: Avrenningsfaktorer jf. Bergen kommune sin VA-norm. Ulike typer dekker har ulik avrenningskoeffisient (Bergen kommune, 2005).

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

3.3.2 Areal

Nedbørsfeltet til området må kartlegges for å anslå det totale arealet. Nedbørsfeltet defineres som det området som har felles avrenning til et vassdrag eller sluk.

3.3.3 Intensitet

Intensiteten (I) bestemmes ut fra gjentaksintervall og varighet. Gjentaksintervallet er avhengig av hvilken type område det skal prosjekteres for. Det velges ut ifra hvilken dimensjonerende regnskylhyppighet og hvilken oversvømmelseshyppighet man legger til grunn. Varigheten settes lik feltets konsentrasjonstid. For bestemmelse av I brukes IVF-kurve hvor gjentaksintervallet og varigheten er de parameterne som avgjør hvilken intensitet som benyttes (Myrabø, 1991).

3.3.4 Klimafaktor

For å ta høyde for fremtidige klimaendringer og økt nedbørsmengder multipliseres det med en klimafaktor. Det finnes flere anbefalinger på hvilken klimafaktor som skal benyttes, alt fra en økning på 1,1 – 1,5. Kommunedelplanen for overvann 2019-2029 anbefaler et påslag på 1,4 (Bergen kommune, 2019).

3.3.5 Usikkerhet knyttet til den rasjonelle formelen

Det er knyttet usikkerheter til hver av de ulike parameterne i den rasjonelle formel. I tillegg kan menneskelige feil og avlesninger påvirke resultatet da det kan være ulike syn på hvilke verdier som er riktig å benytte for ulike geografiske områder.

Avrenningsfaktoren kan variere innenfor et område da nedbørsfeltet vanligvis består av flere overflatetyper. Også nedbørsmengden kan ha en innvirkning på avrenningsfaktoren. Lange nedbørsperioder kan føre til at grunnen blir mett og avrenningsfaktoren vil dermed øke. Ved langvarig nedbør med varighet over tre timer bør de høyeste verdiene benyttes (Stenius *et al.*, 2015). I tillegg vil avrenningsfaktoren variere med årstiden, for eksempel vil frost i bakken gi økt avrenning på steder hvor vannet normalt vil infiltrere.

Høydekurver er ofte brukt til å avgrense nedbørsfeltene. Det er knyttet usikkerhet til bruken av disse. Eksisterende overvannsledninger er beregnet ut fra et tidligere avgrenset nedbørsfelt, men urbanisering og omforming av områder kan føre til at nedbørsfeltene endres i form av konstruksjoner og avgrensninger som for eksempel bygninger og veger. I tillegg kan økt nedbør og flom føre til utvidelser av nedbørsfelt.

Det er også en usikkerhet knyttet til IVF-kurven. Korte dataserier gir en usikkerhet for lange returperioder. Utarbeidelsen av IVF-kurven er også basert på ekstrapolering. De fleste målestasjoner måler heller ikke korttidsnedbør om vinteren. Nedbørsintensiteten er beregnet ut fra målinger fra hver stasjon og gir et estimat for fremtidig nedbør. Den rasjonelle formel forutsetter også at det er lik nedbør i hele nedbørsfeltet, men i realiteten vil det kunne være forskjeller selv innad i et relativt begrenset område.

Ifølge VA/Miljø-blad (2018c) anbefales det en klimafaktor på 1,4 for sterke regn med regnvarighet mindre enn tre timer, mens ved bruk av Statens vegvesen håndbok N200 velges klimafaktor ut ifra forventet levetid på installasjonen på henholdsvis 1,3 (10 år), 1,4 (100 år) og 1,5 (200 år). For å ta hensyn til økt nedbør og klimaendringer legges det til en økning på for eksempel 1,4 på de regnintensitetene som IVF-kurvene viser.

3.4 Prosjektering av ledningsnett

VA-normen til Bergen kommune og ulike VA/Miljø-blad er lagt til grunn ved prosjektering av ledningsnett.

3.4.1 Drikkevann

Vannforbruket varierer gjennom året og døgnet. Høyest vannforbruk gjennom døgnet er om morgenen og ettermiddagen. Vannforsyningsledninger må derfor dimensjoneres ut fra perioder med størst forbruk for å sikre at alle får nok vann med tilfredsstillende trykk. Dimensjonerende vannforsyning baseres på maksimalt forbruk gjennom døgnet, og er gitt ved formelen [3.2]:

$$Q_{maks} = \frac{PE * Q_h * f_{maks} * k_{maks} + Q_a * PE + Q_{lekk} * PE}{24 * 60 * 60} + Q_{brann} \quad [3.2]$$

PE – Personekvivalenter

Q_h – Husholdningsforbruk [l/s]

f_{maks} – Maksimal døgnfaktor

k_{maks} – Maksimal timesfaktor

Det er stilt krav om tilstrekkelig vann til brannslukking i Plan- og bygningsloven (2020) §27-1. VA/Miljø-blad anbefaler 20 l/s for småhusbebyggelse og 50 l/s for sentrumsområder og næringsområder. Det forventes samtidig at abonnenter har tilfredsstillende trykk samtidig som brannvann tappes med trykk på 1 bar (10 mVs) (VA/Miljø-blad, 2017).

3.4.2 Spillvann

Spillvann defineres som alt vann som har blitt brukt i husholdninger, bedrifter og næringsanlegg. Normalt settes spillvannsmengden lik vannforsyningen, men i realiteten er spillvannsmengden noe mindre da alt vannet som kommer ut av kranene ikke går tilbake i sluket (Ødegaard *et al.*, 2014). Ettersom spillvannsrør vanligvis er trykkløse, vil det kunne forekomme innlekking i rørene.

Spillvannsledninger skal ha selvrensende vannføring minst en gang i døgnet. Vannføringen i ledningen har store variasjoner gjennom døgnet, med høyest vannføring om morgenen og ettermiddagen (Ødegaard *et al.*, 2014). For å sikre selvrens skal ledningen enten legges med et fall på minimum 10 ‰ eller dokumenteres med beregninger at ledningen er selvrensende. For spillvannsledninger er kravet 2 kN/m² og for fellesledninger 3-4 kN/m² (VA/Miljø-blad, 2015). Spillvannsledninger skal prosjekteres slik at det oppnås selvrensende vannføring minst en gang i døgnet. Vannføringen i ledningen har store variasjoner gjennom døgnet, men høyest vannføring om morgenen og ettermiddagen (Ødegaard *et al.*, 2014). For å sikre selvrens skal ledningen enten legges med et fall på minimum 10 ‰ eller dokumenteres med beregninger at ledningen er selvrensende.

3.4.3 Ledningsmateriale

Det stilles krav i drikkevannsforskriften at alle har krav på sikker levering av rent og trygt vann uten fremtredende lukt, smak eller farge (Drikkevannsforskriften, 2017). For at disse kravene skal tilfredsstilles er det viktig at ledningen er lagt riktig og ikke har blitt skadet under montering. Ledningsmaterialene som velges, uavhengig om det er til vannforsyning eller spillvann, skal være motstandsdyktig mot fysiske krefter og kjemiske påkjenninger, og ha en dimensjonerende levetid på 100 år.

Til drikkevannsforsyning er aktuelle rørmaterialer plastrør (PE og PVC) og duktile støpejernsrør med innvendig og utvendig belegg (VA/miljø-blad, 2010). Rørtyper som er aktuell å bruke som spillvannsledninger er duktilt støpejern, betong, polyvinylklorid (PVC), polypropylen (PP) og polyetylen (PE). Oppsummerende oversikt over rørmaterialer og egenskaper er gitt i Tabell 3.3.

Betongrør brukes i all hovedsak som avløpsrør, og kommer med og uten armering. Betongrør må tilfredsstillere kravene gitt i NS 3121 "Rør og rørdeler av betong" og vil ved riktig bruk ha en levetid på minst 100 år. Betongrør leveres i ulike dimensjoner og oppgis med indre diameter. Materiale tåler høye påkjenninger, men dette forutsetter krav om overdekning som beregnes ut ifra rørtype og den indre diameteren på røret (VA/Miljø-blad, 2018a).

Duktilt støpejern har stor mekanisk styrke. Materiale egner seg i alle temperaturer, tåler store lastpåkjenninger og er ofte benyttet i områder hvor kravet til sikkerhet er stor. Jernet påføres utvendig korrosjonsbeskyttelse for å forlenge materialets levetid og for å forhindre korrosjon. Ved kompliserte traséer har støpejern egenskapen at det kan vinkle seg i skjøter (VA/Miljø-blad, 2018b).

Polyvinylklorid (PVC) er et mye brukt rørmateriale med gode egenskaper egnet for vannforsyning og avløp. Materiale er fleksibelt og lett, og i tillegg enkelt å arbeide med. Sammensetningen gjør røret motstandsdyktig mot korrosjon fra naturlige stoffer som finnes i avløpsvann og ulike kontaktflater som jord/bergarter. PVC krever høy nøyaktighet ved legging av rør, men vil til gjengjeld gi god tetthet (VA/Miljø-blad, 2019a). Polypropylen (PP) benyttes i dag primært til trykkløse grunnavløpsrør og skal holde tett i 100 år, i tillegg til å tåle de påkjenningene som kreves (VA/Miljø-blad, 2019b).

Polyetylen (PE) benyttes til transport av drikkevann, spillvann, overvann og drensvann. Det er godt egnet for trykksatte spillvannsledninger. I tillegg egner røret seg som sjøledninger og i grøftefrie ledningsanlegg (NoDig) (VA/Miljø-blad, 2019c).

Tabell 3.3: Oversikt over aktuelle materialtyper som brukes i VA-ledningsnett – fordeler og ulemper med ulike materialer.

| Ledningsmateriale | Fordeler | Ulemper |
|-------------------|---|---|
| PE (polyetylen) | God korrosjonsbestandighet. Hydraulisk glatt overflate Strekkefaste skjøter | Strengt krav til legging Petroleum fra grunn kan sive igjennom rør |
| PVC og PP | God korrosjonsbestandighet. fleksible rør lett å transportere og | Sårbar for feil legging |
| Betong | Sterkt materiale God korrosjonskontroll | Utsatt for kjemisk nedbrytning ved lav pH og septiske forhold. |
| Duktilt støpejern | Sterkt materiale Korrosjonsbestandig med beskyttelse | Mindre egnet i bløte grunnforhold. |

3.4.4 Grøfteutforming

Det er stilt krav til oppbygging og komprimering av grøfter. Grøften består av fundament, sidefylling og beskyttelseslag (Fig. 3.7).

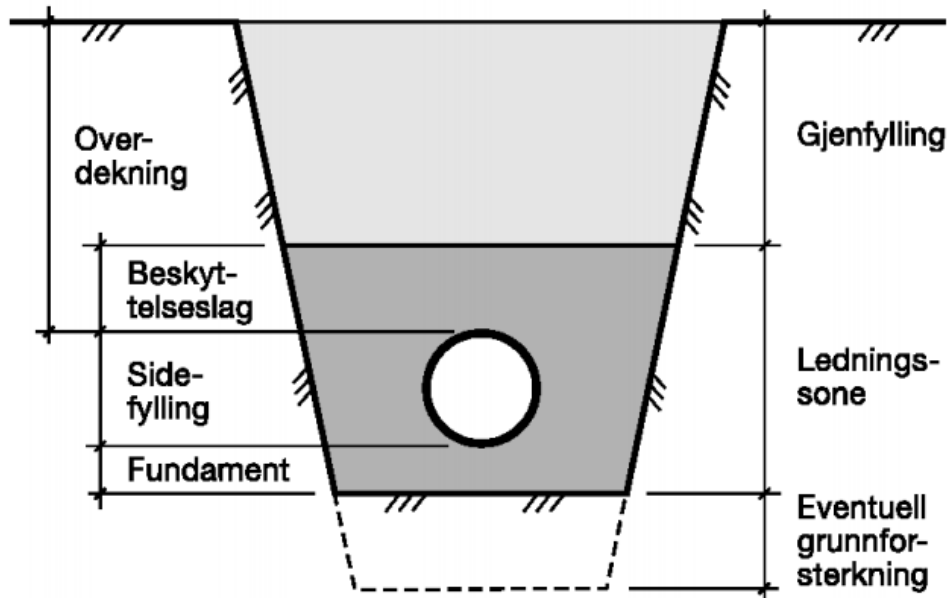


Fig. 3.7: Enkel skisse av grøftetverrsnitt (Wavin, 2009).

Grøfter skal utformes i samsvar med VA/Miljø-blad nr. 5 og 6 som tar for seg henholdsvis grøfteutførelse av fleksible og stive rør. En standard utførelse er blant annet med på å sørge for at grøftene er stabile og at kreftene som virker på ledningene er lik i alle retninger. Grøften skal i tillegg tilfredsstillende krav om sikkerhet, økonomi, tetthet, styrke og bestandighet. For å redusere faren for lokale setninger og punktbelastninger langs ledningstraseen bør grøftebunnen komprimeres ved ujevn bunn eller der fastheten varierer. For grøfter i fjell er det viktig at hulrom i sprengsteinsfyllingen tettes, og der grøftebunn går over fra en type fasthet på jordmassene til en annen skal grøftebunnen kiles ut (VA/Miljø-blad, 2016a; 2016b). Ledningsnettets blir minst påvirket av ytre laster på en dybde på 1-2 meter (Fig. 3.8). Grafen viser at summen av totalen krefter som virker på ledningsnettets er lavest når ledningene ligger på et dyp på 1-2 meter (Ødegaard et al., 2014). Jordlasten øker lineært med dybden, mens trafikklasten avtar eksponentielt og overdekningen er uavhengig av dybden. Dette gjør at summen av laster er minst ved 1-2 meter. Frostdybden i Bergen er 1,5 meter, dette medfører at ideell dybde på overdekning er 1,5 – 2 meter. Ut fra Bergen kommunes VA-norm skal ledningsnettets ligge med en overdekning på 1,5 – 2,5 meter.

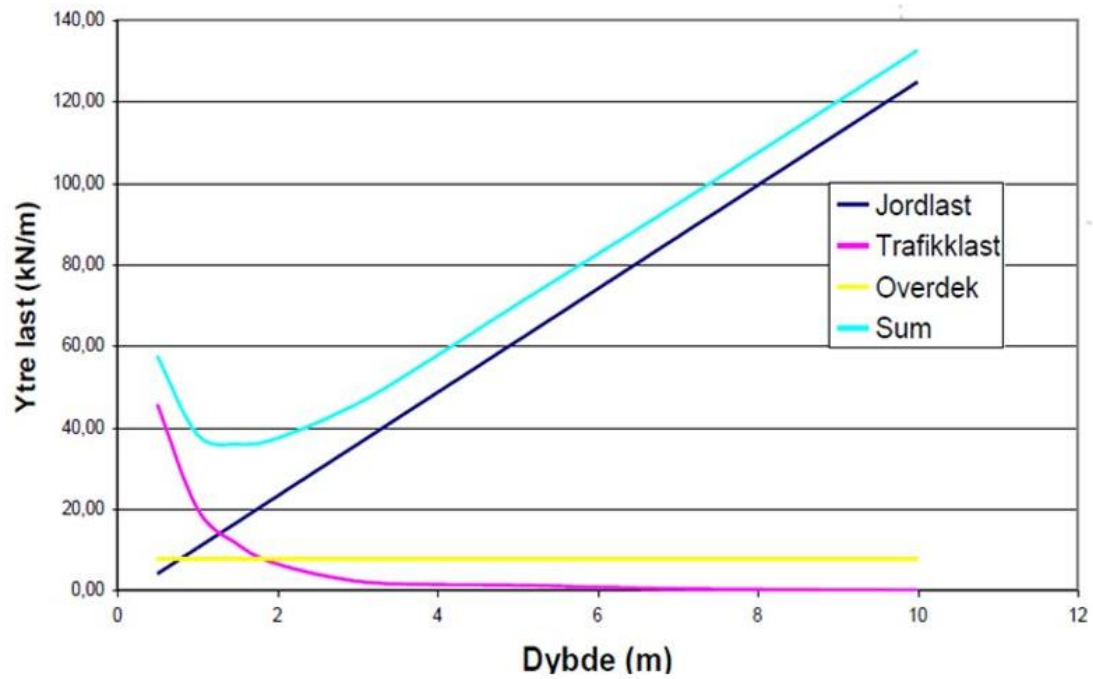


Fig. 3.8: Ytre laster plottet mot dypet. Grafen viser at summen av totalen krefter som virker på ledningsnett er lavest når ledningene ligger på et dyp på 1-2 meter (Ødegaard *et al.*, 2014).

4 Metode

4.1 Innledning

Ulike verktøy er brukt i oppgaven for innsamling og prosessering av data. All programvare som er brukt har vært tilgjengelig hos COWI. Grunnlagsdata og informasjon som har vært nødvendig for oppgaven har enten vært tilgjengelig i COWI sin database eller fra Vann- og avløpsetaten i Bergen kommune. Informasjon som har vært nødvendig for å gjennomføre oppgaven med tanke på prosjekteringen, har blitt hentet ut fra Bergen kommunes VA-norm og befaring på området. Problemstillingen vist i kapittel 1.2 gjør at en kvantitativ metode i hovedsak ble valgt for videre arbeid. I tillegg vil kvalitativ metode også forekomme da det ble gjennomført flere befaringer i løpet av våren.

4.2 Befaring

Første befaring på området ble gjennomført 25.01.2020 for å få et overblikk over topografi, vegetasjon og grøfter/bekker i området. Før befaringen ble løsmassekart, berggrunnskart og satellittbilder studert for å få en oversikt over hvordan området ser ut. En ny befaring ble gjennomført 28.03.2020 for å undersøke overvannsledningen i Feråsvegen, fra bekkelukkingen i sør til utløpet i Nordåsvannet. Målet med befaringene var å få et bedre overblikk over bekkelukkingen og andre overvannssystem, og hvordan området og terrenget ser ut. På befaringen 28.03.2020 ble det observert tverrsnitt av løsmassene. Dette har gitt et bedre bilde på tykkelsen og typer løsmasser som er på området.

4.3 Litteratur og datainnsamling

Bergen kommune sin VA-norm, VA/Miljø-blader, fagrapporter fra Norsk Vann og læreboken *Vann og avløpsteknikk* har vært viktige informasjonskilder til oppgaven. VA-rammeplanen og detaljprosjekteringen av rammeplanen har blitt utført ved å følge krav i VA-normen med tilhørende vedlegg fra Bergen kommune.

For å undersøke effekten til grønne tak har resultater fra publiserte artikler blitt sammenlignet opp mot hverandre. Det er valgt lokasjoner som har lignende klima som Bergen for å se på hvilken effekt grønne tak vil kunne ha i Bergen. I tillegg er data fra fem test-tak i Bergen, publisert av Johannessen, Muthanna og Braskerud (2018) tatt med i sammenligningen. Data fra en av artiklene som er brukt er fra numeriske modeller, mens andre data er fra fysiske forsøk og målinger. En oversikt over lokasjoner som er brukt i oppgaven er vist i Fig. 4.1.



Fig. 4.1: Oversiktskart over lokasjoner med grønne tak som er brukt i oppgaven.

4.4 Programvare og data

Programvarer som er brukt i bacheloroppgaven er Novapoint 21.10, AutoCAD Civil 3D og Scalgo. Data som er brukt har vært tilgjengelig gjennom COWI og kart over eksisterende ledningsnett i området er fått fra Vann- og avløpsetaten i Bergen kommune.

4.4.1 Programvare brukt til prosjektering

Novapoint VA ble brukt til prosjektering av nytt ledningsnett i 3D sammen med AutoCAD Civil 3D. I Novapoint lages 3D modeller av ledningsnettet. I AutoCAD er det utarbeidet tekniske modeller og tegninger fra ledninger som er prosjektert (vedlegg C). AutoCAD kobles opp sammen med Novapoint slik at de samkjøres. VarDAK er en tilleggsmodul som kobles opp mot AutoCAD. Den er brukt til modellering av kummer med tilhørende armatur. Kummer og armatur blir modellert ved at deler velges fra et innebygd bibliotek som viser kummer, rørlengder, armatur og andre deler som blir produsert.

4.4.2 Programvare til beregning av nedbørsfelt

Scalgo er en nettjeneste som viser nedslagsfeltet til området og strømningslinjer til overvann og bekker. Programmet ble brukt i stedet for å lage egne kart i et GIS-program som beregner nedbørsfelt. Størrelsen på nedbørsfeltet er hentet derfra ved å laste det som en shapefil for så å importere den inn i AutoCAD for å lese av størrelsen.

4.5 Prosjektering av ledningsnett

Ved prosjektering og dimensjonering av ledningsnett og grøftetversnitt ligger VA-normen til Bergen kommune og VA-Miljøblader i grunn. Adkomstvegen til området er fått fra COWI slik at prosjekteringen av ledningsnett og grøften tar utgangspunkt i vegoverflaten i stedet for terrengoverflaten. Under prosjekteringen av ledningsnett er det valgt bend og kummer som er tilgjengelig på markedet.

Dimensjonering av ledningsnett er gjort for Q_{maks} for å dimensjonere ledningene for maksimal forbruk. Dimensjoneringen av vannledningen inkluderer brannvann på 20 l/s. Spillvannledninger bør i tillegg ha en rimelig fremtidig sikkerhet for å kunne håndtere økning av spillvannsmengder (Bergen kommune, 2020). Beregninger er presentert i kapittel 5.

4.6 Beregning overvann

Overvannsberegningene er utført ved bruk av den rasjonelle formel. Ifølge VA-normen til Bergen kommune kan den rasjonelle formelen benyttes så lenge arealet til nedslagsfeltet er mindre enn 50 ha. Det er i tillegg gjort undersøkelser på om bekkelukkingen i Feråsvegen har tilstrekkelig kapasitet med tanke på økt avrenning ved utbygging og fremtidige klimaendringer.

Nedbørsfelt som er brukt er funnet ved bruk av programmet Scalgo. I tillegg er det brukt manuelle metoder hvor høydekurvene følges for å finne nedbørsfelt på selve prosjekteringsområdet. Avrenningskoeffisienten er bestemt ved bruk av tabell hentet fra VA-normen til Bergen kommune. Området har blitt delt inn i tre felt, der hvert felt har avrenning i ulike retninger. Det er så gjort en vurdering av hvilke dekker området består av og helningsgraden. Dette har blitt lagt til grunn ved bestemmelse av verdi for avrenningskoeffisient (Tabell 4.1).

Tabell 4.1: Avrenningskoeffisienter jf. Bergen kommunes VA-norm (Bergen kommune, 2020).

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

IVF-kurven som er brukt i beregningene er fra Bergen, Sandsli, og er hentet fra klimaservice 30. mars 2020. Langs x-aksen finner man varigheten på nedbørshendelsen i minutter og y-aksen viser antall mm nedbør. De ulike grafene representerer hver sitt gjentaksintervall (Fig. 4.2).

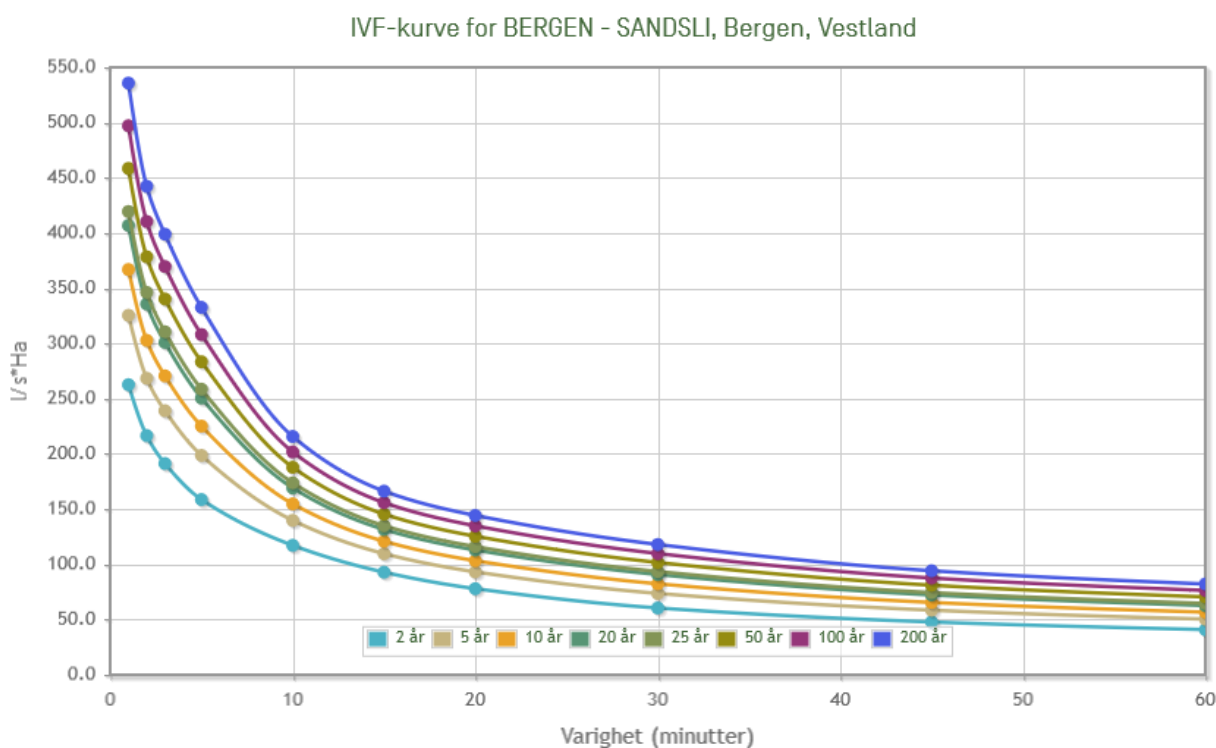


Fig. 4.2: IVF-kurve fra Sandsli, Bergen hentet fra klimaservice (klimaservicesenter, 2020).

Returperiode velges ut fra hvilken områdetype prosjektområdet defineres som. Blant annet har et åpent boligområde med dimensjonerende regnskylhyppighet et gjentaksintervall på 10 år, mens et åpent boligområde har dimensjonerende oversvømmelseshyppighet med et gjentaksintervall på 20 år (Fig. 4.3).

| Dimensjonerende regnskylhyppighet (gjentaksintervall) ¹ (1 i løpet av <i>n</i> år) | Områdetype | Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet (gjentaksintervall) ² (1 i løpet av <i>n</i> år) |
|--|---|--|
| 2 år | Ubebygde område (åpent) | 10 år |
| 10 år 20 år | Boligområde - Åpent - Lukket | 20 år 30 år |
| 20 år 30 år | By-/sentrumsområde - Åpent - Lukket | 30 år 50 år |

¹ Det skal ikke oppstå oppstuvning i ledningsnett for disse dimensjonerende regnskylene

² Det skal ikke oppstå oppstuvning til kjelle nivå/marknivå for disse gjentaksintervall

Fig. 4.3: Valg av returperiode jf. Bergen kommunes VA-norm (Bergen kommune, 2020).

Konsentrasjonstiden beregnes ut fra formelen for naturlige felt. I de ulike avgrensede feltene gjøres det beregninger av konsentrasjonstiden ved å måle lengden og høydeforskjellen i feltet. Det er ikke vassdrag i feltene, dermed utgår det siste leddet i formelen for naturlige felt. Formelen for urbane felt benyttes ikke for dette området, da inngrepene er så små at det ikke kan klassifiseres som et urbant felt.

$$T_{c, \text{naturlig}} = 0,6 * L * H^{-0,5} + 3000 * A_{sjø} \quad [4.1]$$

L – lengde av nedbørsfeltet

H – Høydeforskjell

A_{sjø} – Areal av vassdrag

Klimafaktoren tar hensyn til klimaendringer. I Bergen kommune brukes det et klimapåslag på 40 % som gir en klimafaktor på 1,4.

5 Resultat

I dette kapitlet presenteres resultater fra prosjekteringen av ledningsnett og overvannsløsninger som er planlagt. Ledningsnett som er utarbeidet er prosjektert ut fra kravene i VA-normen til Bergen kommune og henvisninger til VA/Miljø-blader. Løsningene som er valgt tar høyde for et bærekraftig ledningsnett og overvannsløsninger som er i tråd med kommunens VA-norm og retningslinjer for overvann.

5.1 Beskrivelse av trasé

Ledningsnett til Øvre Steinsviken er prosjektert fra eksisterende ledningsnett i Feråsvegen hvor traséen er koblet til eksisterende kommunal vann- og spillvannsledning i punkt V1 og S1. (Fig. 5.1). Den nye ledningstraséen er 180 m lang. Videre er traséen prosjektert langs fortau der det er mulig for at det i fremtiden skal være mulig å utføre vanlig drift og vedlikehold langs traséen uten å måtte stenge vegen. For å opprettholde kravene med nedstigningskum hver 80-ende meter for spillvannskummer er traséen prosjektert med både nedstigningskummer og inspeksjonskummer. Det er plassert nedstigningskum i S1, S2, S4, S6 og S7, og inspeksjonskum i S3 og S5. Traséen er prosjektert med to vannkummer, V1 i tilknytting til kommunal ledning i påkoblingspunkt, og V2 for stikkledninger til boligblokkene. Avvinkling av vannledningen langs traséen er utført ved bruk av bend. Vannledningen er plassert sør for spillvannsledningen. Dette gir mindre vinkler enn ved å plassere vannledningen nord for spillvannsledningen. Det ble forsøkt å prosjektere en trasé med motsatt plassering av ledningene. Dette resulterte i større vinkler på vannledningen, og det ble vanskelig å tilpasse vinklene til bend som er tilgjengelig på markedet uten å måtte bruke to bend etter hverandre. Samtidig ble grøftetversnittet utvidet i vinkelendringene for at plassering av bend og kummer skal kunne plasseres med en anbefalt avstand på 0,5 meter. Ut fra dette ble det valgt å gå videre med løsningen hvor vannledningen ligger sør for spillvannsledningen. Noen av vinklene på vannledningen har mindre avvik fra standard bend, men det er opplyst om at mindre avvik på noen få grader kan tilpasses ved montering.

Detaljprosjekteringen stopper i node 7 ved innkjørselen til parkeringsgarasjen. Fra S7 og V2 er det antatt stikkledninger mot hver av blokkene, men plasseringen er noe usikker ettersom disse skal kobles på ledninger prosjektert av VVS to meter fra hus. Disse er derfor bare tegnet med polylinje og ikke vist i vertikalprofilen.

Det finnes flere utfordringer knyttet til prosjektering av VA. Dersom det kun foreligger en reguleringsplan for området og vegen ikke er prosjektert, er det ikke noen vegflate det kan prosjekteres etter. Under prosjekteringen uten vegflate må det antas hvor vegen vil ligge, og det vil naturligvis forekomme endringer underveis. Flate traséer vil være vesentlig enklere å prosjektere uten vegflate, enn kuperte traséer. Ved kuperte traséer vil det være utfordrende med tanke på riktig overdekning og hvilken høyde vegen vil ligge på. Det er viktig å prosjektere ledningsnett slik at kravene i VA-normen tilfredsstilles, eventuelt må det søkes om dispensasjon. I dette området forelå det en ferdig prosjektert veg som ble brukt i prosjekteringen for å få riktig overdekning på 1,5 – 2,5 meter.

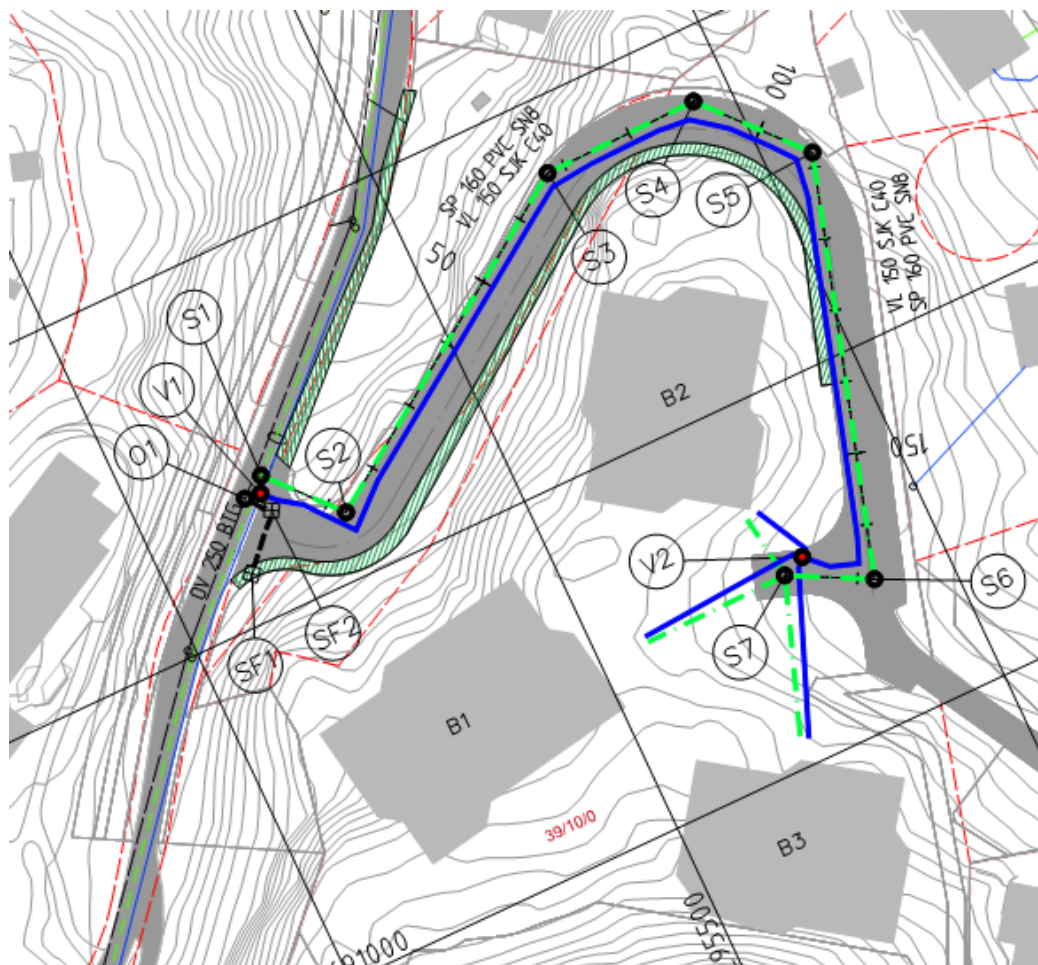


Fig. 5.1: Skisse over prosjektert trasé fra påkoblingspunktet i Feråsvegen opp til Øvre Steinsviken.

Overvannet som renner langs adkomstvegen, vil i øvre del renne ned i den åpne grøften på grunn av tverrfallet til vegen. Ved å prosjektere en grøft med infiltrerende masser vil grøften være med å infiltrere, forsinke og fordrøye overvann fra vegen. I tillegg er den med på å rense overvannet. I den nedre delen av vegen vil overvannet ha avrenning mot fortauet på grunn av tverrfallet. Her vil kantsteinen hindre vannet i å renne av vegen. For å håndtere overvann langs vegen er det prosjektert en sandfangskum i SF1 som fanger opp vann som kommer fra grøften. I tillegg et kjeftsluk ved SF2 som skal fange opp vann som renner langs vegen. SF1 og SF2 er koblet sammen, og leder overvannet videre inn på overvannsnett i Feråsvegen. På østsiden av Feråsvegen er det i tillegg etablert en fordrøyningsgrøft som vil infiltrere, forsinke og fordrøye overvann fra felt A. Denne vil samtidig kunne fange opp vann som kjeftsluket ikke klarer å fange opp.

5.2 Grøfteutforming

Grøften vil utformes som en dyp grøft der ledningsnett ligger under frostfri dybde. I Bergen er frostfri dybde 1,5 meter (Ødegaard *et al.*, 2014). Ledninger skal etter VA-normen til kommunen ha en overdekning på 1,5 - 2,5 meter. Dette er også den dybden hvor ytre laster fra jordlast, trafikklast og overdekning er minst. Grøften ligger delvis i fjell og delvis i løsmasser. Grøftetverrsnittet er utformet i henhold til VA-miljøblad 5 og 6. Fundamentet til grøften er på 150 mm og overdekningen på 300 mm. Spillvannsledningen ligger 200 mm under vannledningen for å tilfredsstille minstekravet om kryssende ledninger. I horisontalprofilen er det 200 mm mellom grøftevegg og ledning, og mellom ledningene (Fig. 5.2).

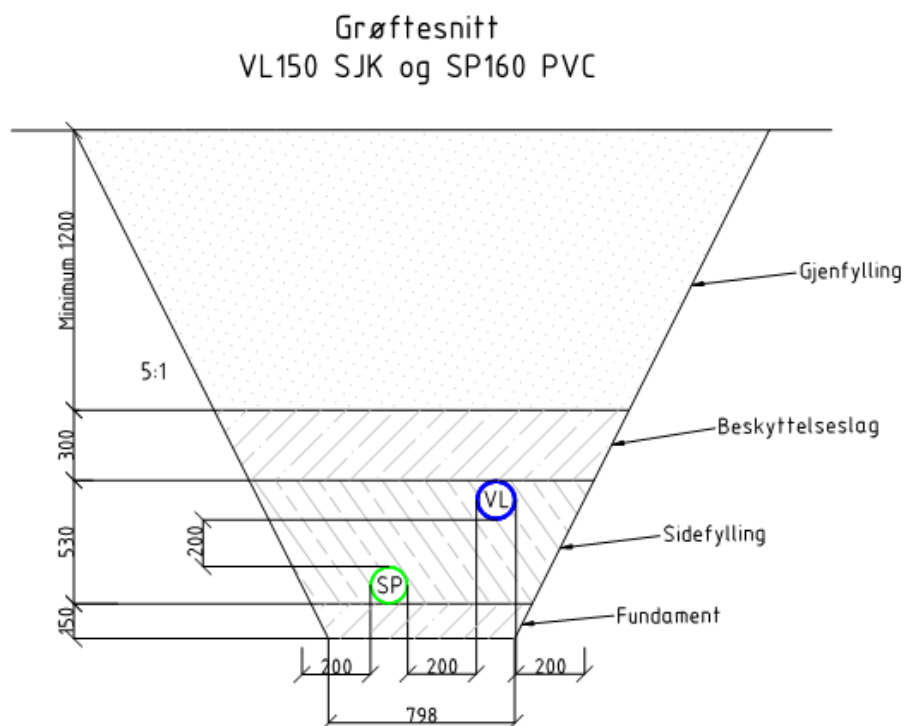


Fig. 5.2: Grøftesnitt med tilhørende vann- og spillvannsledning. Viser de ulike lagene i grøften og avstand mellom ledningene. Lengdene er oppgitt i mm.

5.3 Vannforsyning

5.3.1 Dimensjonering av vannforsyningen

Det skal bygges 56 nye leiligheter som vannledningen skal forsyne. For å få et anslag på hvor mange personer vannledningen skal dimensjoneres for, er det brukt et gjennomsnittstall for antall personer per bolig i Ytrebygda bydel. Ut fra SSB er det i dag et gjennomsnitt på 2,53 personer per bolig for Ytrebygda bydel som gir til sammen 142 personer. Dette er et anslag, og kan diskuteres. Ytrebygda er en bydel med mange eneboliger, mens området som skal bygges ut består av tre boligblokker med leiligheter.

Det er allerede et uttak for brannvann i Feråsvegen. I tillegg er det planlagt et brannuttak i kum på gårds plass. I henhold til VA-normen er brannvannsuttaget prosjektert for å ha et forbruk på 20 l/s.

Døgnforbruket i Bergen er estimert til å være mellom 150-170 l/PE * døgn (Bergen Kommune, 2015). For å ha en sikkerhetsmargin er 200 l/PE*døgn brukt i beregningene for dimensjonerende vannforbruk.

Det er få personer knyttet til det nye ledningsnett, dermed vil det være store variasjoner i mengde vann som går gjennom ledningen. Timesvariasjon (k_{maks}) og døgnvariasjon (f_{maks}) er bestemt ut ifra beregningsprogrammet Ragmag og figur 7.7 i boken *Vann og avløpsteknikk* av (Ødegaard *et al.*, 2014, s. 157).

Tabell 5.1: Tabell med oversikt over parametere som er brukt i beregning av dimensjonering av drikkevannsledning.

| Parameter | Verdi |
|---------------------|-----------------|
| Døgnforbruk | 200 l/PE * døgn |
| Antall boliger | 56 |
| Antall PE per bolig | 2,53 |
| K_{maks} | 4,1 |
| F_{maks} | 2 |
| Brannvann | 20 l/s |

$$Q_{maks} = \frac{200 \frac{l}{PE * døgn} * 56 * 2,53 * 2 * 4,1}{24 * 60 * 60} + 20 \frac{l}{s} = 23 \frac{l}{s}$$

Dimensjonerende vannmengde er 23 l/s. Colebrooks diagram er brukt til å finne nødvendig diameter på ledningen. Helningen på strekningen er omtrent 82 ‰ og maksimal vannføring er 23 l/s. Colebrooks diagram for $k = 1$ gir en nødvendig ledningsdiameter på 125 mm når det rundes opp til nærmeste diameter. Ut fra VA-normen til kommunen skal vannledninger ha en minste diameter på 150 mm når brannventil er koblet til. Dimensjonerende diameter blir derfor 150 mm.

5.3.2 Trykk i ledningsnett

Statisk trykkehøyde i vannledningen som ligger i Feråsvegen er blitt oppgitt til å være 124 mVs. Gesimshøyden til blokk B1, B2 og B3 er henholdsvis på kote +51,20 moh., +48,40 moh. og +54,00 moh. Påkoblingspunktet til eksisterende vannledning ligger på omtrent kote +15 moh.

Dette gir en differanse på 39 meter mellom påkoblingspunktet og høyeste gesimshøyde, og tilsvarer 3,9 bar.

Beregningen viser at statisk vanntrykk ved høyeste gesimshøyde er: $124 - 39 = 85$ mVs

Det er i tillegg trykktap i ledningen som følge av friksjon langs rørveggen og singulærtap i punkter med bend, ventilkryss etc. Singulærtapet vil være så lite at det ikke vil påvirke trykket i noen stor grad, og er dermed ikke regnet ut. Friksjonstapet er regnet ut ved bruk av Darcy-Weisbachs formel, og er ut fra beregningen 1,87 mVs.

Dette gir et trykk på 83,13 mVs i ledningen. VA-normen til kommunen sier at trykket til forbruker skal være på mellom 25 mVs til 65 mVs. Trykket er dermed for høyt i henhold til kravet, og det må dermed settes inn en trykkreduksjonsventil. Denne kan plasseres rett etter innvendig hovedstengeventil, som regel på vaskerom eller i teknisk rom (Rørlegger-sentralen, u.å.).

5.3.3 Ledningsmateriale

I henhold til Bergen kommunes VA-norm skal ledninger som driftes, vedlikeholdes og eies av kommunen normalt være i duktilt støpejern. Duktilt støpejern er også et solid materiale som tåler mye. PE100 SDR 11 ville vært et like godt alternativ som duktilt støpejern. PE er et mer fleksibelt materiale som er enklere å tilpasse kurver langs traseen og har strekkfaste skjøter som ikke må forankres. PE100 SDR 11 har en tykk rørvegg som reduserer lekkasje ut av ledningen, og fører til en mer bærekraftig vannproduksjon. Det er likevel valgt å bruke duktilt støpejern for å opprettholde kravene i VA-normen ved prosjektering av vannledning til Øvre Steinsviken.

5.3.4 Dimensjon av stikkledninger

Brannventilen plasseres i kum på gårdsplass. Dermed vil det ikke være nødvendig å dimensjonere for brannvann i stikkledningene til hver av blokkene. Dimensjonerende vannføring i stikkledningene blir da 3 l/s, her er ikke dimensjonerende vannføring for sprinkelanlegg tatt i betraktning. Det antas $k=1$ og en helning på 10 %. Ved bruk av Colebrooks diagram gir det ledningsdimensjon på 75 mm. Diameteren på stikkledningene rundes opp til 100 mm. Det kan eventuelt brukes andre materialer på stikkledningen. PE er et materiale som kan brukes som et alternativ. Fordelene med PE-rør er blant annet den lave vekten.

Materiale har i tillegg god tetthet mot lekkasje og er korrosjonsbestandig inn- og utvendig. Ved legging av rør har også materiale stor fleksibilitet som kan redusere behovene for bend (VA/Miljø-blad, 2019c).

5.3.5 Vannkummer

Det er planlagt to vannkummer langs strekningen, en i påkoblingspunktet i Feråsvegen, V1, og en i enden av strekningen hvor stikkledninger inn til hver av boligblokkene skal gå, V2. I henhold til Bergen kommunes VA-norm skal vannkummer ha en diameter på minimum 1200 mm. Både vannkummen i påkoblingspunktet og i enden av traseen er prosjektert med en diameter på 1600 mm for å få plass til nødvendig armatur som ventilkryss og stikkledninger til hver av blokkene. I teorien hadde det vært mulig og benyttet seg av kum med diameter på 1400 mm, men det ble opplyst om at den er sjeldent brukt og at heller benyttes 1600 mm. Avvinkling langs strekningen er utført ved bruk av bend. Illustrasjon av vannkum er vist i figur 5.3.

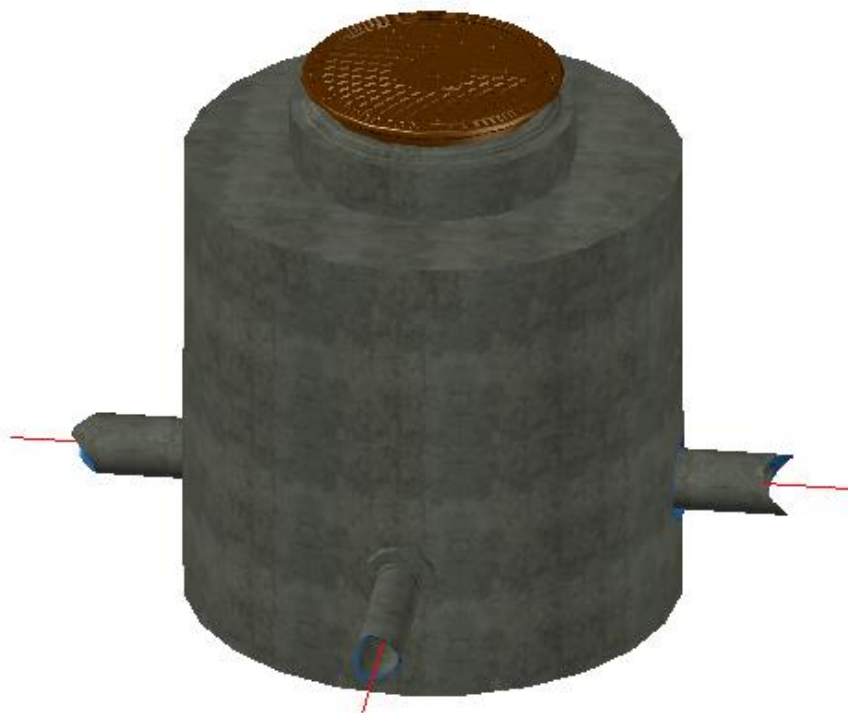


Fig. 5.3: 3D-modell av vannkum V1. Både eksisterende og ny ledning er i duktilt støpejern. Alle ledningene er DN150.

5.3.6 Utstyr på ledningsnett

På strekningen fra Feråsvegen til Øvre Steinsviken er det nødvendig med ulikt utstyr på ledningsnett for å opprettholde kravene i VA-normen til Bergen kommune. I V1 er det installert et T-kryss med sluseventil og serviceplugg. Det er krav om brannventil hvor det er mer enn en stengeventil, det har derfor blitt montert en brannventil i V1. I V2 er det brukt et ventilkryss med serviceplugg og sluseventiler for stikkledninger til blokkene. Det er i tillegg montert en brannventil i V2.

V2 og S7 vil være enden på traseen. Videre er det skissert stikkledninger som stopper om lag to meter fra bygning, her overtar VVS den videre prosjekteringen. I den forbindelse er det nødvendig å vurdere om det bør være en lufteventil i V2. På dette stadiet vet man ikke om det vil forekomme høybrekk eller lavbrekk ved videre prosjektering som kan få konsekvenser på trykket i vannledningen.

På grunn av et trykk på 124 mVs i påkoblingspunktet i Feråsvegen må armaturen være i PN16 for å tåle trykket den blir utsatt for. PN16 er brukt i både V1 og V2.

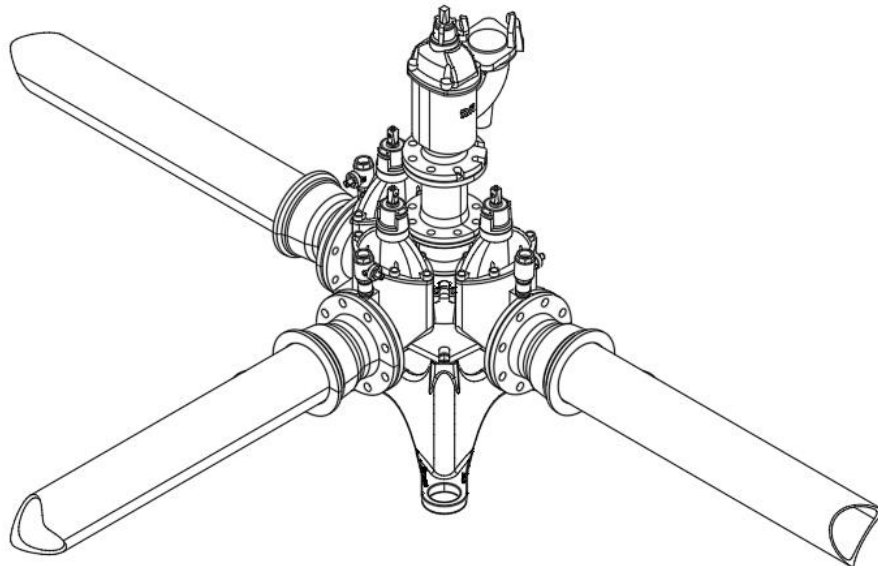


Fig. 5.4: Modell av armatur i vannkum V1 bestående av ventilkryss med serviceuttak og brannvannsuttak.

5.4 Spillvann

5.4.1 Ledningsmateriale

Ledningen har selvfølgelig, noen som innebærer at spillvannet fraktes med gravitasjonskrefter ned til Feråsvegen, og er dermed trykkløs. Ledningsmaterialet som er brukt er PVC med ringstivet SN8 i henhold til VA-normen.

5.4.2 Dimensjonering av spillvann

Dimensjonerende spillvannsmengde regnes ut likt som dimensjonerende vannforbruk. Parameterne som er brukt, er forklart under kapittel 5.3.1, *dimensjonerende vannforbruk*. Ifølge (Vråle, 2011) viser gjennomsnittlig mengde fremmedvann for de 14 største avløpsrensningeanleggene 70 %. Ledningen til Øvre Steinsviken er ny og er prosjektert i PVC som er et tett materiale med lite innlekking. Ifølge Erlend Sand, VA-ingeniør ved COWI (samtale på Skype 14.05.2020) skal innlekkingen i nye PVC rør settes til å være 0 l/PE*døgn. Innlekking er derfor ikke tatt med i beregningen for å finne dimensjonerende spillvannsmengde. Området ligger i tillegg på en høyde som gjør at grunnvann ikke vil være noe problem i dette tilfellet. Ifølge Sivertsen og Bomo (2016) er normalt gjennomsnittlig forbruk satt til 140 l/PE*døgn.

I beregningene er forbruket satt til 200 l/PE*døgn, dette gir en sikkerhet for blant annet innlekking sammen med døgn- og timesfaktoren. En oversikt over parameter brukt i beregningen av dimensjonerende spillvannsmengde er gitt i tabell 5.2.

Tabell 5.2: Parameter brukt til beregning av dimensjonerende spillvannsmengde.

| Parameter | Verdi |
|---------------------|----------------|
| Døgnforbruk | 200 l/PE *døgn |
| Antall boliger | 56 |
| Antall PE per bolig | 2,53 |
| K_{maks} | 4,1 |
| F_{maks} | 2 |
| Innlekking per PE | 0 l/PE * døgn |

$$Q_{Maks} = \frac{200 \frac{l}{PE * d\ddot{o}gn} * 56 * 2,53 * 2 * 4,1}{24 * 60 * 60} = 2,7 \frac{l}{s}$$

Beregning av dimensjonerende spillvannsmengde gir et resultat på 2,7 l/s.

Maksimum avløp for mindre områder kan også finnes ved å lese av grafen i VA/miljøblad nr. 115, *Bestemmelse av maksimal vannføring i små områder*. Ved å lese av grafen for 142 PE kommer det frem et forbruk på ca. 7 l/s. Dette er vesentlig høyere enn det beregningen av Q_{maks} gir. Videre ved dimensjonering av spillvannsledningen er det valgt å bruke verdien som er beregnet da den trolig er mer nøyaktig enn avlesning fra en graf.

Ledningen har et gjennomsnittlig fall på omtrent 82 ‰ fra innkjørselen til parkeringsgarasjen til påkoblingspunktet i Feråsvegen. Bergen kommune har som krav at spillvannsledninger med fall mindre enn 10 ‰ må dokumentere selvens i form av beregninger.

Spillvannsledningen som er prosjektert, har et fall som varierer fra 28 – 104 ‰. Det er derfor i utgangspunktet ikke nødvendig å dokumentere selvens med beregninger (Tabell 5.3).

Tabell 5.3: Oversikt over helningen på hver av delstrekke langs traseen. Fallet på spillvannsledninger er stort nok for å sikre selvens, og har et gjennomsnittlig fall på 82 ‰.

| Strekning | Fall [‰] |
|-----------------------------|-----------|
| Seksjon 1-2 | 104 |
| Seksjon 2-3 | 101 |
| Seksjon 3-4 | 86 |
| Seksjon 4-5 | 90 |
| Seksjon 5-6 | 84 |
| Seksjon 6-7 | 28 |
| Gjennomsnittlig fall | 82 |

Colebrooks diagram er brukt til å finne dimensjonerende ledningsdiameter til spillvannsledningen. Ved bruk av beregnet spillvannsmengde blir dimensjonerende ledningsdiameter 75 mm når det rundes opp til nærmeste diameter. Ved bruk av grafen blir diameteren 100 mm når det rundes opp til nærmeste diameter. For at gjenstander ikke skal sette seg fast i spillvannsledningene skal hovedledninger ha en indre diameter på minimum 150 mm, og stikkledninger fra hus skal ha en diameter på minimum 100 mm (Ødegaard *et al.*, 2014).

Det er derfor valgt å ha en PVC-ledning med ytre diameter 160 mm langs adkomstvegen. Den har en veggtykkelse på 4,7 mm og dermed en indre diameter på 150,6 mm som er innenfor kravene.

$$D_i = 160 \text{ mm} - (2 * 4,7 \text{ mm}) = 150,6 \text{ mm}$$

Stikkledningene i PVC har en ytre diameter på 110 mm. Med en veggtykkelse på 3,2 mm får de da en indre diameter på 103,6 mm.

$$D_i = 110 \text{ mm} - (2 * 3,2 \text{ mm}) = 103,6 \text{ mm}$$

5.4.3 Spillvannskummer

Ut fra Bergen kommunes VA-norm skal det maksimalt være 80 m mellom nedstigningskummer, og de skal ha en diameter på minst 1000 mm. Det er prosjektert nedstigningskum i punkt S1, S2, S4, S6 og S7 med diameter på 1000 mm. I S3 og S5 er det prosjektert inspeksjonskummer med en diameter på 650 mm (Fig. 5.5).

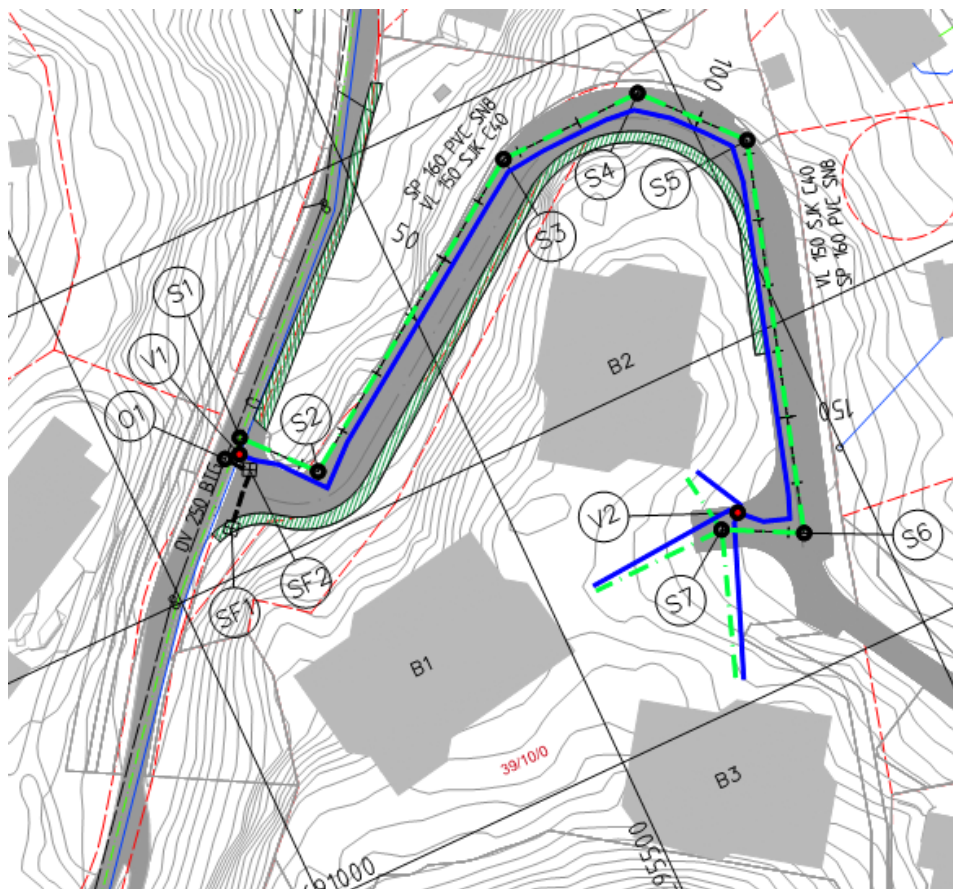


Fig. 5.5: Oversikt over spillvannskummene der S1, S2, S4, S6 og S7 har diameter 1000 mm og S3 og S5 har 650 mm.

5.5 Overvann

Overvannet skal i henhold til VA-normen i størst mulig grad håndteres lokalt på tomten. Nedbørsfeltet for området er delt inn i tre felt, A, B og C, etter hvor vannet renner (Fig. 5.6). Det er gjort beregninger av overvannet før og etter utbygging. Beregning av dagens situasjon kartlegger overvannsmengden som ligger til grunn for videre arbeid, samt for å beregne økning i overvannsmengde som kan få konsekvenser for overvannsledningen i Feråsvegen. For situasjonen etter utbygging er det tatt utgangspunkt i arealplanen for området og dens plassering av blokker og adkomstveg. Dimensjonerende overvannsmengde er beregnet ut fra den rasjonelle formel [3.1].

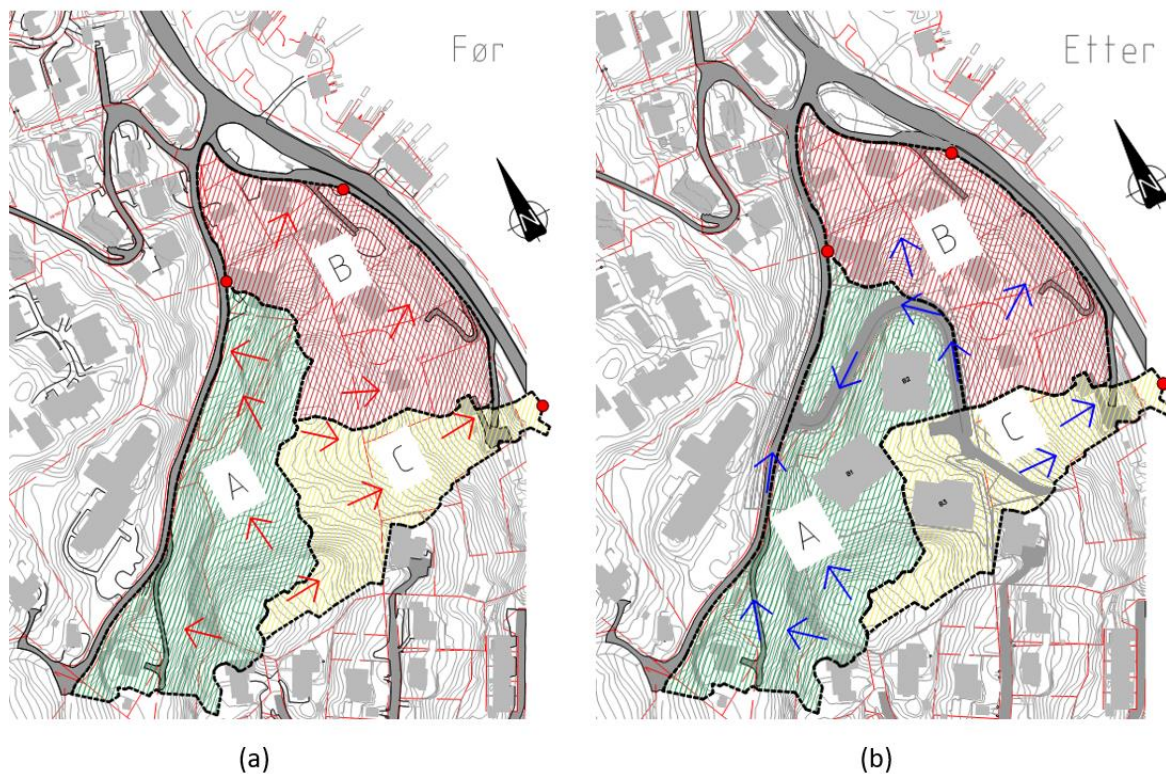


Fig. 5.6: Viser nedbørsfelt og avrenningspiler før og etter utbygging.

5.5.1 Før utbygging

De ulike feltene i prosjektområdet har ulik avrenningsfaktor. Dette kommer av ulik andel skog, dyrket mark og tette flater. I Tabell 5.4 har felt B høyere avrenningskoeffisient enn felt A og C. Dette skyldes en større andel tette flater og derav mindre skog og dyrket mark. Felt B er klassifisert som et eneboligområde, mens for felt A og C er midlere avrenningskoeffisient beregnet ut fra areal og avrenningskoeffisient. Felt A og B har omtrent samme størrelse, mens felt C er noe mindre. Arealene er oppgitt i hektar.

Konsentrasjonstiden før utbygging er regnet ut ved bruk av formelen for konsentrasjonstid for naturlige felt fra Statens Vegvesen, formel [4.1].

Lengden og høydeforskjellen til de ulike nedbørsfeltene er funnet ved å lese av kart. Disse er tilgjengelig i vedlegg B. Gjentakintervallet er satt til å være 20 år. Konsentrasjonstiden og gjentakintervallet er brukt til å bestemme intensiteten ved å gå ut ifra Fig. 4.2. Klimafaktor er ikke tatt med i beregningen før utbygging da dette representerer hvordan det er i dag. Dette gir en dimensjonerende vannføring for felt A, B og C på henholdsvis 79 l/s, 117 l/s og 46 l/s (Tabell 5.4).

Tabell 5.4: Oversikt over de ulike feltene i området og faktorer knyttet til dem.

| | Felt A | Felt B | Felt C |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Avrenningsfaktor | 0,46 | 0,6 | 0,44 |
| Areal | 1,34 | 1,3 | 0,8 |
| Intensitet [l/sha] | 130 | 150 | 130 |
| Q_{før} | 79 | 117 | 46 |

5.5.2 Etter utbygging

I beregningene etter utbygging har faktorer knyttet til de ulike nedbørsfeltene i området endret seg. Andelen tette flater har økt og arealet til de ulike feltene har endret seg ettersom blant annet bygninger og veg er med på å endre avrenningsmønsteret.

Arealet til felt A har økt, arealet til felt B er redusert og arealet til felt C er tilnærmet likt. Avrenningskoeffisienten til de ulike feltene har også blitt noe endret. Felt B og C har tilnærmet lik avrenningsfaktor som før utbygging, mens avrenningsfaktoren til felt A har økt noe på grunn av utbyggingen av veg og boligblokker. I beregningene er det antatt at blokkene har grønne tak med en avrenningsfaktor på 0,6 sammenlignet med tette flater (takflater) som har en avrenningsfaktor på rundt 0,9.

Konsentrasjonstiden er her beregnet med formelen for naturlige felt og ved bruk av et nomogram. Når det gjelder formel for urbane felt utgår denne da inngrepene i prosjektområdet er så små i forhold til hva inngrepene burde være for at formelen for urbane felt skal gi et godt resultat i konsentrasjonstiden. Ved bruk av formelen får alle feltene en lavere intensitet enn ved bruk av nomogram.

Avlesning av diagrammer kan gi litt ulike svar avhengig av hvem som leser av diagrammet. Det kan dermed tenkes at beregninger gjort ved bruk av formelen gir mer nøyaktig svar.

Tabell 5.5: Oversikt over feltene etter utbygging og faktorer knyttet til dem.

| | Felt A | Felt B | Felt C |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| Avrenningsfaktor | 0,64 | 0,6 | 0,46 |
| Areal [Ha] | 1,46 | 1,16 | 0,82 |
| Intensitet [l/sha] | 130 | 150 | 130 |
| Intensitet [l/sha] v/nomogram | 200 | 160 | 150 |
| Q_{etter} | 170 | 146 | 68 |
| Q_{etter} (nomogram) | 216 | 166 | 62 |

På grunn av økt andel tette flater vil det være behov for et fordrøyningsmagasin. Overvannsledningen i Feråsvegen har kapasitet til å håndtere dagens avrenning, og derfor settes Q_{maks} ut lik dagens overvannsmengde. Ut ifra vedlegg B under beregning av overvannsmengde gir det dimensjonerende volum på 43 m³ for felt A. Areal avsatt til magasinet er vist i Fig. 6.1.

5.6 Bekkelukking i Feråsvegen og håndtering av overvann

Overvannsledningen som ligger langs Feråsvegen har i dag en innvendig diameter på 500 mm. Beregninger ved bruk av den rasjonelle formel viser at det i dag er en vannføring på 691 l/s. Når en klimafaktor på 1,4 og returperiode på 20 år tas med i beregningene gir det en dimensjonerende vannføring på 968 l/s. Dagens vannledning har en dimensjon på 500 mm, mens nødvendig diameter inkludert klimafaktor er 900 mm ved bruk av Colebrooks diagram med $k=1$. Opplysninger fått fra Bergen kommune sier at det ikke har vært registrert eller meldt inn problemer med overvannsledningen, og at det ikke har vært noen kapasitetsproblemer knyttet til den. Beregninger av overvannsledninger finnes i vedlegg B.

For å ikke belaste overvannsledningen i Feråsvegen mer enn nødvendig er det ikke prosjektert overvannsledning langs adkomstvegen. Overvannet ledes i åpen grøft ned til krysset ved Feråsvegen. På denne måten vil vannet infiltreres, forsinkes og fordrøyes før det ledes inn på overvannsnett.

Det er prosjektert to sandfangskummer ved avkjørselen opp mot Øvre Steinsviken. SF1 er utformet som en sandfangskum med kuppelrist, og er plassert i grøften sør for krysset for å hindre at vannet blir liggende der (Fig. 5.7 a). SF2 er utformet som et kjeftsluk og ligger i selve krysset mot fortauet for å ta unna vann som kommer langs vegen (Fig. 5.7 b). SF1 og SF2 leder vannet inn på overvannsnettet. Alle sandfangskummene er prosjektert med en diameter på 1000 mm.

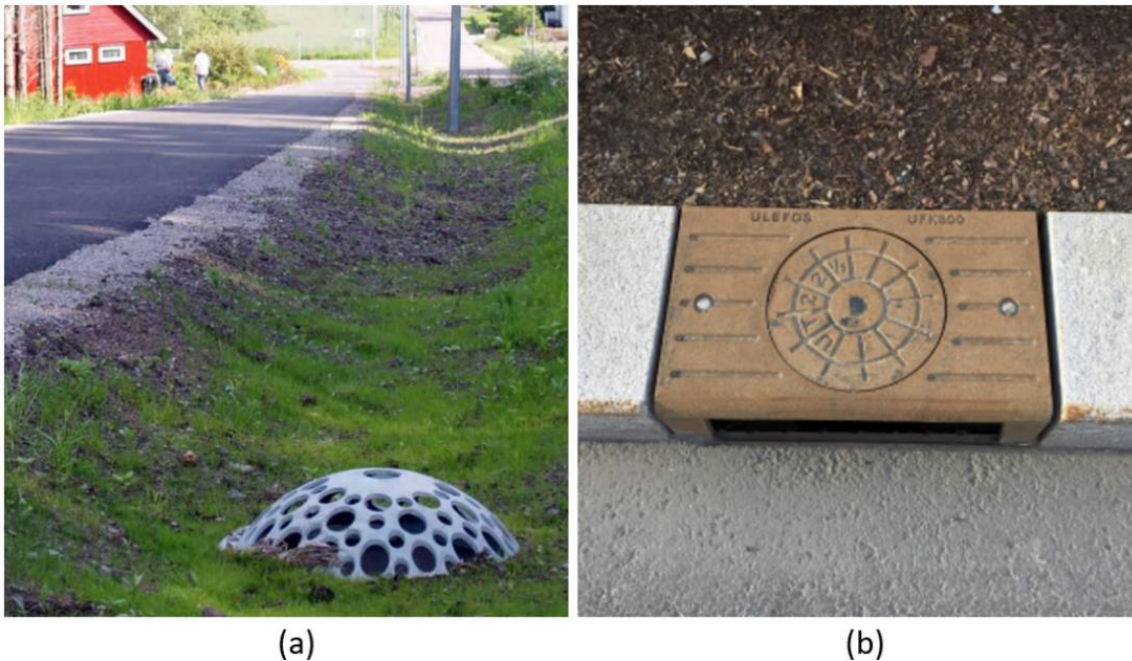


Fig. 5.7: Figuren viser de ulike sandfangskummene brukt på området, (a) viser en lignende kuppelrist, mens (b) viser en lignende kjeftsluk. Begge har diameter 1000 mm. Bildene er hentet fra (a) (BB Produkter, 2015) og (b) (Statens vegvesen, 2017).

5.7 Overvannsløsninger/grønne tak

Data fra numeriske modeller og test-tak fra områder med lignende klima som Bergen er hentet inn fra publisert litteratur og sammenlignet for å se på hvilken effekt grønne tak vil ha i Bergen. Resultatene fra de ulike studiene er presentert i Tabell 5.6. Klimaet til de ulike lokasjonene er klassifisert ut fra *Köppen-Geigers klimaklassifisering*. Alle takene som er sammenlignet er ekstensive tak med litt ulik oppbygging med tanke på tykkelse, helning på takene og plantetype som er valgt (Tabell 5.6). Data fra målinger og numeriske modeller viser at årlig tilbakeholding til ekstensive grønne tak varierer fra 8 – 50 %. Minste årlig tilbakeholdende effekt er fra et av test-takene i Bergen med kun 8 %, mens taket med størst tilbakeholdende effekt er i Sheffield med 50 %. Både Bergen og Sheffield er klassifisert med samme klima, Cfb (temperert klima uten tørkesesong og varm sommer).

Tabell 5.6: Oversikt over resultater fra ulike grønne tak som er bruk i oppgaven. C = varm - temperert klima, D = kald-temperert klima, f = fuktig, s = sommertørke, b = varm sommer, c = kjølig og kort sommer (Mamen, 2020).

| Lokasjon | Klima* | Årlig nedbør | Type tak | Helning | Plantetype | Tilbakeholding [%] | | Kilde |
|------------------|--------|--------------|--------------------------------------|---------|--|--------------------|----------|--|
| | | | | | | Årlig | Mai-okt. | |
| Bergen | Cfb | 2250 mm | Ekstensivt | 16 % | 30 mm pre-vokst sedum med ulike drenslag | 8-14% | 18-25 % | (Johannessen, Muthanna og Braskerud, 2018) |
| Sandnes | Cfb | 1953 mm | Ekstensivt | 27 % | 30 mm pre-vokst sedum med ulike drenslag | 17-26 % | 26-33 % | (Johannessen, Muthanna og Braskerud, 2018) |
| Trondheim | Cfc | 1070 mm | Ekstensivt | 16 % | 30 mm pre-vokst sedum med ulike drenslag | 24-35 % | 40-50 % | (Johannessen, Muthanna og Braskerud, 2018) |
| Oslo | Dfb | 970 mm | Ekstensivt | 5,5 % | 30 mm pre-vokst sedum med ulike drenslag | 24-28 % | 32-36 % | (Johannessen, Muthanna og Braskerud, 2018) |
| Portland, Oregon | Csb | 1092 mm | 100-150 mm vekstlag | | Villblomster | 12 % | 36 % | (Spolek, 2008) |
| Portland, Oregon | Csb | 1092 mm | 100-150 mm vekstlag | | Gress | 17 % | 37 % | (Spolek, 2008) |
| Portland, Oregon | Csb | 1092 mm | 150 mm vekstlag | | Sedum | 25 % | 54 % | (Spolek, 2008) |
| Odense | Cfb | 800 mm | 40 mm substrat over 40 mm mineralull | 10° | Sedum | 44 % | 53 % | (Locatelli <i>et al.</i> , 2014) |
| Sheffield, UK | Cfb | 825 mm | Ekstensivt, 80 mm substrat | | Sedum | 50 % | - | (Stovin, Vesuviano og Kasmin, 2012) |
| NV Skottland** | Cfb | 2708 mm | Ekstensivt | | Sedum | 18 % | - | (Stovin, Poë og Berretta, 2013) |

*Köppen-Geiger klimaklassifisering

**Numerisk modell

Johannessen, Muthanna og Braskerud (2018) publiserte en artikkel som blant annet ser på oppbyggingen av grønne tak fire steder i Norge, inkludert Bergen. Fem ulike oppbygginger av tak ble testet i Bergen, og er presentert i Tabell 5.7. Dette er de samme fem takene som er presentert i Tabell 5.6, men her vises forskjellen mellom de ulike test-takene som er brukt. Takene ble testet fra 2015-2017 i til sammen 32-36 måneder. Sommerhalvåret er definert fra mai-oktober.

Den årlige tilbakeholdingen varierer fra 8 – 14 % av all nedbøren avhengig av oppbyggingen til taket, mens tilbakeholdingen i sommerhalvåret varierer fra 18 – 25 %. Det er tydelig at alle ekstensive tak har en større effekt til å redusere avrenning i sommerhalvåret, uavhengig av oppbyggingen. Alle takene har en tilbakeholdene effekt som er 44 – 56 % høyere i sommerhalvåret enn den årlige tilbakeholdingen. Det viser seg også at grønne tak har en vesentlig bedre effekt i sommerhalvåret når planter forbruker mer vann og evapotranspirasjonen er høyere.

Resultater i Tabell 5.7 og Fig. 5.8 viser at oppbyggingen av taket har noe å si for evnen taket har til å redusere avrenning. Det er ikke nødvendigvis bare tykkelsen på plantedekket som påvirker evnen taket har til å redusere avrenningen, men også oppbyggingen av dreneringslaget.

Tabell 5.7: Oppbygging og effekten av fem grønne test-tak i Bergen. Data hentet fra Johannessen, Muthanna og Braskerud (2018).

| Oppbygging | Tak 1 (Basic2) | Tak 2 (SM) | Tak 3 (Thick1) | Tak 4 (Basic1) | Tak 5 (Thick3) |
|---------------------------|-------------------|--------------|-------------------|----------------|----------------|
| Vegetasjonsmatte | 30 mm | 30 mm | 30 mm | 30 mm | 30 mm |
| Tekstilmatte | 10 mm | | 5 mm | 3 mm | 3 mm |
| Mineralull | | 50 mm | | | |
| Pimpstein | | | | | 50 mm |
| Leca | | | 50 mm | | |
| ESP | | | 75 mm | | |
| Total tykkelse tak | 40 mm | 80 mm | 160 mm | 33 mm | 83 mm |
| Årlig [%] | 10 | 8 | 11 | 9 | 14 |
| Sommerhalvåret [%] | 22 | 18 | 24 | 20 | 25 |

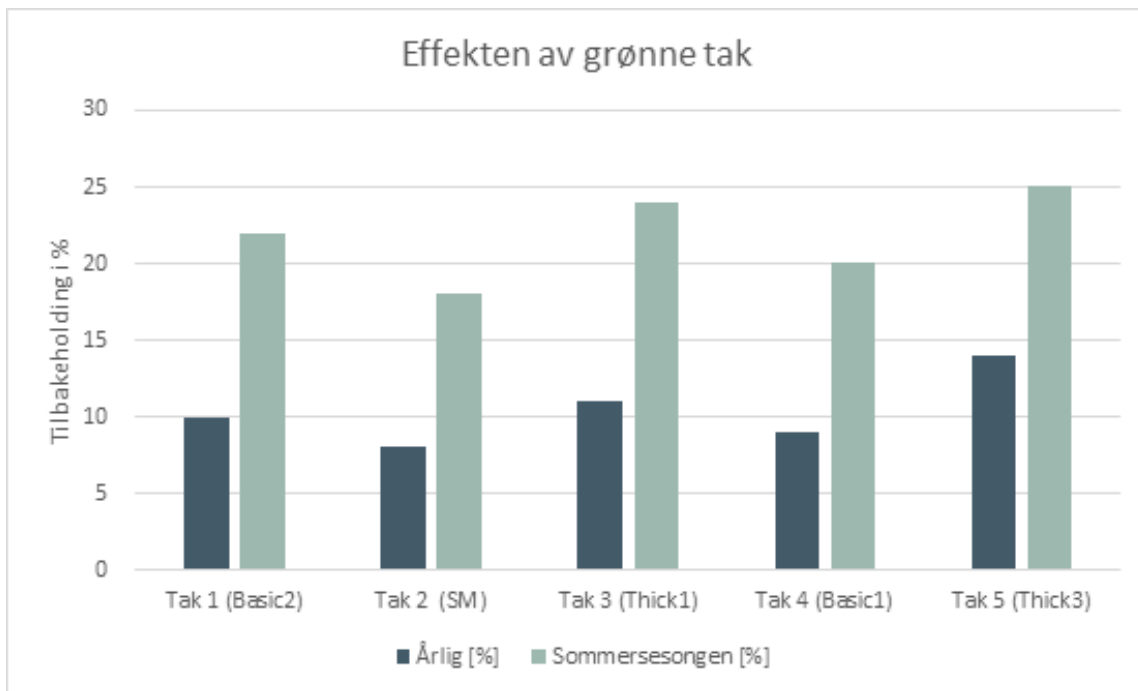


Fig. 5.8: Grafisk fremstilling av forskjellen mellom årlig tilbakeholding og tilbakeholding i sommerhalvåret. Resultatene viser at den årlige tilbakeholdingen er omtrent halvparten av tilbakeholdingen i sommerhalvåret for alle takene.

6 Diskusjon

Målet med oppgaven har vært å prosjektere ledningsnett til Øvre Steinsviken på en bærekraftig måte samtidig som krav i VA-normen til kommunen blir ivaretatt. Det har i tillegg blitt undersøkt om grønne tak vil ha en effekt som et LOD tiltak i Bergen, da spesielt som trinn 1 og 2 i tre-trinnsstrategien. I dette kapitlet er resultatene fra overvannshåndtering og grønne tak tolket og diskutert opp mot problemstillingen.

6.1 Håndtering av overvann og den rasjonelle formel

Ved utbygging øker andelen impermeable flater, og basert på resultatene er det en tydelig økt forventet vannføring fra de ulike feltene (A-C) etter utbygging. Det meste av denne økte avrenningen kommer av klimafaktoren på 1,4 da det er forventet økt nedbør i fremtiden på grunn av klimaendringene. Fra vedlegg B er det kun mindre endringer i avrenningskoeffisienten før og etter utbygging for felt B og C. Felt A er det feltet med størst endring etter utbygging, og er dermed det feltet der avrenningskoeffisienten har endret seg mest. Det er likevel mindre endringer enn hva det kunne vært forventet. Blokkene er prosjektert med grønne tak fremfor normale tette tak. Dette reduserer avrenningskoeffisienten fra 0,9 for normale tak til 0,6 brukt for grønne tak. De faktorene som har påvirket endringen i avrenningskoeffisienten mest, da spesielt i felt A, er etablering av adkomstveg. Det er usikkert hvordan arealet mellom blokkene kommer til å være, da det nå bare finnes illustrasjonsbilder på hvordan området skal se ut når det er ferdig. Der ser det ut som det er en blanding av gress og harde flater.

Det er også flere usikkerheter knyttet til beregningene gjort med den rasjonelle formel. Varighet settes lik konsentrasjonstiden til feltene, der konsentrasjonstiden er funnet ved å bruke formel [4.1], *konsentrasjonstid for naturlig felt* fra Statens Vegvesen. Seija Stenius *et al.* (2015) kom frem til at beregninger utført med formelen overestimerer konsentrasjonstiden sammenlignet med konsentrasjonstiden funnet ved bruk av GIS-analyser.

De mener også at den egner seg dårlig til bratte felt. De tre nedslagsfeltene for Øvre Steinsviken er korte og bratte, og det er derfor mulig at beregningene er utført med en kortere konsentrasjonstid enn det i realiteten er. Dette gir en lavere varighet, og dermed en høyere intensitet. Dette kan da resultere i en større vannføring ut av feltene enn hva den egentlig er.

Andre usikkerheter med beregningene er avgrensningen til hvert av feltene A, B og C. Det er tatt utgangspunkt i nedbørsfeltet fra Scalgo som er modifisert ut fra kjent kunnskap om overvannsledningen i Feråsvegen, utløpet til overvannsledningen, høydekurver og bygninger. Dette har resultert i tre felt, men det er likevel en usikkerhet i avgrensningene av disse, da spesielt rundt de nye boligblokkene hvor det mest sannsynlig vil bli gjort tiltak for å lede overvannet bort fra bygninger.

Som beskrevet under teori er det en usikkerhet knyttet til alle ledd i den rasjonelle formel, og det vil da alltid være knyttet en viss usikkerhet i beregningene gjort ved bruk av denne. Formelen gir uansett et overslag av vannføringen ut fra hvert av feltene som kan brukes i planlegging av LOD-tiltak.

For håndtering av overvann er det vurdert flere løsninger ut fra LOD-tiltak beskrevet i teoridelen. Et mulig tiltak er å etablere et fordrøyningsmagasin ved blokkene. Siden området ligger på en høyde, er det lite tilførsel av overvann fra overliggende områder, bortsett fra kollen i sør. Et fordrøyningsmagasin ved blokkene vil dermed ikke fange opp så mye vann ettersom overvannet har avrenning til hvert av feltene A, B og C. Grøften langs adkomstvegen vil kunne fange opp mye av overvannet fra felt A. Den vil kunne fungere som en infiltrasjonsgrøft som vil infiltrere, forsinke og fordrøye overvann fra felt A, som også er det største feltet og det feltet hvor det vil skje størst endringer etter utbygging. Grøften vil da fungere som ledd en og to i tre-trinnsstrategien. Veggen i seg selv vil fungere som en flomveg ved ekstremnedbør jf. ledd tre i tre-trinnsstrategien. Vannet fra grøften ledes inn i en sandfangskum, SF1 og videre mot SF2. SF2 er prosjektert som et kjeftsluk, og har som hensikt å fange opp vann fra veggen og lede det inn på det eksisterende overvannsnettet.

Det ble først vurdert å ikke etablere en infiltrasjonsgrøft øst for Feråsvegen for å redusere terrenginngrep i området. Området blir mest sannsynlig berørt av utbyggingen av Øvre Steinsviken og utbedring av Feråsvegen, derfor ble det likevel prosjektert en infiltrasjonsgrøft langs veggen. Grøften vil være en bærekraftig løsning som fanger opp overvann fra deler av adkomstvegen, deler av Feråsvegen på grunn av vegens tverrfall og fra den delen av felt A som har avrenning mot Feråsvegen. Det kan også vurderes å etablere en sandfangskum SF3 (Fig. 6.1) som leder overvannet inn på overvannsnettet som hindrer skade på infrastruktur og konstruksjoner nedstrøms. Det ble også vurdert å lede overvannet ut i grøften fra SF2, men i praksis ville grøften blitt ganske dyp ettersom overvannsledningen må krysse under både vann- og spillvannsledningen.

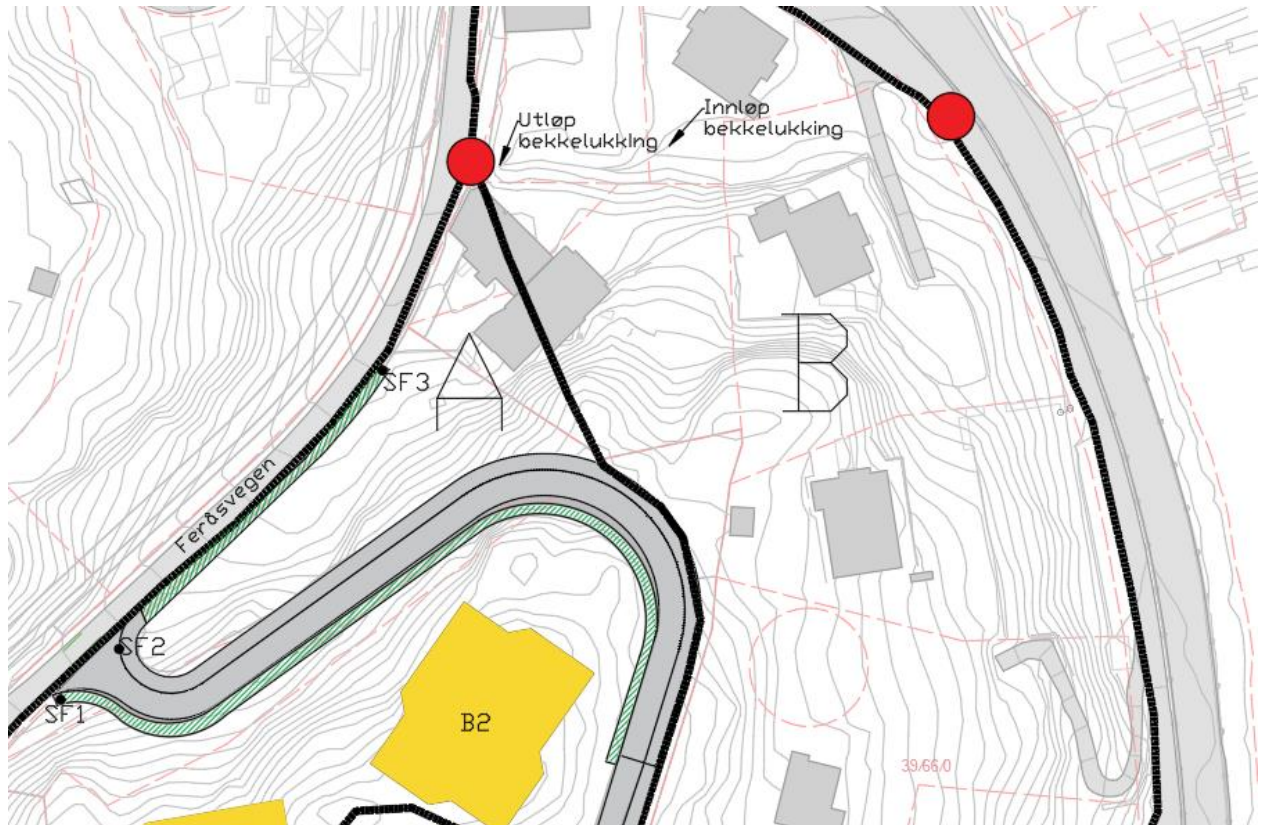


Fig. 6.1: Grønt skravert område viser arealer som skal forsinke og fordrøye nedbør, infiltrasjonsgrøft.

6.2 Grønne tak

6.2.1 Valg av plantetype

De fleste tak i Tabell 5.6 er ekstensive og består av sedumplanter med unntak av to av takene i studiet av Spolek (2008), hvor et av takene består av villblomster og et består av gress. Alle takene har evnen til å redusere avrenningen ved nedbør. Basert på resultatene til Spolek (2008) virker det som sedumplanter kan holde tilbake mer vann enn urter og villblomster. I følge Nagase og Dunnett (2012) har sedumplanter et lavt vannforbruk selv om de kan trekke vann ut av vekstmediet. Sedumplanter er likevel brukt på mange grønne tak, da de ikke krever et tykt vekstlag og krever lite vedlikehold. Andre planter med høyere transpirasjon krever vanligvis et tykkere vekstlag for at de ikke skal visne og i tillegg krever de mer vedlikehold (Braskerud, 2014b). Sedumplanter er hardføre planter som tåler perioder med mye nedbør og tørke. Det kan derfor tenkes at sedumplanter er det beste alternativet i Bergen da det i perioder kan komme mye nedbør over lang tid.

I tillegg kan det være hensiktsmessig å etablere tak som krever lite vedlikehold. Det var sedumplanter som gav best resultat i studien av Spolek (2008). Sedumplantene er også de plantene som er mest brukt på grønne tak i Norge, og i flere andre studier. Alle de grønne takene i studien utført av Johannessen, Muthanna og Braskerud (2018) bestod av de samme sedummattene, men hadde ulike drenering og tykkelse.

6.2.2 Oppbygging av ekstensive grønne tak

Grønne tak bygges opp med et vekstmedium i toppen, vannlagrende lag og en form for drenering i bunn. Innholdet i vekstmediet bør bestå av større korn som øker porevolumet (Braskerud, 2014b). Data fra test-takene i Trondheim, Oslo, Bergen og Sandnes viser at oppbyggingen av taket har mye å si for hvor mye grønne tak kan holde tilbake av nedbøren. Alle takene er plassert ved siden av hverandre i de ulike byene, og blir dermed utsatt for de samme forholdene (nedbør, temperatur, vind, sol/skygge mm.). Oppbyggingen med 30 mm sedummatte over 50 mm mineralull var den typen oppbygging som gav dårligst tilbakeholding i Bergen, (Tak 2, SM). Samme oppbygging var den som gav best resultat i Sandnes i studien utført av Johannessen, Muthanna og Braskerud (2018).

I Sandnes gav denne oppbygging en tilbakeholding på 26 %, mens i Bergen var den årlig tilbakeholdingen bare 8 %. Lignende oppbygging har også blitt brukt i Odense hvor det var brukt 40 mm sedummatte over 40 mm mineralull. Det resulterte i en årlig tilbakeholding på 44 %. Det kan tyde på at oppbygging som fungerer bra noen steder, ikke har tilsvarende effekt andre steder, selv innad i områder som klassifiseres som samme klima. Det er forventet at tilbakeholdingen i Bergen vil være lavere enn i Odense, selv med samme type oppbygging. Bergen har omtrent 60 % mer årlig nedbør, og takene vil dermed bli utsatt for mer nedbør. Initialtilstanden til taket ved nedbør har mye å si for hvor mye nedbør det klarer å holde tilbake. Mettet tak holder tilbake vesentlig mindre nedbør enn tak som er tørre. Stovin (2010) kom frem til at grønne tak i mettet tilstand bare holdt tilbake 0 - 5 % av nedbøren. Dette kan forklare hvorfor taket i Bergen har så liten tilbakeholding da det ofte er lengre perioder med regn som fører til at takene ikke får nok tid til å tørke i form av drenering og evapotranspirasjon. Takets oppbygging har trolig mye å si for resultatet. Fra studien til Johannessen, Muthanna og Braskerud (2018) var det en oppbygging av sedummatte, tekstilmatte og drenerende lag av pimpstein som gav best resultat, både årlig og i sommerhalvåret i Bergen.

Pimpstein har et høyt porevolum og kan dermed holde på store mengder vann, samtidig som permeabiliteten er god nok slik at plantene ikke drukner.

Semi-intensive tak er en mellomting mellom ekstensive og intensive og bygger noe mer i høyden enn de ekstensive, men har vesentlig mindre vekt enn de intensive og plasseres som regel på flate tak. De intensive takene krever mer vedlikehold enn de ekstensive. Dersom dreneringen ikke er god nok, kan vegetasjonen dø. Dette vil trolig være mindre økonomisk lønnsomt enn å etablere et ekstensivt tak med en ekstra fordrøyningsløsning som fanger opp overvannet som det grønne taket ikke har kapasitet til å holde tilbake. Semi-intensive og intensive tak anses til ikke å være like egnet på dette området, da blant annet vekten og behovet for vedlikehold er så stort at det medfører flere ulemper enn fordeler. I tillegg kan kostnaden være økende i form av behovet for sterkere konstruksjoner (økt vekt), større kostnader ved utskifting av planter og underliggende masser, samt kostnader ved utbedring av skader på tak (Braskerud, 2016).

6.2.3 Sesongvariasjoner og variasjoner mellom ulike tak

Ut fra data presentert i Tabell 5.7 og Fig. 5.8 er det tydelig at ekstensive grønne tak har en vesentlig bedre effekt i sommerhalvåret når evapotranspirasjonen er på sitt høyeste. Takene klarer å holde tilbake 44 – 56 % mer nedbør i sommerhalvåret sammenlignet med den årlige tilbakeholdingen. Lignende resultat er funnet av blant annet Mentens, Raes og Hermly (2006), Locatelli *et al.* (2014) og Bengtsson, Grahn og Olsson (2005). Grønne tak vil derfor være et bra tiltak for å redusere avrenningen, spesielt i sommerhalvåret da nedbøren er mer intens enn resten av året. Selv om det er mye nedbør, også i sommerhalvåret i Bergen, er det mer bygevær og intens nedbør om sommeren enn resten av året.

Nedbørsdata fra CustomWeather (2020) fra perioden 2005-2015 for Bergen viser at de tørreste månedene er fra april til og med juli. Dette er også en del av den perioden som har høyest tilbakeholding av nedbør. Mest nedbør er det fra september til og med januar. Dette er en stor del av den perioden hvor data fra andre tak viser at takene holder tilbake mindre eller ingen nedbør ettersom evapotranspirasjonen fra takene er lavere. Resultater fra Spolek (2008) og Johannessen, Hanslin og Muthanna (2017) viser at tilbakeholdingseffekten til grønne tak kan være så liten som 0 % i vinterhalvåret. I Bergen kommer mye av nedbøren som regn også om vinteren.

Dersom grønne tak ikke klarer å redusere avrenningen om vinteren eller i lengre perioder med sammenhengende nedbør kan et alternativ være å ha en alternativ fordrøyningsløsning i tillegg til grønne tak.

Det viser seg også at det er store variasjoner mellom tilsvarende tak på steder med likt klima. Selv om stedene er klassifisert med samme klima etter Köppen-Geiger klassifiseringen, er det fortsatt store forskjeller i hvor mye nedbør som faller de ulike stedene. Av de lokasjonene som er valgt, er Bergen sammen med Skottland og Sandnes de stedene som har desidert mest nedbør. Bergen har omtrent 60 % mer regn i året sammenlignet med Odense og Sheffield som var de to tørreste stedene under samme klassifisering som Bergen. De kunne vise til en tilbakeholding av nedbør på henholdsvis 44 % og 50 % i året, mens det i Bergen var mellom 8-14 % avhengig av oppbyggingen av taket. Sandnes og Skottland hadde henholdsvis 17–26 % og 18 % årlig tilbakeholding. Årsakene til variasjon i tilbakeholding kan blant annet komme av lokale forhold som temperatur og vind, helningen på taket og initialtilstanden til taket når nedbøren faller. Takene i Odense og Sheffield har muligens mer tid til å hente seg inn igjen etter nedbør, da det ikke faller like mye nedbør der som i Bergen, Sandnes og NV Skottland.

Ved styrtregn har fuktighetsgraden minimal effekt med tanke på å redusere avrenningen (Braskerud, 2014a), men ved konstant og jevnlig nedbør reduseres evnen taket har til å holde tilbake nedbøren (Villarreal, 2007). Det er ofte lengre perioder med regn i Bergen. Takene blir da mettet og klarer ikke å holde tilbake nedbøren. Det kan forklare hvorfor den årlige tilbakeholdingen i Bergen er lavere enn de andre stedene som er presentert. Ved styrtregn har fuktighetsgraden minimal effekt med tanke på å redusere avrenningen (Braskerud, 2014a), men ved konstant og jevnlig nedbør reduseres evnen taket har til å holde tilbake nedbøren (Villarreal, 2007).

6.2.4 Tilbakeholding ved enkelte regnhendelser

Resultater fra Braskerud (2014a) og Johannessen, Muthanna og Braskerud (2018) viser at grønne tak har god effekt ved enkelthendelser og korte intensive regnbyger sammenlignet med lengre nedbørshendelser hvor takene vil bli mettet. Johannessen, Muthanna og Braskerud (2018) fant at grønne tak kan redusere avrenningen ved enkelthendelser med 65-90 % avhengig av takets oppbygging. Metningstilstandene til taket før hendelsen vil også ha noe å si for hvor mye det klarer å redusere avrenningen.

Braskerud (2014b) fant at grønne tak kan tilbakeholde intens nedbør med varighet på ti minutter med 89 %.

Med tanke på fremtidige klimaendringer og forventet økning av ekstremnedbør i form av korte og intensive nedbørshendelser, vil grønne tak kunne bidra til å redusere avrenningen fra tak i Bergen. Dette vil igjen redusere mengden overvann i fellesledningene, avlaste pumper og redusere mengden overvann som fraktes til avløpsrensaneanlegg. Ut fra dette vil etablering av grønne tak være en bærekraftig løsning, både med tanke på å redusere avrenningen fra tak og overvann som ledes til fellesledningene og avløpsrensaneanlegg. Samtidig vil grønne tak i byer bidra til å øke det biologiske mangfoldet i byer og redusere svevestøv i luften (Lundholm og Williams, 2015; Oberndorfer *et al.*, 2007).

7 Konklusjon

7.1 Konklusjon

Formålet med denne oppgaven har vært å prosjektere vann og avløp på en bærekraftig måte, og å se på hvilken effekt grønne tak har i Bergen for å redusere overflateavrenningen fra takene. Under prosjektering av ledningsnett ble det vurdert to ulike traseer og ulike ledningsmaterialer for å finne de mest bærekraftige løsningene. For håndtering av overvann ble det sett på grønne tak andre steder i verden med lignende klima som Bergen for å se hvilken effekt grønne tak kan ha i Bergen. Resultater fra prosjekteringen og sammenligningen av grønne tak har gitt følgende konklusjoner:

- Under prosjekteringen av ledningsnett er sosial, miljømessig og økonomisk bærekraft tatt i betraktning. For å sikre fremkommelighet med kjøretøy ved drift og vedlikehold på ledningsnett med tilhørende kummer og armatur er ledningstraseen i størst mulig grad plassert langs fortau. Det er valgt ledningsmaterialer som er i tråd med Bergen kommunes VA-norm som samtidig er forventet å ha en lang levetid. Duktilt støpejern har en lang levetid med utvendig korrosjonsbeskyttelse og PVC skal ved riktig legging ha en levetid på over 100 år.
- Det er etablert bærekraftige løsninger for håndtering av overvann. Ved å ha infiltrerende masser i grøften renses overvannet før det ledes inn på overvannsnett og videre ut i Nordåsvannet. Dette er med på å redusere eventuelle miljøgifter som slippes ut i Nordåsvannet. Adkomstvegen vil i tillegg fungere som en flomveg ved ekstremnedbør i henhold til tre-trinnsstrategien.
- Fra data presentert i Tabell 5.6 og Tabell 5.7 er det tydelig at tilbakeholdingen av nedbør varierer fra ulike tak, også i områder som er klassifisert som samme klima. Effekten er størst i sommerhalvåret når evapotranspirasjonen er høyest og kan være tilnærmet 0 % i vinterhalvåret. Grønne tak vil dermed ikke fungere som eneste overvannsløsning, men kan kombineres med andre fordrøyningsløsninger. I tillegg er det vist at grønne tak kan bidra til å opprettholde det biologiske mangfoldet i byer, fange svevestøv og bidra til renere luft. Sammen med egenskapen grønne tak har til å forsinke og fordrøye nedbør vil det bidra til et bedre bymiljø, og grønne tak sine fordrøyningssegenskaper bør dermed ikke være eneste grunn til å etablere grønne tak i Bergen og andre byer.

8 Referanser

- BB Produkter (2015) Produktkatalog. Tilgjengelig fra:
http://hermansenas.no/onewebmedia/Katalog_2015.pdf?fbclid=IwARoX8-dsUuhf37nR_Z9ZULB8GYMPnhXoLSJZYOfJbq8LDRQJQNpHuTMelQ.
- Bengtsson, L., Grahn, L. og Olsson, J. (2005) Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden, *Hydrology Research*, 36(3), s. 259-268.
- Bent Braskerud, K. H. P. (2016) *Regnbed for lokal flomdemping*. Tilgjengelig fra:
<https://www.nve.no/Media/5027/overvann-regnbed-for-lokal-flomdemping.pdf>.
- Bergen kommune (2005) *Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune*. Tilgjengelig fra:
https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00010/Retningslinjer_for_o_10779a.pdf.
- Bergen kommune, Byrådsavdeling for byutvikling og Vann- og avløpsetaten (2005) *Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune* Tilgjengelig fra:
https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00010/Retningslinjer_for_o_10779a.pdf.
- Bergen Kommune (2015) *Hovedplan for vannforsyning 2015-2024*. Tilgjengelig fra:
https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00252/HovedplanVannforsyn_252141a.pdf (Hentet: 06.04. 2020).
- Bergen kommune (2019) *Kommunedelplan for overvann 2019 -2029*.
- Bergen kommune (2020) *VA-norm Bergen kommune*. Tilgjengelig fra: <http://va-norm.no/pdf/o/all/9/> (Hentet: 16.03.2020).
- Bergknapp (u.å.) *Grønt på taket*. Tilgjengelig fra:
<https://www.bergknapp.no/produkter/gr%C3%B8nne-tak> (Hentet: 01.05. 2020).
- Braskerud, B. C. (2014a) Grønne tak og styrtregn, *Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo*. NVE rapport, 64(2014), s. 98.
- Braskerud, B. C. (2014b) *Styrtregn og avrenning fra grønne tak med sedumvegetasjon*. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014_915352.pdf.
- Braskerud, B. C. (2016) *Grønne tak for flomdemping*. Tilgjengelig fra:
<https://www.nve.no/Media/5036/overvann-gr%C3%B8nne-tak-for-flomdemping.pdf>.
- Carter, T. L. og Rasmussen, T. C. (2006) Hydrologic behavior of vegetated roofs 1, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 42(5), s. 1261-1274.
- CustomWeather (2020) *Klima og gjennomsnittsvær i Bergen, Norge*. Tilgjengelig fra:
<https://www.timeanddate.no/vaer/norge/bergen/klima> (Hentet: 09.05. 2020).
- Delta V (2020) *Plastkassetene som sparer prestisjebygg for millioner*. Tilgjengelig fra:
<https://www.tu.no/storylabs/annonse-plastkassetene-som-sparer-prestisjebygg-for-millioner/407942> (Hentet: 12.05. 2020).
- Drikkevannsforskriften (2017) *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (FOR-2016-12-22-1868)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868?q=drikkevann> (Hentet: 13.03. 2020).

- Hansen, A.-J. (2010) Ansvar for å levere nok vann under alle forhold, *Vannforeningen*, 01. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2010_799003.pdf?fbclid=IwAR1GyokXHkF9V_fRd-BKfGwDMMeI7lapfVE5OTGw4eh_46BvyHzdkB5F10.
- Hanslin, H. M. og Johannessen, B. G. (2018) Grønne tak som LOD-og miljøtiltak, *NIBIO Rapport*.
- Johannessen, B. G., Hanslin, H. M. og Muthanna, T. M. (2017) Green roof performance potential in cold and wet regions, *Ecological engineering*, 106, s. 436-447.
- Johannessen, B. G., Muthanna, T. M. og Braskerud, B. C. (2018) Detention and retention behavior of four extensive green roofs in three nordic climate zones, *Water*, 10(6), s. 671.
- klimaservicesenter, N. (2020) *Nedbørsintensitet*. Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>.
- Klimatilpasning (2016) *Overvann* Tilgjengelig fra: <https://www.klimatilpasning.no/klimautfordringer/overvann/> (Hentet: 02.02 2020).
- Kringstad, A. og Matre, E. L. (2019) *Plankart til vedtatt KPA2018*. Tilgjengelig fra: <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/kommuneplanens-arealdel-2018/plankart> (Hentet: 03.04. 2020).
- Leca (2017) *Grønne tak*. Tilgjengelig fra: <https://leca.no/main-navigation/losninger/gronne-tak-overvannshandtering-med-gronne-bieffekter/> (Hentet: 27.04. 2020).
- Leca (u.å.) *Grønne tak: Overvannshåndtering med grønne bieffekter*. Tilgjengelig fra: <https://leca.no/main-navigation/losninger/gronne-tak-overvannshandtering-med-gronne-bieffekter/>.
- Li, W. C. og Yeung, K. K. A. (2014) A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), s. 127-134.
- Locatelli, L. *et al.* (2014) Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications, *Journal of hydrology*, 519, s. 3237-3248.
- Lundholm, J. T. og Williams, N. S. (2015) Effects of vegetation on green roof ecosystem services *Green roof ecosystems*. Springer, s. 211-232.
- Mamen, J. (2020) *Köppens klimaklassifisering*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/K%C3%B6ppens_klimaklassifisering (Hentet: 22.05 2020).
- Mentens, J., Raes, D. og Hermy, M. (2006) Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?, *Landscape and urban planning*, 77(3), s. 217-226.
- Myrabø, S. (1991) *Flomberegning*. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapport/1991/oppdragsrapport1991_08.pdf.
- Nagase, A. og Dunnett, N. (2012) Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure, *Landscape and urban planning*, 104(3), s. 356-363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.001>.
- NGU (2020) Løsmassekart. Tilgjengelig fra: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/ (Hentet: 14.11.2020).
- Noreng, K. *et al.* (2012) Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt.
- Norsk vann (2020) Håndtering av overvann - LOD, *VA miljøblad*, Nr. 125. Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/handtering-av-overvann-lod/>.

- Oberndorfer, E. *et al.* (2007) Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services, *BioScience*, 57(10), s. 823-833.
- Paus, K. H. (2018) Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2018/07/Paus.pdf> (Hentet: 16.03).
- Plan- og bygningsloven (2020) *Lov om planlegging og byggesaksbehandling* Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71?q=plan%20og>.
- Rørlegger-sentralen (u.å.) *VEILEDER OM TRYKKREDUKSJONSVENTIL* Tilgjengelig fra: https://www.rørlegger-sentralen.no/veileder-om-trykkreduksjonsventil/?fbclid=IwAR1U97OiOjk1evG9gjTArXUBb6_oAzlOBBoFZE3yj8exKhnLipgkepajSGg (Hentet: 22.05. 2020).
- Seija Stenius *et al.* (2015) *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf.
- Sivertsen, E. og Bomo, A. M. (2016) *Norske tall for vannforbruk* Norsk Vann. Tilgjengelig fra: <https://www.norsk vann.no/index.php/kompetanse/va-laerebok/12-kompetanse/rapporter/1417-ny-rapport-norske-tall-for-vannforbruk-med-fokus-pa-husholdningsforbruk> (Hentet: 14.05.).
- Sivertsen, S. v. E. (2018) *Permeable dekker med belegningsstein i betong håndterer overvann*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/permeable-dekker-med-belegningsstein-i-betong-handterer-overvann/>.
- Skaaraas, H. (2015) Overvann i byer og tettsteder: som problem og ressurs, *NOU (Norges offentlige utredninger)*. Hentet, 5(08), s. 2018.
- Spolek, G. (2008) Performance monitoring of three ecoroofs in Portland, Oregon, *Urban Ecosystems*, 11(4), s. 349-359. doi: 10.1007/s11252-008-0061-z.
- Statens vegvesen (2017) *FoU Lokal overvannshåndtering langs veg og gate*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/attachment/2112506/?fbclid=IwAR1rAU-YBnC7XWK4G9RRYfGjevHq8ldjq1lqHOuUXbOlxmbNc3LBKgzEuQ>.
- Statens Vegvesen (2020) Ulykkesstatistikk 2020. Tilgjengelig fra: [https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@-34710.6725090.13/hva:~\(~\(id~570\)\)](https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@-34710.6725090.13/hva:~(~(id~570))).
- Stenius, S. *et al.* (2015) *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf.
- Stovin, V. (2010) The potential of green roofs to manage urban stormwater, *Water and Environment Journal*, 24(3), s. 192-199.
- Stovin, V., Vesuviano, G. og Kasmin, H. (2012) The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions, *Journal of hydrology*, 414, s. 148-161.
- Stovin, V., Poë, S. og Berretta, C. (2013) A modelling study of long term green roof retention performance, *Journal of environmental management*, 131, s. 206-215.
- VA/miljø-blad (2010) *Valg av rørmateriell*. Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/kapittel-30/#toc13> (Hentet: 13.03).
- VA/Miljø-blad (2013) *Grønne tak*. Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/gronne-tak/> (Hentet: 14.03).

- VA/Miljø-blad (2015) *Dimensjonering av avlørsledninger. Selvensing Nr. 79.*
- VA/Miljø-blad (2016a) *Grøfteutførelse fleksible rør.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/grøfteutførelse-fleksible-ror/> (Hentet: 13.03).
- VA/Miljø-blad (2016b) *Grøfteutførelse stive rør.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/387/> (Hentet: 13.03).
- VA/Miljø-blad (2017) *Vatn til brannsløkking - og automatiske sløkkeanlegg.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/vatn-til-brannsløkking/> (Hentet: 16.03.2020).
- VA/Miljø-blad (2018a) *Kravspesifikasjon for betong avløpsrør.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/kravspesifikasjon-for-betong-avlopsror/> (Hentet: 17.03).
- VA/Miljø-blad (2018b) *Kravspesifikasjon for duktile støpejern.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/kravspesifikasjon-for-duktil-stopejernsrør/> (Hentet: 17.03).
- VA/Miljø-blad (2018c) *Håndtering av overvann - LOD.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/handtering-av-overvann-lod/> (Hentet: 15.03).
- VA/Miljø-blad (2019a) *Kravspesifikasjon for rør og rørdeler av PVC-U materiale.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/kravspesifikasjon-for-ror-og-rordeler-av-pvc-u-materiale-2/> (Hentet: 17.03).
- VA/Miljø-blad (2019b) *Kravspesifikasjon for trykkløse grunnavløpsrør og rørdeler av PP (polypropylen) materiale.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/kravspesifikasjon-for-trykklose-grunnavløpsror-og-rordeler-av-pp-polypropylen-materiale/> (Hentet: 17.03).
- VA/Miljø-blad (2019c) *Kravspesifikasjon for vann- og avløpsrør av PE-materiale.* Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/kravspesifikasjon-for-ror-av-pe-materiale/> (Hentet: 17.03).
- Vanwoert, N. D. *et al.* (2005) Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth, *Journal of environmental quality*, 34(3), s. 1036-1044. doi: 10.2134/jeq2004.0364.
- Villarreal, E. L. (2007) Runoff detention effect of a sedum green-roof, *Hydrology Research*, 38(1), s. 99-105.
- Vråle, L. (2011) Fremmedvann - Et stort problem for norske ledningsnett og renseanlegg. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2011_831314.pdf.
- Wavin (2009) *VA-fagsamling.* Tilgjengelig fra: <http://www.heva.no/images/stories/Arrangement/februar09/norsk%20wavin%201.pdf> (Hentet: 14.05. 2020).
- Ødegaard, H. *et al.* (2014) *Vann-og avløpsteknikk.*
- Åstebøl, S. *et al.* (2013) *På lag med regnet – Veileder for lokal overvannshåndtering.* (Rapport fra Miljødirektoratet).

9 Vedlegg

Vedlegg A: VA-rammeplan for Øvre Steinsviken

Vedlegg B: Beregningsark

- *Overvann*
- *Spillvann*
- *Drikkevann*

Vedlegg C: Tegningshefte