



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2019 30 stp**

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Hovedveileder: Petter D. Jenssen

Biveileder: Vegard Nilsen

## **Bruk av konseptvalgutredning for helhetlig, tidligfase overvannsplanlegging i kommuner**

Using Concept Selection Process to Secure  
Sufficient Stormwater Management Planning in  
Norwegian Municipalities

**Sigrid Amundsen**

Vann- og miljøteknikk

Fakultet for realfag og teknologi

**Elise Mesøy Sleipnes**

Industriell økonomi

Fakultet for realfag og teknologi

# FORORD

Denne oppgaven markerer avslutningen på vår femårige master ved fakultet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Sigrid Amundsen avslutter studiet vann- og miljøteknikk og Elise Mesøy Sleipnes avslutter studiet industriell økonomi med fordypning i vann- og miljøteknikk.

Vi ønsker først og fremst å takke hverandre for et utrolig flott samarbeid som har gjort denne prosessen til en veldig fin opplevelse. Ikke bare har vi lært utrolig mye – vi har også fått et veldig godt vennskap med fine stunder og mye latter.

Videre vil vi takke hovedveileder Petter D. Jenssen som introduserte oss for EU-prosjektet og har kommet med gode innspill. Vi vil også takke biveileder Vegard Nilsen som har hjulpet oss mye gjennom hele prosessen.

I tillegg ønsker vi å takke Trond Mæhlum og Arnstein Moe for nyttige innspill, Carl Einar Amundsen for konstruktive tilbakemeldinger og gjennomlesning, og Julie Næss Mikalsen for fine illustrasjoner.

Ås, mai 2019

---

Sigrid Amundsen

---

Elise Mesøy Sleipnes

# SAMMENDRAG

Samtidig som nedbørhendelsene blir mer intense som følge av klimaendringer, øker andel tette flater i urbane områder. Dette fører til en økning i overflateavrenning som kan få negative konsekvenser for mennesker, bygg og infrastruktur. Det er derfor et behov for god planlegging av overvannsløsninger. Vi har i denne oppgaven undersøkt om konseptvalgutredning (KVU) kan være et verktøy for å sikre helhetlig planlegging av overvannshåndtering i kommuner.

I en KVU utvikles ulike konseptforslag som veies opp mot hverandre for å finne det konseptet som fører til størst samfunnsnytte (f.eks. et konsept som medfører økt biologisk mangfold). En typisk KVU består av fem trinn: behovsanalyse, mål- og strategidokument, overordnet kravdokument, alternativanalyse og føringer for forprosjektet.

I denne oppgaven har vi utført en KVU for å planlegge overvannshåndtering for et eksempelområde i Fredrikstad by. KVU er valgt for å sikre at planprosessen blir mest mulig helhetlig og at overvannsløsningene som velges er de mest samfunnsnyttige. Dette innebærer blant annet gode løsninger for utnyttelse av overvann som en ressurs, økt biologisk mangfold, samt sikring av eksempelområdet og nedstrøms resipienter mot skader som følge av økt nedbørintensitet og overflateavrenning. Konseptene som er utviklet i denne oppgaven er basert på overvannstiltakene grønne tak, levende vegger, regnbed, overvannsdammer og regnhøsting.

KVU er en omfattende prosess og for å gjøre den mer håndterbar for mindre prosjekter (for eksempel i kommunal skala), ble den etterspørselsorienterte behovsanalysen i trinn 1 og føringer for forprosjektet (trinn 5) begge utelukket. I tillegg valgte vi å utføre en multikriterieanalyse, herunder en følsomhetsanalyse, for å evaluere konseptforslagene. Disse justeringene har vist seg å være hensiktsmessige da trinnene som ble utelukket var lite relevante, og multikriterieanalysen sikret at alle interessentene ble ivaretatt samtidig som konseptvalget ble gjort gjennom et helhetsperspektiv. Resultatet fra KVU-en viste at det mest optimale konseptet for eksempelområdet inkluderte overvannsdam, grønne tak, regnbed og levende vegger. Årsaken var at dette konseptet scoret høyt på behovene til interessentene (blant annet Fredrikstad kommune og fremtidige beboere i eksempelområdet), samtidig som det tok hensyn til forhold som biologisk mangfold og kostnader.

Gjennomføring av KVU har i denne oppgaven vist at KVU på en god måte ivaretar flere momenter som er ønskelig i kommunal overvannsplanlegging, blant annet samfunnsnytte, helhetlig tenking på tvers av fag- og etatsgrenser og omfattende behovsanalyser. Konklusjonen er at KVU kan være et nyttig verktøy for kommuner for å imøtekomme framtidige klimaendringer og sikre optimale overvannsløsninger ut ifra et helhetsperspektiv.

# ABSTRACT

More intense precipitation events due to climate change, combined with increasing dense surfaces in urban areas, will lead to an increase in surface runoff that can be harmful to people, buildings and infrastructure. Increased focus on planning is therefore required in future stormwater management. In this thesis we examined whether Concept Selection Process (KVU) could be used to ensure integrated planning for Norwegian municipalities.

In a KVU, different concepts are developed, and later weighed up against each other to find the concept that will be the most beneficial to society (e.g. a concept that leads to increased biodiversity). A typical KVU consists of five steps: a requirement analysis, goal and strategy document, an overall requirements document, alternative analysis and guidelines for the pre-project.

In this thesis, KVU has been used to develop a stormwater solution for a development area in the city of Fredrikstad (“case area”). KVU is selected to ensure a comprehensive and holistic planning process, which will give the most beneficial solution for society (e.g. good solutions for utilization of storm water, biodiversity is maintained or increased, reduced risk of flooding and damaging storm water runoff in populated areas and downstream recipients). The toolkit used in the concept development in this thesis consists of green roofs, living walls, rain gardens, storm water ponds and rain barrels.

KVU is an extensive process, and to adjust KVU to small stormwater projects both the demand-oriented analysis and the guidelines for the project were excluded. To evaluate the concepts in the project, a Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA) and a sensitivity analysis, were used instead. These adjustments simplified the KVU-process and the MCDA ensured a holistic process when choosing the final concept. The KVU showed that the most beneficial concept for the case area included a stormwater pond, green roofs, a rain garden and living walls. This concept met the requirements from the interested parties, e.g. Fredrikstad municipality, and the future residents in the development area, as well as being beneficial for increased biodiversity and has low cost.

The process of implementing the KVU in this thesis showed that KVU includes factors that are desirable in municipal stormwater planning, including social benefits, holistic thinking across disciplines and agency boundaries and extensive requirement analyses. We conclude that KVU can be a useful tool for municipalities to meet future climate changes and challenging stormwater events.

# INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b> .....	<b>IV</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>VI</b>
<b>TABELLISTE</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 GLOBALE OG LOKALE UTFORDRINGER KNYTTET TIL KLIMAENDRINGER .....	1
1.2 BEHOV FOR HELHETLIG PLANLEGGING FOR SAMFUNNSNYTTIG OG SIKKER OVERVANNSHÅNDTERING I KOMMUNER.....	2
1.3 HVA ER KONSEPTVALGUTREDNING (KVU)? .....	3
1.4 KVU I ET KOMMUNALT OVERVANNSPROSJEKT .....	3
1.5 MÅL FOR MASTEROPPGAVEN .....	4
1.6 AVGRENINGER AV ARBEIDET .....	5
1.7 OPPBYGNING AV MASTEROPPGAVEN.....	6
<b>2 BESKRIVELSE AV EKSEMPELOMRÅDET</b> .....	<b>8</b>
2.1 INFORMASJON OM UTBYGGINGEN .....	9
2.2 ANTAKELSER FOR UTBYGGINGEN .....	10
2.3 NEDBØRSFELT, FLOMVEI OG KARTLEGGING AV KOMMUNALT LEDNINGSNETT .....	12
2.4 JORDSMONNET I EKSEMPELOMRÅDET .....	13
2.5 KLIMA I FREDRIKSTAD.....	13
<b>3 AKTUELLE OVERVANNSTILTAK FOR EKSEMPELOMRÅDET</b> .....	<b>16</b>
3.1 HVORFOR BRUKE LOKALE OVERVANNSTILTAK? .....	16
3.2 BESKRIVELSE AV AKTUELLE OVERVANNSTILTAK .....	17
3.3 KOSTNADER KNYTTET TIL OVERVANNSHÅNDTERING.....	29
<b>4 BRUK AV OVERVANN SOM RESSURS</b> .....	<b>34</b>
4.1 KJEMISKE OG BIOLOGISKE KRAV VED UTNYTTELSE AV OVERVANN .....	34
4.2 LOVER OG RETNINGSLINJER FOR UTBYGGING OG DIMENSJONERING AV OVERVANNSTILTAK.....	39
4.3 BLÅGRØNN FAKTOR.....	41
<b>5 FORMLER FOR OVERVANNS- OG KOSTNADSBEREGNINGER</b> .....	<b>42</b>
5.1 AVRENNINGSKOEFFISIENT .....	42
5.2 KONSENTRASJONSTID .....	43
5.3 DEN RASJONALE METODE.....	45
5.4 REGNENVELOPMETODEN .....	46
5.5 BEREGNING AV KOSTNAD .....	48

<b>6</b>	<b>KONSEPTVALGUTREDNING .....</b>	<b>50</b>
6.1	INTRODUKSJON TIL KONSEPTVALGUTREDNING .....	50
6.2	BEHOVSANALYSE.....	52
6.3	MÅL- OG STRATEGIDOKUMENT .....	54
6.4	OVERORDNET KRAVDOKUMENT.....	55
6.5	SAMMENHENG MELLOM BEHOV, MÅL OG KRAV .....	56
6.6	MULTIKRITERIEANALYSE.....	56
6.7	ALTERNATIVANALYSE .....	58
<b>7</b>	<b>GRUNNLAG FOR UTVIKLING AV KONSEPTER.....</b>	<b>59</b>
7.1	BEHOVSANALYSE.....	59
7.2	MÅLSETTINGEN TIL VALGT KONSEPT .....	62
7.3	OVERORDNET KRAVDOKUMENT.....	63
7.4	SAMMENHENG MELLOM BEHOV, MÅL OG KRAV .....	65
7.5	EVALUERINGSKRITERIER .....	67
<b>8</b>	<b>FORUTSETNINGER, INNGANGSDATA OG BEREKNINGER.....</b>	<b>71</b>
8.1	FORUTSETNINGER .....	71
8.2	AVRENNINGSKOEFFISIENTEN TIL NEDBØRSFELTET .....	72
8.3	KONSENTRASJONSTIDEN TIL NEDBØRSFELTET .....	73
8.4	TOTAL OVERVANNSMENGDE I NEDBØRSFELTET .....	75
8.5	VANNINGSBEHOV .....	76
<b>9</b>	<b>UTFØRELSE AV ALTERNATIVANALYSEN.....</b>	<b>79</b>
9.1	STRATEGI FOR UTVIKLING AV KONSEPTER .....	79
9.2	BESKRIVELSE AV KONSEPTFORSLAGENE .....	82
9.3	GROVUTSILING AV ALTERNATIVE KONSEPTER .....	105
9.4	MULTIKRITERIEANALYSE.....	107
9.5	KONSEPTENES TOTALE PRESTASJONSEVNE .....	122
9.6	FØLSOMHETSANALYSE.....	124
<b>10</b>	<b>RESULTATER OG DISKUSJON .....</b>	<b>126</b>
10.1	VURDERING AV KVVU SOM VERKTØY FOR KOMMUNER .....	126
10.2	LOKALE OVERVANNSLØSNINGER .....	134
10.3	UTNYTTELSE AV OVERVANN.....	136
<b>11</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>137</b>
	<b>REFERANSER .....</b>	<b>139</b>
	<b>VEDLEGG.....</b>	<b>145</b>

# FIGURLISTE

Figur 2.1 Oversikt over eksempelområdets plassering .....	8
Figur 2.2 Del 1 av utbyggingen. Blokk A vises til venstre, blokk B til høyre.....	9
Figur 2.3 Hele det skraverte området viser eksempelområdet.....	11
Figur 2.4 Flomveien som overvannet vil følge vekk fra området og ned til elven.....	12
Figur 2.5 IVF-kurve for Leie i Fredrikstad med data fra 30.05.1970 – 31.07.2016 .....	14
Figur 3.1 Eksempel på ekstensive tak med sedumbelantning.....	18
Figur 3.2 Eksempel på oppbygging av ekstensive tak med drenering og uten drenering .....	19
Figur 3.3 Eksempel på utforming av grønne tak.....	22
Figur 3.4 Eksempel på utforming av regnbed fra Montgomery County i USA .....	24
Figur 3.5 Eksempel på utforming av overvannsdam .....	26
Figur 6.1 Flytskjema for generell KVVU.....	51
Figur 6.2 Flytskjema for justert KVVU brukt i denne oppgaven .....	51
Figur 6.3 Sammenhengen mellom prosjektet og de ulike interessentene. ....	53
Figur 6.4 Et utvalg av interessentene som er tilknyttet KVVU Grenlandsbanen. ....	54
Figur 6.5 Sammenhengen mellom behov, mål og krav .....	56
Figur 9.1 Området hvor flomskader har blitt innrapportert, og flomveien markert i rødt .....	81
Figur 9.2 Nedbørhendelse for en av de innrapporterte flomhendelsene. ....	82
Figur 9.3 Utforming av nullalternativet med tegnforklaring. ....	84
Figur 9.4 Utforming av konsept 1 med tegnforklaring .....	87
Figur 9.5 Utforming av konsept 2 med tegnforklaring .....	91
Figur 9.6 Utforming av konsept 3 med tegnforklaring .....	96
Figur 9.7 Dimensjonerende delnedbørsfelt for regnbedet markert med stiplet linje .....	97
Figur 9.8 Grønn vegg inkludert i konsept 4 .....	101
Figur 9.9 Score per kriterium og total score for nullalternativet. ....	110
Figur 9.10 Score per kriterium og total score for konsept 2. ....	114
Figur 9.11 Score per kriterium og total score for konsept 3. ....	118
Figur 9.12 Score per kriterium for konsept 4.....	121
Figur 9.13 Konseptenes totale score. ....	122
Figur 9.14 Sammenlikning av gjenværende konsepters prestasjonsevne.....	123

# TABELLISTE

Tabell 1.1 Oppbygning av masteroppgaven. ....	114
Tabell 2.1 Månedlig normaltemperatur i Fredrikstad målt fra 1994 frem til i dag. ....	118
Tabell 2.2 Normalnedbør og nedbør for 2018 for Fredrikstad (10 m. o. h.).....	121
Tabell 3.1 Avrenning ved ekstremnedbør fra to grønne tak (med og uten drenering) .....	122
Tabell 3.2 Kostnadsanslag for de ulike overvannstiltakene.....	123
Tabell 4.1 Vurderingsgrunnlag for vannkvalitet ved friluftsbad .....	36
Tabell 4.2 Støtteparametere for vurdering av vannkvalitet ved friluftsbad .....	36
Tabell 4.3 Sammenheng mellom klasseinndeling og vekst kategorier.....	37
Tabell 4.4 Klassifisering av egnethet for jordvanning.....	38
Tabell 7.1 Sammenhengen mellom gjeldende behov, mål og krav. ....	66
Tabell 7.2 Vekting av evalueringskriteriene.....	69
Tabell 8.1 Midlere avrenningskoeffisient for eksempelområdet. ....	72
Tabell 8.2 Inngangsdata for beregning av konsentrasjonstid.....	74
Tabell 8.3 Beregning av konsentrasjonstid.....	74
Tabell 8.4 Resultater for eksempelområdet ved bruk av regnenvelopmetoden for en nedbørshendelse med et gjentakintervall på 50 år.....	75
Tabell 8.5 Vannbehov per uke, sett bort fra nedbør. ....	76
Tabell 8.6 Månedlig vannbehov i 2018. ....	77
Tabell 8.7 Vanningsbehov per måned ved normalnedbør. ....	77
Tabell 8.8 Nedbørsvolum for 2018-nedbøren og for normalnedbør for eksempelområdet.....	78
Tabell 9.1 Oversikt over de ulike konseptene med tilhørende tiltak. ....	80
Tabell 9.2 De absolutte kravene inndelt i fire hovedpunkter.....	83
Tabell 9.3 Oppsummerende beskrivelse av nullalternativet. ....	86
Tabell 9.4 Oppsummerende beskrivelse av konsept 1.....	90
Tabell 9.5 Oppsummerende beskrivelse av konsept 2.....	95
Tabell 9.6 Oppsummerende beskrivelse av konsept 3.....	100
Tabell 9.7 Oppsummerende beskrivelse av konsept 4.....	103
Tabell 9.8 Totaloversikt over av alle konseptene med tilhørende nåverdi og BGF, samt om konseptene oppfyller absolutte krav eller ikke. ....	104



Tabell 9.9 Kostnadene knyttet til konseptene. ....	105
Tabell 9.10 Konseptene som skal analyseres videre. ....	106
Tabell 9.11 Evalueringskriteriene og tilhørende vektning. ....	107
Tabell 9.12 Nøkkelinformasjon om nullalternativet. ....	107
Tabell 9.13 Nøkkelinformasjon om konsept 2. ....	111
Tabell 9.14 Nøkkelinformasjon om konsept 3. ....	115
Tabell 9.15 Nøkkelinformasjon om konsept 4. ....	119
Tabell 9.16 Alle konseptenes totale score. ....	123
Tabell 10.1 Styrker og svakheter knyttet til bruk av konseptvalgutredning. ....	132

# 1 INNLEDNING

## 1.1 Globale og lokale utfordringer knyttet til klimaendringer

I en rapport for kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning kommer det fram at årsnedbøren i Norge er beregnet å øke med omtrent 18 prosent fram til 2100, hvis klimagassutslippene fortsetter som i dag (Hanssen-Bauer et al., 2015). Rapporten hevder videre at styrtregnepisodene og regnflommene vil bli kraftigere og forekomme hyppigere i løpet av samme periode. Olsson med flere (2009) legger frem at regnintensiteten enkelte steder kan øke med opptil 60 prosent frem mot 2100. Samtidig fører urbanisering til at andelen tette flater øker, noe som vil bidra til økt overflateavrenning (Walsh et al., 2012). Økt regnintensitet og urbanisering vil føre til flere og større urbane flommer i fremtiden, og planlegging av overvannsløsninger i byer vil derfor være svært viktig for å kunne sikre et trygt samfunn.

Samtidig som vi får mer intense nedbørshendelser, vil klimaendringene føre til mer ekstrem tørke. I løpet av sommeren 2018 ble det satt temperaturrekorder i 38 kommuner i Norge (Bjerve, 2019). Dette førte til at mange kommuner måtte innføre vanningsforbud gjennom sommeren. Ifølge Meteorologisk institutt ventes det at temperaturen i Norge vil øke med 4,5 grader fram mot slutten av århundret hvis klimagassutslippene fortsetter som i dag (Meteorologisk institutt, 2017), og det kan dermed antas at vanningsforbud vil forekomme igjen. På verdensbasis opplever to tredjedeler av befolkningen alvorlig vannknapphet deler av året, og rundt en halv milliard mennesker lider av vannmangel året rundt (Mekonnen og Hoekstra, 2016). På grunn av befolkningsvekst vil vannknappheten på verdensbasis øke i årene som følger, og derfor vil utnyttelse av overvann bli viktig i framtiden for å bidra til en bærekraftig vannforvaltningsstrategi (Nnadi et al., 2015).

For å imøtekomme problemene knyttet til mer ekstreme tørkeperioder og nedbørsperioder, herunder vanningsforbud og fare for oversvømmelser, kan en løsning være å utnytte overvannet som en ressurs gjennom lokale overvannstiltak. Overvannet kan lagres i perioder med mye nedbør, før det så kan utnyttes i tørkeperioder til for eksempel vanning, toalettspyling og bilvask. Ved å utnytte overvannet vil man sikre en alternativ vannkilde når drikkevannet ikke strekker til for andre formål enn drikkevannsforsyning. Lokal overvannshåndtering vil samtidig kunne føre til stor

samfunnsnytte ved at flomfaren reduseres, det biologiske mangfoldet styrkes, luftkvaliteten forbedres og rekreasjonsmulighetene blir større.

## **1.2 Behov for helhetlig planlegging for samfunnsnyttig og sikker overvannshåndtering i kommuner**

I Norsk Vann sin veileder for klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer (Sekse, 2012) går det fram at klimatilpasning er en stor utfordring for norske kommuner. Videre legges det frem at for å oppnå fremtidsrettet og bærekraftig overvannshåndtering må det settes krav til utarbeidelse av gode planer, både på et overordnet nivå og på detaljnivå, med forankring i overordnede mål og prioriteringer.

I veilederen (Norsk Vann, 2012) påpekes det at kommunen har en sentral rolle i klimatilpasningsarbeidet, og at det er kommunen som har ansvaret for å sikre trygg utbygging av sine arealer. I veilederen hevdes det samtidig at mange kommuner har et stort forbedringspotensial når det gjelder gjennomføring av en helhetlig og samordnet arealplanlegging, at løsningene ofte ikke er optimale ut ifra et helhetsperspektiv, og at viktige problemstillinger og fagområder trekkes for sent inn i planleggingen. I en rapport utarbeidet av NOU (Norges offentlige utredninger) for miljøverndepartementet (nå klima- og miljøverndepartementet) i 2010 om samfunnets sårbarhet og behov for tilpassing til klimaendringene, anbefales det at kommunene tildeles øremerkede midler for å styrke plankapasitet og plankompetanse, slik at klimatilpassing kan integreres i arealplanlegging (Miljøverndepartementet, 2010).

Ifølge en annen veileder utviklet av Norsk Vann som omhandler klimatilpasset overvannshåndtering (Norsk Vann, 2008) vil optimalisert bruk av lokale og åpne overvannsløsninger kunne redusere problemer som forurensning fra overløpsutslipp, økte flomskader og forurensning fra overvannet, uten at man må investere store summer i kostbare ledningsnett. Veilederen legger i tillegg fram at gode overvannsløsninger er avhengige av medvirkning fra ulike fagmiljøer, og at planlegging av langsiktig og bærekraftig overvannshåndtering er en mer kompleks og tidkrevende prosess enn planlegging av et konvensjonelt overvannssystem.

For å sikre optimal planlegging av overvannshåndtering i kommuner, som tar hensyn til framtidige klimaendringer, ønsker vi å undersøke om konseptvalgutredning (KVU) kan være et gunstig verktøy.

### **1.3 Hva er konseptvalgutredning (KVU)?**

Konseptvalgutredning (KVU) er en metode som benyttes for å finne det mest optimale konseptet blant flere konseptforslag for å maksimere et prosjekts samfunnsnytte. Dette gjøres ved å basere konseptforslagene på prosjektets klart definerte behov, mål og krav til løsning.

KVU skal sikre akseptabel, overordnet styring ved planlegging av prosjekter på et tidlig tidspunkt (Welde, 2016). KVU brukes normalt som metode for å kvalitetssikre store, statlige investeringsprosjekter, og til nå er mer enn hundre prosjekter utarbeidet ved bruk av denne metoden, med gode resultater (Jordal et al., 2018). KVU er blant annet benyttet i planlegging av Vestfold-, Østfold- og Dovrebanen, i utvikling av det kollektive transporttilbudet i Oslo, og ved ny utforming av Bygdøy allé (Bane NOR, 2011; Jernbaneverket et al., 2015; Norconsult, u.å.).

KVU inneholder mange av prosessene og momentene som er ønskelig i kommunal overvannsplanlegging, blant annet samfunnsnytte, helhetlig tenking på tvers av fag- og etatsgrenser og omfattende behovsanalyser. Det er derfor interessant å undersøke om KVU kan fungere ved mindre prosjekter i kommunal regi som omhandler overvannshåndtering.

### **1.4 KVU i et kommunalt overvannsprosjekt**

Fra Fredrikstad sin hovedplan fremgår det at de største skadehendelsene knyttet til overvann og urbanflom skjer i forbindelse med kraftig, kortvarig nedbør (Fredrikstad kommune, 2016). I hovedplanen trekkes det frem en nedbørshendelse som forårsaket skader for om lag 40 millioner kroner. Det er derfor viktig for kommunen med sikre flomveier og gode overvannsløsninger som kan fordrøye nedbør ved slike hendelser. I kommunen ble det dessuten innført vanningsforbud både sommeren 2017 og sommeren 2018 (Fredrikstad Blad, 2018; Fredrikstad Blad, 2017), og det er dermed aktuelt for kommunen med tiltak der overvannet samles opp og utnyttes til vanning.

Det gamle sykehuset i Fredrikstad skal utbygges, og utbyggingen skjer i samarbeid med EU-prosjektet «Sino-European Innovative Green and Smart Cities» (SiEUGreen) som fokuserer på å finne innovative løsninger for urbant landbruk og sirkulære løsninger for gjenvinning av vann og

avløp (SiEUGreen, u.å.). Dette utbyggingsprosjektet utgjør således et godt «eksempelområde» for å teste hvordan KVVU kan fungere i kommunal overvannsplanlegging.

Utbyggingen av området skjer i to trinn, og vi kommer til å se på tiltak for første trinn hvor to høyblokker i sykehusområdet skal rehabiliteres og bygges om til to boligblokker. Overvannsløsningene vi ser på er regnhøsting, grønne tak, overvannsdam, levende vegger og regnbed.

## **1.5 Mål for masteroppgaven**

I denne oppgaven vil vi undersøke om konseptvalgutredning (KVVU) kan være en gunstig metode for kommuner for å sikre god, tverrfaglig planlegging av lokale overvannsløsninger på et tidlig stadium i prosessen.

Vi har delt målene for oppgaven inn i hovedmål og delmål. Fokuset vil ligge på hovedmålet, som vil kunne medføre oppnåelse av delmålene. Delmålene er satt som føringer for KVVU-en og er viktig i forbindelse med SiEUGreen-prosjektet, da de kan føre frem til nyttig kunnskap om overvannshåndtering, og utnyttelse av overvann som en ressurs.

### **Hovedmål:**

Vurdere om KVVU kan være et gunstig verktøy for kommuner ved planlegging av overvannshåndtering. Herunder se på hvilke modifiseringer som må gjøres for at KVVU skal kunne fungere ved mindre overvannsprosjekter.

### **Delmål:**

- Finne lokale løsninger for å sikre eksempelområdet og nedstrøms områder mot økt nedbørintensitet og overflateavrenning. Herunder finne den overvannsløsningen som gir størst samfunnsnytte.
- Finne overvannsløsninger som legger til rette for utnyttelse av overvann. Herunder finne en løsning som kunne dekket vanningsbehovet under tørkeperioden i 2018.

## **1.6 Avgrensninger av arbeidet**

I denne oppgaven tilnærmes målene gjennom et overordnet perspektiv. Oppgaven har et bredt omfang og spenner over mange ulike fagfelt for å etablere et tilstrekkelig grunnlag når vi videre skal vurdere KVVU som metode og finne den mest optimale løsningen for overvannshåndtering. Av den grunn er det nødvendig å holde oppgaven på et overordnet nivå, med relativt lav detaljeringsgrad. Det vil si at vi ikke går i detalj med mindre det er nødvendig for å nå målene satt for oppgaven.

### **Avgrensninger for metoden**

KVVU benyttes først og fremst i store, statlige investeringsprosjekter, så det vil dermed være nødvendig å gjøre justeringer for at metoden skal fungere ved småskala prosjekter som omhandler overvannshåndtering. På grunn av tidsbegrensninger lar det seg dessuten ikke gjøre å gå så detaljert til verks som en ville gjort ved bruk av KVVU i et stort investeringsprosjekt.

### **Avgrensninger for overvannsløsningene**

Vi har valgt å kun se på de overvannsløsningene vi mener er mest relevante for området, og de løsningene som i størst grad vil kunne bidra til gjenbruk av overvannet. Det er også lagt noe vekt på at overvannsløsningene skal være innovative, da dette er et ønske fra EU-prosjektet SiEUGreen (personlig kommunikasjon, Petter D. Jenssen, 28.01.2019).

I og med at EU-prosjektet er på et tidlig stadium har vi måtte gjøre noen antakelser, blant annet når det gjelder terreng. Vi har mottatt en foreløpig terrengmodell fra prosjektets arkitekt, Niels Torp, og siden denne bare er foreløpig, vil vi komme med anbefalinger om hvordan terrenget bør være for å best passe våre forslag til overvannstiltak.

Et ønske fra arkitekten har vært å inkludere en overvannsdam i området, noe vi tar hensyn til ved å inkludere overvannsdam i de fleste konseptene som legges frem. Det har dessuten vært et ønske fra utbygger at fokuset skal ligge på ekstensive grønne tak, fremfor intensive grønne tak som vil være mer kostbart for prosjektet.

## **1.7 Oppbygning av masteroppgaven**

Masteroppgaven er delt inn i 6 hoveddeler; innledning, bakgrunn, metode, utførelse av konseptvalgutredning, resultater og diskusjon, og konklusjon (Tabell 1.1). Referanser og vedlegg kommer i tillegg.

Resultater og diskusjon sammenfaller. For vår oppgave er dette mest hensiktsmessig, da resultatene først og fremst skal vise hvordan KVV fungerer som metode og derfor vil fremkomme gjennom diskusjon.

Vi har valgt å presentere eksempelområdet allerede i kapittel 2. Vi anser det som mest hensiktsmessig for leseren, da dette er viktig informasjon som bør komme fram tidlig.

Tabell 1.1 Oppbygning av masteroppgaven.

Hoveddel	Kapittel	Beskrivelse av kapitlet
Del 1 – Innledning	1 Innledning	Presentasjon av oppgaven, herunder bakgrunn for valg av tema og metode, og mål og avgrensninger for oppgaven.
Del 2 – Bakgrunn	2 Beskrivelse av eksempelområdet	Beskrivelse av området vi ser på.
	3 Aktuelle overvannstiltak for eksempelområdet	Bakgrunn for bruk av lokale overvannsløsninger og presentasjon av de overvannstiltakene som benyttes videre.
	4 Bruk av overvann som en ressurs	Beskrivelse av krav som er satt for utnyttelse av overvann, samt krav for utbygging og dimensjonering av overvannstiltak. I tillegg en beskrivelse av blågrønn faktor.
Del 3 – Metode	5 Formler for overvanns- og kostnadsberegninger	Presentasjon av alle formler som blir benyttet for å gjøre nødvendige beregninger.
	6 Konseptvalg-utredning	Beskrivelse av metoden (konseptvalgutredning, KVVU), herunder trinnene i en KVVU, samt hvilke justeringer som har blitt gjort for at metoden skal passe til denne oppgaven.
Del 4 – Utførelse av konseptvalg-utredning	7 Grunnlag for utvikling av konsepter	Utførelse av de tre første trinnene i den justerte konseptvalgutredningen (behovsanalyse, målsetting og overordnet kravdokument), som danner grunnlaget for utvikling av konsepter. Kapitlet legger i tillegg fram evalueringskriteriene som skal benyttes for å evaluere konseptene.
	8 Forutsetninger, inngangsdata og beregninger	Forutsetninger som er satt for videre beregninger og analyser, og alle inngangsdata og beregninger som er nødvendig for alternativanalysen.
	9 Utførelse av alternativanalysen	Utarbeidelse av konseptforslag som skal analyseres og evalueres gjennom en multikriterieanalyse. Multikriterieanalysen resulterer i en rangering av konseptene. Kapitlet inkluderer i tillegg en følsomhetsanalyse for å vurdere robustheten til rangeringen.
Del 5 – Resultater og diskusjon	10 Resultater og diskusjon	Her diskuteres hovedmålet og delmålene, herunder hvordan KVVU vil fungere som verktøy for kommunen, og hvilke overvannsløsninger som gir størst samfunnsnytte for eksempelområdet og legger til rette for utnyttelse av overvann i eksempelområdet. Resultater og diskusjon sammenfaller.
Del 6 – Konklusjon	11 Konklusjon	Oppsummering av de mest sentrale funnene og anbefalinger for videre arbeid.



## 2 BESKRIVELSE AV EKSEMPELOMRÅDET

Dette kapitlet inngår i del 2 – bakgrunn, og presenterer oppgavens eksempelområde, herunder informasjon om eksempelområdet som vil være nødvendig for videre beregninger. Alle nøkkeltall som presenteres i dette kapitlet er samlet i en tabell (vedlegg 1).

Eksempelområdet omfatter det gamle sykehuset i bydelen Cicignon i Fredrikstad. Fredrikstad er den største byen i Østfold fylke med rett over 81 000 innbyggere (SSB, 2019). Eksempelområdet er et sentrumsnært område som ligger ca. 200 meter fra Glomma (Figur 2.1).



Figur 2.1 Oversikt over eksempelområdets plassering (Kart hentet fra Norgeskart.no)

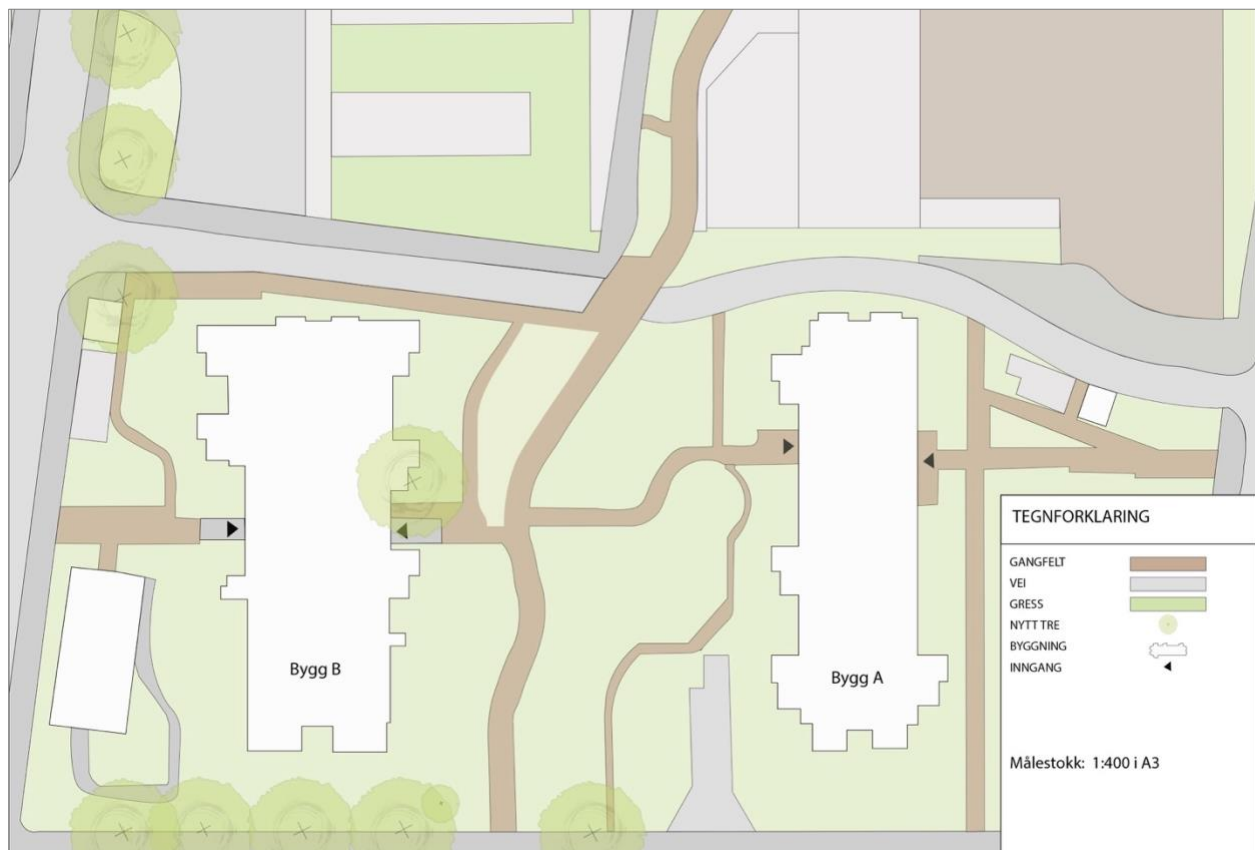
Det gamle sykehuset i Fredrikstad ble bygget i 1956. Sykehuset er nå nedlagt, og i 2014 ble det kjøpt opp av eiendomsutvikleren Nordic Group Development som skal bygge om sykehuset til boligblokker. Nordic Group Development har innledet et samarbeid med SiEUGreen, som er et forskningsprosjekt finansiert av EU med fokus på urbant landbruk og sirkulære løsninger for

gjenbruk av vann, avløp og avfall. Ved ombyggingen av sykehuset vil det også være fokus på at leilighetene skal ha et lavest mulig klima-fotavtrykk.

## 2.1 Informasjon om utbyggingen

Utbyggingen av det gamle sykehuset består av to deler. I denne oppgaven ser vi på tiltak for del 1 av utbyggingen, hvor de to høyblokkene tilhørende det gamle sykehuset skal rehabiliteres og bygges om til to boligblokker, blokk A og B (Figur 2.2). Arealet til blokkene er henholdsvis 613 og 720 kvadratmeter.

Utbyggingen av boligblokk A skjer i samarbeid med EU-prosjektet SiEUGreen. Som nevnt har EU-prosjektet fokus på løsninger for urbant landbruk, og det vil derfor tilrettelegges for balkongdyrking. I tillegg skal det anlegges parsellhager til høyre for blokk A, og veksthus til venstre for blokk B. I tillegg er det planlagt en restaurant på taket til blokk A.



Figur 2.2 Del 1 av utbyggingen. Blokk A vises til venstre, blokk B til høyre (Illustrasjon: Julie Næss Mikalsen).

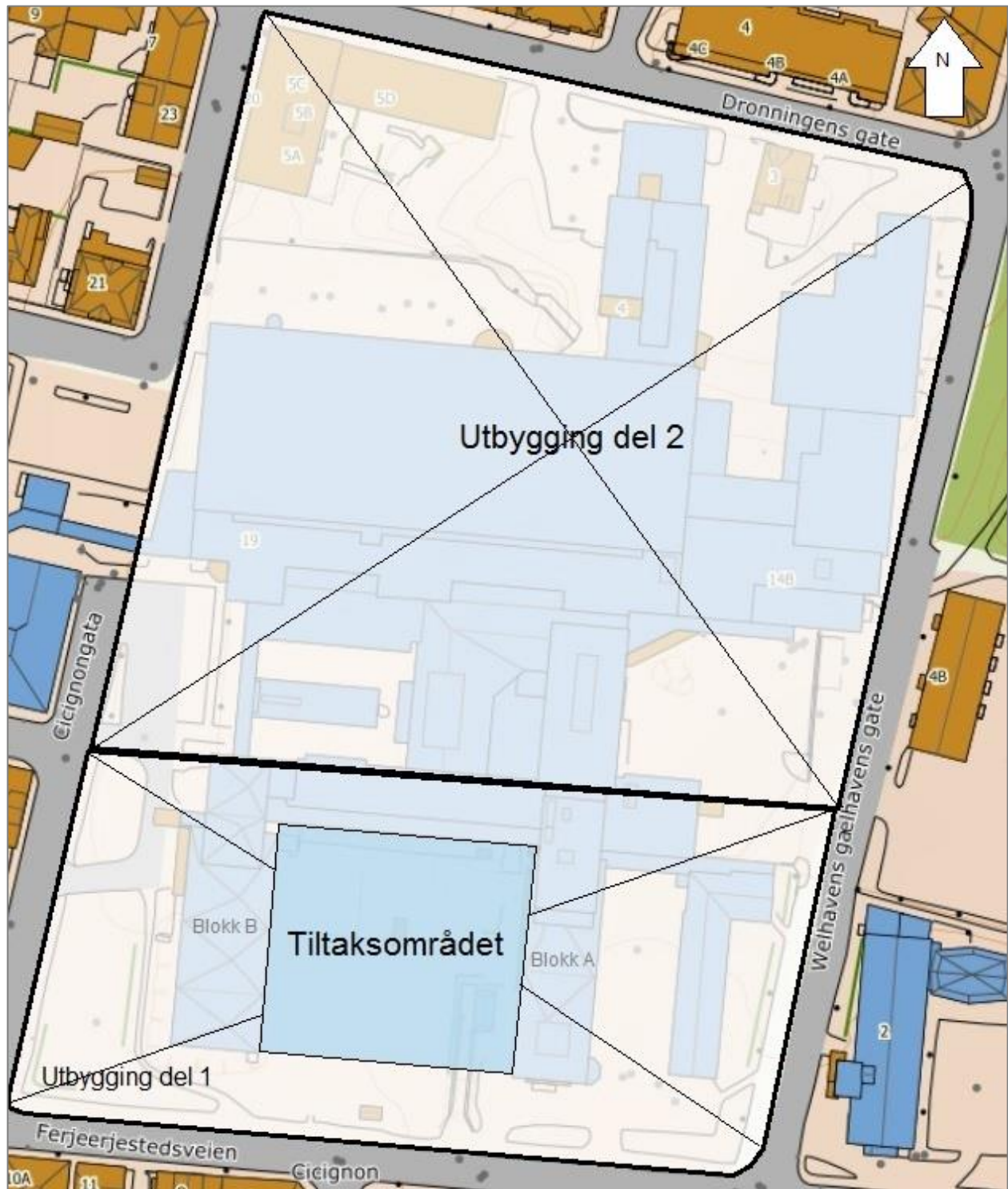
Prosjektet skal også demonstrere såkalte sirkulære løsninger for gjenbruk av vann, avløp og avfall. For boligblokk A er det planlagt separat oppsamling og behandling av svartvann og gråvann. Svartvannet skal, sammen med kvernet organisk husholdningsavfall, behandles i en biogassreaktor, mens gråvannet skal renses i en våtmark til venstre for boligblokk A (SiEUGreen, u.å.). Målet er at gråvannet skal ha «god badevannskvalitet» etter rensingen, som ifølge EUs badevannsdirektiv vil si maksimalt 1000 termotolerante koliforme bakterier (TKB) per 100 ml (Høysaeter og Daviknes, 2011). Etter at gråvannet er renses i våtmarken skal det håndteres videre gjennom overvannsløsninger.

## **2.2 Antakelser for utbyggingen**

Vi antar at vannet som kommer fra våtmarksanlegget inneholder lite næringsstoffer, og at risikoen for at dette vannet vil bidra til algeoppblomstring dermed er liten.

Utbyggingen av del 2 av det gamle sykehuset er per nå ikke bestemt, og derfor er vi nødt til å gjøre noen antakelser for denne delen av utbyggingen. Vi må blant annet anta hvilke overflatetyper del 2 vil bestå av, for å senere kunne beregne avrenningskoeffisienten til eksempelområdet. Det antas at bygningene i byggetrinn 2 ikke har grønne tak. Dette er en konservativ og trygg antakelse, da grønne tak ville gitt mindre overflateavrenning og et redusert behov for overvannstiltak. Byggetrinn 1 består av omtrent 80 prosent grøntareal, 15 prosent tak og 5 prosent asfaltert areal. Det er imidlertid sannsynlig at byggetrinn 2 inkluderer flere bygninger og derav flere asfalterte områder. Vi antar derfor at byggetrinn 2 vil bestå av 40 prosent grøntareal, 50 prosent tak og 10 prosent asfaltert areal.

Det skal kun implementeres overvannstiltak i området mellom blokk A og B. Dette området blir videre omtalt som «tiltaksområdet» (Figur 2.3). Det antas at terrenget tilrettelegges slik at nedbøren som faller andre steder enn i tiltaksområdet føres til og håndteres i tiltaksområdet.



Figur 2.3 Hele det skraverte området viser eksempelområdet. Eksempelområdet er delt inn i utbygging del 1 og 2. Tiltaksområdet er også markert i figuren. (Kart hentet fra norgeskart.no).



## 2.3 Nedbørsfelt, flomvei og kartlegging av kommunalt ledningsnett

Etter å ha besøkt eksempelområdet kan vi konkludere med at området ligger på en høyde med slakt fall i alle retninger, noe som betyr at det ikke vil være tilrenning fra andre områder. I mangel på mer nøyaktige data ser vi derfor på eksempelområdet som et eget, lokalt nedbørsfelt (Figur 2.3). Nedbørsfeltet vil da være på 29 500 kvadratmeter ( $\approx 3$  hektar), og vi tar utgangspunkt i nedbøren fra hele feltet ved utvikling av overvann tiltak. Siden området ligger på en høyde, vil ikke tilrenning av forurenset overvann fra vei eller industriområder være aktuelt for eksempelområdet.

Fra befaringen i området kan vi i tillegg konkludere med at flomveien vekk fra området vil følge veien østover ned mot elva, noe som også stemmer overens med avrenningslinjer beregnet i Scalgo (SCALGO, u.å.) (Figur 2.4). Avrenningslinjene beregnet i Scalgo viser også hvor utløpet til eksempelområdet omtrent ligger.



Figur 2.4 Flomveien som overvannet vil følge vekk fra området og ned til elven. Den blå markøren viser omtrentlig hvor utløpet til eksempelområdet ligger (Kilde: Scalgo)

Overvannet fra området blir i dag sluppet direkte ut på et separatsystem som fører overvannet ut i Glomma. Etter samtaler med Fredrikstad kommune per e-post (O.P. Skallebakke, personlig kommunikasjon, 28.02.2019) har det kommet frem at overvannsledningen har en kapasitet til å håndtere rundt 100 l/s fra eksempelområdet.

## **2.4 Jordsmonnet i eksempelområdet**

Ettersom eksempelområdet er et tidligere utbygd område er det rimelig å anta at masser er flyttet på og at jordprofilet ikke vil være naturlig. Undersøkelser fra området viser at jorda lenger ned i jordprofilet hovedsakelig består av leire. Det er rimelig å anta at de øverste 0 til 30 centimeterne av jordlaget er etablert som vekstlag for gress (plen) og busker i området. Det øverste laget kan antas å ha god umiddelbar hydraulisk ledningsevne, noe som også indikeres av infiltrometertester gjort på området (vedlegg 2). Dette kan blant annet skyldes makroporestrukturer i det øverste laget av jorda. Etter en stund vil infiltrasjonen stoppe helt opp på grunn av dårlig hydraulisk ledningsevne lenger nede i jordprofilet, og jordas evne til å transportere det infiltrerte vannet bort vil dermed være liten.

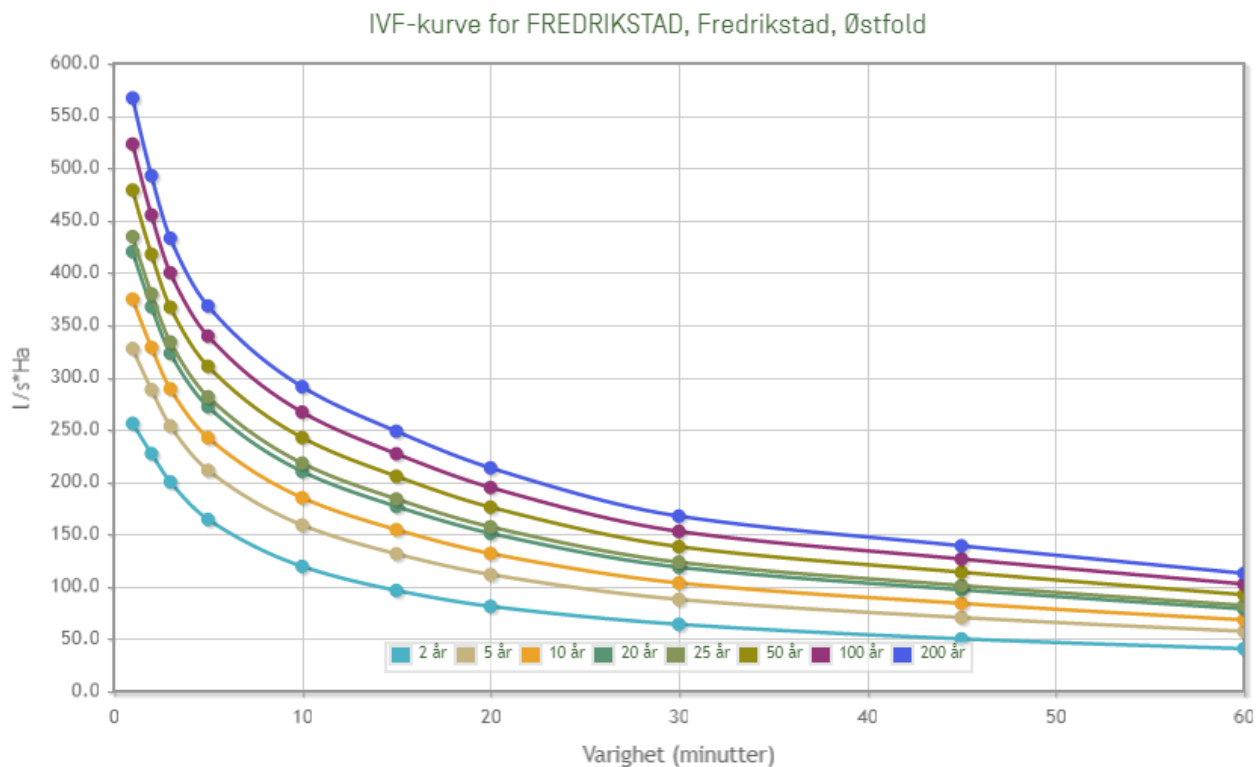
## **2.5 Klima i Fredrikstad**

Årlig normalnedbør i Fredrikstad er på 700 millimeter. I månedene desember, januar og februar er snittemperaturen  $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Yr, 2018), og det antas derfor at nedbøren i disse månedene kommer som snø. De tørreste månedene i Fredrikstad er februar, mars og april, og mest nedbør kommer på høsten i månedene september, oktober og november (Yr, 2018). Fredrikstad har et relativt mildt og stabilt klima med jevne årstemperaturer (Tabell 2.1).

Tabell 2.1 Månedlig normaltemperatur i Fredrikstad målt fra 1994 frem til i dag. (Kilde: yr.no)

Måneder	Normal temperatur °C
Januar	-2,2
Februar	-2,7
Mars	0,4
April	4,4
Mai	10,0
Juni	14,6
Juli	16,3
August	15,8
September	12,3
Oktober	8,4
November	3,4
Desember	-0,1

Eksempelrådets nærmeste målestasjon for nedbør ligger i Leie i Fredrikstad kommune (3,6 kilometer fra eksemplområde). Måleperioden for nedbørsdataene er 30.05.1970 til 31.07.2016 (Norsk Klimaservicesenter, 2019) (Figur 2.5).



Figur 2.5 IVF-kurve for Leie i Fredrikstad med data fra 30.05.1970 – 31.07.2016 (Kilde: klimaservicesenter.no)

### 2.5.1 Nedbørsdata fra 2018 for Fredrikstad

2018 er et interessant år på grunn av den tørre sommeren og vanningsforbudet som ble innført. Fredrikstad sine nedbørstall for 2018 avviker i stor grad fra normalnedbøren i Fredrikstad (Tabell 2.2).

Det er mest aktuelt med overvannstiltak som legger til rette for utnyttelse av overvann i perioder med vanningsforbud og lite nedbør. Av den grunn ønsker vi å studere nedbørsdataene fra 2018 for Fredrikstad for å undersøke hvordan konseptene vi legger fram ville fungert for et slikt tilfelle med tanke på det vannbehovet som foreligger (kapittel 0).

Tabell 2.2 Normalnedbør og nedbør for 2018 for Fredrikstad (10 m. o. h.) (Kilde: yr.no).

Måned	Nedbør (mm)	
	Normal	2018
Januar	45.0	45.0*
Februar	35.0	32.4
Mars	45.0	14.4
April	35.0	13.6
Mai	50.0	8.3
Juni	55.0	19.2
Juli	55.0	27.8
August	75.0	14.8
September	80.0	18.5
Oktober	90.0	50.4
November	80.0	57.9
Desember	55.0	27.3
Sum	700.0	329.6

\*Nedbørsdata for januar 2018 ble ikke oppgitt. Vi antar derfor at mengde nedbør denne måneden er lik normalnedbøren for denne måneden.



## **3 AKTUELLE OVERVANNSTILTAK FOR EKSEMPELOMRÅDET**

Dette kapitlet inngår i del 2 – bakgrunn og gir en beskrivelse av lokal overvannshåndtering og presenterer de mest relevante tiltakene for eksempelområdet.

### **3.1 Hvorfor bruke lokale overvannstiltak?**

Overvann er en fellesbetegnelse på alt vann som renner på overflaten, og forårsakes av nedbør og smeltevann (Miljødirektoratet, 2016). For å forebygge flomskader og sikre områder mot ekstremnedbør og økte overvannsmengder, er det utviklet en tretrinnsstrategi for overvannshåndtering (Norsk Vann, 2008). Strategien består av tre trinn: 1) oppfangning og infiltrasjon, 2) fordrøyning og 3) sikre trygge flomveier. Hensikten er å håndtere mer overvann lokalt for å være bedre rustet mot ekstremnedbør, samtidig som man avlaster ledningsnettets og beskytter følsomme resipienter. For å oppnå dette uttrykker rapporten fra Norsk Vann (2008) at lokal overvannsdiskonering (LOD) er et viktig verktøy. LOD-tiltak er lokale overvannstiltak som skal sørge for at overvannet håndteres lokalt i stedet for at det sendes til ledningsnettets.

Mengden overvann i byer øker, og en av hovedgrunnene til dette er urbanisering. Ved urbanisering øker andelen tette flater i byer. Dette medfører at der vannet tidligere kunne infiltrere i grunnen, vil det nå holdes på overflaten og føres til en kum, for så å bli ledet til et kommunalt renseanlegg eller rett ut i en resipient (Woods et al., 2015). I tillegg har nedbørintensiteten økt de siste årene (Miljødirektoratet, 2016), og vil som tidligere nevnt øke enda mer i årene som kommer. Økt urbanisering og nedbørintensitet fører til at flomtøppene blir større enn tidligere, noe som igjen vil føre til at vannmengden som samles opp på overflaten blir større. Blågrønne løsninger og andre LOD-tiltak vil derfor være en viktig del av framtidens samfunn for å forebygge urban flom.

Blågrønne løsninger innebærer etablering av naturlige, grønne områder som styrker det biologiske mangfoldet, og infrastruktur hvor vannet får en tydelig plass og rolle (Braskerud og Paus, 2018). Blågrønne løsninger i byer vil være en viktig bidragsyter for å forhindre oversvømmelser og vannskader på infrastruktur og bygninger. I tillegg vil slike løsninger bidra til å redusere byenes sårbarhet for overvann, ras, flom og skred, noe som vil ha store samfunnsøkonomiske fordeler

(Oslo kommune, 2018). I tillegg vil det biologiske mangfoldet bevares og styrkes ved bruk av blågrønne løsninger.

Renere vann og luft vil også være en positiv effekt ved økt bruk av blågrønne løsninger. Vegetasjon vil kunne binde til seg forurensede partikler fra luften (Simonich og Hites, 1995). I tillegg vil vegetasjon og permeable flater i bymiljøet være med på å rense forurenset overvann lokalt gjennom infiltrasjon, slik at man generelt får bedre kvalitet på overvannet i tettbebygde strøk (Oslo kommune, 2018). Grønne flater og vegetasjon kan dessuten bidra til å redusere støy, noe som skaper et bedre lydmiljø og kan bidra til at byer oppfattes mindre bråkete (Oslo kommune, 2018).

Andre positive effekter ved bruk av blågrønne løsninger er et stimulerende og varierende uteområde som vil være med å ivareta befolkningens helse og trivsel (Oslo kommune, 2018). Forskning tyder på at det er en nær sammenheng mellom grøntområder og folks psykiske og fysiske helse (Nielsen og Hansen, 2007; Stigsdotter et al., 2010; Van Herzele og de Vries, 2012). Kort avstand til grøntområder har blant annet vist seg å være forbundet med mindre stress og lavere sannsynlighet for fedme, i tillegg til at det fører til økt trivsel.

## **3.2 Beskrivelse av aktuelle overvannstiltak**

### **3.2.1 Grønne tak**

Grønne tak er tak som er dekket av et vekstmedium, for eksempel jord, og ulike typer plantevekster (Figur 3.1). Grønne tak bidrar til å redusere overflateavrenning ved å redusere total avrenning og forsinke avrenningsintensiteten (Noreng et al., 2012). Grønne tak kan derfor være et nyttig tiltak for å minske flomtopper i urbane områder (Johannessen et al., 2017). Grønne tak deles inn i intensive, semi-intensive og ekstensive tak. Intensive tak har en kompleks utforming og krever at taket har sterk bæreevne (Braskerud, 2016). I denne oppgaven skal vi derfor kun se på ekstensive tak med sedumvekster.



*Figur 3.1 Eksempel på ekstensive tak med sedumbelantning fra Berknaap.no. (Bildet er gjengitt med tillatelse fra Berknaap.no)*

Ekstensive sedumtak er tak med et tynt vekstmedium som i all hovedsak består av sedumbelantning (bergknapparter). Drenering under vekstmediet er vanlig for ekstensive tak; feiler dreneringen kan plantene på taket dø. Braskerud (2014) beskriver i en studie av grønne tak og styrtregn at dreneringen ofte er utformet med hulrom i plastelementer, som ofte er formet som kopper for å kunne lagre mer vann (Figur 3.2). Fra samme studie kommer det frem at ekstensive tak uten drenering kan ha bedre fordrøyningseffekt enn ekstensive tak med drenering. I enkelte tilfeller kan det derfor være gunstig med ekstensive tak uten drenering for å optimalisere fordrøyningseffekten til taket.



*Figur 3.2 Eksempel på oppbygging av ekstensive tak med drenering (høyre) og uten drenering (venstre). Kilde: (Braskerud, 2014)*

Ekstensive sedumtak krever lite vedlikehold. Disse plantene egner seg godt fordi de som oftest er vintergrønne, relativt lavtvoksende og tåler tørkeperioder godt (Braskerud, 2016). Sedumarter har korte røtter, og trenger dermed kun et tynt jordlag. Ulempen med sedumtak er at de tåler mekanisk slitasje dårlig, og ferdsel utenom lett vedlikeholdsarbeid kan være til skade for taket (Noreng et al., 2012).

Fra en svensk veileder som er utviklet for grønne tak kommer det frem at for sedumtak er det anbefalt et vekstmedium på mellom 40 til 80 millimeter (Skog et al., u.å.). Fra veilederen går det i tillegg frem at ekstensive grønne tak med lik tykkelse kan ha stor variasjon i fordrøyningskapasitet. Det er altså ikke bare tykkelsen på taket som vil være avgjørende for hvor mye nedbør taket vil kunne holde tilbake og forsinke. Evnen til å redusere overflateavrenning vil i tillegg avhenge av følgende faktorer (Johannessen et al., 2017; Woods et al., 2015; Braskerud, 2016):

1. Lokalt klima (nedbørshyppighet, nedbørintensitet, temperatur, luftfuktighet, med mer).
2. Helning på taket.
3. Vekstmedium og beplantning.
4. Drenering og øvrig oppbygging av taket.

Johannessen med flere kom frem til mye av det samme i et annet studie gjennomført i Norge (Johannessen et al., 2018). I studiet er målinger fra fire grønne tak analysert og sammenliknet over tre til åtte år. Takene er lokalisert i Bergen, Sandnes, Oslo og Trondheim. I rapporten kommer det frem at vekstmediets kapasitet til å holde på vann alene ikke er nok til å beregne avrenning fra grønne ekstensive tak. Kapasiteten vil også være avhengig av hvor fuktig taket er ved starten av en nedbørshendelse, total evapotranspirasjon, varigheten på nedbørhendelsen, med mer. For å finne ut i hvor stor grad et ekstensivt tak kan redusere overflateavrenning anbefaler studiet at man kartlegger vekstmediet og gjøre observasjoner over lang tid for et liknende klima.

I en rapport om grønne tak som LOD- og miljøtiltak utviklet av NIBIO og NTNU er det lagt frem tall på tilbakeholdelseskapasiteten til grønne tak fra norske studier (Hanslin og Johannessen, 2018). Sedumtak med et vekstmedium som er mellom 3 til 8 centimeter tykt vil kunne holde tilbake maks 10 til 25 millimeter vann. En forutsetning for at takene skal kunne holde tilbake så mye vann er at taket er helt tørt når nedbørhendelsen starter. Hanslin og Johannessen hevder at denne forutsetningen sjeldent vil gjelde, og at observasjoner viser at maksimal tilbakeholdelsesevne i norske forsøk er 12 til 16 millimeter.

På grunn av at ekstensive tak sin evne til å redusere overflateavrenning avhenger av flere faktorer, er det stor usikkerhet knyttet til beregningen av dette. Ulike studier viser stor variasjon i reduksjon av overflateavrenning for ekstensive tak (Berghage et al., 2009; Lamera et al., 2014; Villarreal og Bengtsson, 2005). Vi har valgt å bruke en studie gjort av Braskerud (2014) som hovedinspirasjon for beregningen av reduksjon av overflateavrenning. Braskerud har sett på et tilnærmet flatt tak, noe vi også vil ha i vårt tilfelle, i tillegg til at Braskeruds tak ligger i Oslo som har et liknende klima som Fredrikstad.

## Studie av ekstensive tak i Oslo

I studiet gjort av Braskerud (2014) er avrenningen fra ekstensive grønne tak kartlagt over en femårsperiode. Taket ligger i Oslo og har en helning på 5,5 prosent (Johannessen et al., 2018). Det ble testet et grønt tak med drenering, et grønt tak uten drenering og et referansetak. Braskerud fant ut at de grønne takene ville holde tilbake omtrent 24 og 26 prosent av årsnedbøren, henholdsvis, noe som er betraktelig mindre enn hva studier fra Tyskland (70 prosent) (Uhl et al. referert i Braskerud, 2014) og Sverige (50 prosent) (Bengtsson et al. referert i Braskerud, 2014) viser. Braskerud begrunner dette med at vekstmediet til taket i hans studie kun var 2,5 til 3 centimeter, at taket lå 220 meter over havet, og at taket var skyggebelagt store deler av dagen.

I studiet ser Braskerud på takenes evne til å holde tilbake nedbør og forsinke flomtopper ved intense nedbørshendelser. De fleste av nedbørshendelsene ble observert på sommeren. Braskerud konkluderte med at de grønne takene kan være med på å holde tilbake 35 til 73 prosent av nedbørvolumet ved en ekstremhendelse med varighet på 5 minutter. Ved den mest ekstreme nedbørshendelsen (29,7 mm/60 min) holdt taket med drenering tilbake 38 prosent av den totale nedbøren og taket uten drenering 45 prosent av den totale nedbøren.

Total avrenningen ved nedbørhendelsen så slik ut:

Tabell 3.1 Avrenning ved ekstremnedbør fra to grønne tak (med og uten drenering) (Braskerud, 2014).

Varighet (min)	Nedbør (l/s·ha)	Grønt tak, med drenering (prosent)	Grønt tak, uten drenering (prosent)
5	230	38	35
10	195	32	29
20	171	22	36
30	156	35	48
60	83	33	46

I tillegg så Braskerud en tydelig syklus i fordrøynings-effekten til takene gjennom året. I løpet av vinteren var det høy tilbakeholdelse på grunn av snøen. Snøen kan smelte, men det ble aldri kartlagt snøsmelting raskere enn 1,2 mm per 5 minutter. Han diskuterer at denne intensiteten kan øke i fremtiden dersom temperaturvariasjonene i løpet av vinteren oftere overgår null grader. I løpet av våren vil avrenningen øke, og da holder de grønne takene tilbake mye vann sammenliknet med referansetak. På sommeren under vekstsesongen vil bidraget til vekstene, i form av



evapotranspirasjon og vannopptak, være størst og de grønne takene vil holde tilbake 20 til 49 prosent av nedbøren. På høsten er takene ofte våte samtidig som temperaturen faller og i november vil mengden nedbør tilbakeholdt være på sitt laveste.

### 3.2.2 Grønne vegger

Grønne vegger, eller levende vegger, er vegger som er dekket av grønne vekster og planter (Figur 3.3). I en studie fra USA ble 18 levende vegger anlagt på campus ved Southern Illinois University Edwardsville (Morgan et al., 2011). Målet med studiet var å teste om levende vegger kan bidra til å redusere overflateavrenning og bidra til å dempe urban flom. Veggene som ble anlagt hadde ulik oppbygging, blant annet varierte andelen som var dekket av planter, og hvilke planter som ble benyttet. Det ble også anlagt en referansevegg slik at man kunne sammenlikne avrenningen fra de levende veggene med avrenningen fra denne. Studiet viste at for alle de levende veggene ble avrenningen forsinket sammenliknet med referanseveggen. I studiet konkluderte Morgan med flere at levende vegger kan bidra til å forsinke avrenningstopper for nedbørhendelser, i tillegg til å ha potensiale til å redusere urbane flommer. Selv om klimaet i Illinois antakelig er noe varmere enn i Norge, er funnene interessante og gir grunnlag for å anta at levende vegger også vil kunne bidra til å redusere overflateavrenning og å dempe urbane flommer i Norge.



*Figur 3.3 Eksempel på utforming av grønne tak. (Kilde: blomstertak.no)*

Det er gjort lite forskning på grønne vegger i nordisk klima. Lillegraven og Langemyhr (2018) har imidlertid gjort et kunnskapsinnhentingsprosjekt om levende vegger i nordisk klima i sin Bacheloroppgave fra OsloMet. På grunn av få studier på dette temaet i Norden legger vi stor vekt på dette kunnskapsinnhentingsprosjektet i vår oppgave. I bacheloroppgaven kommer det frem at

grønne vegger kan deles inn i to hovedgrupper; levende vegger og grønne fasader. Grønne fasader omfatter i all hovedsak klatreplanter som vokser opp på bakkenivå. Levende vegger omfatter de tilfellene hvor vekstene vokser på selve fasaden og ikke på bakkenivå. Videre i dette studiet kommer vi til å ha hovedfokus på levende vegger. Vekstene kan enten vokse kontinuerlig på en filterduk som dekker veggen eller plantes i kasser som festes på fasaden (systemløsninger).

I bacheloroppgaven kommer det frem at levende vegger er en lite utbredt overvannsløsning i Norden. I tillegg legger oppgaven fram at vintergrønne planter som bør brukes i nordisk klima krever mye plass til rotvekst, og at få av dagens systemløsninger har plass til det. Når det gjelder vedlikehold krever levende vegger vaning i tørkeperioder. I tillegg er god skjøtsel av plantene en viktig forutsetning for lang levetid. Ifølge leverandør av grønne vegger (Bergknapp AS) er det er nødvendig at veggen klippes ca. annethvert år (B. M. Tovslid ved Bergknapp AS, personlig kommunikasjon, 19.03.2019).

Bacheloroppgaven tar også for seg de positive effektene som levende vegger kan medføre. Levende vegger virker isolerende og bidrar derfor positivt til å opprettholde en stabil temperatur i bygg. I tillegg bidrar levende vegger til støydemping. Levende vegger trekkes dessuten frem som en viktig faktor for økt biodiversitet i tillegg til at tiltaket bidrar positivt til fordrøyning av overvann. Oppgaven oppfordrer til ytterligere forskning på levende vegger i kaldt klima for å kunne gjøre det til et mer attraktivt tilbud i utbygging av nye bygg, spesielt i byer.

### **3.2.3 Regnbed**

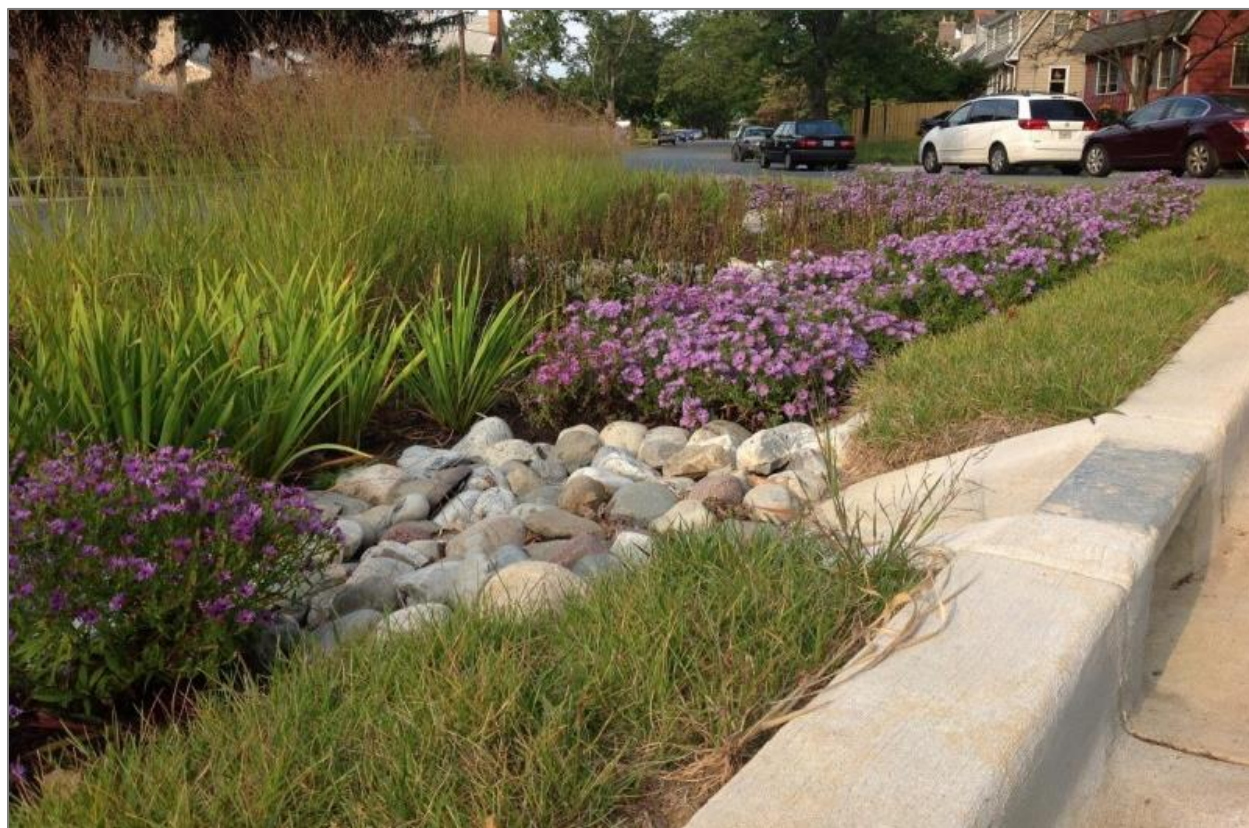
Regnbed er en beplantet forsøknings, plantet med naturlig og stedstilpasset vegetasjon, som er godt egnet for å samle opp vann fra nedbør, tak og parkeringsplasser (Figur 3.4) (Braskerud og Paus., 2016a). Regnbed krever ifølge Braskerud og Paus (2016a) et relativt stort areal på omtrent 3 til 7 prosent av aktuelt nedbørsfelt, og er mest egnet for små nedbørsfelt opp til 0,8 hektar (Åstebøl et al., 2013).

Forskning utført på fire regnbed som er anlagt i Oslo og Sør-Trøndelag viser at regnbed som dekker 7 prosent av arealet til nedbørsfeltet vil ha en meget tilfredsstillende fordrøyningskapasitet ved et 50 års nedbørhendelse (Braskerud og Paus, 2016a), hvis regnbedet har god infiltrasjonsevne. Regnbed fungerer vanligvis slik at vannet lagres og fordrøyes i bedet før det infiltreres i grunnen, men en mulighet er også å lagre vannet som blir fanget opp for å kunne bruke det til vaning eller



andre formål. Regnbed kan i tillegg bygges slik at de bidrar til god renseeffekt av overvannet (Braskerud og Paus, 2016b). Når det ikke regner skal regnbedene stå uten vann for å unngå myggutvikling (Lindholm og Bjerkholt, 2018). Det er derfor viktig med drenering av regnbedet, med et godt filtermedium i bunnen (Braskerud og Paus, 2016a).

En veileder for lokal overvannshåndtering legger fram nødvendig vedlikehold knyttet til regnbed (Åstebøl et al., 2013). Det er viktig med god skjøtsel i etableringsfasen for å sikre god vegetasjonsetablering. Etter etableringsfasen vil vedlikeholdsbehovet være tilsvarende som for parkområder. Vanning er nødvendig i tørre perioder, samt ugressbekjempelse og gjødsling etter behov. Behovet for vedlikehold vil variere etter hvilken type beplantning man ønsker seg. Ønsker man estetisk pen beplantning ved å anlegge et tradisjonelt grøntanlegg må man regne med en del vedlikehold, men hvis man går for et mer naturlig vegetasjonsdesign vil behovet for vedlikehold være mindre (Braskerud og Paus, 2016a).



*Figur 3.4 Eksempel på utforming av regnbed fra Montgomery County i USA. (Bilde er gjengitt med tillatelse fra Montgomery County, MD USA, Department of Environmental Protection.)*

### 3.2.4 Overvannsdam

Overvannsdam er et lokalt overvannstiltak som skal fordrøye overvann og dempe flomtopper, slik at nedstrøms avløpsnett, drensledninger, kulverter eller naturlige vassdrag beskyttes mot store vannføringer (VA/Miljø-blad, 2015). I tillegg vil en overvannsdam kunne bidra til en estetisk fin utforming av miljøet, samt legge til rette for rekreasjonsmuligheter (Figur 3.5).

I en veileder fra Norsk Vann om klimatilpasset overvannshåndtering blir utfordringer knyttet til åpne overvannsløsninger presentert (Norsk Vann, 2008). Veilederen legger frem at det er viktig å utforme åpne overvannsløsninger med permanent vannspeil på en slik måte at man hindrer ulykker. For å forhindre ulykker burde overvannsdammen ha slake skråninger og slak bunn. I tillegg kan det oppstå problemer med algeoppblomstring i åpne overvannsløsninger, noe som i mange tilfeller kan være nærmest umulig å unngå. Veilederen foreslår noen enkle tiltak man kan gjøre for å minimere algeoppblomstringen (Norsk Vann, 2008):

- For enklere å kunne tømme dammen burde det anlegges et sluk.
- Et biologisk filter burde anlegges før vannet ledes til fordrøyningsdammen, for å oppnå en bedre reduksjon av næringssalter.
- Unngå stillestående vann.
- Vannet burde pumpes rundt.
- Anlegge vegetasjon rundt dammen for å redusere sollyst.

Utover dette vil den mest effektive rensemetoden være sedimentasjon og infiltrasjon fremfor biologisk omsetning av næringsstoffer og forurensning, som er en treg og lite robust prosess (Paus et al., 2016). Det er derfor ønskelig med en så lang oppholdstid som mulig, i tillegg til at den horisontale avstanden mellom innløp og utløp burde være størst mulig (Banach og Fjeldhus, 2016).

I en veileder utviklet for Oslo kommune om overvannsdammer i urbant miljø er det utviklet anbefalinger for utforming av overvannsdammer for å oppnå en best mulig renseeffekt, samtidig som man sikrer god fordrøyning (Banach og Fjeldhus, 2016). I veilederen anbefales det en overflate på 2,5 prosent av tilgjengelig areal, med et permanent vannspeil på minst 200 kvadratmeter. Videre anbefales det en utforming med lengde-bredde forhold på minst 3:1, for best utnyttelse av vannvolumet, noe som vil sikre tilstrekkelig oppholdstid, og som videre vil føre til god renseeffekt. Det er anbefalt en oppholdstid på mellom 12 til 14 timer. I tillegg anbefales det en grunnsove rundt



det åpne overvannsspeilet på 0,2 meter med en bredde på 1 til 2 meter, som kan virke som en sikkerhetssone for barn.

I veilederen trekkes det frem at å veksle mellom grunne og dype partier vil gi overvannsdammen et mer variert preg som kan bidra positivt til det biologiske mangfoldet. Det anbefales da en dybde på 1,2 meter for å kunne sikre et godt habitat for dyr. I veilederen anbefales det i tillegg at 30 prosent av dammens overflate er dekket med vegetasjon. Anleggelse av vegetasjon vil forebygge eutrofiering i tillegg til at det vil bidra til roligere strømming.



*Figur 3.5 Eksempel på utforming av overvannsdam. (Foto: Knut Opeide, bildet er gjengitt med tillatelse fra Knut Opeide).*

### **3.2.5 Regnhøsting**

Oppsamling av regnvann vil redusere avrenningen og dermed mengden overvann som føres til kommunalt nett. Samtidig kan vannet som samles opp brukes til ulike formål, slik at drikkevannsbehovet dermed reduseres.

Orbicon og Urban Landskap Arkitektur (SLA) har laget en veileder om regnhøsting for Oslo kommune (Gabriel og Fiil, 2016) der det kommer fram at regnhøsting som tiltak kan etableres ved

å koble takrenne til en tønne eller tank, hvor regnet kan samles opp. For å unngå forurensning og blader kan tilløpet fra takrennen utstyres med en rist. Det kan etableres et overløp til avløpsrør eller regnbred fra tanken.

Tanker for regnoppsamling kan plasseres over eller under bakken. Ved plassering over bakken er tankene mer tilgjengelig for vedlikehold, mens ved plassering under bakken skjules tankene og estetikken bevares. Det er ulike metoder for lagring av vann under bakken, og hvilken metode som benyttes avhenger av hvordan arealet over tankene skal brukes, herunder hvilken last man skal ha over bakken.

En fordel med oppsamling av regnvann fra tak er at regnvannet vil eksponeres for UV-stråling fra sola på taket, noe som vil bidra til fjerning av bakterier (Spinks et al., 2003). Ellers vil regelmessig inspeksjon, riktig implementering og vedlikehold av regnvannstanken sikre kvaliteten på regnvannet til formål som ikke behøver drikkevannskvalitet (Villarreal og Dixon, 2005). Krav ved lagring av vann på tank finnes under kapitlet «Krav til vann lagret på tank» (kapittel 4.1.3).

### **3.2.6 Grøntarealer og bevaring av naturlig vegetasjon**

Byutvikling har i lang tid medført reduksjon i vegetasjon til fordel for tette, grå flater. Dette har ført til raskere avrenning, i tillegg til at regnvannet akkumuleres på overflaten i stedet for å infiltreres i grunnen. Etablering av grønntarealer og vedlikehold av vegetasjon er derfor en viktig faktor for god overvannshåndtering (Paus et al., 2016). Ved å inkludere vegetasjon i åpne overvannsløsninger øker man infiltrasjonskapasiteten og renseeffekten. I tillegg vil løsningen bidra til en estetisk finere utforming samtidig som man legger til rette for et variert dyre- og planteliv.

### **3.2.7 Plen**

Plenarealer vil alltid ha en viss infiltrasjonskapasitet. Hanslin med flere (2018) vektlegger at plenens oppbygning med tanke på jordmateriale har mye å si for infiltrasjonskapasiteten. Sandjord vil normalt ha en bedre infiltrasjonskapasitet enn silt- og leirjord. I tillegg vil det ha mye å si hvor hardpakket plenen er, og hvis målet er at plenen skal ha god infiltrasjonsevne er det anbefalt å ikke tillate ferdsel på plenen for best mulig infiltrasjonsresultat. I tillegg vil kalde vintertemperaturer og teleutvikling i jorda gjøre infiltrasjonskapasiteten dårligere (Hanslin et al., 2018).

Plenarealer kan i tillegg til å infiltrere nedbør som faller på plenen bidra til å infiltrere nedbør fra tak, veier og andre tette flater, og er derfor en viktig faktor i tretrinnsstrategien (Hanslin et al., 2018).

I tillegg til infiltrasjon vil plenarealer bidra med fordrøying av vann gjennom gropmagasiner. Nedbør som samler seg opp i groper vil ikke bidra til overflateavrenning, da denne nedbøren enten vil infiltrere i grunnen eller fordampe (Chin, 2013, s. 455). Gropmagasiner omfatter ikke bare større groper, der man tydelig kan se en liten forsenkning i overflaten, men også mikrogroper der vannet vil bli holdt tilbake under nedbørhendelsen.

### **3.2.8 Åpne flomveier**

Norsk vann har utviklet en veileder om åpne flomveier i bebygde områder (Norsk Vann, 2014). Veilederen anbefaler at det anlegges åpne flomveier for å sikre områder mot nedbørhendelser som overskrider det området er dimensjonert for. Hensikten med flomveier er å lede vannet på en sikker måte ved ekstremhendelser, for å unngå oversvømmelser og fremtidige overvannskader. Veilederen trekker frem begrenset kapasitet på infrastruktur, demografiske endringer og økte krav fra samfunnet som viktige grunner for at flomveier vil spille en sentral rolle i planleggingen av overvannsløsninger fremover.

Veilederen legger frem tre overordnede strategier for å kartlegge flomveier:

- Erfaringsrelatert og kartbasert.
- Basert på terrengmodeller.
- Kombinerte hydrologiske og hydrauliske modeller for avrenning på terrengoverflate.

I mange tilfeller er erfaringsrelatert og kartbasert kartlegging av flomveier tilstrekkelig. Det er da viktig å kjenne terrenget, samt eventuelle hindringer i flomveien som kan føre til at vannet renner en annen vei enn først antatt. Det vil i tillegg være hensiktsmessig å kartlegge tidligere flomhendelser i området for å identifisere eventuelle problemområder.

### **3.3 Kostnader knyttet til overvannshåndtering**

Kostnadsdataene er innhentet fra andre studier og prosjekter, samt gjennom samtaler med leverandører. Kostnader knyttet til ulike overvannstiltak avhenger av mange faktorer (nedbørmengde, tiltakets utforming, grunnforhold, med mer), og vil variere fra prosjekt til prosjekt. Det er derfor en utfordring å finne generelle, representative tall. Av den grunn er det knyttet en del usikkerhet til kostnadsdataene presentert i denne oppgaven, men de anses likevel som nyttige for videre sammenlikning av tiltakene.

Når vi har fått oppgitt et prisintervall, har vi for enkelthets skyld valgt å benytte gjennomsnittet av prisintervallet i videre beregninger. Alle kostnadsdata er oppgitt eks. mva.

#### **3.3.1 Kostnader knyttet til overvannsskader**

I en rapport utarbeidet av Vista Analyse AS (Magnussen et al., 2015) undersøkes skadeomfang og kostnader knyttet til overvannsskader. Rapporten tar utgangspunkt i Finans Norges vannskadestatistikk (VASK) som leverer data for alle vannrelaterte skader meldt inn fra 2007 til i dag, fra de største forsikringsselskapene i Norge.

Rapporten bruker tall fra 2007 til 2014, og Fredrikstad og Sarpsborg ses under ett. I løpet av denne syvårsperioden forekom det i snitt en overvannsskade per 40. innbygger i Fredrikstad og Sarpsborg, og gjennomsnittlig skadebeløp per skade ble anslått å være ca. 52 000 kroner. Dette gir et totalt skadebeløp på nesten 20 millioner kroner per år.

#### **3.3.2 Kostnader knyttet til aktuelle overvannstiltak**

##### **Grønne tak**

Ifølge et kunnskapsinnhentingsprosjekt utført av SINTEF Byggforsk ligger kostnaden for installasjon av ekstensive tak på mellom 400 og 600 kroner per kvadratmeter (Noreng et al., 2012). Dette er inkludert transport. Gjennom samtale med Blomstertak AS som er leverandør av grønne tak, fremkom det at total installasjonskostnad for ekstensivt tak, inkludert kostnad for lossing og kraning, ligger på rundt 470 kroner per kvadratmeter (S. Sandvik, personlig kommunikasjon, 15.03.2019). Det er derfor valgt å ta utgangspunkt i at investeringskostnaden til ekstensive tak er 500 kroner per kvadratmeter.

Kostnader i forbindelse med skjøtsel, drift og vedlikehold varierer fra tak til tak og avhenger blant annet av hvilke løsninger og plantetyper som velges. Ifølge Noreng med flere (2012) ligger drifts- og vedlikeholdskostnader knyttet til ekstensive tak på mellom 2 til 10 kroner per kvadratmeter per år. Blomstertak AS estimerte en vedlikeholdskostnad på mellom 15 000 og 20 000 kroner for et tak på 2000 kvadratmeter. Av dette konkluderer vi med at vedlikeholdskostnaden for ekstensive tak vil ligge på rundt 7 kroner per kvadratmeter per år. Levetiden er ifølge leverandøren ubegrenset, så fremt man sørger for jevnlig vedlikehold og skjøtsel.

## **Levende vegger**

Ifølge en studie med fokus på kost-nytte-analyser av grønne tak og vegger, ligger investeringskostnaden til levende vegger på rundt 5 000 kroner per kvadratmeter, og drifts- og vedlikeholdskostnaden på 200 kroner per kvadratmeter per år (Veisten et al., 2012).

Gjennom samtale med Bergknapp AS, en leverandør av levende vegger, kom det fram at prisen på levende vegger vil ligge på mellom 5 000 og 7 000 kroner per kvadratmeter ferdig installert (B. M. Tovslid, personlig kommunikasjon, 19.03.2019). Veggene er da bygget opp av flexipaneler som monteres direkte på vegg. Det tas derfor utgangspunkt i at investeringskostnaden til levende vegger er 6000 kroner per kvadratmeter. Bergknapp AS hevder i tillegg at levetiden er lang, og at veggene blir penere med årene.

## **Regnbed**

I en rapport utarbeidet av Vista Analyse AS (Magnussen et al., 2015) legges det fram informasjon om kostnadene til ulike overvannstiltak. I rapporten er investeringskostnaden til regnbed beregnet til å være 1 400 kroner per kvadratmeter, og driftskostnadene beregnet til å være 15 kroner per kvadratmeter per år.

Ifølge Blomstertak AS vil kostnaden for installasjon av regnbed bli omtrent den samme som for ekstensive tak, altså rundt 470 kroner per kvadratmeter, forutsatt at alt grunnarbeid er gjort på forhånd (S. Sandvik, personlig kommunikasjon, 20.03.2019). Av dette konkluderer vi derfor med at investeringskostnaden for regnbed er 1 000 kroner per kvadratmeter, inkludert grunnarbeid.

Levetiden til regnbed er avhengig av vedlikeholdet som blir utført. Jevnt vedlikehold og skjøtsel vil sørge for at regnbedet kan vare i ubegrenset tid.

## **Overvannsdam**

For et anlegg som nå er under bygging har vi fått tilsendt nylig innhentede enhetspriser for etablering av overvannsdam fra Sweco (J. I. Claudius, personlig kommunikasjon, 21.03.2019). Total kvadratmeterpris ble estimert til å være 400 kroner og total kubikkmeterpris til 600 kroner. Disse summeres sammen ved beregning av total kostnad. Rigg og drift ble antatt å være 10 prosent av total anleggskostnad.

Som tidligere nevnt krever en overvannsdam årlig kontroll av inn- og utløp, samt slamfjerning hvis dammen mottar vann fra trafikkerte arealer. I dette tilfellet vil dammen kun motta vann fra tak og grøntarealer, og det er derfor ikke nødvendig med slamfjerning. Ifølge Vista Analyse AS sin rapport vil driftskostnaden for overvannsdam være rundt 35 kroner per kvadratmeter per år. Dette virker rimelig med tanke på hvor lite vedlikehold som kreves.

## **Regnhøsting på bakken og under bakken**

Regnhøsting i stor skala er lite utbredt i Norge, og det finnes derfor lite informasjon om kostnadene knyttet til løsningen. Det tas derfor utgangspunkt i en studie fra Sverige, Norrköping, som studerer oppsamling av regnvann, for å estimere kostnaden for tanker som kan benyttes over bakken. I studien fremkommer det at kostnaden for prefabrikkerte plasttanker med et totalt volum på 90 kubikkmeter vil være 250 000 kroner (Villarreal og Dixon, 2005). For enkelhets skyld antar vi dermed en kubikkmeterpris på 2800 kroner.

For regnhøsting under bakken har vi kontaktet ulike leverandører for pris på vanntank. En tank under bakken må graves ned og må derfor tåle større belastning. I tillegg må tanken isoleres. Dette medfører en høyere kostnad. Skjæveland Cementstøperi AS har kommet med et prisanslag på vanntanker under bakken (A, Gjesdal, personlig kommunikasjon, 27.03.2019). Ifølge leverandøren vil innkjøpsprisen for vanntank ligge på rundt 2500 kroner per kubikkmeter. Da er ikke installasjon inkludert. Ifølge Brimer AS, som også leverer vanntanker til blant annet vannforsyning, vil investeringskostnaden ligge på omtrent 8800 kroner per kubikkmeter (G. Ristesund, personlig



kommunikasjon, 25.03.2019). Dette inkluderer graving og isolering. Siden 8800 kroner inkluderer alle kostnader, velger vi å bruke dette som utgangspunkt for beregning av investeringskostnaden.

Vedlikehold av regntanker er ikke spesielt avansert (kapittel 4.1.3). Vi har imidlertid ikke klart å finne noen eksakte tall for vedlikeholdskostnadene som vil medfølge et slikt tiltak. Vi gjør derfor en estimering ved å anta at innleid arbeidskraft for vedlikeholdsarbeid vil ligge på mellom 500 til 700 kroner per time. Vanntanken må regelmessig tømmes for løv og annen forurensning, samt tømmes før vinteren (for tank over bakken). Vi antar dermed at vedlikehold to ganger i året er tilstrekkelig. Tidsbruk estimeres til å være et dags arbeid (åtte timer) ved et totalt volum på 90 kubikkmeter. Kubikkmeterprisen for vedlikehold blir dermed rundt 110 kroner per kubikkmeter per år. For enkelhetsskyld antar vi samme vedlikeholdskostnad for regntanker over og under bakken.

## **Vegetasjon og plen**

Kostnader knyttet til vegetasjon og plen, herunder investerings- og vedlikeholdskostnader, vil påløpe for alle konseptene, og vi har derfor valgt å se bort fra denne kostnadsposten da den ikke vil påvirke resultatet.

### 3.3.3 Kostnadsoversikt for overvannstiltakene

Regnhøsting under bakken er det dyreste overvannstiltaket når det gjelder investeringskostnad, og levende vegger er det dyreste tiltaket når det gjelder driftskostnader. Det billigste tiltaket totalt sett er ekstensive tak (Tabell 3.2).

Tabell 3.2 Kostnadsanslag for de ulike overvannstiltakene.

<b>Overvannstiltak</b>	<b>Investeringskostnad</b>	<b>Driftskostnad</b>
Ekstensive tak	500 kr/m <sup>2</sup>	7 kr/m <sup>2</sup> /år
Levende vegger	6000 kr/m <sup>2</sup>	200 kr/m <sup>2</sup> /år
Regnbed	1000 kr/m <sup>2</sup>	15 kr/m <sup>2</sup> /år
Overvannsdam	400 kr/m <sup>2</sup> 600 kr/m <sup>3</sup> + 10 % rigg og drift	35 kr/m <sup>2</sup> /år
Regnhøsting over bakken	2800 kr/m <sup>3</sup>	110 kr/m <sup>3</sup> /år
Regnhøsting under bakken	8800 kr/m <sup>3</sup>	110 kr/m <sup>3</sup> /år

## **4 BRUK AV OVERVANN SOM RESSURS**

Dette kapitlet inngår i del 2 – bakgrunn og ser på bruk av overvann som ressurs, herunder hvilke krav som må settes til overvannet for at det skal kunne brukes til ulike formål, og hvilke lover og retningslinjer som gjelder ved etablering av overvannstiltak. Kapitlet beskriver i tillegg blågrønn faktor.

### **4.1 Kjemiske og biologiske krav ved utnyttelse av overvann**

For at overvannet skal kunne brukes til vanning, rekreasjonsformål, bilvask, toalettspyling eller andre formål der bruker kan komme i kontakt med vannet, er det viktig at overvannet ikke er forurenset og at smittefaren reduseres til akseptabelt nivå.

Under følger de mest sentrale kravene for å sikre tilstrekkelig kvalitet på overvann som lagres og utnyttes. Kvalitet på overvann vil i dette tilfellet handle om overvannets virkning på jord og planter, og risikoen for smitteoverføring til mennesker.

#### **4.1.1 Åpen overvannsløsning**

Orbicon har utarbeidet retningslinjer til København kommune for å begrense de hygieniske og sikkerhetsmessige risikoene ved bruk av overvann til rekreasjonsformål og utearealer tilrettelagt for leking. Disse retningslinjene oppsummeres i en rapport skrevet av Gabriel og Fiil (2016) for Oslo kommune. For å sikre brukbar kvalitet på overvannet slik at smittefaren er akseptabel, anbefaler rapporten følgende retningslinjer for åpne overvannsløsninger:

- Vannet skal aldri stå stille lenger enn 24 timer uten rensing eller utskifting for anlegg som kan være tilgjengelig for lek.
- Veivann må renses før det kan brukes til rekreasjonsformål.
- Vann fra tak, grunnvann og annet vann hvor det ikke er vesentlige kilder til forurensning kan brukes til overvannsløsninger der det er adgang til lek.

Fekal smitte fra mennesker og dyr er en sentral kilde til forurensning av overvann som brukes til rekreasjonsformål. Ifølge en undersøkelse gjort av Tryland med flere (2017), forekommer forurensninger fra mennesker typisk ved lekkasjer på avløpsledningsnett og på overløp fra

pumpestasjoner. I tillegg viser studiet at fugler er en betydelig kilde til fekal smitte i overvann/byvassdrag, men at dette varierer med årstider.

Sedimentasjon er den renseløsningen som har vist seg å være mest effektiv mot fekal smitte i overvann. Dette er fordi patogener ofte er partikulært bundet, og sedimentasjon vil da være effektivt sammen med regelmessig tømning av slam (Tryland et al., 2017). Et tiltak som har vist seg å være effektivt for å hindre at brukere kommer i kontakt med forurenset overvann er beplantning langs overvannsdammer (Tryland et al., 2017), og ellers en fysisk utforming som ikke innbyr til kontakt med vannet i form av for eksempel bading og lek.

I tillegg til fekal forurensning fra fugler, øker forurensning av overvann med andel tette flater og nærliggende biltrafikk. Overvann som kommer fra trafikkert vei må derfor renses før det kan gå inn i en åpen overvannsløsning i et boligfelt (Lindholm, 2003). For eksempelområdet er det antatt at det ikke er tilrenning fra vei eller industriområder, siden vi har konstatert fall fra området. Av den grunn vil overvannet i eksempelområdet inneholde lite miljøgifter og tungmetaller. Noe som imidlertid kan være aktuelt for eksempelområdet, er næringsstoffer (nitrogen og fosfor) i overvannet som kan gi uønsket algevekst.

Statens forurensingstilsyn (nå Klima- og forurensningsdirektoratet) utviklet i 1997 en veileder for klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann (Andersen et al., 1997). I veilederen ble ulike egnethetsklasser definert. Disse klassifiserer hva som er godt egnet, egnet, mindre egnet og ikke egnet ferskvann til bading, rekreasjon og jordvanning. Vi vil i denne oppgaven basere våre krav til overvannet i stor grad på denne veilederen.

Vurderingsgrunnlagene som er satt for å klassifisere egnetheten til vannet for rekreasjonsformål er tilstedeværelse av tarmbakterier og fysisk-kjemiske parametere (Tabell 4.1). Det nevnes at standard parameter for tilstedeværelse av tarmbakterier har endret seg etter at veilederen kom. Man har gått fra å bruke TKB til E.coli. I tillegg til E. coli er koliforme bakterier, intestinale enterokokker og clostridium perfringens standardparametere i dag (Folkehelseinstituttet, 2012.).

I tillegg til vurderingsparametere er næringssalt og organiske stoffer satt opp som støtteparametere i veilederen (Tabell 4.2). Det fremkommer fra veilederen at både egnethetsklasse 1 og 2 kan brukes til rekreasjonsformål. Egnethetsklasse 3 er kategorisert som «noe påvirket av avføring fra

mennesker og/eller dyr» og vil dermed ikke være en ønskelig egnethetsklasse når det kommer til rekreasjonsformål.

Tabell 4.1 Vurderingsgrunnlag for vannkvalitet ved friluftsbad (Andersen et al., 1997).

Friluftsbad og rekreasjon		Egnethetsklasser			
Virkningen av	Parametere	1 Godt egnet	2 Egnet	3 Mindre egnet	4 Ikke egnet
Tarmbakterier	Termotol. koli. bakt. ant./100ml	<100	<100	100-1000	>1000
	Fekale streptokokker ant./100ml <sup>2</sup>	<30	<30	30-300	>300
Fysisk- kjemiske parametere	pH	5,0 - 9,0	<5,0 / >9,0	-	-
	Turbiditet, FTU	<1	1-2	2-5	>5

Tabell 4.2 Støtteparametere for vurdering av vannkvalitet ved friluftsbad (Andersen et al., 1997).

Friluftsbad og rekreasjon		Egnethetsklasser			
Virkningen av	Parametere	1 Godt egnet	2 Egnet	3 Mindre egnet	4 Ikke egnet
Næringsalter	Total fosfor, µg P/l	<7	7-11	11-20	>20
	Klorofyll a, µg/l	<2	2-4	4-8	>8
	Siktedybe, m	>4	2-4	1-2	<1
Organiske stoffer	Fargetall	<25	>25	-	-

## 4.1.2 Overvann til vanning

For overvann som skal brukes til vanning av vekster, stilles det ulike krav etter hvilke vekster man skal vanne. Overvannet kan brukes til vanning av matjord, plen og andre grøntarealer.

I veilederen fra Statens forurensingstilsyn (Andersen et al., 1997) deles ulike vekster inn i følgende vekst kategorier, basert på deres sårbarhet for forurensning:

- I. Frukt, bær, salat, kinakål, blomkål, brokkoli, gulrot og andre typer grønnsaker som blir spist rå uten å skrelles.
- II. Vekster som skrelles eller varmebehandles før de spises, f.eks. potet, hodekål, løk og fôrvekster som ikke tørkes eller ensileres.
- III. Korn eller belgvekster, fôrvekster som tørkes eller ensileres, samt vekster i idretts- og parkanlegg.

I veilederen blir sammenhengen mellom de ulike vekst kategoriene og egnethetsklassene kartlagt (Tabell 4.3).

Tabell 4.3 Sammenheng mellom klasseinndeling og vekst kategorier. (Andersen et al., 1997)

Egnethetsklasse	Krav
Godt egnet	Kan brukes på alle typer vekster frem til høstingsdag
Egnet	Vannet er egnet til jordvanning, og kan brukes på vekster i kategori I inntil to uker før høsting, eller inntil høstingsdato ved dryppvanning. Vannet kan brukes restriksjonsfritt til andre typer vekster.
Mindre egnet	Vannet er mindre egnet til jordvanning, og skal under ingen omstendigheter brukes på vekster i kategori I. Kan brukes til vekster i kategori II inntil to uker før innhøsting. Kan brukes restriksjonsfritt for vekster i kategori III (for vekster i denne kategorien tillates opp til 150 TKB og 1500 koliforme bakterier (KB)).
Ikke egnet	Vannet er uegnet som vanningsvann, og skal ikke brukes på noen typer vekster.

Videre i veilederen er det satt grenseverdier for tilstedeværelse av næringssalter og tarmbakterier for de ulike egnethetsklassene (Tabell 4.4).

Tabell 4.4 Klassifisering av egnethet for jordvanning (Andersen et al., 1997).

Jordvanning		Egnethetsklasser			
Virkingen av	Parametere	1 Godt egnet	2 Egnet	3 Mindre egnet	4 Ikke egnet
Næringsalter	Total fosfor, µg P/l	<11	11-20	20-50	>50
	Klorofyll a, µg/l	<4	4-8	8-20	>20
Tarmbakterier	Termot. koli. bakt. ant./100ml	<2	2-20	20-100*	>100*
	Koliforme bakt. ant./100ml	<20	20-200	200-1000*	>1000*

\*For vekster i kategori III tillates opp til 150 TKB og 1500 KB

For å kunne bruke overvannet til vanning er det i tillegg til tilstrekkelig kvalitet viktig å ha nok vann. Vekstmånedene i Norge er fra mai til august og det vil derfor være størst behov for vanning i disse månedene (Lindholm og Bjerkholt, 2018). Lindholm og Bjerkholt legger i tillegg frem at vanningsbehovet vil variere med følgende variabler:

- Været (fordampning)
- Plantenes opptak/vannbehov (de trenger mer vann når de er i sterk vekst og har stor bladmasse)
- Plantenes rottybde (i en varandakasse må det vannes mye, mens i dyp matjord må det vannes sjeldnere)
- Jordart (jord har forskjellig evne til å lagre vann)

### **4.1.3 Krav til vann lagret på tank**

Fra en studie gjort i Kina har man sett at kvaliteten på oppsamlet regnvann fra overflater ikke holder WHO sin standard for drikkevann (Zhu et al., 2004). I studiet konkluderes det likevel med at regnvannet holder en generelt god vannkvalitet med tanke på organiske bestanddeler. I tillegg går det frem av studiet at vann samlet opp fra lite trafikkert vei som brukes til vanning av jord er uproblematisk.

For å sikre tilfredsstillende kvalitet på vann som lagres i tank, bør det stilles krav til vedlikehold. Magasineringsstanken må tømmes jevnlig for løv og annen forurensning. I tillegg må magasineringsstanken tømmes for vann før vinteren, eller frostsikres på annen måte (Gabriel og Fiil, 2016).

## **4.2 Lover og retningslinjer for utbygging og dimensjonering av overvannstiltak**

Det finnes nasjonale og kommunale lover og retningslinjer som gjelder for utbygging og dimensjonering av overvannstiltak, og for selve overvannstiltaket. Under følger de lovene og retningslinjene som er mest sentrale for denne oppgaven.

### **Plan- og bygningsloven**

Plan- og bygningsloven, § 28-6 går ut på at overvannsløsninger må sikres slik at de ikke er til særlig skade for barn. Loven lyder som følger: «Basseng og brønn skal til enhver tid være sikret slik at personer hindres fra å falle i dem. Brønn eller dam som antas å medføre særlig fare for barn, kan kommunen pålegge gjenfylt eller sikret på annen måte innen en fastsatt frist. Gjenfylling kan ikke skje dersom brønn eller dam er påkrevet av hensyn til vannforsyningen. Dammer som faller inn under vannressursloven, skal sikres etter reglene i vannressursloven.» (Plan- og bygningsloven, 2010).

### **Byggteknisk forskrift (TEK17)**

Byggteknisk forskrift (TEK17), § 7-2 handler om sikkerhet mot flom og stormflo. Loven sier at for byggverk i flomutsatte områder skal det fastsettes sikkerhetsklasse, og bygget skal sikres slik at nominell årlig sansynlighet for flom ikke overskrides. Sikkerhetsklasse F2 omfatter de fleste



bygg beregnet for personopphold. Bygg i sikkerhetsklasse F2 må sikres mot oversvømmelse slik av største nominelle årlige sannsynlighet for flom ikke overskrider en 200 års nedbørshendelse (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017).

TEK17 § 13-11 handler om å sikre byggverk mot oversvømmelse. Paragrafen sier at det skal være tilstrekkelig med fall i terrenget fra byggverk dersom andre tiltak ikke er gjort for å lede bort vannet, inkludert takvann (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017).

## **Forurensingsloven**

Forurensningsloven § 24 a. omhandler anleggseiers ansvar knyttet til skader grunnet utilstrekkelig kapasitet på avløpsanlegg. Om avløpsanlegg ikke har stor nok kapasitet, eller vedlikeholdet har vært utilstrekkelig slik at det kan få konsekvenser for abonnenter tilknyttet anlegget er det anleggseier som er ansvarlig (Forurensingsloven, 2018).

## **Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning**

Kapittel 4.3 i Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning omhandler planprosess og beslutningsgrunnlag. Kapitlet handler om hvordan man skal ta hensyn til klima ved utbygging, fortetting og transformasjon av områder. Det kreves at det skal legges vekt på gode, helhetlige løsninger og ivaretagelse av økosystemer og arealbruk med betydning for klimatilpasning, som også kan bidra til økt kvalitet i uteområder. Det kreves videre at planer skal ta hensyn til behov for åpne vannveier, overordnede blågrønne strukturer, og forsvarlig overvannshåndtering.

Bevaring og etablering av naturbaserte løsninger bør vurderes, og dersom andre løsninger velges skal det begrunnes hvorfor naturbaserte løsninger er valgt bort (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2018).

## **Fredrikstad kommune sin hovedplan**

Fredrikstad kommune krever at eiendommer skal kunne fordrøye nedbør tilsvarende en 10 minutters nedbørshendelse med et gjentakintervall på 50 år, med klimafaktor på 1,5 (Fredrikstad

kommune, 2016). Påslipp til kommunens ledningsnett skal i prinsippet ikke overstige arealets naturlige avrenning, men må i hvert tilfelle vurderes etter kapasiteten på kommunens ledningsnett.

### 4.3 Blågrønn faktor

Blågrønn faktor (BGF) er et verktøy som er utviklet for å sikre ivaretagelse av lokale overvannstiltak og vegetasjon i byggesaksbehandling ved fortetting, transformasjon og utvikling av nye områder (Leivestad og Skogvold, 2017). Bruk av BGF skal gi forutsigbarhet for utbygger med tanke på krav til overvannshåndtering, vegetasjon og biodiversitet i byggesaksprosjekter ved å bruke poengsetting av ulike blågrønne kvaliteter (Bærum kommune et al., 2014). Bærum kommune med flere (2014) legger også fram at BGF kan bidra til blant annet bærekraftig overvannshåndtering og forbedret mikroklima, vann- og luftkvalitet, og legge til rette for bedre uterom.

Ved bruk av blågrønn faktor er det gitt ulik tiltaksverdi for blå og grønne tiltak. Disse verdiene summeres og deles på tomtearealet for å finne tomtens blågrønne faktor (Formel 4.1). Oslo kommune har anbefalt en blågrønn verdi på 0,7 for åpen by og 0,8 for tett by (Oslo kommune, 2018).

*Formel 4.1 Beregning av Blågrønn faktor.*

$$\text{Blågrønn faktor} = \frac{\sum \text{Tiltakenes blågrønne verdier}}{\text{Tomteareal}}$$

Fra brukerveilederen utviklet av Oslo kommune (2018) går det frem at tiltakenes nytte for samfunnssikkerhet, naturmangfold og byliv hovedsakelig er lagt til grunn ved vektlegging av tiltakene. I tillegg er tiltakenes evne til å oppnå renere vann, renere luft og bedre lyd miljø vektlagt, men disse er sett på som sekundæreffekter (Oslo kommune, 2018). Brukerveilederen utviklet av Oslo kommune tar for seg tolv tiltak som hver er vektet med en tiltaksverdi (vedlegg 3). Oslo kommune har også utviklet et Excel-ark man kan benytte for å enkelt finne den blågrønne faktoren til et område. Vi vil i denne oppgaven bruke dette Excel-arket for beregning av BGF.

# 5 FORMLER FOR OVERVANNS- OG KOSTNADSBEREGNINGER

Dette kapitlet inngår i del 3 – metode, og presenterer alle formler som blir benyttet for å gjøre nødvendige beregninger, herunder formler for overvanns- og kostnadsberegninger.

## 5.1 Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisienten til et område uttrykker forholdet mellom avrenningen fra området og nedbøren over området (Ødegaard, 2014, s. 347-348). Avrenningskoeffisienten viser dermed hvor stor del av nedbøren som vil renne av på overflaten. Volumavrenningskoeffisienten ( $\varphi_{vol}$ ) angir forholdet mellom avrent vannvolum og tilhørende nedbørvolum, mens spissavrenningskoeffisienten ( $\varphi_{spiss}$ ) angir forholdet mellom maksimalt avløp fra et område og midlere regnintensitet over området. Vi har valgt å bruke spissavrenningskoeffisienter for å beregne midlere avrenningskoeffisient.

Midlere avrenningskoeffisient ( $\varphi_{midlere}$ ) for et felt er uttrykt slik:

*Formel 5.1 Midlere avrenningskoeffisient (Ødegaard, 2014, s. 347-348).*

$$\varphi_{midlere} = \frac{\varphi_1 A_1 + \varphi_2 A_2 + \dots + \varphi_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Hvor

$\varphi_{midlere}$  er midlere avrenningskoeffisient fra feltet [-]

$A_1, A_2, \dots, A_n$  er arealet til overflatetype 1 til  $n$  [ha]

$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$  er spissavrenningskoeffisienten for overflatetype 1 til  $n$  [-]

Ifølge Ødegaard (2014, s. 347-348) avhenger avrenningskoeffisienten av overflatens permeabilitet, fallforhold, nedbørintensitet og nedbørsvarighet. Avrenningskoeffisienten øker med økende regnintensitet og regnvarighet, samt med økende terrenghelning. Overflatens permeabilitet avhenger av overflatens tetthet, vegetasjon, og gropformasjon. De lokale forholdene bør vurderes nøye ved valg av avrenningskoeffisienter.

## 5.2 Konsentrasjonstid

Wanielista med flere referert i Chin (2013, s. 492) uttrykker konsentrasjonstiden som tiden det tar for nedbøren å renne fra nedbørsfeltets fjerneste punkt til utløpet (kapittel 2.3). I henhold til Imhoffs sats opptrer maksimal vannføring når regnvarigheten er lik konsentrasjonstiden til nedbørsfeltet.

### 5.2.1 Likninger for beregning av konsentrasjonstid

De fleste likninger som benyttes for å regne ut konsentrasjonstid uttrykker konsentrasjonstiden ved hjelp av følgende inngangsdata:

$$t_t = f(i_e, L, S_0, C)$$

Hvor

$t_t$  er konsentrasjonstid [min]

$i_e$  er effektiv nedbørintensitet (den nedbøren som bidrar til avrenning) [mm/h]

$L$  er nedbørsfeltets lengde [m]

$S_0$  er midlere fall i feltet [-]

Chin (2013, s. 492-500) beskriver de mest brukte likningene for konsentrasjonstiden for overflatestrømning. Her legges fire av dem fram:

### Kinematisk bølge-likning for overflatestrømning

*Formel 5.2 Kinematisk bølge-likning for å finne konsentrasjonstid.*

$$t_c = \frac{6,99}{i_e^{\frac{2}{5}}} \left( \frac{nL}{\sqrt{S_0}} \right)^{\frac{3}{5}}$$

Hvor

$t_c$  er konsentrasjonstid [min]

$i_e$  er effektiv nedbørintensitet (den nedbøren som bidrar til avrenning) [mm/h]

$n$  er Mannings tall for overflatestrømning [-]

$L$  er nedbørsfeltets lengde [m]

$S_0$  er midlere fall i feltet [-]

Chin (2013, s. 495) lister opp Mannings tall,  $n$ , for ulike overflatetyper.

## Kirpichs likning for overflatestrømning

Formel 5.3 Kirpichs likning for å finne konsentrasjonstid.

$$t_c = 0,019 \frac{L^{0,77}}{S_0^{0,385}}$$

Hvor

$t_c$  er konsentrasjonstid [min]

$L$  er nedbørfeltets lengde [m]

$S_0$  er midlere fall i feltet [-]

Kirpichs likning er mest anvendbar for bar jord og veikantgrøfter. For overflateavrenning i naturlig gresskanaler, foreslår Rossmiller referert i Chin (2013, s. 499) å multiplisere  $t_c$  med 2.

## Izzards likning for overflatestrømning

Formel 5.4 Izzards likning for å finne konsentrasjonstid og formelen for å finne konstanten  $K$  som inngår i Izzards likning.

$$t_c = \frac{530KL^{\frac{1}{3}}}{i_e^{\frac{2}{3}}}, \quad \text{gitt at } i_e L < 3,9 \frac{\text{m}^2}{\text{h}},$$

$$K \text{ er en konstant gitt ved } K = \frac{2,8 \cdot 10^{-6} i_e + c_r}{S_0^{\frac{1}{3}}}$$

Hvor

$t_c$  er konsentrasjonstid [min]

$L$  er nedbørfeltets lengde [m]

$i_e$  er effektiv nedbørintensitet (den nedbøren som bidrar til avrenning) [mm/h]

$S_0$  er midlere fall i feltet [-]

$c_r$  er en koeffisient som bestemmes av nedbørfeltets overfalte [-]

Chin (2013, s. 500) lister opp  $c_r$  for ulike overflatetyper.

## Kerbys likning for overflatestrømning

Formel 5.5 Kerbys likning for å finne konsentrasjonstid.

$$t_c = 1,44 \left( \frac{Lr}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,467}, \quad \text{hvor } L < 365 \text{ m}$$

Hvor

$t_c$  er konsentrasjonstid [min]

$L$  er nedbørfeltets lengde [m]

$r$  er ruhetskoeffisienten [-]

$S_0$  er midlere fall i feltet [-]

Chin (2013, s. 500) lister opp  $r$  for ulike overflatetyper.

Kerbys likning ble utarbeidet ved bruk av nedbørsfelt mindre enn 4 hektar, helninger mindre enn 1 prosent og ruhetskoeffisienter mindre enn 0,8. Chin (2013, s. 501) anbefaler derfor å bruke likningen for nedbørsfelt av samme type.

### 5.3 Den rasjonale metode

For å beregne maksimal avrenning fra et nedbørsfelt kan man benytte den rasjonale metode. Den dimensjonerende nedbørintensiteten som benyttes er nedbørintensiteten ved nedbørsvarighet lik konsentrasjonstiden til feltet (kapittel 5.2). Den rasjonale metode uttrykkes slik:

Formel 5.6 Den rasjonale metode (Ødegaard, 2014, s. 346).

$$Q = A \cdot \varphi \cdot i \cdot K$$

Hvor

$Q$  er overvannets vannføring [l/s]

$A$  er arealet til nedbørsfeltet [ha]

$\varphi$  er nedbørsfeltets midlere avrenningskoeffisienten [-]

$i$  er nedbørintensiteten [l/s·ha]

$K$  er klimafaktor [-]

## 5.4 Regnenvelopmetoden

VA/Miljø-blad nr. 69 (2015) legger fram flere metoder for å beregne det nødvendige volumet til en overvannsdam. I denne oppgaven har vi valgt å benytte «Enkel regnenvelopmetode med konstant utløp» for å beregne fordrøyningsbehovet til eksempelområdet. Totalt fordrøyningsbehov vil videre benyttes som overvannsdammens nødvendige fordrøyningsvolum.

Regnenvelopmetode med konstant utløp er en enkel og robust metode som ikke krever at man vet magasinets geometri eller utløpstype. Ved bruk av denne metoden antar man et konstant utløp ( $Q_{\text{maks}}$ ) basert på kapasiteten til nedstrøms avløpsnett. Vanligvis velges utgående vannføring ( $Q_{\text{midl}}$ ) som 70 prosent av den maksimalt tillatte vannføringen (Formel 5.7).

*Formel 5.7 Utgående vannføring,  $Q_{\text{midl}}$ , fra overvannsdam.*

$$Q_{\text{midl}} = 0,7 \cdot Q_{\text{maks}}$$

Hvor

$Q_{\text{midl}}$  er utgående vannføring fra overvannsdam [l/s]

$Q_{\text{maks}}$  er maksimalt tillatt vannføring ut av overvannsdam [l/s]

Ved å beregne tilløpsvolumer  $V_{\text{inn}}$  (Formel 5.8) og utløpsvolumer  $V_{\text{ut}}$  (Formel 5.9) for forskjellige regnvarigheter,  $t_r$ , kan man beregne nødvendig fordrøyningsvolum for de ulike regnvarighetene,  $V_{\text{fordrøyn}}$  (Formel 5.10).

*Formel 5.8 Tilløpsvolum,  $V_{\text{inn}}$ , ved regnvarighet  $t_r$*

$$V_{\text{inn}} = i_{t_r} \cdot t_r \cdot A \cdot \varphi \cdot K$$

Hvor

$V_{\text{inn}}$  er tilløpsvolum [ $\text{m}^3$ ] ved regnvarighet  $t_r$

$t_r$  er regnvarighet [s]

$i_{t_r}$  er nedbørintensiteten [ $\text{l/s} \cdot \text{ha}$ ] ved regnvarighet  $t_r$  [s]

$A$  er arealet [ha]

$\varphi$  er avrenningskoeffisient [-]

$K$  er klimafaktor [-]

Formel 5.9 Utløpsvolum,  $V_{\text{ut}}$ , ved regnvarighet  $t_r$ .

$$V_{\text{ut}} = Q_{\text{midl}} \cdot t_r$$

Hvor

$V_{\text{ut}}$  er utløpsvolumet ved regnvarigheten [ $\text{m}^3$ ]

$Q_{\text{midl}}$  er utgående vannføring fra overvannsdam [ $\text{l/s}$ ]

$t_r$  er regnvarighet [ $\text{s}$ ]

Formel 5.10 Nødvendig fordrøyningsvolum,  $V_{\text{fordrøyn}}$ , for regnvarighet  $t_r$ .

$$V_{\text{fordrøyn}} = V_{\text{inn}} - V_{\text{ut}}$$

Hvor

$V_{\text{fordrøyd}}$  er nødvendig fordrøyningsvolum [ $\text{m}^3$ ] for regnvarighet  $t_c$  [ $\text{s}$ ]

$V_{\text{inn}}$  er tilløpsvolum ved regnvarighet [ $\text{m}^3$ ]

$V_{\text{ut}}$  er utløpsvolumet ved regnvarigheten [ $\text{m}^3$ ]

Overvannsdammens nødvendige volum,  $V_{\text{nødv}}$ , vil være det fordrøyningsvolumet med størst verdi:  $V_{\text{nødv}} = \text{maks}(V_{\text{fordrøyn}})$ .

Ifølge VA/Miljø-blad nr. 69 (2015) vil regnvelopmetoden kunne føre til en overestimering av nødvendig volum fordi man ikke tar hensyn til nedbørsfeltets konsentrasjonstid, men antar at regnet faller direkte i magasinet. Vi velger likevel å bruke denne metoden for å være mest mulig konservative i beregningene våre.



## 5.5 Beregning av kostnad

For å beregne kostnaden til de ulike overvannstiltakene benyttes formelen for netto nåverdi. Netto nåverdi (NNV) uttrykker dagens verdi av en fremtidig kontantstrøm neddiskontert med en gitt kalkulasjonsrente, og beregnes ved å bruke følgende uttrykk:

*Formel 5.11 Netto nåverdi.*

$$NNV = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{I_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Hvor

$NNV$  er investeringens netto nåverdi

$C_0$  er investeringskostnaden ved år 0

$n$  er totalt antall år

$I_t$  er inntekter i år  $t$

$C_t$  er kostnader i år  $t$

$r$  er kalkulasjonsrenten

Selv om levetiden til de ulike overvannstiltakene kan forlenges ved å gjøre tilfredsstillende vedlikehold, antas det for enkelhetsskyld at hvert overvannstiltak har en levetid på 40 år. Dermed blir  $n$  lik 40 år (Formel 5.11). Da verdien til de ulike overvannstiltakene vil være begrenset etter 40 år, i tillegg til at mange forhold helt sikkert er forandret etter denne tidsperioden, er det valgt å sette restverdien til de ulike tiltakene lik null ved år 40.

Vanligvis benyttes NNV-beregninger for å se om en investering er lønnsom eller ikke. Hvis NNV er positiv, er investeringen lønnsom, og motsatt hvis NNV er negativ. I dette tilfellet skal formelen imidlertid benyttes for å beregne de ulike tiltakenes totale kostnad, herunder investeringskostnad og vedlikeholdskostnad, noe som betyr at beregnet NNV uansett vil være negativ.

Det legges opp til at de ulike overvannsløsningene skal magasinere overvannet slik at det kan utnyttes til ulike formål. Dette vil redusere drikkevannsforbruket og dermed også drikkevannsutgiftene. Ifølge Fredrikstad kommune sine nettsider er gebyret for drikkevann 6,95 kroner per kubikkmeter i 2019 (Fredrikstad kommune, 2019). Drikkevann er med andre ord en billig vare i Norge, og det anses derfor ikke som nødvendig å inkludere drikkevannsbeparelsene som en inntekt ved beregning av NNV da denne kostnadsbeparelsen vil være neglisjerbar ved

sammenlikning av de ulike konseptforslagene. Av den grunn utelukkes inntektsleddet,  $I_t$  (Formel 5.11), og NNV omtales som kostnad eller nåverdi videre i oppgaven. Likningen for beregning av nåverdi blir dermed seende slik ut:

*Formel 5.12 Oppdatert formel for nåverdi uten inntekter*

$$\text{Nåverdi} = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Hvor

$Nåverdi$  er investeringens nåverdi

$C_0$  er investeringskostnaden ved år 0

$n$  er totalt antall år (her lik 40 år)

$C_t$  er vedlikeholdskostnad i år  $t$

$r$  er kalkulasjonsrenten

Investeringskostnaden uttrykkes dermed gjennom første ledd,  $C_0$ , i formel 7.12, og neddiskontert vedlikeholdskostnad uttrykkes gjennom andre ledd i formelen,  $\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$ .

## **Kalkulasjonsrente**

I henhold til Finansdepartementets prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser (Finansdepartementet, 2014) settes kalkulasjonsrenten  $r$  til 4 prosent for en periode på 40 år.

## 6 KONSEPTVALGUTREDNING

Dette kapitlet inngår i del 3 – metode, og vil beskrive hvordan konseptvalgutredning utføres i detalj, samt hvilke justeringer vi har gjort for vår KVVU.

### 6.1 Introduksjon til konseptvalgutredning

Et av hovedformålene med KVVU er å identifisere og analysere flere løsninger av et gitt problem for å finne den mest optimale løsningen (Samset, 2016). For å finne den mest optimale løsningen, krever metoden at alle behov tilknyttet prosjektet blir identifisert og kartlagt, og at det defineres mål og settes krav til løsningen. Behovene, målene og kravene danner grunnlaget for utvikling av konsepter. Konseptene skal ha som formål å oppfylle kravene slik at målene kan nås og behovene følgelig kan dekkes. De ulike konseptene skal til slutt evalueres, slik at man kan komme fram til det mest optimale konseptet.

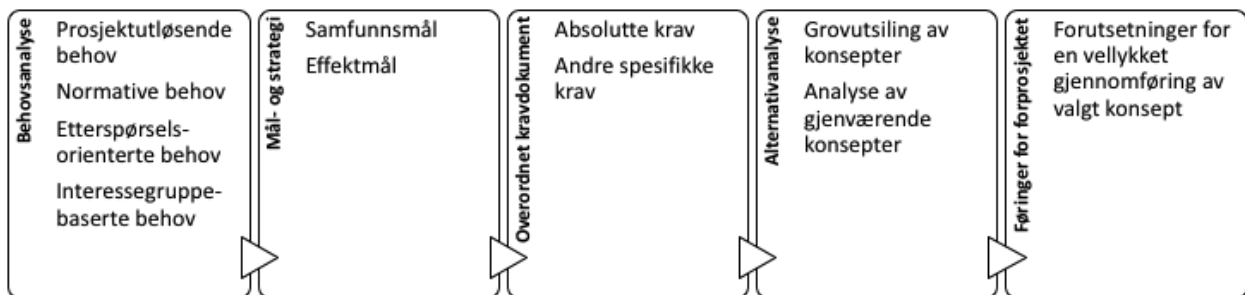
KVVU deles dermed inn i fire hovedtrinn: behovsanalyse, mål- og strategidokument, overordnet kravdokument og alternativanalyse (Finansdepartementet, 2010c). Ifølge Concept sin rapport om god praksis i arbeidet med KVVU (Jordal et al., 2018) består KVVU av et ytterligere trinn kalt «Føringer for forprosjektet». Dette trinnet ser på valg av gjennomføringsstrategi for valgt konsept.

#### 6.1.1 Utførte justeringer

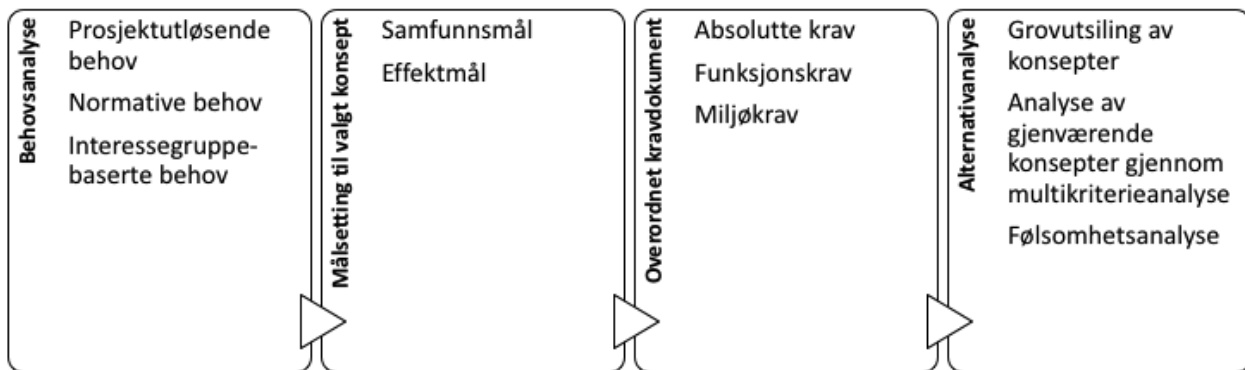
Som nevnt over består KVVU av fire hovedtrinn, pluss et femte trinn kalt «føringer for forprosjektet» (Figur 6.1). For å tilpasse KVVU som metode til denne oppgaven, har vi imidlertid utført noen justeringer (Figur 6.2). Formålet er å finne optimalt konsept, og da anses det ikke som nødvendig å gå videre på trinn 5 av KVVU-en som tar for seg gjennomføringsprosessen. Av den grunn utelukkes dette trinnet.

Øvrige justeringer som har blitt utført er følgende (begrunnelse for justeringene legges fram i kapitlene som refereres til under hvert punkt):

- Den etterspørselsorienterte behovsanalysen er utelukket fra KVU-en (kapittel 6.2).
- «Mål- og strategidokumentet» har endret navn til «målsettingen til valgt konsept» (kapittel 6.3)
- Vi utfører en multikriterieanalyse, herunder en følsomhetsanalyse, for å evaluere konseptforslagene (kapittel 6.6).



Figur 6.1 Flytskjema for generell KVU



Figur 6.2 Flytskjema for justert KVU brukt i denne oppgaven

## **6.2 Behovsanalyse**

Identifisering, avklaring og definering av behov er en viktig del av KVVU, da oppståtte behov er hovedårsaken til at man søker nye løsninger (Karlsen, 2015). Hvis analysen av behov er mangelfull, kan det medføre at konseptene som legges fram er lite relevante med tanke på de faktisk foreliggende behovene (Næss, 2004).

En typisk behovsanalyse deles inn i tre ulike analyser; en normativ, en interessegruppebasert, og en etterspørselsorientert behovsanalyse. I tillegg skal det prosjektutløsende behovet defineres (Næss, 2005).

### **Det prosjektutløsende behovet**

Finansdepartementet (Finansdepartementet, 2010c) beskriver det prosjektutløsende behovet som det samfunnsbehovet som utløser planleggingen av tiltak. Det prosjektutløsende behovet kalles dermed også «det tiltaksutløsende behov». Dette behovet skal være førende for arbeidet med å lage tiltaksspesifikke mål, også kalt effektmål, mens de øvrige behovene ivaretas i kravene som settes til konseptene (Finansdepartementet, 2010c).

Det prosjektutløsende behovet kan defineres på forskjellige generalitetsnivåer (Næss, 2005). Jo mindre generelt behovet defineres, desto mer spesifikke typer løsninger vil kreves.

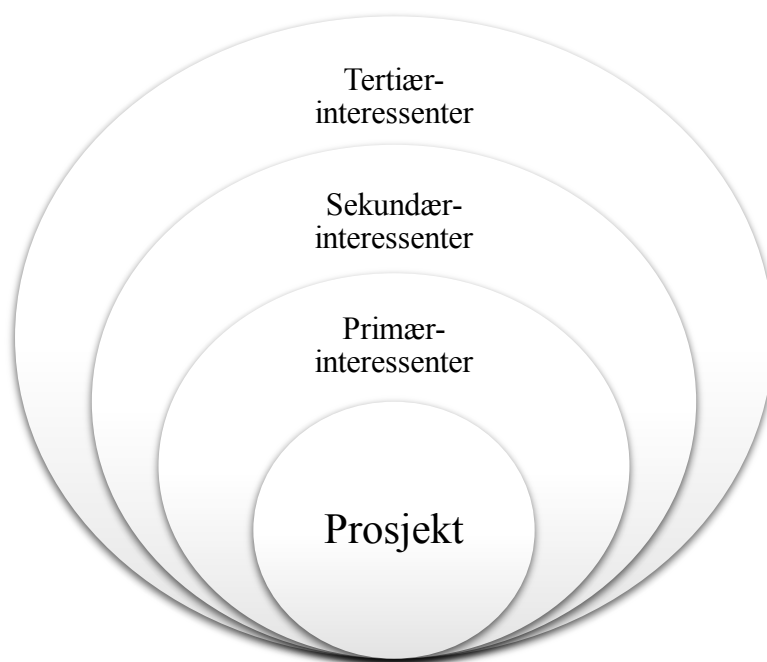
### **Normativ behovsanalyse**

Den normative behovsanalysen baserer seg på overordnede, politiske mål, lover og forskrifter (Finansdepartementet, 2010c).

### **Interessegruppebasert behovsanalyse**

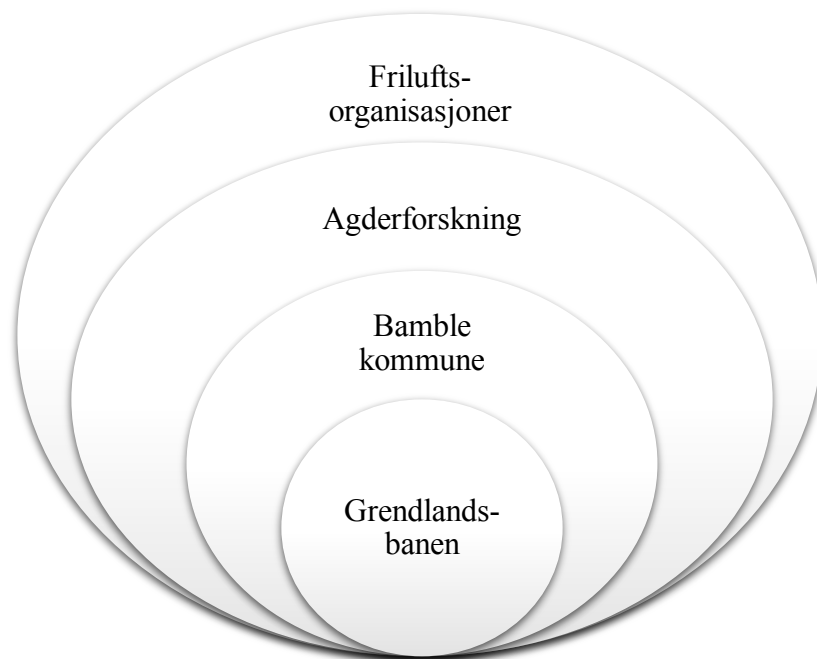
Den interessegruppebaserte behovsanalysen går ut på å identifisere prosjektets interessenter, altså de personene/gruppene som vil påvirkes av prosjektresultatet, og å hente informasjon om de ulike interessentenes behov (Næss, 2005). Denne analysen vil sørge for at prosjektet ses fra flere perspektiv når valg av konsept skal tas.

I den interessegruppebaserte behovsanalysen må de forskjellige interessentene identifiseres og defineres, og deres behov og preferanser må kartlegges. Dette kan for eksempel gjøres gjennom gruppebasert idédugnad, spørreundersøkelser, sjekklister eller erfaringsdata (Finansdepartementet, 2010c; Karlsen, 2015). Interessentene kan deles inn i tre hovedgrupper; primærinteressenter, sekundærinteressenter og tertiærinteressenter (Figur 6.3). På den måten vil man se prioriteringen mellom prosjektets eksisterende interessenter tydelig, hvor primærinteressentene har størst prioriteringsgrad, og tertiærinteressentene har lavest.



*Figur 6.3 Sammenhengen mellom prosjektet og de ulike interessentene.*

For å gi et forklarende bilde på hvem de ulike interessentene kan være, er det hentet eksempler på interessenter fra KVVU Grenlandsbanen som omhandler vurdering av sammenkopling av Vestfoldbanen og Sørlandsbanen (Jernbaneverket, 2015) (Figur 6.4). Bamble kommune anses som en av primærinteressentene fordi kommunen er med i Grenlandssamarbeidet og er en potensiell bruker av nytt tilbud. Kommunens behov er imidlertid ikke oppgitt. Agderforskning anses som en av sekundærinteressentene og har behov for næringsutvikling og utveksling av arbeidskraft. Friluftsanser anses som en av tertiærinteressentene, og deres behov er lite inngrep i naturen i forbindelse med prosjektet.



*Figur 6.4 Et utvalg av interessentene som er tilknyttet KVU Grendlandsbanen.*

### **Etterspørselsorientert behovsanalyse**

Den etterspørselsorienterte behovsanalysen baserer seg på misforholdet mellom tilbudt kapasitet og etterspørsel, og sammenlikner observerte tilstander i dag med prognoser for framtidig utvikling (Finansdepartementet, 2010c). Den etterspørselsorienterte behovsanalysen omhandler etterspørsel etter tjenester og service som det er behov for å skalere opp, og regnes derfor ikke som relevant i denne KVU-en og blir dermed ikke gjennomført.

### **6.3 Mål- og strategidokument**

Mål- og strategidokumentet har som hensikt å gi oversikt over prosjektets mål, herunder samfunnsmål og effektmål (Finansdepartementet, 2010c). Samfunnsmål uttrykker den nytten eller verdiskapningen et tiltak skal føre til for samfunnet som helhet, og viser dermed intensjonen med tiltaket (Finansdepartementet, 2010a). Ifølge Finansdepartementet uttrykker effektmål den direkte effekten av tiltaket og skal være avledet fra samfunnsmålene. Effektmålene danner grunnlag for å vurdere de ulike konseptene i forhold til hverandre.

Målene som settes bør være konsistente med behovsanalysen, samt realistiske og verifiserbare (Jordal et al., 2018). I tillegg bør målene angis presist nok slik at de blir egnet til å vurdere grad av

måloppnåelse (Finansdepartementet, 2010c). Dette gjelder spesielt for effektmålene og innebærer at effektmålene bør være målbare, enten kvantitativt eller kvalitativt.

Antall mål bør begrenses slik at man unngår målforvirring, og prioriteringen mellom målene bør tydeliggjøres. I tillegg må man sørge for at målene ikke er i konflikt innbyrdes (Finansdepartementet, 2010c).

I vår KVVU blir «Mål- og strategidokument» videre kalt «Målsettingen til valgt konsept». Årsaken til at ordet «strategi» utelukkes er at vi anser det som hensiktsmessig at fastlegging av strategi for prosjektgjennomføringen gjøres på et senere tidspunkt når konseptet er valgt og planlegging av prosjektet er kommet lenger.

## **6.4 Overordnet kravdokument**

Det overordnede kravdokumentet danner rammen for alternativanalysen, og skal bestå av betingelser som må eller bør oppfylles gjennom det valgte konseptet. Dokumentet benyttes dermed som en indikator for å avgjøre om konseptet er gyldig og kan benyttes (Finansdepartementet, 2010c). I denne KVVU-en er det valgt å dele kravene inn i absolutte krav, funksjonskrav og miljøkrav.

### **Absolutte krav**

Absolutte krav er krav som må oppfylles, og konseptene som ikke oppfyller disse kravene utelukkes gjennom en utsilingsprosess tidlig i alternativanalysen. De absolutte kravene gjør det på den måten enklere å ekskludere irrelevante konsepter (Finansdepartementet, 2010c).

### **Funksjonskrav**

Funksjonskrav beskriver hvilke funksjoner løsningen bør tilfredsstillende, herunder karakteristikken og egenskaper ved løsningen (Karlsen, 2015).

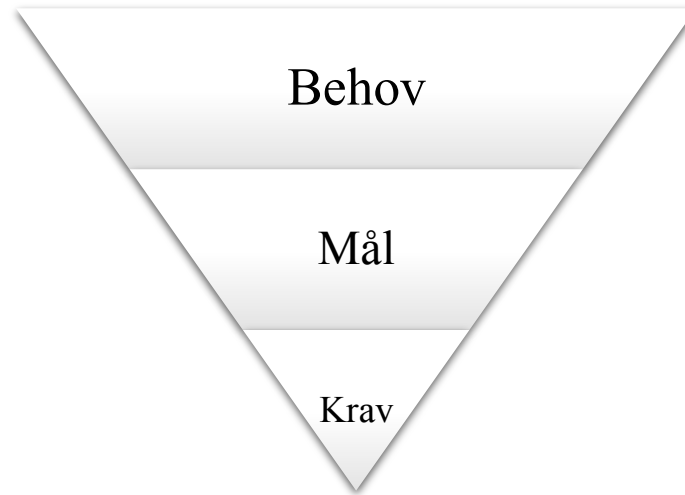
### **Miljøkrav**

Miljøkrav beskriver de betingelser som løsningen må oppfylle for å sikre at miljøet blir ivaretatt på best mulig måte (Karlsen, 2015).



## 6.5 Sammenheng mellom behov, mål og krav

Behovsanalysen, målsettingen og kravene danner grunnlaget for utvikling av konsepter i alternativanalysen. En viktig forutsetning for alternativanalysen er at de tre delene er konsistente, det vil si motsigelsesfri, og bygger på hverandre (Finansdepartementet, 2010c). Målene er avledet fra de identifiserte behovene, mens kravene er avledet fra satte mål og skal være mest spesifikke (Figur 6.5).



Figur 6.5 Sammenhengen mellom behov, mål og krav. (Inspirasjon hentet fra Finansdepartementet, 2010c).

## 6.6 Multikriterieanalyse

For å vurdere hvordan konseptforslagene tilfredsstillte satte behov, mål og krav, er det valgt å benytte en form for multikriterieanalyse. Multikriterieanalyse er et rammeverk utviklet for å vurdere et stort antall data, sammenhenger og målsetninger på en strukturert måte (Munda, 2004). Analysen går ut på å definere ett sett med evalueringskriterier og vekte disse ut ifra preferansene til beslutningstaker og andre interessenter, og analysere og sammenlikne konseptforslagene ved å sette score på kriteriene (Vatn, 2005). Vatn (2005) legger i tillegg fram at det bør gjøres en følsomhetsanalyse for å kontrollere resultatene av multikriterieanalysen.

I en multikriterieanalyse brukes det kun økonomiske verdier på kostnader og inntekter, mens andre kriterier måles i den enheten som er mest relevant for det enkelte kriteriet (Miljøverndepartementet, 2013). Miljøverndepartementet (2013) legger fram valg av trasé for en ny vei som eksempel på problemstilling, og at ulike traséforslag for eksempel kan evalueres gjennom kriteriene kostnad, tidsbesparelser, ulykker, landskapsendringer, forurensing og påvirkning på biodiversitet. Hvordan

de ulike traséforslagene påvirker de definerte kriteriene beskrives ved å sette score for hvert kriterium på hvert forslag. Scorene måles i forskjellige enheter avhengig av hva som er mest hensiktsmessig. For kostnader vil det typisk være kroner og for tidsbesparelser vil det kunne være timer (Miljøverndepartementet, 2013).

Evalueringskriteriene skal muliggjøre målbare, objektive og entydige konseptvalg (Solheim et al., 2004). Kriteriene bør være relevante for prosjektet, noe som vil si at de har sammenheng med behov, mål og krav. En bør også sørge for at kriteriene er representative og at de sikrer en objektiv sammenlikning mellom konseptene. I tillegg bør ikke kriteriene overlappe hverandre, eller være for omfattende.

Kriteriene blir dermed vektlagt ut ifra hvor avgjørende de er for å oppfylle kravene, målene og behovene. Det må i tillegg defineres en poengskala, og i alternativanalysen blir konseptforslagene evaluert og vil motta score (poeng) for hvert kriterium ut ifra prestasjonsevnen deres. Til slutt vil scorene gitt til hvert konseptforslag summeres slik at konseptforslagene kan rangeres i forhold til hverandre.

### **6.6.1 Følsomhetsanalyse**

En følsomhetsanalyse er en type usikkerhetsanalyse (Direktoratet for økonomistyring, 2018). Ved å utføre en slik analyse, synliggjøres usikkerheten i de antakelsene som er gjort, og usikkerheten kan dermed tas i betraktning når resultatet legges fram.

Følsomhetsanalysen skal i dette tilfellet avdekke hvor robust rangeringen av konseptene er ved å se hvor stor endring i scoregivningen som skal til for at rekkefølgen i rangeringen forandres (Kvalheim, 2015). En må så vurdere om en slik endring vil være urimelig, og dermed om rangeringen er robust eller ikke.

## 6.7 Alternativanalyse

I alternativanalysen skal ulike forslag til konsepter utarbeides. Konseptene skal kun detaljeres så langt det er nødvendig for å kunne ta stilling til konseptenes prestasjonsevne. Det er viktig å sikre gjensidig utelukkende konsepter, altså at de ikke overlapper hverandre (Finansdepartementet, 2010c). Et eksempel på dette kan være at det prosjektutløsende behovet er forbedring av transportmuligheter inn mot Oslo. Konseptforslagene kan da være å enten bygge ut jernbanetilbudet eller bygge ut motorveien. Disse konseptforslagene vil ikke overlape hverandre. Hvis konseptforslagene overlapper hverandre, vil det kunne bli utfordrende å skille mellom prestasjonsevnen deres, og dermed vanskelig å ta et endelig konseptvalg.

I denne KVVU-en skal det i første omgang legges fram mellom tre og fire forslag til konsepter som deretter skal gjennomgå en grov utsilingsprosess. I denne utsilingsprosessen fjernes de forslagene som ikke oppfyller absolutte krav (kapittel 6.4). Videre i alternativanalysen skal de mest interessante og realistiske konseptene analyseres og evalueres gjennom multikriterieanalysen (kapittel 6.6). Til slutt vil man stå igjen med det konseptet som scoret høyest og som dermed er mest optimalt.

### Nullalternativet

Nullalternativet representerer en forsvarlig videreføring av dagens situasjon, og vil fungere som en referanse i alternativanalysen som de andre konseptene kan sammenliknes med (Finansdepartementet, 2010b). Dette alternativet vil ikke siles ut i den første utsilingsprosessen.

## **7 GRUNNLAG FOR UTVIKLING AV KONSEPTER**

Dette kapitlet inngår i del 4 – utførelse av konseptvalgutredning. Her utføres de tre første trinnene av KVVU-en som danner grunnlaget for trinn fire (alternativanalysen). Grunnlaget dannes ved å kartlegge behovene gjennom «Behovsanalyse», definere effektmål og samfunns mål gjennom «Målsettingen til valgt konsept» og sette krav til overvannstiltakene gjennom «Overordnet kravdokument». I tillegg blir evalueringskriterier og tilhørende vektning bestemt i dette kapitlet.

### **7.1 Behovsanalyse**

#### **7.1.1 Det prosjektutløsende behovet**

Det prosjektutløsende behovet defineres i dette tilfellet som det overordnede behovet som viser viktigheten av å sørge for etablering av gode overvannstiltak i prosjekter. Det prosjektutløsende behovet lyder dermed som følger:

- Det er behov for å tilrettelegge for økt nedbørintensitet og vannmangel som kan oppstå på grunn av klimaendringer.

#### **7.1.2 Normativ behovsanalyse**

Den normative behovsanalysen vil i denne KVVU-en baseres på kapitlet om krav ved utnyttelse av overvann som ressurs (kapittel 4.2) og kapitlet om lover og retningslinjer for utbygging og dimensjonering av overvannstiltak (kapittel 4.2). De normative behovene lyder dermed som følger:

Det er behov for

- Trygge overvannsløsninger som forebygger skader og forhindrer helsemessig risiko,
- at overvannet som skal benyttes til vanning og rekreasjon har tilfredsstillende kvalitet,
- lokal overvannshåndtering med naturbaserte løsninger, og
- løsninger som ivaretar økosystemet.

### **7.1.3 Interessegruppebasert behovsanalyse**

#### **Primærinteressenter**

I denne KVVU-en er det valgt å definere primærinteressenten som den parten KVVU-en utføres for. Det er denne parten som har størst påvirkningskraft når det kommer til valg av løsning og som blir direkte berørt av prosjektets utfall. Primærinteressenten anses som den viktigste interessenten og hovedfokuset er derfor å dekke behovet til denne parten.

Denne KVVU-en utføres med utgangspunkt i Fredrikstad kommune, og av den grunn anses kommunen som primærinteressenten. Fredrikstad kommune har størst påvirkningskraft og kan sette krav til overvannsløsningen, og vurderes derfor som den viktigste interessenten.

Behovene til Fredrikstad kommune har blitt kartlagt gjennom samtale med Fredrikstad kommune (A. Pettersen-Granli, personlig kommunikasjon, 19.02.2019), og gjennom Fredrikstad kommune sin hovedplan for vann og avløp (Fredrikstad kommune, 2016). Det kan dermed slås fast at Fredrikstad kommune hovedsakelig har to behov. Løsningen skal:

- redusere mengden overvann som slippes til det kommunale ledningsnett og som slippes ut fra overløp til resipient, og
- kreve lite vedlikehold og ha lang levetid.

#### **Sekundærinteressenter**

Sekundærinteressentene har gjerne interesse i prosjektet og dets utfall. I denne KVVU-en anses sekundærinteressentene som middels viktige, og omfatter blant annet de partene som er interessert i kunnskapen som prosjektet resulterer i. Sekundærinteressentene berøres indirekte av prosjektets utfall, og kan påvirke valg av løsning til en viss grad.

I denne KVVU-en er derfor sekundærinteressentene EU-prosjektet og utbygger. EU-prosjektet er interessert i kunnskapen som prosjektet resulterer i og kan påvirke resultatet til en viss grad. Gjennom samtale med prosjektleder for EU-prosjektet har det kommet fram at deres behov hovedsakelig er følgende (P. Jenssen, personlig kommunikasjon, 13.02.2019):

- Å øke kunnskapen om bruk av overvann som ressurs, og at kunnskapen fra dette prosjektet skal kunne brukes videre i andre prosjekter.

Utbygger på sin side har også en viss påvirkningskraft og er interessert i prosjektprosessen, og anses derfor også som en sekundærinteressent. Det har gjennom samtale per e-post blitt fastslått at behovet til utbygger er som følger (K. Cao, personlig kommunikasjon, 25.02.2019):

- En bærekraftig løsning som er økonomisk forsvarlig og gjennomførbar.

### **Tertiærinteressenter**

Tertiærinteressentene anses som minst viktige av de tre interessenttypene. Dette er gjerne omgivelser og parter som ikke er inkludert i valg av løsning, og som dermed har liten påvirkningskraft, men som likevel berøres av prosjektets resultat.

I denne KVVU-en er tertiærinteressentene derfor de framtidige beboerne i boligblokkene. Framtidige beboere er ikke inkludert i valg av løsning, men vil i stor grad bli berørt av prosjektets resultat når de flytter inn i boligene. Hvem som skal bo i boligblokkene er ikke bestemt enda, så for å finne behovet til de framtidige beboerne er det tatt utgangspunkt i undersøkelser om boligpreferanser fra andre kommuner, samt annen relevant statistikk og forskning.

Undersøkelser slår fast at boligsøkere i alderen 25 til 44 år anser det som viktig med en bolig som har tilknytning til uteområde (Porsgrunn kommune, 2016; Elnan og Leszczynski, 2018). I boligmarkedsanalysen utført av Elnan og Leszczynski for Kongsberg kommune (2018) går det frem at 38 prosent av de mellom 25 og 35 år setter egen hage/uteområde som et av kriteriene for valg av bolig. Undersøkelsen slår dermed fast at uteområde er et av de viktigste kriteriene for valg av bolig. Forskning tyder i tillegg på at det er en nær sammenheng mellom grøntområder og folks psykiske og fysiske helse (kapittel 3.1).

Samtidig vil det være rimelig å anta at beboerne ønsker løsninger som ikke krever kostbart vedlikehold, da det er de som må dekke vedlikeholdskostnaden gjennom borettslag eller sameie.

På bakgrunn av disse faktorene antas det at behovet til de framtidige beboerne i boligblokkene vil være følgende:

- En boligblokk med et funksjonelt, grønt uteområde som vil bidra til rekreasjon, og
- overvannstiltak som ikke krever kostbart vedlikehold.

## **7.2 Målsettingen til valgt konsept**

### **7.2.1 Samfunns mål**

Samfunns mål er den nytten samfunnet skal oppnå gjennom konseptet som blir valgt for overvannshåndtering. Samfunns målene er satt med utgangspunkt i de identifiserte behovene, men også gjennom Fredrikstad kommune sin overvannsrammeplan (Fredrikstad kommune og COWI, 2007). De er listet opp i prioritert rekkefølge under, fra høyest til lavest prioritering.

Valgt konsept skal:

- redusere faren for oversvømmelse,
- bidra til god bevaring av omkringliggende resipient, i dette tilfellet Glomma,
- styrke biologisk mangfold,
- være lite ressurskrevende med tanke på drift og vedlikehold,
- føre til utnyttelse av overvannet som en ressurs, og
- være økonomisk akseptabelt slik at det er realistisk å implementere i andre prosjekter.

### **7.2.2 Effektmål**

Effektmålene uttrykker i denne sammenhengen de direkte effektene som vil oppstå som følge av valgt konsept for overvannshåndtering. Effektmålene er i stor grad avledet fra samfunns målene. I tillegg legger behovsanalysen, herunder det prosjektutløsende behovet, et viktig grunnlag for utarbeidelsen av effektmålene. Ifølge kapitlet om behovsanalyse (kapittel 6.2) skal det prosjektutløsende behovet være førende for arbeidet med å lage tiltaksspesifikke mål, altså effektmålene. Det prosjektutløsende behovet er beskrevet (kapittel 7.1.1) som behovet for å tilrettelegge for økt nedbørintensitet og vannmangel som kan oppstå på grunn av klimaendringer.

Følgende effektmål, i prioritert rekkefølge fra høyest til lavest, legges dermed til grunn for konseptvalgutredningen:

Valgt konsept skal

- fordrøye mest mulig overvann og minimere utslippet til kommunalt ledningsnett,
- kun benytte blågrønne løsninger til overvannshåndtering,
- magasinere mest mulig regnvann og overvann, og
- ha minimalt behov for vedlikehold.

### **7.3 Overordnet kravdokument**

Det overordnede kravdokumentet består av absolutte krav, funksjonskrav og miljøkrav som det er ment at valgt konsept skal oppfylle.

De absolutte kravene er krav som valgt konsept må oppfylle, og danner grunnlaget for den første utsilingsprosessen i alternativanalysen. Kravene er først og fremst utarbeidet med tanke på eksisterende retningslinjer og restriksjoner (kapittel 4.2) og forhold som omhandler sikkerhet og forhindring av skader. I tillegg er utbyggers preferanse fra den interessegruppebaserte behovsanalysen (kapittel 7.1.3) tatt hensyn til. De absolutte kravene er delt inn i fire hovedpunkter.

Funksjons- og miljøkravene innebærer henholdsvis hvilke funksjoner løsningen bør tilfredsstillende og betingelser som løsningen bør oppfylle for å sikre ivaretagelse av miljøet. Funksjons- og miljøkravene er utarbeidet med utgangspunkt i gjeldende behov og satte mål. De må ikke oppfylles, da de ikke vil ha innvirkning på forhold som omhandler liv og helse eller forhindring av skader på infrastruktur. Det er likevel et mål at valgt løsning skal oppfylle disse kravene i tillegg til de absolutte kravene for å tilfredsstillende behovene i størst mulig grad.

Begrunnelse og mer informasjon om kravene legges fram i kapitlene som det refereres til under hvert punkt. Kravene er ikke satt i prioritert rekkefølge.



### **7.3.1 Absolutte krav**

1. Valgt konsept skal sikre mot oversvømmelser gjennom følgende absolutte krav:
  - Maks tillatt utslipp til kommunalt ledningsnett: 100 l/s (kapittel 2.3).
  - Boligblokkene skal sikres mot oversvømmelse slik at største nominelle årlige sannsynlighet ikke overskrider 1/200 (kapittel 4.2).
  - Eiendommen skal ha kapasitet til å holde tilbake alt overvannet som overskrider kapasiteten til kommunalt ledningsnett ved en 50 års nedbørhendelse, inkludert en klimafaktor på 1,5 (kapittel 4.2).
2. Åpen overvannsløsning skal være risikofri gjennom følgende absolutte krav:
  - For åpne overvannsløsninger skal vannet aldri stå stille lenger enn 24 timer uten rensing eller utskifting for anlegg som kan være tilgjengelig for rekreasjon og lek (kapittel 4.1.1).
  - Åpne overvannsløsninger skal ikke være til særlig fare for barn (kapittel 4.2).
3. Valgt konsept skal være gjennomførbar gjennom følgende absolutte krav:
  - Løsningen skal være gjennomførbar, både praktisk og økonomisk sett (kapittel 7.1.3).
4. Valgt konsept skal sørge for tilstrekkelig kvalitet på overvannet gjennom følgende absolutte krav:
  - Valgt konsept skal føre til at overvannet klassifiseres med bedre egnethet enn «mindre egnet» (kapittel 4.1.2)

### **7.3.2 Funksjonskrav**

- 1) Valgt konsept skal sikre at vanningsbehovet dekkes, herunder magasinere nok vann til å dekke vanningsbehovet for tørkeperioden i 2018 (kapittel 2.5.1).
- 2) Valgt konsept skal være driftssikkert i minst 40 år (kapittel 7.1.3).

### **7.3.3 Miljøkrav**

- 1) Valgt konsept skal føre til en BGF på 0,8 (kapittel 4.3).

## 7.4 Sammenheng mellom behov, mål og krav

De utarbeidede behovene, målene og kravene har en klar sammenheng (Tabell 7.1). Det bør nevnes at det finnes ytterligere sammenhenger mellom dem, men at sammenhengene som er beskrevet i tabellen er de mest tydelige. Eksempelvis vil samfunnsmålet om at valgt konsept skal føre til utnyttelse av overvannet som ressurs også bidra til å dekke det normative behovet om en løsning som reduserer faren for flom.

I metodekapitlet om behovsanalyse (kapittel 6.2) ble det nevnt at det prosjektutløsende behovet skulle være førende for arbeidet med å lage tiltaksspesifikke mål (effektmål). Det prosjektutløsende behovet er derfor utelukket fra tabellen, da dette behovet er et overordnet behov som er gjeldende for alle effektmålene. I tillegg nevnes det at øvrige behov (normative og interessentbaserte) skal ivaretas ved å sette tiltaksspesifikke krav (her kun kalt «krav»). Det betyr at det skal være en nær sammenheng mellom det prosjektutløsende behovet og effektmålene, og en nær sammenheng mellom de øvrige behovene og kravene. I vår KVVU er det imidlertid også en nær sammenheng mellom de øvrige behovene og målene, som en kan se i tabellen.

Tabell 7.1 Sammenhengen mellom gjeldende behov, mål og krav.

Behov	Mål	Krav
<p><u>Normative behov:</u> Lokal overvannshåndtering med naturbaserte løsninger som ivaretar økosystemet.</p> <p><u>Interessebaserte behov:</u> Øke kunnskapen om utnyttelse av overvann som ressurs.</p>	<p><u>Samfunns mål:</u> Utnytte overvannet som en ressurs. Styrke biologisk mangfold.</p> <p><u>Effekt mål:</u> Magasinere mest mulig regnvann og overvann. Kun benytte blågrønne løsninger.</p>	<p><u>Miljøkrav:</u> BGF på minst 0,8.</p> <p><u>Funksjonskrav:</u> Sikre at vanningsbehovet dekkes, herunder vanningsbehovet for tørkeperioden i 2018.</p>
<p><u>Normative behov:</u> Trygge overvannsløsninger som forebygger skader og forhindrer helsemessig risiko. Tilfredsstillende kvalitet på overvannet.</p> <p><u>Interessentbaserte behov:</u> Et funksjonelt, grønt uteområde som vil bidra til rekreasjon.</p>	<p><u>Samfunns mål:</u> Bevaring av Glomma som resipient.</p>	<p><u>Absolutte krav:</u> Vannet skal aldri stå stille lenger enn 24 timer uten rensing eller utskifting. Åpne overvannsløsninger skal ikke være til særlig fare for barn. Valgt konsept skal føre til at overvannet klassifiseres med bedre egnethet enn «ikke egnet».</p>
<p><u>Normative behov:</u> Trygge overvannsløsninger som forebygger skader og forhindrer helsemessig risiko.</p> <p><u>Interessentbaserte behov:</u> Redusere mengden overvann som slippes til det kommunale ledningsnett, og som slippes fra overløp til resipient</p>	<p><u>Samfunns mål:</u> Valgt konsept skal redusere faren for flom.</p> <p><u>Effekt mål:</u> Valgt konsept skal fordrøye mest mulig overvann og minimere utslipp til kommunalt ledningsnett.</p>	<p>Absolutte krav: Boligblokkene skal sikres mot flom slik at største nominelle årlige sannsynlighet ikke overskrider 1/200.</p> <p>Eiendommen skal ha kapasitet til å holde tilbake alt overvannet som overskrider kapasiteten til kommunalt ledningsnett ved en 50 års nedbørhendelse, inkludert en klimafaktor på 1,5.</p> <p>Maks tillatt utslipp til kommunalt ledningsnett: 100 l/s.</p>
<p><u>Interessentbaserte behov:</u> En løsning som krever lite vedlikehold og har lang levetid.</p> <p>Overvannstiltak som ikke krever kostbart vedlikehold.</p>	<p><u>Samfunns mål:</u> Valgt konsept skal være lite ressurskrevende med tanke på drift og vedlikehold.</p> <p><u>Effekt mål:</u> Valgt konsept skal ha minimalt behov for vedlikehold.</p>	<p><u>Funksjonskrav:</u> Valgt konsept skal være driftssikker i minst 40 år.</p>
<p><u>Interessentbaserte behov:</u> En bærekraftig løsning som er økonomisk forsvarlig og gjennomførbar.</p>	<p><u>Samfunns mål:</u> Valgt konsept skal være økonomisk akseptabelt slik at det er realistisk å implementere i andre prosjekter.</p>	<p><u>Absolutt krav:</u> Løsningen skal være gjennomførbar, både praktisk og økonomisk sett.</p>

## 7.5 Evalueringskriterier

For å vurdere de ulike konseptene har vi utarbeidet kriterier som konseptene skal evalueres mot og motta score for i alternativanalysen. Vi har definert en poengskala fra 1 til 6 som skal benyttes ved tildeling av score. For å lettere gi objektiv score, har vi valgt å presisere hva score 1, 3 og 6 betyr. Dette forklares nærmere under hvert kriterium. Selv om kun score 1, 3 og 6 er presisert, kan konseptet motta score imellom.

Evalueringsskriteriene er utarbeidet med utgangspunkt i de behov, mål og krav som er satt. Fokuset har vært å utvikle evalueringsskriterier slik at de er relevante og representative for disse, samt at de ikke overlapper hverandre eller er for komplekse. Det har resultert i følgende evalueringsskriterier:

### **Flomrisiko og magasineringskapasitet**

Flomrisiko og magasineringskapasitet handler om konseptets evne til å fordrøye overvann ved ekstremhendelser og hvor mye av overvannet som vil slippes til det kommunale ledningsnett ved en ekstremhendelse. Kriteriet handler også om hvor mye overvann konseptet kan magasinere, og dermed i hvor stor grad konseptet bidrar til lagring og utnyttelse av overvann. Et naturlig spørsmål vil eksempelvis være om konseptet dekker vanningsbehovet for 2018.

En score på 1 vil bety at konseptet ikke er flomsikkert og at vanningsbehovet ikke blir dekket. En score på 3 vil bety at konseptet er flomsikkert, men at vanningsbehovet ikke blir dekket. En score på 6 vil bety at konseptet er flomsikkert og at vanningsbehovet dekkes. Årsaken til denne inndelingen er at det anses som viktigere med et konsept som er flomsikkert, enn et konsept som kan ha stor magasineringskapasitet.

### **Innvirkning på nærmiljøet**

Konseptets bidrag til å styrke biologisk mangfold i tiltaksområdet, herunder tiltaksområdets blågrønne faktor ved implementering av konseptet. Dette kriteriet vil også innebære konseptenes påvirkning på beboerne og muligheten for rekreasjon.

For dette kriteriet vil nullalternativet benyttes som referanse ved tildeling av score. En score på 1 vil være tilstanden ved nullalternativet. En score på 3 vil bety en forbedring av BGF, samt at løsningen gir mulighet for noe rekreasjon, og har en viss positiv påvirkning på beboerne. En score

på 6 vil innebære en betydelig forbedring av BGF sammenliknet med nullalternativet, samt at løsningen gir mulighet for rekreasjon og har en positiv påvirkning på beboerne.

## **Overvannets kvalitet**

Overvannets kvalitet er en viktig forutsetning for at overvannet skal kunne utnyttes til vanning og rekreasjon. Det er også viktig med tanke på beskyttelse av omkringliggende resipienter. Dette kriteriet innebærer derfor konseptet renseeffekt og hvor utsatt overvannet vil være for forurensning.

For dette konseptet vil en score på 1 bety at konseptet gir overvannet egnethetsklasse «ikke egnet». En score på 3 innebærer at konseptet gir overvannet egnethetsklasse «egnet» store deler av året. En score på 6 innebærer at konseptet gir overvannet egnethetsklasse «godt egnet» hele året.

## **Kostnad**

Kostnadene knyttet til konseptet for de neste 40 årene. Dette inkluderer investeringskostnad og neddiskontert vedlikeholds- og driftskostnad.

For dette kriteriet vil tildeling av score skje med utgangspunkt i de kostnadsdataene som foreligger. Det vil si at konseptet med høyest kostnad får en score på 1, og at konseptet med lavest kostnad får en score på 6. Scoringen imellom skjer ved bruk av interpolering.

## **Vedlikeholdsbehov**

Konseptets behov for drift og vedlikehold, herunder konseptets vanningsbehov og levetid.

For dette konseptet vil en score på 1 innebære at konseptet har behov for vedlikehold opp til en gang i måneden og jevnlig vanning, og at levetiden er under 10 år. En score på 3 innebærer at konseptet har behov for vedlikehold opp til fire ganger i året i tillegg til et visst vanningsbehov, og at levetiden er 20 til 30 år. En score på 6 vil si at konseptet kun trenger vedlikehold annethvert år i tillegg til å ha et minimalt behov for vanning, og at levetiden er på over 40 år.

### 7.5.1 Vekting av evalueringskriteriene

Vektingen av evalueringskriteriene (Tabell 7.2) er utført med utgangspunkt i det prosjektutløsende behovet, de normative behovene, samt hvem som er primær-, sekundær-, og tertiærinteressenter. Det vil si at kriterier som er viktige for primærinteressenten er vektet høyere enn kriterier som er viktige for sekundær- og tertiærinteressenten. Kriteriene er samtidig vektet med tanke på de samfunnsmålene som er satt.

Tabell 7.2 Vekting av evalueringskriteriene

Evalueringskriterium	Vekting i prosent
Flomrisiko og magasineringskapasitet	30
Innvirkning på nærmiljøet	25
Overvannets kvalitet	20
Kostnad	15
Vedlikeholdsbehov	10

«Flomrisiko og magasineringskapasitet» har høyest vekting med 30 prosent. Dette kriteriet er viktig med tanke på det prosjektutløsende behovet om at løsningen skal håndtere konsekvenser som økt nedbørintensitet og vannmangel. Kriteriet er også viktig for Fredrikstad kommune med sitt behov om å redusere mengden overvann som slippes til det kommunale ledningsnett og som slippes fra overløp til resipient. En løsning som har stor kapasitet til å håndtere overvann ved ekstremhendelser har lav flomrisiko og vil bidra til lavt utslipp til kommunalt ledningsnett. Kriteriet vektet også høyt fordi det inngår i det normative behovet om at valgt konsept skal forebygge skader. I tillegg er det viktig med tanke på samfunnsmålene om at valgt konsept skal redusere faren for flom og bidra til utnyttelse av overvann.

«Innvirkning på nærmiljøet» har nest høyest vekting med 25 prosent. Kriteriet inngår i to av de normative behovene som omhandler behov for lokal overvannshåndtering med naturbaserte løsninger og behov for løsninger som ivaretar økosystemet, samt i beboerne sitt behov om et funksjonelt, grønt uteområde som vil bidra til rekreasjon. I tillegg er kriteriet sentralt i samfunnsmålene om at valgt konsept skal styrke det biologiske mangfoldet.

«Overvannets kvalitet» vektes med 20 prosent. Kriteriet inngår i det normative behovet om at overvann som skal benyttes til vanning og rekreasjon har tilfredsstillende kvalitet. Kriteriet er også viktig med tanke på samfunns målet om en løsning som bidrar til god bevaring av omkringliggende resipienter – en løsning som bidrar til god renseeffekt på overvannet vil også bidra til bevaring av omkringliggende resipienter. Fordi det tas hensyn til overvannets kvalitet gjennom det absolutte kravet om at valgt konsept skal føre til at overvannet klassifiseres med bedre egnethet enn «ikke egnet» (kapittel 7.3.1), har vi imidlertid ikke sett det som nødvendig å vekte kriteriet høyere enn 20 prosent.

«Kostnad» er vektet relativt lavt med 15 prosent. Hovedårsaken til dette er at konseptets kostnad aldri vil kunne være til skade for noe eller noen. Kriteriet er likevel sentralt i samfunns målet om at valgt konsept skal være økonomisk akseptabelt slik at det er realistisk å implementere i andre prosjekter. I tillegg er det et viktig kriterium for en av KVU-ens sekundærinteressenter, utbygger, som ønsker en bærekraftig løsning som er økonomisk forsvarlig. Konseptets kostnad vil også være viktig for KVU-ens tertiærinteressent, de fremtidige beboerne, på grunn av deres behov for at løsningen ikke skal kreve kostbart vedlikehold. Kostnad vil derfor vektes slik at investeringskostnaden teller 55 prosent og neddiskontert vedlikeholdskostnad teller 45 prosent ved scoregivning, siden førstnevnte er viktigst for en av sekundærinteressentene, og sistnevnte er viktigst for tertiærinteressenten.

«Vedlikeholdsbehov» vektes lavest med 10 prosent. Årsaken til dette er først og fremst at en lav score på dette kriteriet ikke vil være til skade for noe eller noen. Kriteriet inkluderes likevel, da det er viktig for primærinteressenten vår, Fredrikstad kommune, som ønsker en løsning som krever lite vedlikehold og har lang levetid. I tillegg inngår det i samfunns målet om at valgt løsning skal være lite ressurskrevende med tanke på drift og vedlikehold.

## 8 FORUTSETNINGER, INNGANGSDATA OG BEREGNINGER

Dette kapitlet inngår i del 4 – utførelse av konseptvalgutredning, og presenterer de forutsetninger som er satt for videre beregninger og analyser, samt inngangsdata og utførte beregninger som skal benyttes i alternativanalysen som følger.

### 8.1 Forutsetninger

Følgende forutsetninger legges til grunn for videre beregninger og analyser:

- 1) All nedbør i eksempelområdet faller som snø i månedene desember, januar og februar (kapittel 2.5). I disse månedene er nedbøren derfor ikke tilgjengelig for oppsamling i overvannstiltakene som legges fram i denne KVVU-en.
- 2) Vekstmånedene i Norge er fra mai til august (kapittel 4.1.2). Vi antar derfor at det kun er behov for vanning i disse månedene.
- 3) Det har blitt antatt at tomten i byggetrinn 2 vil bestå av 40 prosent grøntareal, 50 prosent tak og 10 prosent asfaltert areal (kapittel 2.2), men på grunn av stor usikkerhet rundt disse tallene, beregnes BGF med utgangspunkt i byggetrinn 1.
- 4) Det tas hensyn til infiltrasjon, evapotranspirasjon og gropmagasineringsgjennom avrenningskoeffisienten.
- 5) Overvannstiltakene vil bli vurdert over en periode på 40 år (kapittel 5.5).
- 6) Terrenget i eksempelområdet vil utformes slik at alt regnvann fra eksempelområdet føres til tiltaksområdet (kapittel 2.2). Terrenget vil helle nedover mot midten av tiltaksområdet.
  - a) Alt regnvann fra takene til blokk A og B vil ledes til tiltaksområdet.
  - b) Regnvannet i eksempelområdet vil renne uten hindringer til tiltaksområdet.
- 7) Det er tilstrekkelig med helning vekk fra boligblokkene slik at de er sikret mot en 200 års nedbørshendelse.
- 8) Det rensede gråvannet fra våtmarksanlegget er av så liten størrelse at det neglisjeres ved dimensjonering av overvannstiltak.



## 8.2 Avrenningskoeffisienten til nedbørsfeltet

Ifølge antakelsene for utbyggingen (kapittel 2.2) består nedbørsfeltet (eksempelområdet) hovedsakelig av tre overflatetyper; tak, grøntareal/plen og asfalterte veier/plasser. Tak har typisk høy avrenningsfaktor, og ifølge en rapport utarbeidet av Miljødirektoratet og COWI (2015) ligger denne på rundt 0,9.

Grøntareal/plen vil vanligvis ha en mye lavere avrenningsfaktor. Ifølge Miljødirektoratet og COWI sin rapport ligger avrenningskoeffisienten for permeable arealer i små felt på mellom 0,0 og 0,3, avhengig av fall og overflate. Rapporten legger fram at for dyrket mark og parkområder ligger den på mellom 0,2 og 0,4 for et gjentaksintervall på 10 år. Vi antar at overflaten er semipermeabel på grunn av leirholdig grunn (kapittel 2.4), og at det er en viss helning i terrenget, og konkluderer med en avrenningskoeffisient på 0,2 for grøntarealet.

For asfalterte veier og plasser anslår Miljødirektoratet og COWI sin rapport en avrenningskoeffisient på mellom 0,7 og 0,9. Vi benytter 0,8 i videre beregninger.

De overnevnte avrenningskoeffisientene benyttes i formel 5.1 for å beregne midlere avrenningskoeffisient (Tabell 8.1).

Tabell 8.1 Midlere avrenningskoeffisient for eksempelområdet.

Type overflate	Areal ( $A_n$ )	Avrenningskoeffisient ( $\varphi_n$ )	Midlere avrenningskoeffisient ( $\varphi_{midlere}$ )
Tak	11 170 m <sup>2</sup>	0,9	
Grøntareal	15 890 m <sup>2</sup>	0,2	<b>0,5</b>
Asfaltert areal	2 440 m <sup>2</sup>	0,8	

Det bør nevnes at midlere avrenningskoeffisient vil kunne variere noe mellom de ulike konseptene som legges fram videre, alt etter hvilke overvanntiltak konseptene består av. Eksempelvis vil et konsept som innebærer grønne tak på blokk A og B gjøre at takarealet presentert i tabellen over reduseres med 940 kvadratmeter, og at grøntarealet øker med 940 kvadratmeter. Vi har imidlertid undersøkt dette og funnet at denne endringen ikke vil virke inn på midlere avrenningskoeffisient,

og vi velger derfor å bruke den midlere avrenningskoeffisient presentert over for alle videre beregninger.

Siden avrenningskoeffisienten til et område avhenger av mange faktorer (overflatens permeabilitet, fallforhold, nedbørintensitet, nedbørsvarighet, med mer), bør det i tillegg understrekes at det er knyttet stor usikkerhet til beregnet midlere avrenningskoeffisient. For å gjøre et sikrere estimat bør de lokale forholdene vurderes nøye. Dette lar seg imidlertid ikke gjøre, både på grunn av tidsbegrensning, men også på grunn av at flere forhold i eksempelområdet per nå ikke er bestemt (terrengutforming, utforming av byggetrinn 2). Vårt estimat er likevel nyttig, da vi har gjort en konservativ antakelse og overestimert avrenningskoeffisienten ved å anta at nesten 50 prosent av eksempelområdet består av lite permeable overflater. Ved å gjøre en slik antakelse, blir total overvannsmengde i eksempelområdet mest sannsynlig overestimert ved bruk av regnenvelopmetoden (kapittel 8.4). Tiltakene som legges fram senere, dimensjoneres ut ifra denne overestimerte overvannsmengden, noe som vil føre til at eksempelområdet og nedstrøms områder med stor sannsynlighet sikres mot fremtidige nedbørshendelser.

### **8.3 Konsentrasjonstiden til nedbørsfeltet**

Det er nødvendig å estimere konsentrasjonstiden til nedbørsfeltet for å kunne beregne maksimal vannføring gjennom den rasjonale metode. Maksimal vannføring benyttes for å se hvor mye vann som vil renne fra eksempelområdet hvis det ikke er etablert noen overvannstiltak som fordrøyer eller magasinerer overvannet, altså for nullalternativet som er en videreføring av dagens situasjon.

Terrengmodellen vi har mottatt fra arkitekten er ikke ferdigstilt. Vi har derfor valgt å se bort fra modellen og heller benytte nåværende terrenghøyder ved beregning av konsentrasjonstid for nullalternativet. Terrenghøydene benyttes for å finne midlere fall i feltet,  $S_0$ , som er en av inngangsdataene som benyttes for å beregne konsentrasjonstid. Det vil dermed være knyttet usikkerhet til beregnet konsentrasjonstid.

Beregnet konsentrasjonstid vil også være usikker fordi man må gjøre antakelser om overflatetype ved valg av Mannings tall  $n$  og koeffisientene  $c_r$  og  $r$ . Verdiene er hentet fra Chin (2013, s. 497 og 500) og er valgt med utgangspunkt i antakelsene gjort om eksempelområdets overflatetyper som presenteres i kapitlet om antakelser for utbyggingen (kapittel 2.2). Inngangsdataene for beregning av konsentrasjonstid (Tabell 8.2), benyttes i de fire likningene fra kapitlet «Likninger for

beregning av konsentrasjonstid» (kapittel 5.2.1) for å finne et estimat for konsentrasjonstiden til nedbørsfeltet (Tabell 8.3).

Tabell 8.2 Inngangsdata for beregning av konsentrasjonstid.

Inngangsdata	Verdi
$L$	200 m
$S_0$	0,04
$i_e^*$	33 mm/time
$n$	0,15
$c_r$	0,06
$r$	0,2

\*Tall hentet fra IVF-kurven til Leie i Fredrikstad for varighet lik 45 minutter (Kilde: klimaservicesenter.no)

Tabell 8.3 Beregning av konsentrasjonstid

Likning	Konsentrasjonstid (min)
Kinematisk bølge-likning	35
Kirpichs likning	8
Izzards likning	Ugyldig da forutsetningen ikke er oppfylt
Kerbys likning	17
Gjennomsnitt	$\approx 20$

Som en kan se varierer estimatene for konsentrasjonstiden mye. Kerbys likning er i tillegg noe usikker, da eksempelområdet ikke svarer helt til de forutsetningene som er satt for bruk av likningen. Resultater fra Kerbys likning ligger imidlertid innenfor intervallet mellom kinematisk bølge-likning og Kirpichs likning, så vi velger å ta den med i videre vurderinger.

Beregnet konsentrasjonstid varierer mellom 8, 17 og 35 minutter. Kinematisk bølge-likning avviker i størst grad fra de andre tallene, men det er kun denne likningen som tar hensyn til nedbørintensiteten, så vi velger derfor å ta den i betraktning. Ved å beregne gjennomsnittet av de tre resultatene får vi en konsentrasjonstid på omtrent 20 minutter. Selv om dette er et grovt estimat, velger vi å anse det som konsentrasjonstiden til feltet.

## 8.4 Total overvannsmengde i nedbørsfeltet

For å finne total overvannsmengde i nedbørsfeltet vårt, har vi tatt utgangspunkt i IVF-kurven for Leie i Fredrikstad kommune (kapittel 2.5). En av retningslinjene som er lagt fram i Fredrikstad kommune sin hovedplan er at eiendommen skal ha kapasitet til å fordrøye nedbør tilsvarende regn av ti minutters varighet med et gjentakintervall på 50 år med klimafaktor på 1,5. Ved bruk av regnenvelopmetoden kommer det imidlertid fram at en slik nedbørshendelse ikke vil gi det største fordrøyningsbehovet i eksempelområdet (Tabell 8.4). Ved en regnvarighet på 10 minutter, vil overvannsmengden som må håndteres være 290 kubikkmeter, mens ved en regnvarighet på 45 minutter, vil denne mengden være 514 kubikkmeter, forutsatt at maksimal tillatt videreført vannmengde er 100 l/s (kapittel 2.3).

Vi ønsker å finne tiltak som sikrer at maksimal overvannsmengde blir håndtert, slik at behovene om å redusere faren for flom og å redusere mengden overvann som slippes til det kommunale ledningsnett dekket i størst mulig grad (kapittel 7.1). Av den grunn tar vi utgangspunkt i regnenvelopmetoden for beregning av overvannsmengde, og følger det absolutte kravet om at eiendommen skal ha kapasitet til å fordrøye maksimal overvannsmengde ved en 50 års nedbørshendelse med klimafaktor lik 1,5 i stedet (kapittel 7.3.1).

Tabell 8.4 Resultater for eksempelområdet ved bruk av regnenvelopmetoden for en nedbørshendelse med et gjentakintervall på 50 år. Uthevet rad viser den største overvannsmengden ( $V_{nedv}$ ). Parameterne i tabellen er nærmere forklart i kapittel 5.4.

$t_r$ [min]	$i_{t_r}$ [l/s·ha]	K	A [ha]	$\phi$	$V_{inn}$ [m <sup>3</sup> ]	$Q_{midl}$ [l/s]	$V_{ut}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{fordrøyn}$ [m <sup>3</sup> ]
10	242,5				331		41	290
20	176,0				481		83	398
-30	138,2	1,5	3	0,5	567	70	124	443
<b>45</b>	<b>113,8</b>				<b>700</b>		<b>186</b>	<b>514</b>
60	92,3				757		248	509

Når det gjelder det absolutte kravet om at boligblokkene skal sikres mot oversvømmelse slik at største nominelle årlige sannsynlighet ikke overskrider 1/200, viser regnenvelopmetoden at en 200 års nedbørshendelse vil gi en lavere maksimal overvannsmengde (384 kubikkmeter) enn en 50 års nedbørshendelse med klimafaktor på 1,5 (514 kubikkmeter). Ved å anta tilstrekkelig helning vekk

fra blokkene, vil blokkene dermed også være sikret mot oversvømmelser ved en 200 års nedbørshendelse ved å ta hensyn til 50 års nedbørshendelsen med klimafaktor lik 1,5.

## 8.5 Vanningsbehov

Vi ønsker å dekke vanningsbehovet til parsellhagene og veksthuset. Det er gjort en grov kartlegging av vanningsbehovet etter ferdig utbygging, da det ikke lar seg gjøre å vurdere alle variablene som inngår ved beregning av vanningsbehov (kapittel 4.1.2).

Fra et kompendium som er utviklet ved NMBU kommer det frem at det er et stort sprik i hvor mye vanning ulike vekster trenger (Lindholm og Bjerkholt, 2018). Vi har valgt å ta utgangspunkt i rotvekster som har et vanningsbehov på 10 til 20 millimeter fordelt på to omganger med 3 til 4 dagers mellomrom. Ut fra dette har vi kommet frem til at parsellhagene vil ha et vanningsbehov på 9 kubikkmeter per uke, og at veksthuset vil ha et vanningsbehov på 2 kubikkmeter per uke (Tabell 8.5).

*Tabell 8.5 Vannbehov per uke, sett bort fra nedbør.*

	<b>Areal</b>	<b>Behov for vanning</b>	<b>Vanningsbehov per uke</b>
Parsellhager	570 m <sup>2</sup>	10-20 mm	9 m <sup>3</sup>
Veksthus	140 m <sup>2</sup>	10-20 mm	2 m <sup>3</sup>
Totalt vanningsbehov			11 m <sup>3</sup>

## Nedbør og magasineringspotensial for 2018

Et av delmålene for oppgaven er å undersøke mulighetene for å dekke vanningsbehovet ved tørkeår. Vi har valgt å se på 2018 som et interessant år med tanke på vanningsbehov, da det var svært lite nedbør dette året sammenliknet med normalnedbøren i Fredrikstad kommune (kapittel 2.5.1). Ut fra beregninger ser man at vanningsbehovet i eksempelområdet ville vært betraktelig høyere i 2018 enn i et år med normalnedbør. I 2018 var vanningsbehovet på mellom 24 til 35 kubikkmeter vann per måned i månedene mai, juni, juli og august (Tabell 8.6). I et normalår vil vanningsbehovet være på mellom 9 til 11 kubikkmeter per måned, unntatt august som vil gi et vannoverskudd på 3 kubikkmeter (Tabell 8.7).

Tabell 8.6 Månedlig vannbehov i 2018.

	<b>Nedbør 2018</b>	<b>Nedbør i parsellhagene 2018</b>	<b>Vanningsbehov per mnd. 2018</b>
Mai	8,3 mm	5 m <sup>3</sup>	35 m <sup>3</sup>
Juni	19,2 mm	11 m <sup>3</sup>	29 m <sup>3</sup>
Juli	27,8 mm	16 m <sup>3</sup>	24 m <sup>3</sup>
August	14,8 mm	8 m <sup>3</sup>	31 m <sup>3</sup>

Tabell 8.7 Vanningsbehov per måned ved normalnedbør.

	<b>Normalnedbør</b>	<b>Nedbør i parsellhagene</b>	<b>Vanningsbehov per mnd.</b>
Mai	50,0 mm	28 m <sup>3</sup>	11 m <sup>3</sup>
Juni	55,0 mm	31 m <sup>3</sup>	9 m <sup>3</sup>
Juli	55,0 mm	31 m <sup>3</sup>	9 m <sup>3</sup>
August	75,0 mm	43 m <sup>3</sup>	-3 m <sup>3</sup>

Vi ønsker å gjøre en konservativ beregning og beregner derfor vanningsbehovet med utgangspunkt i måneden med minst nedbør og dermed måneden med størst vanningsbehov fra 2018. Dette gir et vanningsbehov på 35 kubikkmeter per måned. Vi har antatt at det kun er i vekstmånedene det vil være behov for vanning, altså i mai, juni, juli og august. Dette vil føre til et totalt vanningsbehov på 140 kubikkmeter i løpet de fire månedene.

I tillegg er det utført beregninger for å se hvor mye nedbør det hadde vært mulig å magasinere i månedene før vekstmånedene, altså mars og april. Det viser seg at man i 2018 hadde potensialet til å lagre mellom 137 til 145 kubikkmeter per måned (Tabell 8.8), noe som viser at det vil være mulig å dekke vanningsbehovet som oppstod. Ved normalnedbøren vil nedbørsvolumet i eksempelområdet være mellom 354 til 455 kubikkmeter per måned (Tabell 8.8), noe som er betraktelig mer enn vanningsbehovet på 140 kubikkmeter. Selv om det er tvilsomt at man klarer å

samle opp og utnytte alt regnet som kommer er dette en indikator på at vanningsbehovet ved et normalår enkelt kan dekkes, om man har løsninger som samler opp og lagrer deler av nedbøren.

*Tabell 8.8 Nedbørsvolum for 2018-nedbøren og for normalnedbør for eksempelområdet.*

	<b>Nedbør 2018</b>	<b>Normalnedbør</b>	<b>Nedbørsvolum i eksempelområdet, 2018</b>	<b>Nedbørsvolum i eksempelområdet, normalnedbør</b>
Mars	14,4 mm	45,0 mm	145 m <sup>3</sup>	455 m <sup>3</sup>
April	13,6 mm	35,0 mm	137 m <sup>3</sup>	354 m <sup>3</sup>

## 9 UTFØRELSE AV ALTERNATIVANALYSEN

Dette kapitlet inngår i del 4 – utførelse av konseptvalgutredning, og her utføres alternativanalysen. Først blir strategien for utvikling av konsepter presentert, før de ulike konseptene så legges fram. Videre utføres en grov utsilingsprosess for å fjerne de konseptforslag som ikke oppfyller absolutte krav. Deretter blir de gjenværende konseptene analysert og evaluert gjennom en multikriterieanalyse. Evalueringen resulterer i en rangering av konseptene, og rangeringens robusthet vurderes til slutt gjennom en følsomhetsanalyse.

### 9.1 Strategi for utvikling av konsepter

Ved utvikling av konsepter i en KVU er det viktig å sikre utelukkende konsepter. Konseptene skal ikke overlape hverandre, selv om de er ment å løse samme problem. For denne KVU-en vil dette bli en utfordring, da det er begrenset hvor forskjellige løsninger for overvannshåndtering man kan utvikle.

For å best møte betingelsen om utelukkende konsepter, uten at dette ødelegger for intensjonen om å finne det konseptet som er mest optimalt, har vi utarbeidet en utviklingsstrategi. Denne går ut på at vi starter med nullalternativet, som representerer en forsvarlig videreføring av dagens situasjon, for så å tillegge nullalternativet flere og flere tiltak for hvert nye konsept. Det betyr at konsept 1 vil være minst kompleks, mens det siste konseptet, konsept 4, vil være mest kompleks (Tabell 9.1).

Ved å benytte denne strategien kan en undersøke om et lite sammensatt konsept er bedre enn et svært sammensatt konsept med tanke på de kriteriene som er satt, eller om det mest optimale konseptet finnes et sted imellom.

Konseptene skal kun detaljeres så langt det er nødvendig for å kunne vurdere prestasjonsevne.



Tabell 9.1 Oversikt over de ulike konseptene med tilhørende tiltak.

Konsept	Tiltak
Nullalternativ	En videreføring av dagens situasjon; ingen overvannstiltak, ser kun på situasjonen slik den er etter utbyggingen.
Konsept 1	Magasineringsstank under bakken
Konsept 2	Regnhøsting på bakken Overvannsdam
Konsept 3	Overvannsdam Grønne tak Regnbed
Konsept 4	Overvannsdam Grønne tak Regnbed Levende vegger

### 9.1.1 Felles faktorer for konseptene

Vegetasjon, sikre flomveier og levetiden til tiltakene anses som like for alle konseptene. For enkelthetsskyld har vi derfor valgt å kommentere disse faktorene felles for alle konseptene.

#### Vegetasjon

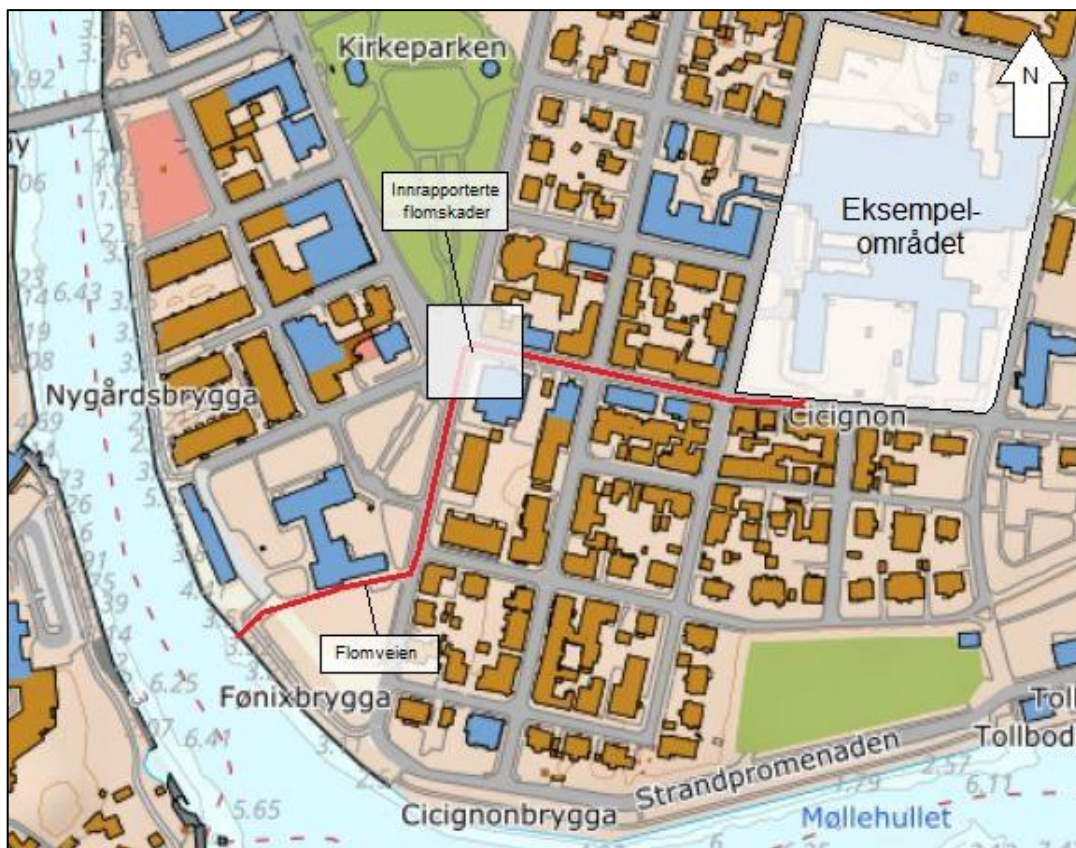
For alle konseptene skal vegetasjon inkluderes som tiltak. For enkelthetsskyld har vi besluttet at samme type vegetasjon skal inkluderes i alle konseptene, noe som medfører at vegetasjon som tiltak ikke vil påvirke resultatene ved evaluering av konseptene.

#### Sikre flomveier

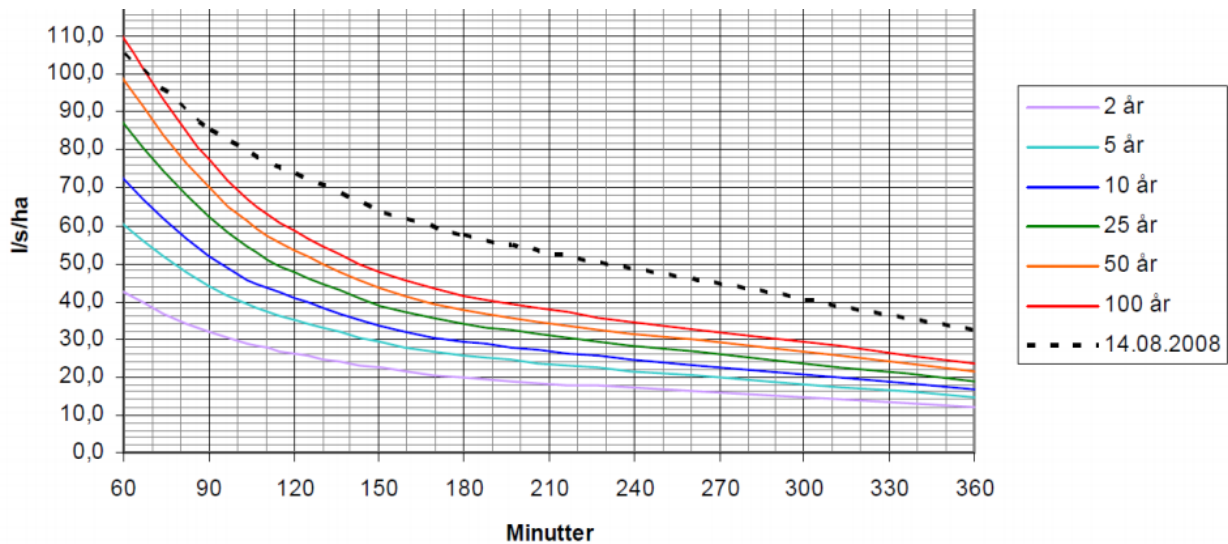
For dette studiet antar vi at det vil være tilstrekkelig med en erfaringsrelatert og kartbasert kartlegging av sikre flomveier. Ifølge forutsetningene (kapittel 8.1) føres alt vann fra eksempelområdet til midten av tiltaksområdet. Med utgangspunkt i konseptforslagene (Tabell 9.1), kan det dermed antas at overvannet vil samles i den eventuelle overvannsdammen eller gå til et sluk og ned til en magasineringsstank under bakken. Ved overskridelse av kapasiteten til kommunalt

ledningsnett og magasineringsevnen til tiltakene, antar vi at overvannet vil følge flomveien ned til Glomma som vist ved beskrivelse av eksempelområdets nedbørsfelt (kapittel 2.3). For at vannet skal ledes fra tiltaksområdet og fram til veien på en sikker måte, kan det være nødvendig å anlegge en grøft fra den eventuelle overvannsdammen/sluket og fram til veien.

Fra samtaler med kommunen har det kommet frem at det er meldt om to flomskader i Cicignon-området 13.07.2008 og 14.08.2008 (O. P. Skallebakke, personlig kommunikasjon, 15.04.2019). Begge hendelsene inntraff i Ferjestedsveien nede ved Fredrikstad bibliotek (Figur 9.1). For hendelsen innrapportert 14.08.2008 var nedbørhendelsen større enn en 200 års nedbørshendelse (Figur 9.2). Dette området ligger ved flomveien som overvannet fra eksempelområdet vil følge. Om kommunen vil sikre seg for flomhendelser i fremtiden burde nye flomveier med større kapasitet etableres. Eventuelt bør det legges til rette for at overvannet fra eksempelområdet følger veien i østlig retning og ned til Glomma for å avlaste den eksisterende flomveien og unngå slike hendelser som i 2008.



Figur 9.1 Området hvor flomskader har blitt innrapportert, og flomveien markert i rødt. (Kart hentet fra norgeskart.no.)



Figur 9.2 Nedbørhendelse for en av de innrapporterte flomhendelsene (kilde: Fredrikstad kommune).

## Levetiden til konseptene

Som nevnt i kapitlet om beregning av kostnad (kapittel 5.5), antar vi at alle konseptene vil ha en levetid på 40 år ved tilstrekkelig oppfølging og vedlikehold. Levetid som faktor faller derfor bort fra kriteriet «vedlikeholdsbehov» i alternativanalysen siden den vil være lik for alle konseptene.

## 9.2 Beskrivelse av konseptforslagene

Under følger en mer detaljert beskrivelse av hvert konsept. Momenter som presenteres er følgende:

- Utforming av konseptet
- Konseptets BGF
- Kostnader knyttet til konseptet
- Om konseptet oppfyller de absolutte kravene som foreligger (Tabell 9.2)

Som siste punkt i listen over viser, er det gjort en vurdering av hvert konsept om hvorvidt det vil oppfylle de absolutte kravene eller ikke. Denne informasjonen brukes videre i grovutsilingen av konseptene.

Tabell 9.2 De absolutte kravene inndelt i fire hovedpunkter.

Hovedpunkter	Absolutte krav som inngår i hovedpunkt
1. Sikre mot oversvømmelser	<p>Maks tillatt utslipp til kommunalt ledningsnett: 100 l/s.</p> <p>Boligblokkene skal sikres mot oversvømmelse slik at største nominelle årlige sannsynlighet ikke overskrider 1/200.</p> <p>Eiendommen skal ha kapasitet til å holde tilbake alt overvannet som overskrider kapasiteten til kommunalt ledningsnett ved en 50 års nedbørhendelse, inkludert en klimafaktor på 1,5.</p>
2. Åpen overvannsløsning er risikofri	<p>For åpne overvannsløsninger skal vannet aldri stå stille lenger enn 24 timer uten rensing eller utskifting for anlegg som kan være tilgjengelig for rekreasjon og lek.</p> <p>Åpne overvannsløsninger skal ikke være til særlig fare for barn.</p>
3. Gjennomførbar	<p>Løsningen skal være gjennomførbar, både praktisk og økonomisk sett.</p>
4. Tilstrekkelig kvalitet på overvannet	<p>Valgt konsept skal føre til at overvannet klassifiseres med bedre egnethet enn «mindre egnet».</p>

## 9.2.1 Nullalternativet

### Konseptets utforming og BGF

Nullalternativet vil være situasjonen etter utbyggingen, uten noen overvannstiltak, blågrønne løsninger eller muligheter for gjenbruk av overvannet (Figur 9.3). Med andre ord en videreføring av dagens overvannssituasjon. Bakken vil imidlertid bestå av vegetasjon og grøntarealer som vil fordrøye overvannet til en viss grad. Nullalternativet vil dermed ha en BGF på 0,84.



Figur 9.3 Utforming av nullalternativet med tegnforklaring. (Illustrasjon: Julie Næss Mikalsen)

### Kostnader knyttet til nullalternativet

Siden nullalternativet vil være tilstanden til eksempelområdet rett etter utbyggingen, uten overvannstiltak, vil det kun være nødvendig med vedlikehold av plen og annen vegetasjon. Dette inngår, som tidligere nevnt, i alle konseptene og tas derfor ikke med i videre vurderinger. Det betyr også at det ikke er knyttet noen kostnader til nullalternativet. Kostnad (nåverdi) er altså lik 0 NOK.

## **Oppfyller nullalternativet de absolutte kravene?**

### *Hovedpunkt 1 – Sikrer mot oversvømmelser*

Ettersom nullalternativet ikke inkluderer noen overvannstiltak vil lite overvann fordrøyes og magasineres på tomta. Vi beregner utløpet fra feltet ved bruk av den rasjonale metode og beregnet konsentrasjonstid. Ifølge beregningene vil nullalternativet gi oss et maksimalt utslipp på kommunens ledningsnett på 315 l/s, noe som er over tre ganger mer enn hva den kommunale ledningen har kapasitet til å håndtere.

Området vil ikke være sikret for en 50 års nedbørshendelse inkludert klimafaktor på 1,5, og vil overskride kapasiteten til kommunalt ledningsnett.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at nullalternativet ikke oppfyller hovedpunkt 1 om å sikre mot oversvømmelser.

### *Hovedpunkt 2 – Åpen overvannsløsning er risikofri*

Dette punktet utgår da nullalternativet ikke inkluderer åpne overvannsløsninger.

### *Hovedpunkt 3 – Tilstrekkelig kvalitet på overvannet*

Siden nullalternativet ikke legger opp til magasinering og utnyttelse av overvann, spiller det ingen rolle om overvannets kvalitet tilfredsstiller kravene til vann som skal brukes til vanning og rekreasjon. Overvannets kvalitet er imidlertid en viktig forutsetning for god beskyttelse av omkringliggende resipienter (Glomma).

Siden eksempelområdet har slakt fall i alle retninger, vil ikke tilrenning av forurenset overvann fra vei eller industriområder forekomme. Overvann fra tak kan inneholde fekal smitte, men vil oppnå en viss renseeffekt ved å renne gjennom gress og vegetasjon på vei til utløpet. På bakgrunn av dette er det rimelig å anta at overvannets kvalitet ved utløpet av eksempelområdet er tilstrekkelig god for å sikre beskyttelse av Glomma, som er nærmeste resipient. Det bør imidlertid nevnes at flomveien til Glomma innebærer asfalterte, trafikkerte veier, som mest sannsynlig vil tilføre overvannet tungmetaller og andre forurensningsstoffer som vil ha negativ innvirkning på resipienten. Vi regner derfor med at overvannet i dette tilfellet kan klassifiseres et sted mellom «ikke egnet» og «mindre egnet».

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at nullalternativet ikke oppfyller hovedpunkt 3, om tilstrekkelig kvalitet på overvannet.

### *Hovedpunkt 4 - Gjennomførbar*

Siden det ikke er knyttet kostnader til nullalternativet, anses konseptet som økonomisk sett gjennomførbart, og siden eksempelområdet har vært utformet uten LOD-tiltak i over 60 år er det også rimelig å anta at nullalternativet er praktisk sett gjennomførbart.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at nullalternativet oppfyller hovedpunkt 4, om hvorvidt konseptet er gjennomførbart eller ikke.

### **Oppsummering av nullalternativet**

Nullalternativets BGF er 0,84, og kostnaden er 0 NOK siden konseptet ikke inkluderer noen tiltak. Nullalternativet vil ikke oppfylle alle absolutte krav (Tabell 9.3).

*Tabell 9.3 Oppsummerende beskrivelse av nullalternativet.*

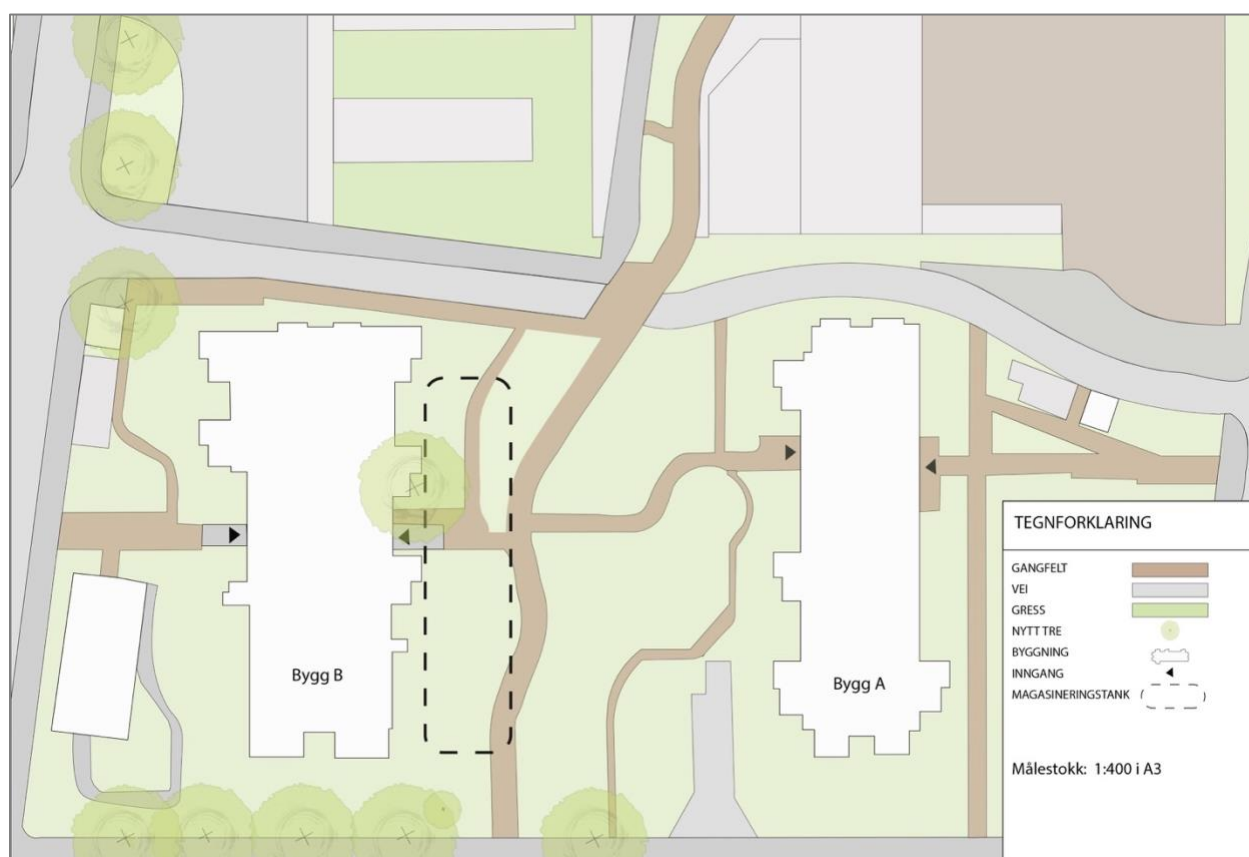
<b>Tiltak</b>	<b>Utforming</b>
Ingen	-
<b>Faktor</b>	<b>Verdi</b>
Kostnad	0 NOK
BGF	0,84
<b>Absolutt krav</b>	<b>Oppfyller krav (Ja/nei)</b>
Sikrer mot oversvømmelser	Nei
Åpen overvannsløsning er risikofri	-
Tilstrekkelig kvalitet på overvannet	Nei
Gjennomførbar	Ja

## 9.2.2 Konsept 1

### Konseptets utforming og BGF

Konsept 1 inkluderer etablering av magasineringsstank under bakken. Tanken vil magasinere og samle opp overvann slik at vannet kan benyttes til vanning. I konsept 1 er ingen blågrønne løsninger inkludert. BGF vil dermed være den samme som for nullalternativet, altså 0,84.

På østsiden av blokk B vil det være tilgjengelig arealer for å anlegge magasineringsstank under bakken, og det foreslås derfor å anlegge tanken her (Figur 9.4).



Figur 9.4 Utforming av konsept 1 med tegnforklaring. (Illustrasjon: Julie Næss Mikalsen)

Med utgangspunkt i forutsetningen om at alt vannet fra nedbørsfeltet vil renne til midten av tiltaksområdet ser vi det som hensiktsmessig å ha innløpet til tankene her. Ved innløpet vil det bli lagt en innløpsrist for å minimere forurensning inn til magasineringsstanken. Magasineringsstanken bør i tillegg utstyres med en pumpe, slik at vannet kan pumpes opp når tanken eventuelt skal tømmes.



Volumet til magasineringsstanken ble bestemt ved bruk av beregningene gjort under kapittelet om total overvannsmengde i nedbørsfeltet (kapittel 8.4), hvor regnenvelopmetoden ble benyttet for å finne total overvannsmengde. Fordrøyningsvolumet til magasineringsstanken må dermed være 514 kubikkmeter for å kunne fordrøye maksimal overvannsmengde ved en 50 års nedbørshendelse med klimafaktor lik 1,5, når tillatt videreført vannmengde er 100 l/s. I tillegg til fordrøyningsvolumet, må tanken romme et tørrværsvolum på 140 kubikkmeter for å dekke vanningsbehovet for 2018. Totalt tankvolum blir dermed 654 kubikkmeter.

## **Kostnader knyttet til konsept 1**

Investeringskostnaden til konseptet vil være om lag 5,76 millioner kroner. I løpet av 40 år vil den totale neddiskonterte vedlikeholdskostnaden til konseptet bli omtrent 1,42 millioner kroner. Dette gir en total kostnad (nåverdi) på 7,18 millioner kroner.

## **Oppfyller konsept 1 de absolutte kravene?**

### *Hovedpunkt 1 – Sikrer mot oversvømmelser*

Konsept 1 vil kunne fordrøye maks avrenning ved en 50 års nedbørshendelse med klimafaktor på 1,5, uten at kapasiteten til kommunens overvannsledning overskrides. Ved en enda større nedbørshendelse, vil vannet følge en trygg flomvei ut fra tiltaksområdet og ned til Glomma. Det vil derfor ikke være en stor risiko for flomskader ved en slik utforming. Konseptet vil med andre ord sørge for oppfyllelse av absolutt krav om maks tillatt utslipp til kommunal ledning, flomsikring og eiendommens fordrøyningskapasitet. På bakgrunn av dette konkluderes det med at konsept 1 oppfyller hovedpunkt 1 om sikring mot oversvømmelser.

### *Hovedpunkt 2 – Åpen overvannsløsning er risikofri*

Dette punktet utgår da konsept 1 ikke inkluderer åpne overvannsløsninger.

### *Hovedpunkt 3 – Tilstrekkelig kvalitet på overvannet*

Det vil være rimelig å anta at overvannet vil klassifiseres et sted mellom «mindre egnet» og «egnet» for konsept 1. Kvaliteten på overvannet vil blant annet variere etter hvor lang tid det er siden det ble utført vedlikehold på tankene. Overvannet som renner til tanken vil holde god kvalitet ettersom vannet renner gjennom gress og vegetasjon, og partikler i vannet vil kunne

sedimentere i tanken. Det kan derfor tenkes at kvaliteten på overvannet kan klassifiseres som «egnet» rett etter at tankene er tømt for slam, men at kvaliteten på overvannet vil klassifiseres som «mindre egnet» når det har gått lang tid siden tankene ble vedlikeholdt.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at konsept 1 oppfyller hovedpunkt 2 om tilstrekkelig kvalitet på overvannet.

#### ***Hovedpunkt 4 - Gjennomførbar***

En utfordring ved dette tiltaket er at det kan være infrastruktur i området mellom blokkene som ikke er kartlagt i denne oppgaven, noe som kan gjøre det problematisk å grave ned en magasineringsstank med et totalvolum på 654 kubikkmeter. I tillegg er det usannsynlig at fallet vil være tilstrekkelig slik at vannet kan gå i overløp fra tanken til kommunens overvannsledning med selvsfall.

Det er derfor usikkert om dette konseptet er gjennomførbart, noe som strider mot hovedpunkt 4 om hvorvidt konseptet er gjennomførbart eller ikke. Kostnaden knyttet til konseptforslaget er i tillegg høy, men det er vanskelig å vurdere om den er urealistisk før vi har sett på kostnaden til de andre konseptforslagene og kan sammenlikne dem.

## Oppsummering av konsept 1

Konsept 1 inkluderer en magasineringsstank under bakken. Konseptet har en BGF på 0,84 og en kostnad (nåverdi) lik 7,18 millioner NOK. Konseptet vil ikke oppfylle alle de absolutte kravene (Tabell 9.4).

Tabell 9.4 Oppsummerende beskrivelse av konsept 1.

<b>Tiltak</b>	<b>Utforming</b>
Magasineringsstank under bakken	Tørrværsvolum 140 m <sup>3</sup> Fordrøyningsvolum 514 m <sup>3</sup> Totalt volum 654 m <sup>3</sup>
<b>Faktor</b>	<b>Verdi</b>
Nåverdi	7,18 mill. NOK
BGF	0,84
<b>Absolutt krav</b>	<b>Oppfyller krav (Ja/nei)</b>
Sikrer mot oversvømmelser	Ja
Åpen overvannsløsning er risikofri	-
Tilstrekkelig kvalitet på overvannet	Ja
Gjennomførbar	Nei

## 9.2.3 Konsept 2

### Konseptets utforming og BGF

I konsept 2 går vi bort fra magasinering under bakken. I stedet består konseptet av en overvannsdam, og regnhøsting ved etablering av vanntanker på bakken (Figur 9.5). Det er tenkt at tankene skal samle opp nedbør fra tak A og B. Utformingen av konsept 2 gir en BGF på 0,87.



Figur 9.5 Utforming av konsept 2 med tegnforklaring. (Illustrasjon: Julie Næss Mikalsen)

Vi går ikke inn på detaljprosjektering av overvannsdammen, men setter enkelte føringer og anbefalinger som burde følges ved videre planlegging.

Overvannsdammen skal dimensjoneres slik at den har kapasitet til å magasinere maksimal overvannsmengde som beregnes ved bruk av regnenvelopmetoden (kapittel 5.4). Avrenning fra tak A og B er inkludert i beregningen av overvannsdammen. Dette er en konservativ beslutning som er gjort fordi det ligger en viss usikkerhet i om regntankene alltid vil ha kapasitet til å magasinere all nedbøren fra takene. Hvis kapasiteten til tankene ikke strekker til, for eksempel fordi tankene

har gått fulle, vil overvannet bli ledet i overløp til overvannsdammen. Dette gjør at overvannsdammen må kunne fordrøye 514 kubikkmeter overvann.

Fordrøyningsvolumet vil komme i tillegg til tørrværsvolumet, som vil være vannvolumet ved det permanente vannspeilet. Det anbefales at den endelige dimensjoneringen av overvannsdammen gjøres på et senere tidspunkt når terrengmodellen er på plass, og planleggingen av den videre utbyggingen er kommet noe lenger.

For prosjektering av overvannsdammen er det imidlertid viktig at det anlegges en grunnsone langs dammen slik at den ikke vil være til særlig fare for barn. I tillegg er det en fordel om dammen utformes slik at oppholdstiden er mellom 12 til 14 timer for best mulig renseseffekt. Om det er mulig burde det også utformes soner hvor vannstanden er 1,2 meter for å sikre et godt habitat for dyr. Overflaten til tørrværsvolumet burde være over 200 kvadratmeter, og utgjøre minimum 2,5 prosent av tilgjengelig areal. Det er tenkt at vannet i overvannsdammen skal sirkulere ved hjelp av en pumpe. Det bør i tillegg inkluderes et sandfilter for å øke renseseffekten til overvannsdammen.

Regntankene for nedbøren som faller på takene er tenkt plassert ved utslippet fra takrennene (Figur 9.5). Det er ønskelig at regntankene skal kunne magasinere nok vann for å dekke det totale vanningsbehovet som oppstod i 2018 (140 kubikkmeter), og de vil derfor dimensjoneres etter dette. Tak A og B har et areal på henholdsvis 613 og 720 kvadratmeter. Dette gjør at hver av de fire regntankene i tilknytning til tak A må romme 16 kubikkmeter og hver av de fire regntankene i tilknytning til tak B må romme 19 kubikkmeter, slik at totalt volum blir 140 kubikkmeter. Det vil være nødvendig å installere en overløpsventil som kan lede vannet til overvannsdammen hvis regntankene går fulle.

Total nedbørsmengde i månedene før vanningsbehovet oppstår, altså mars og april, var 14 millimeter i 2018. Dette vil gi et potensial for oppsamling av regnvann fra takene på 19 kubikkmeter per måned, noe som vil tilsvare en oppsamling på 75 kubikkmeter i månedene før vekstmånedene. Dette viser at regntankene alene ikke vil kunne dekke vanningsbehovet for ekstremåret 2018. Beregninger gjort i kapitlet om vanningsbehov (kapittel 8.5) viser imidlertid at nedbøren som falt på hele feltet vil være nok til å dekke vanningsbehovet. Det antas derfor at regntankene og overvannsdammen til sammen vil kunne dekke vanningsbehovet som oppstod i 2018.

## **Kostnader knyttet til konseptet**

Investeringskostnaden til konseptet vil være om lag 1,01 millioner kroner. I løpet av 40 år vil den totale vedlikeholdskostnaden til konseptet bli omtrent 0,75 millioner kroner. Dette gir en total kostnad (nåverdi) på 1,76 millioner kroner.

## **Oppfyller konsept 2 de absolutte kravene?**

### *Hovedpunkt 1 – Sikrer mot oversvømmelser*

Overvannsdammen er dimensjonert slik at den kan fordrøye maksimal overvannsmengde som vil bidra samtidig ved en 50 års nedbørshendelse med klimafaktor på 1,5. Konsept 2 vil dermed sikre eksempelområdet og nedstrøms områder mot en slik nedbørshendelse. Ved en enda større nedbørshendelse, vil vannet følge en trygg flomvei ut fra overvannsdammen. Det vil derfor ikke være en stor risiko for flomskader ved en slik utforming, og konsept 2 vil på den måten sikre oppfyllelse av de absolutte kravene som omhandler maks tillatt utslipp til kommunal ledning, flomsikring og eiendommens fordrøyningskapasitet.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at konsept 2 oppfyller hovedpunkt 1 om sikring mot oversvømmelser.

### *Hovedpunkt 2 – Åpen overvannsløsning er risikofri*

Ved å installere en pumpe i overvannsdammen vil det absolutte kravet om at vann i åpne overvannsløsninger ikke skal stå stille i mer enn 24 timer dekkes. Ved å anlegge en grunnsone langs dammen vil dette i tillegg bidra til en trygg overvannsløsning som ikke er til særlig fare for barn.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at konsept 2 oppfyller hovedpunkt 2 om at åpne overvannsløsninger skal være risikofri.

### *Hovedpunkt 3 – Tilstrekkelig kvalitet på overvannet*

For overvannet som samles opp av regntankene vil det være en viss fare for at avrenningen fra takene er forurenset. Avrenningen fra tak kan føre med seg forurensninger som blader og grener, støvpartikler og fekalier fra fugl. Selv om vannet som renner fra taket blir eksponert for UV-stråling

som vil gi en viss renseseffekt, er det rimelig å anta at dette vannet ikke burde brukes på vekster som skal spises rå uten å skrelles. Vannet bør imidlertid kunne brukes på vekster som potet og hodekål som varmebehandles eller skrelles før de spises, altså klassifiseres vannet som «egnet».

Vannet i overvannsdammen vil være utsatt for fekal smitte fra både dyr og mennesker. Det er derfor tenkt at overvannsdammen utformes med et sandfilter som vil bidra til god renseseffekt. I tillegg til sandfilterets renseseffekt, vil sedimentasjon av partikulære stoffer bidra til rensing av overvannet. Det er også rimelig å anta at det ikke vil være noen spesiell fare for algeoppblomstring, da sandfilteret vil fjerne en del partikulært stoff. I tillegg vil avrenningen holde god kvalitet ettersom vannet renner gjennom gress og vegetasjon før det når overvannsdammen. Det kan derfor antas at vannet fra overvannsdammen vil kunne brukes til alle vekster, og klassifiseres som «godt egnet» til vanningsformål.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at konsept 2 oppfyller hovedpunkt 3 om tilstrekkelig kvalitet på overvannet.

#### *Hovedpunkt 4 – Gjennomførbar*

I likhet med magasineringsstanken i konsept 1, krever en overvannsdam noe graving i terrenget. Fordi vi ikke har kartlagt infrastrukturen i terrenget, kan dette by på utfordringer. Vi anser imidlertid graving av overvannsdam som et mindre problem enn graving av en stor magasineringsstank, siden tanken må graves mye lengre ned i terrenget enn en overvannsdam som vil strekke seg over et større areal.

Regntankene for høsting av regnvann fra taket vil være relativt store, da de er beregnet for å kunne magasinere hele vanningsbehovet for 2018. Det burde derfor diskuteres om det er mulig å implementere dem i utbyggingen samtidig som man sikrer en estetisk fin utforming. Det er likevel rimelig å anta at installasjon av regntanker vil være gjennomførbart.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at konsept 2 oppfyller hovedpunkt 4 om hvorvidt konseptet er gjennomførbart eller ikke.

## Oppsummering av konsept 2

Konsept 2 vil inkludere en overvannsdam og regntanker til høsting av regnvann fra tak. Dette gjør at konseptet får en BGF på 0,87 og en nåverdi på 1,76 millioner NOK. Konseptet vil oppfylle alle de absolutte kravene (Tabell 9.5).

Tabell 9.5 Oppsummerende beskrivelse av konsept 2.

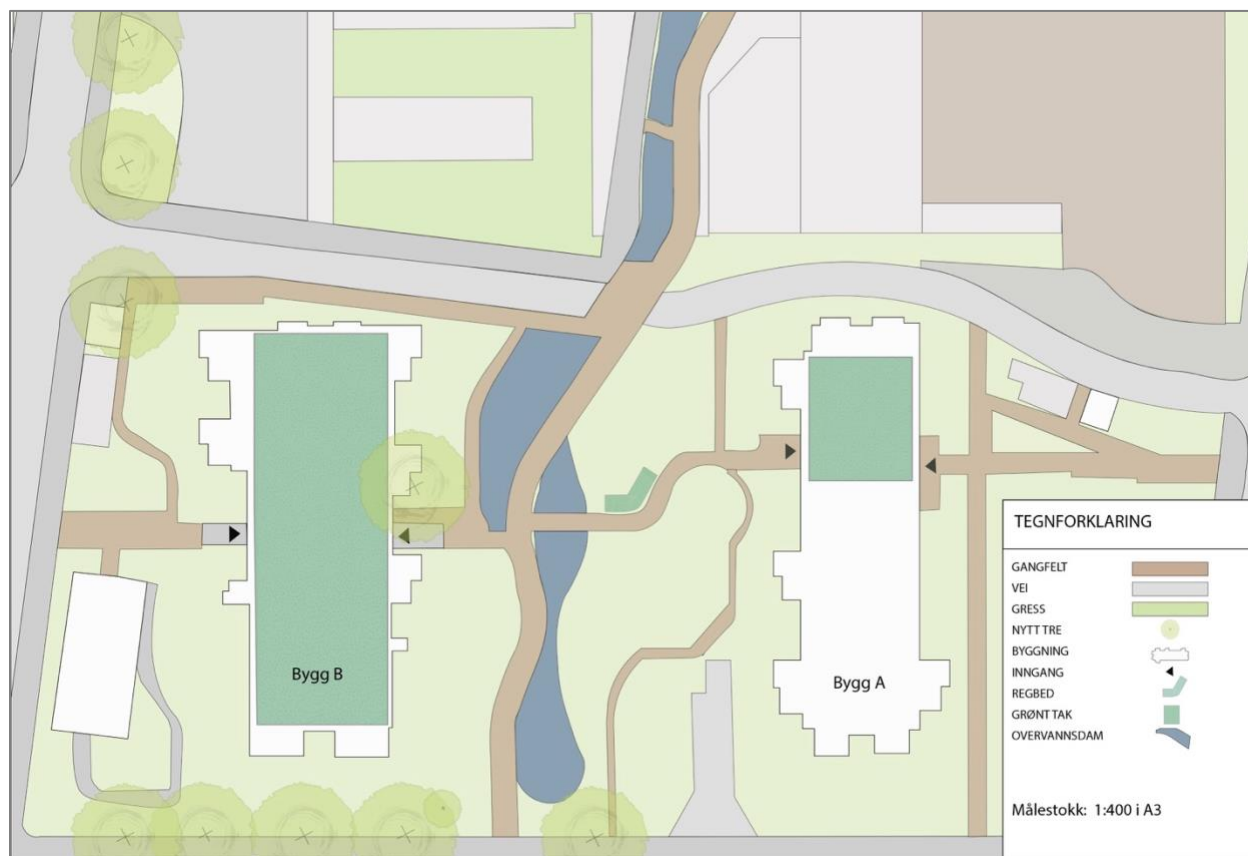
<b>Tiltak</b>	<b>Utforming</b>
Regntanker på bakken	Blokk A: 4 tanker på 16 m <sup>3</sup> Blokk B: 4 tanker på 19 m <sup>3</sup> Sum, volum: 140 m <sup>3</sup>
Overvannsdam	Tørrværsvolum 140 m <sup>2</sup> Fordrøyningsvolum 514 m <sup>3</sup>
<b>Faktor</b>	<b>Verdi</b>
Nåverdi	1,76 mill. NOK
BGF	0,87
<b>Absolutt krav</b>	<b>Oppfyller krav (ja/nei)</b>
Sikrer mot oversvømmelser	Ja
Åpen overvannsløsning er risikofri	Ja
Tilstrekkelig kvalitet på overvannet	Ja
Gjennomførbar	Ja



## 9.2.4 Konsept 3

### Konseptets utforming og BGF

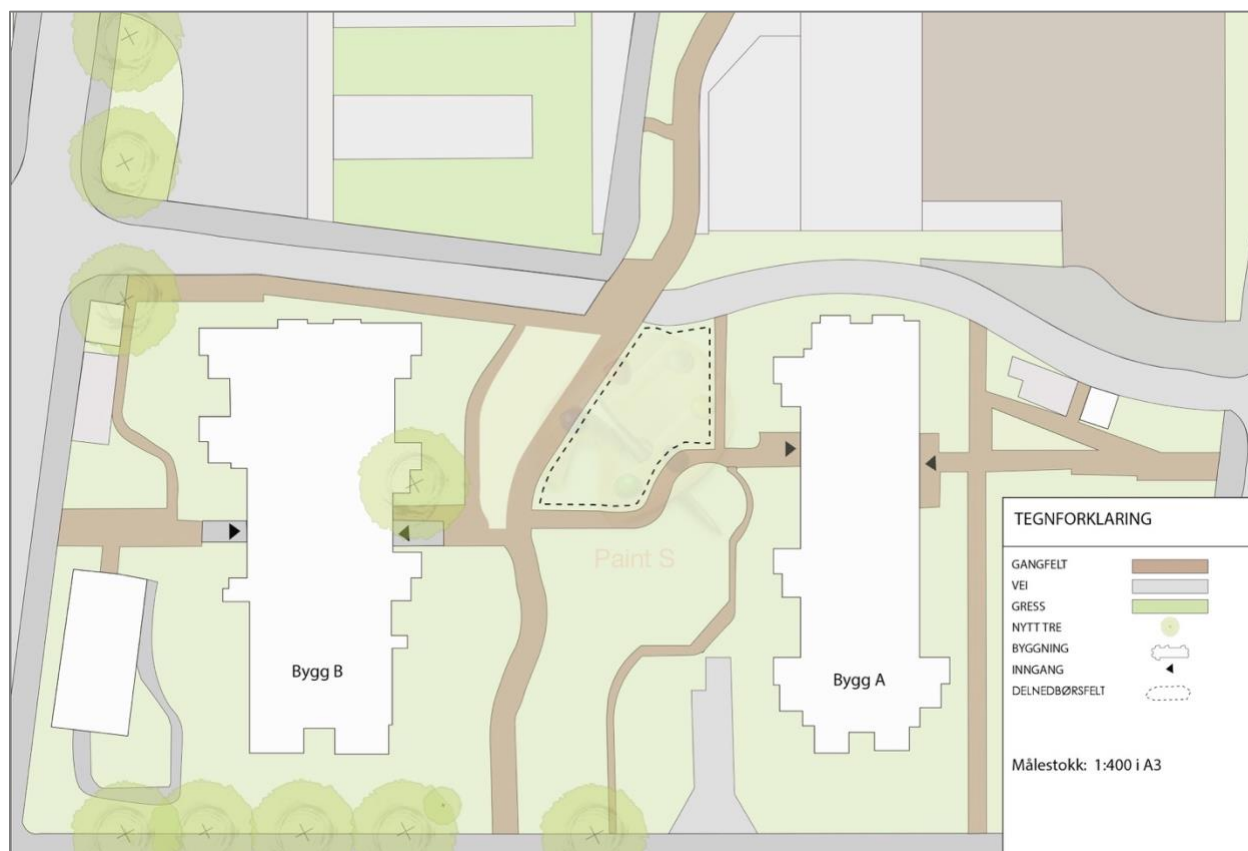
Konsept 3 inkluderer en overvannsdam, grønne tak og regnbed (Figur 9.6). Regnhøsting er ikke lenger inkludert. En slik utforming gir en BGF på 0,92.



Figur 9.6 Utforming av konsept 3 med tegnforklaring. (Illustrasjon: Julie Næss Mikalsen)

Det er tenkt at overvannsdammen skal utformes på samme måte som for konsept 2 (kapittel 0). For konsept 3 er det imidlertid tenkt at overvannsdammen alene skal kunne dekke hele vanningsbehovet som oppstod i 2018, altså skal overvannsdammen kunne dekke et vanningsbehov på 140 kubikkmeter. Det er derfor nødvendig at overvannsdammen har et tørrværsvolum på 140 kubikkmeter. Øvrig utforming av overvannsdammen vil være lik som for konsept 2.

Regnbed egner seg best for små delnedbørsfelt. For eksempelområdet vil det være gunstig å anlegge et regnbed til høyre for blokk A, hvor det kan utformes en forsenkning i terrenget. Denne forsenkningen utgjør et delnedbørsfelt på rundt 300 kvadratmeter (Figur 9.7).



Figur 9.7 Dimensjonerende delnedbørsfelt for regnbedet markert med stiplede linje. (Illustrasjon: Julie Næss Mikalsen)

Det er utviklet metoder for dimensjonering av regnbed, men vi har valgt å utelukke disse fra dette studiet da det er knyttet stor usikkerhet til terrengutformingen til eksempelområdet. Vi har i stedet valgt å følge anbefalingen om at regnbed burde være mellom 3 til 7 prosent av delnedbørsfeltarealet (kapittel 0). Sju prosent av delnedbørsfeltet tilsvarer et regnbed på 21 kvadratmeter. For et regnbed som er utformet som et symmetrisk trapes med bunnbredde 0,6 meter og toppbredde 1 meter vil dette føre til en maks fordryningskapasitet på 5 kubikkmeter. Det tenkes at regnbedet skal anlegges langs gangstien i delnedbørsfeltet det er dimensjonert for (Figur 9.6).

Utformingen av de ekstensive takene er i stor grad basert på studiet gjort av Braskerud (kapittel 3.2.1). For blokk B vil hele arealet kunne utnyttes til ekstensive tak, altså 720 kvadratmeter, mens for blokk A vil det være en restaurant på taket, og disponibelt areal for ekstensive tak vil være på 220 kvadratmeter. I Braskerud sin studie var nedbørintensiteten ved en regnhendelse med varighet på 30 minutter lik 156 l/s·ha, og det ble da målt at de ekstensive takene kunne holde tilbake 48 prosent av nedbøren.

Tykkelsen til vekstmediet i Braskerud sin studie var kun 25 til 30 millimeter. Etter anbefalinger fra den svenske veilederen for grønne tak antar vi imidlertid et vekstmedium på 50 millimeter. Vi antar et tak uten drenering for å oppnå høyest mulig tilbakeholdelse av vannvolum, som også i større grad vil bidra til å forsinke flomtoppen ved ekstremhendelser, og en helning på taket lik fem prosent. I Braskerud sin studie øker den prosentvise tilbakeholdelseeffekten til det udrenerte taket ved lenger regnhendelse, helt opp til tretti minutter. Vi antar at begge takene i vår studie kan holde tilbake 40 prosent av nedbøren ved den dimensjonerende regnhendelsen. Denne tilbakeholdelseskapasiteten er tatt hensyn til i avrenningskoeffisienten. Det er her gjort en forenkling og antatt en tilbakeholdelse av vannvolum på 40 prosent for alle regnintensiteter, noe som ikke vil stemme i virkeligheten da mengde vann tilbakeholdt vil variere med regnintensitet og regnvarighet.

Om dette konseptet vil dekke vanningsbehovet som oppstod i 2018 vil være avhengig av den endelige utformingen av overvannsdammen. Hvis overvannsdammen dimensjoneres slik at den har et tørrværsvolum på 140 kubikkmeter, vil overvannsdammen alene kunne dekke vanningsbehovet til parsellhagene og veksthuset for 2018.

### **Kostnader knyttet til konseptet**

Investeringskostnaden til konseptet vil være om lag 1,04 millioner kroner. I løpet av 40 år vil den totale neddiskonterte vedlikeholdskostnaden til konseptet bli omtrent 0,49 millioner kroner. Dette gir en total kostnad (nåverdi) på 1,53 millioner kroner.

### **Oppfyller konsept 3 de absolutte kravene?**

#### *Hovedpunkt 1 - Sikrer mot oversvømmelser*

Som for konsept 2 er også overvannsdammen i konsept 3 dimensjonert for å kunne magasinere maksimal overvannsmengde som vil bidra samtidig for en 50 års nedbørshendelse med klimafaktor på 1,5. I tillegg er det anlagt et regnbed som vil kunne magasinere ytterligere 5 kubikkmeter. Dette vil gjøre at området er sikret mot en 50 års nedbørshendelse med klimafaktor på 1,5. Ved en enda større nedbørshendelse, vil vannet følge en trygg flomvei ut fra overvannsdammen. Det vil derfor ikke være en stor risiko for flomskader ved en slik utforming.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at konsept 3 oppfyller hovedpunkt 1 om sikring mot oversvømmelser.

### ***Hovedpunkt 2 – Åpen overvannsløsning er risikofri***

Siden det er tenkt at overvannsdammen skal utformes på samme måte som for konsept 2, vil konsept 3 også oppfylle hovedpunkt 2, om en risikofri overvannsløsning.

### ***Hovedpunkt 3 – Tilstrekkelig kvalitet på overvannet***

Ved vurdering av kvaliteten til vannet i overvannsdammen tar vi utgangspunkt i konklusjonen fra konsept 2 om at vannet i overvannsdammen vil kunne klassifiseres som «godt egnet». I tillegg vil regnbedet og de grønne takene i konsept 3 ha en viss renseeffekt på overvannet. Vannet kan dermed brukes til vanning av alle vekster, og klassifiseres som «godt egnet» til vanningsformål.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at konsept 3 oppfyller hovedpunkt 3 om tilstrekkelig kvalitet på overvannet.

### ***Hovedpunkt 4 – Gjennomførbar***

En overvannsdam krever som nevnt noe graving i terrenget. Vi konkluderer likevel med at det er gjennomførbart, slik som for konsept 2, siden overvannsdammen ikke skal gå så dypt, men heller over et større areal. Når det gjelder installasjon av regnbed og grønne tak, anses dette også som realistisk og gjennomførbart.

På bakgrunn av overnevnte momenter konkluderes det med at konsept 3 oppfyller hovedpunkt 4 om hvorvidt konseptet er gjennomførbart eller ikke.

### Oppsummering av konsept 3

Konsept 3 består av en overvannsdam, grønne tak og et regnbed. Denne utformingen vil føre til en BGF på 0,92, og vil gi en kostnad (nåverdi) lik 1,53 millioner NOK. Konseptet vil oppfylle alle de absolutte kravene (Tabell 9.6).

Tabell 9.6 Oppsummerende beskrivelse av konsept 3.

<b>Tiltak</b>	<b>Utforming</b>
Overvannsdam	Tørrværsvolum 140 m <sup>2</sup> Fordrøyningsvolum 514 m <sup>3</sup>
Grønne tak	Vekstmedium på 50 mm Sedumbepantning Tilbakeholdelseskapasitet 40%
Regnbed	Areal 21 m <sup>2</sup> Utformet som et symmetrisk trapes Bunnbredde 0,6 m Toppbredde 1 m Fordrøyningskapasitet 5 m <sup>3</sup>
<b>Faktor</b>	<b>Verdi</b>
Nåverdi	1,53 mill. NOK
BGF	0,92
<b>Absolutt krav</b>	<b>Oppfyller krav (Ja/nei)</b>
Sikrer mot oversvømmelser	Ja
Åpen overvannsløsning er risikofri	Ja
Tilstrekkelig kvalitet på overvannet	Ja
Gjennomførbar	Ja

## 9.2.5 Konsept 4

### Konseptets utforming og BGF

Konsept 4 er det mest komplekse konseptet og inkluderer grønne tak, overvannsdam, regnbed og levende vegger.

Konseptet vil være utformet på samme måte som konsept 3. I tillegg vil det bli anlagt levende vegger på deler av blokk A som tilsvarer et areal på 40 kvadratmeter (Figur 9.8).



Figur 9.8 Grønn vegg inkludert i konsept 4. (Illustrasjon: Julie Næss Mikalsen)

Dette konseptet vil ha veldig lik funksjon som konsept 3. Forskjellen mellom disse konseptene er at konsept 4 inkluderer levende vegger. Da det er gjort lite forskning på levende vegger i Norden og dagens løsninger ikke er tilpasset nordisk klima (kapittel 3.2.2), vil anleggelse av levende vegger i dette prosjektet ha som formål å bidra til videre forskning på området.

Siden veggen utgjør et såpass lite areal, antar vi at fordrøynings-effekten vil være så lav at den kan neglisjeres.

## **Kostnader knyttet til konseptet**

Investeringskostnaden til konseptet vil bli om lag 1,28 millioner kroner. I løpet av 40 år vil den totale, neddiskonterte vedlikeholdskostnaden til konseptet bli omtrent 0,65 millioner kroner. Dette gir en total kostand (nåverdi) på 1,93 millioner kroner.

## **Oppfyller konsept 4 de absolutte kravene?**

### *Hovedpunkt 1 – Sikrer mot oversvømmelser*

Som nevnt vil fordrøyningskapasiteten til levende vegger i dette tilfellet være så liten at den er neglisjerbar ved en ekstremhendelse. Fordrøyningsvevnen til konsept 4 vil derfor være den samme som for konsept 3. Konsept 4 oppfyller dermed hovedpunkt 1 om sikring mot oversvømmelser.

### *Hovedpunkt 2 – Åpen overvannsløsning er risikofri*

Siden overvannsdammen skal utformes på samme måte som for konsept 3, vil konsept 4 oppfylle hovedpunkt 2 om åpne overvannsløsninger skal være risikofrie.

### *Hovedpunkt 3 – Tilstrekkelig kvalitet på overvannet*

Siden det eneste som skiller konsept 3 og 4 er anleggelse av levende vegger, og overvannets kvalitet ikke vil påvirkes negativt av at det anlegges levende vegger, vil konsept 4 oppfylle hovedpunkt 3 om tilstrekkelig kvalitet på overvannet.

### *Hovedpunkt 4 – Gjennomførbart*

I likhet med konsept 3 anses konsept 4 som realistisk og gjennomførbart. Det kan imidlertid nevnes at det muligens ikke er helt realistisk at levende vegger kun skal utgjøre et areal på 40 kvadratmeter, men det er uansett gjennomførbart. På bakgrunn av dette oppfyller konsept 4 hovedpunkt 4 om hvorvidt konseptet er gjennomførbart eller ikke.

## Oppsummering av konsept 4

Konsept 4 består av en overvannsdam, grønne tak, et regnbed og levende vegger. Denne utformingen vil gi konseptet en BGF på 0,92, og en kostnad (nåverdi) lik 1,93 millioner NOK. Konseptet vil oppfylle alle de absolutte kravene (Tabell 9.7).

Tabell 9.7 Oppsummerende beskrivelse av konsept 4.

<b>Tiltak</b>	<b>Utforming</b>
Overvannsdam	Tørrværsvolum 140 m <sup>2</sup> Fordrøyningsvolum 514 m <sup>3</sup>
Grønne tak	Vekstmedium på 50 mm Sedumbeplantning Tilbakeholdelseskapasitet 40%
Regnbed	Areal 21 m <sup>2</sup> Utformet som et symmetrisk trapes Bunnbredde 0,6 m Toppbredde 1 m Fordrøyningskapasitet 5 m <sup>3</sup>
Levende vegger	40 m <sup>2</sup>
<b>Faktor</b>	<b>Verdi</b>
Nåverdi	1,93 mill. NOK
BGF	0,92
<b>Absolutt krav</b>	<b>Oppfyller krav (Ja/nei)</b>
Sikrer mot oversvømmelser	Ja
Åpen overvannsløsning er risikofri	Ja
Tilstrekkelig kvalitet på overvannet	Ja
Gjennomførbar	Ja



## 9.2.6 Oppsummering av konseptene

Konsept 2, 3 og 4 vil oppfylle alle de absolutte kravene (Tabell 9.8), og nåverdien for konsept 2, 3 og 4 vil være relativt jevne. Konsept 1 skiller seg ut med en høy nåverdi. Konsept 1 og nullalternativet er de eneste konseptene som ikke oppfyller alle de absolutte kravene.

Tabell 9.8 Totaloversikt over av alle konseptene med tilhørende nåverdi og BGF, samt om konseptene oppfyller absolutte krav eller ikke.

	<b>Nullalt.</b>	<b>Konsept 1</b>	<b>Konsept 2</b>	<b>Konsept 3</b>	<b>Konsept 4</b>
Nåverdi	0 kr.	7,18 mill. Kr	1,76 mill. Kr	1,53 mill. Kr	1,93 mill. Kr.
BGF	0,84	0,84	0,87	0,92	0,92
<b>Oppfyllelse av absolutte krav (ja/nei)</b>					
Sikrer mot oversvømmelser	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Åpen overvannsløsning er risikofri	-	-	Ja	Ja	Ja
Tilstrekkelig kvalitet på overvannet	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Gjennomførbar	Ja	Nei	Ja	Ja	Ja

### 9.3 Grovutsiling av alternative konsepter

I denne delen av alternativanalysen skal de konseptene som ikke oppfyller de absolutte kravene (kapittel 7.3.1) siles ut og utelukkes fra videre analyser.

I beskrivelse av konseptene (kapittel 9.2) kom det fram at konsept 1 er det eneste konseptet (bortsett fra nullalternativet) som ikke vil oppfylle alle de absolutte kravene, da konsept 1 ikke vil oppfylle kravet om en løsning som er praktisk og økonomisk sett gjennomførbar. Hvis konseptet skal være flomsikkert ved en 50 års nedbørshendelse inkludert klimafaktor på 1,5, må størrelsen på magasinene være 654 kubikkmeter. Slik vi ser det vil magasinering under bakken i så stor skala bli vanskelig å gjennomføre for et tiltaksområde som er såpass lite. Det er dessuten knyttet en del usikkerhet til infrastrukturen i tiltaksområdet, noe som kan gjøre det problematisk å anlegge tanker så langt ned under bakken. I tillegg er det usannsynlig at fallet til kommunens overvannslegning vil være tilstrekkelig slik at vannet kan gå i overløp med selvføll.

Når det gjelder det økonomiske aspektet i det absolutte kravet, har konsept 1 desidert høyest kostnad (nåverdi) (Tabell 9.9). Investeringskostnaden er mer enn fire ganger høyere enn nest høyest investeringskostnad. Dette er negativt for utbygger sitt behov om en økonomisk forsvarlig løsning. Vedlikeholdskostnad til konsept 1 er i tillegg nesten to ganger større enn nest høyest vedlikeholdskostnad, noe som er negativt for de fremtidige beboerne.

Tabell 9.9 Kostnadene knyttet til konseptene.

<b>Konsept</b>	<b>Investeringskostnad (millioner kr)</b>	<b>Vedlikeholdskostnad over 40 år (millioner kr)</b>	<b>Total kostnad (nåverdi) (millioner kr)</b>
0	0	0	0
1	5,76	1,42	7,18
2	1,01	0,75	1,76
3	1,04	0,49	1,53
4	1,28	0,65	1,93

Det bør også nevnes at konsept 1 ikke vil bidra til økning i BGF, sammenliknet med nullalternativet, og vil dermed ikke ha en merkbar positiv effekt på det biologiske mangfoldet. Løsningen vil heller ikke bidra til rekreasjonsmuligheter eller en estetisk fin utforming av miljøet, og vil på den måten ikke ha noen positiv effekt på menneskene som skal bruke utearealet. Det positive med konseptet er at det har tilstrekkelig fordrøyningskapasitet til å sikre området mot 50 års nedbørshendelsen med klimafaktor på 1,5.

I statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning (2018) (kapittel 4.2), går det dessuten frem at man ved planlegging av nye områder for utbygging bør vurdere etablering av naturbaserte løsninger, og at dersom andre løsninger velges, skal det begrunnes hvorfor. I dette tilfellet finnes det ikke noe god grunn til å velge bort naturbaserte løsninger.

Som følge av disse faktorene, velger vi å utelukke konsept 1 fra videre analyser. Konseptet blir dermed ikke lenger vurdert som en potensiell løsning i tiltaksområdet. De øvrige konseptene vil bli analysert videre (Tabell 9.10). Dette inkluderer nullalternativet som fortsatt benyttes som en referanse som de andre konseptene sammenliknes med, selv om det ikke oppfyller alle de absolutte kravene.

*Tabell 9.10 Konseptene som skal analyseres videre.*

<b>Konsept</b>	<b>Tiltak</b>
Nullalternativ	Ingen overvannstiltak, ser kun på situasjonen slik den er etter utbyggingen.
Konsept 2	Regnhøsting på bakken Overvannsdam
Konsept 3	Overvannsdam Grønne tak Regnbed
Konsept 4	Overvannsdam Grønne tak Regnbed Levende vegger

## 9.4 Multikriterieanalyse

Videre skal de gjenværende konseptene analyseres i en multikriterieanalyse, med utgangspunkt i de evalueringskriteriene som foreligger (Tabell 9.11). Kapitlet er bygd opp slik at vi tar for oss konseptforslagene hver for seg, og diskuterer hvorvidt de oppfyller satte krav, og dermed om de oppfyller definerte mål og aktuelle behov. Ut ifra dette gir vi hvert konseptforslag score på hvert kriterium, basert på den poengskalaen som er definert Dette vil til slutt resultere i en rangering av konseptforslagene.

Tabell 9.11 Evalueringskriteriene og tilhørende vektning.

Evalueringskriterium	Vekting i prosent
Flomrisiko og magasineringskapasitet	30
Innvirkning på nærmiljøet	25
Overvannets kvalitet	20
Kostnad	15
Vedlikeholdsbehov	10

### 9.4.1 Nullalternativet

#### Nøkkelinformasjon

Nullalternativet er en videreføring av dagens situasjon. Av den grunn vil det ikke påløpe en investeringskostnad eller neddiskonterte vedlikeholdskostnader. BGF er 0,84 (Tabell 9.12).

Tabell 9.12 Nøkkelinformasjon om nullalternativet.

Tiltak	Utforming
Ingen	-
Faktor	Verdi
Nåverdi	0 NOK
BGF	0,84

## **Flomrisiko og magasineringskapasitet**

Som nevnt under beskrivelse av konseptforslagene (kapittel 9.2) vil ikke nullalternativet sikre eksempelområdet eller nedstrøms områder mot en 50 års nedbørshendelse inkludert klimafaktor på 1,5. Av den grunn vil ikke nullalternativet oppfylle de absolutte kravene som omhandler maks tillatt utslipp til kommunal ledning, flomsikring og eiendommens fordrøyningskapasitet.

På grunn av det, vil ikke nullalternativet oppnå effektmålet om at valgt konsept skal fordrøye mest mulig overvann og minimere utslipp til kommunalt ledningsnett, og dermed ikke samfunns målet om at valgt konsept skal redusere faren for flom. Dette vil igjen medføre at Fredrikstad kommune sitt behov om å redusere mengden overvann som slippes til det kommunale nettet ikke dekkes. Ei heller det normative behovet om et konsept som sikrer trygge overvannsløsninger som forhindrer skader.

Siden overvannet ikke magasineres, vil ikke nullalternativet oppfylle funksjonskravet om at valgt konsept skal sikre at vanningsbehovet dekkes. Dette vil videre føre til at effektmålet om å magasinere mest mulig overvann ikke oppnås, eller samfunns målet om at overvannet skal utnyttes som en ressurs.

På bakgrunn av overnevnte momenter, får nullalternativet en score lik 1 på kriteriet «flomrisiko og magasineringskapasitet».

## **Innvirkning på nærmiljøet**

Nullalternativet består av et grønt uteareal som gir en BGF på 0,84. Dette gjør at alternativer dekker miljøkravet om en BGF på minst 0,8, selv om det ikke inkluderer blågrønne tiltak utover plen og vegetasjon. Nullalternativet vil altså kunne bidra til noe rekreasjon, men vil ikke bidra til forskjønning av eiendommen.

Nullalternativet vil dermed ikke oppnå effektmålet om å kun benytte blågrønne løsninger, eller samfunns målet om å styrke det biologiske mangfoldet. Nullalternativet vil dekke beboernes behov om et funksjonelt, grønt uteområde til en viss grad, men det normative behovet om lokal overvannshåndtering med naturbaserte løsninger som varetar økosystemet vil ikke dekkes.

På bakgrunn av overnevnte momenter, vil nullalternativet få en score lik 1 på kriteriet «innvirkning på nærmiljøet».

## **Overvannets kvalitet**

Fra forrige kapittel om beskrivelse av konseptforslagene (kapittel 9.2) kom det frem at for nullalternativet vil overvannet klassifiseres et sted mellom «ikke egnet» og «mindre egnet». Av den grunn kan det antas at nullalternativet ikke vil sikre samfunns målet om å bidra til god bevaring av omkringliggende resipienter i særlig stor grad. Nullalternativet vil heller ikke sikre samfunns målet om at løsningen skal føre til utnyttelse av overvann, da kvaliteten på overvannet er noe usikker. Derfor vil heller ikke det normative behovet om at overvannet skal ha tilstrekkelig god kvalitet for vanning og rekreasjon oppfylles.

På bakgrunn av overnevnte momenter, vil nullalternativet få en score lik 2 på kriteriet «overvannets kvalitet».

## **Kostnad**

Det er ikke knyttet noen kostnader til nullalternativet, utover de som vil påløpe ved vedlikehold av grøntarealer. Dette gir en score lik 6 på kriteriet «kostnad».

Det bør imidlertid nevnes at nullalternativet ikke oppfyller kravene om flomsikring, noe som kan medføre oversvømmelser og vannskader på infrastruktur og bygninger. Ifølge forurensningsloven vil Fredrikstad kommune være ansvarlig for skader som inntreffer hvis kapasiteten til overvannsledningen ikke strekker til (kapittel 4.2). Totalt skadebeløp for vannskader i perioden 2007 til 2014 i Fredrikstad og Sarpsborg var på nesten 20 millioner kroner per år (kapittel 3.3.1). Med tanke på de prognosene som foreligger om økning av ekstreme nedbørshendelser i framtiden, vil det med stor sannsynlighet påløpe skadekostnader for Fredrikstad kommune i løpet av en 40-årsperiode hvis eksempelområdet ikke inkluderer tiltak som sørger for overvannshåndtering.

## **Vedlikeholdsbehov**

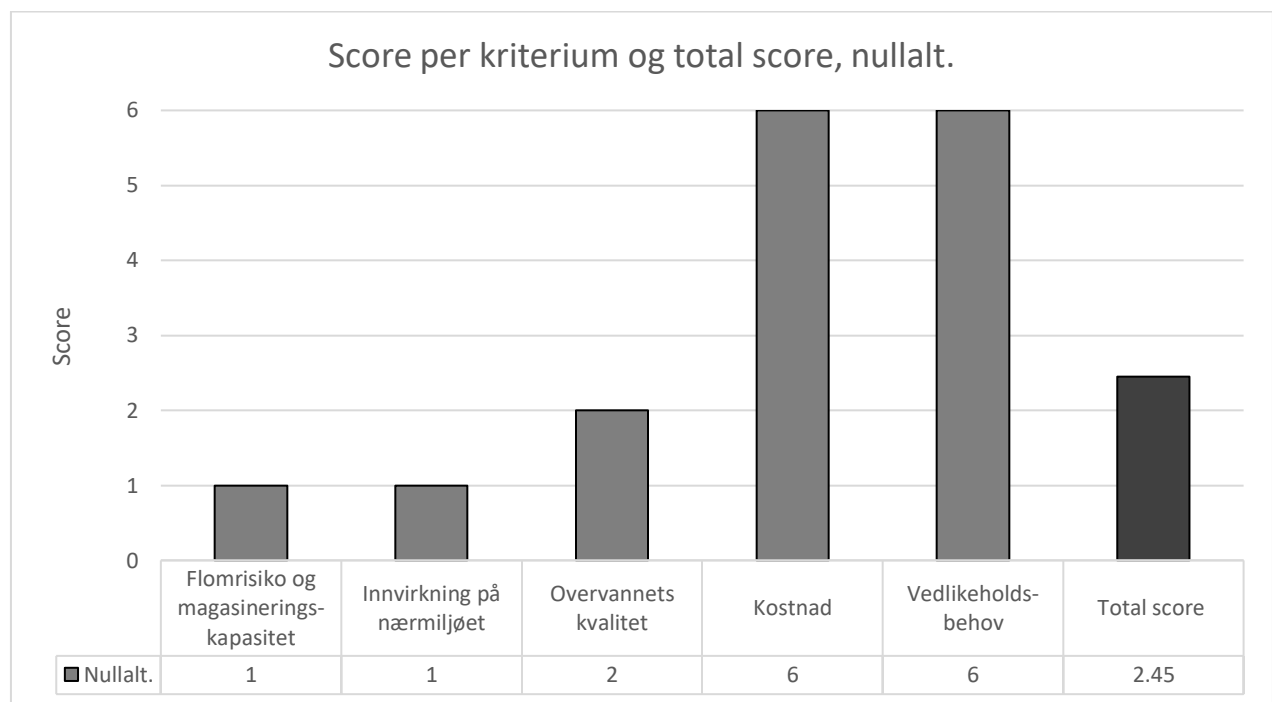
Nullalternativet vil ha et minimalt behov for vedlikehold, og siden det kun er plenarealer vil også vanningsbehovet være minimalt. Nullalternativet vil dermed være det konseptet som trenger minst vedlikehold. På den måten vil effektmålet om en løsning som har minimalt behov for vedlikehold

og samfunnsmålet om en lite ressurskrevende løsning være oppfylt. For nullalternativet vil Fredrikstad kommune og fremtidige beboeres behov om en løsning som krever lite og rimelig vedlikehold dermed dekkes.

På bakgrunn av dette får nullalternativet en score på 6 på kriteriet «vedlikeholdsbehov».

## Oppsummering av nullalternativets score

Totalt sett vil nullalternativet få en score lik 2,45 (Figur 9.9). Nullalternativet scorer lavt på kriteriene «flomrisiko og magasineringskapasitet», «innvirkning på nærmiljøet» og «overvannets kvalitet» som er vektet høyst med henholdsvis 30, 25 og 20 prosent. Dette gjør at nullalternativet kommer dårlig ut i scoregivningen. Kriteriene «kostnad» og «vedlikeholdsbehov» trekker imidlertid noe opp da nullalternativet får maksimal score på disse som henholdsvis er vektet med 15 og 10 prosent.



Figur 9.9 Score per kriterium og total score for nullalternativet.

## 9.4.2 Konsept 2

### Nøkkelinformasjon

Konsept 2 består av en overvannsdam og regntanker til oppsamling av regnvann fra tak. Dette gir en BGF på 0,87. Konseptets nåverdi ligger på 1,76 millioner NOK (Tabell 9.13).

Tabell 9.13 Nøkkelinformasjon om konsept 2.

<b>Tiltak</b>	<b>Utforming og informasjon</b>
Regntanker på bakken	Blokk A: 4 tanker på 16 m <sup>3</sup> Blokk B: 4 tanker på 19 m <sup>3</sup> Sum volum: 140 m <sup>3</sup>
Overvannsdam	Tørrværsvolum 140 m <sup>2</sup> Fordrøyningsvolum 514 m <sup>3</sup>
<b>Faktor</b>	<b>Verdi</b>
Nåverdi	1,76 mill. NOK
BGF	0,87

### Flomrisiko og magasineringkapasitet

Som nevnt under beskrivelse av konseptforslagene (kapittel 9.2) vil konsept 2 sikre eksempelområdet og nedstrøms områder mot en 50 års nedbørshendelse inkludert klimafaktor på 1,5. Konsept 2 vil på den måten sikre oppfyllelse av de absolutte kravene som omhandler maks tillatt utslipp til kommunal ledning, flomsikring og eiendommens fordrøyningskapasitet.

Om overvannsdammen dimensjoneres med et tørrværsvolum på 140 kubikkmeter vil ikke risikoen for at overvannsdammen går tom for vann være stor. Vanningsbehovet vil dermed kunne være sikret gjennom hele vekstsesongen. Dette gjør at konsept 2 oppfyller funksjonskravet om at valgt konsept skal sikre at vanningsbehovet dekkes.

På bakgrunn av overnevnte momenter, vil konsept 2 oppfylle effektmålene om at valgt konsept skal fordrøye mest mulig overvann og minimere utslippet til kommunalt ledningsnett, og magasinere mest mulig regnvann og overvann. Dette vil videre føre til oppfyllelse av samfunns målet om at valgt konsept skal redusere faren for flom. I tillegg vil det medføre at det prosjektutløsende behovet om å håndtere økt regnintensitet og vannmangel dekkes, samt det



normative behovet om at valgt konsept skal forebygge skader. Fredrikstad kommune sitt behov om at løsningen skal redusere mengden overvann som slippes til det kommunale ledningsnett og som slippes ut fra overløp til resipient vil også dekkes.

Dette medfører at konsept 2 får en score lik 6 på kriteriet «flomrisiko og magasineringskapasitet».

### **Innvirkning på nærmiljøet**

Konsept 2 har en samlet BGF på 0,87, noe som er en forbedring på 0,03 sammenliknet med nullalternativet. Forbedringen i BGF skyldes den åpne overvannsdammen som vil legge til rette for økt biologisk mangfold i området. Overvannsdammen vil også bidra til rekreasjonsmuligheter, i tillegg til at den vil gjøre utemiljøet estetisk fint. Det er derfor forventet av overvannsdammen vil ha en positiv effekt på de som bor i området.

En BGF på 0,87 vil tilfredsstillende det absolutte kravet om en BGF på minst 0,8. Konseptet vil ikke oppfylle effektmålet om å kun benytte blågrønne løsninger, men vil tilfredsstillende samfunnsmålet om at valgt konsept skal bidra til økt økologisk mangfold. Konsept 2 vil på den måten ikke dekke det normative behovet om at konseptet kun skal benytte naturbaserte overvannsløsninger, men vil likevel dekke det normative behovet om at konseptet skal ivareta økosystemet. Konseptet vil dessuten være med å dekke beboernes behov om et funksjonelt, grønt uteområde som legger til rette for rekreasjon.

På bakgrunn av overnevnte momenter, vil konsept 2 få en score lik 3 på kriteriet «innvirkning på miljøet»..

### **Overvannets kvalitet**

Fra beskrivelsen av konseptforslagene (kapittel 9.2), går det fram at vannet fra overvannsdammen vil ha tilstrekkelig god kvalitet, og vil kunne klassifiseres som «godt egnet» til vanningsformål. I tillegg går det fram at vannet på magasineringsstankene vil kunne klassifiseres som «egnet». Denne løsningen vil bidra til sikring av samfunnsmålene om bevaring av omkringliggende resipienter (Glomma) og om utnyttelse av overvannet som en ressurs. I tillegg anses det normative behovet om at vannet skal ha tilfredsstillende kvalitet som dekket gjennom konseptet.

På bakgrunn av dette får konsept 2 en score lik 4 på kriteriet «overvannet kvalitet».

## **Kostnad**

Konsept 2 har nest lavest nåverdi av de tre gjenværende konseptene. Konseptet har lavest investeringskostnad, noe som er positivt for utbygger, men har høyest vedlikeholdskostnad, noe som er negativt for framtidige beboere.

Dette gir en beregnet score lik 4,2 for konsept 2 på kriteriet «kostnad».

## **Vedlikeholdsbehov**

Både vanntankene og overvannsdammen vil ha et visst behov for vedlikehold. Vanntankene må tømmes for grener, løv og annen forurensning to ganger i året. I tillegg må tankene tømmes før vinteren for å unngå frostskafer på tankene.

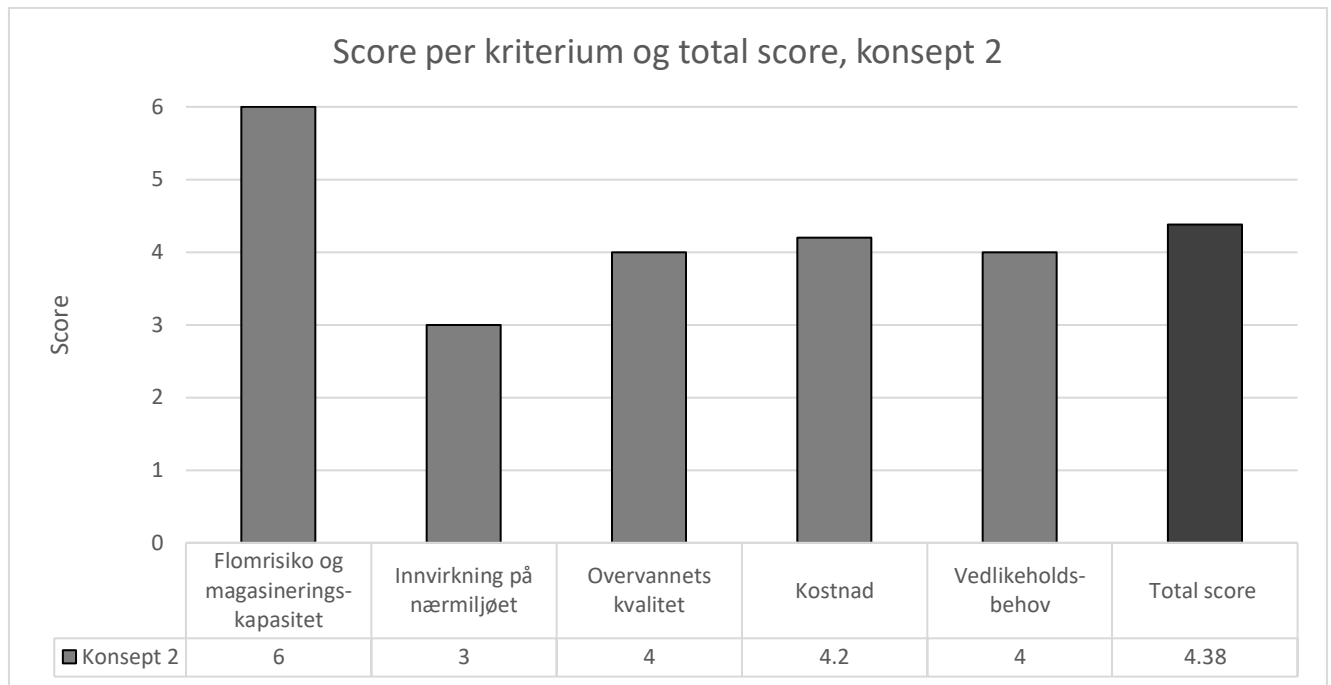
Overvannsdammen skal tømmes for slam en gang i året. I tillegg er det nødvendig med jevnlig inspeksjon av sandfilteret.

Effekt målet om en løsning med minimalt behov for vedlikehold vil i stor grad oppfylles ved valg av konsept 2, noe som medfører at samfunns målet om en lite ressurskrevende løsning også vil tilfredsstilles i stor grad. Fredrikstad kommune og beboernes behov for overvannstiltak som ikke krever mye eller kostbart vedlikehold vil for dette konseptet bli ivaretatt til en viss grad.

Dette konseptet vil ikke ha behov for vanning, men vil ha behov for vedlikehold opptil fire ganger i året. Konseptet får derfor en score lik 4 på kriteriet «vedlikeholdsbehov».

## **Oppsummering av konsept 2 sin score**

Konsept 2 får maksimal score på «flomrisiko og magasineringskapasitet» som er vektet med 30 prosent, men en score lik 3 på «innvirkning på nærmiljøet», som er vektet 20 prosent. Konseptet får en score på rundt 4 på «overvannets kvalitet», «kostnad» og «vedlikeholdsbehov» som er vektet med henholdsvis 20, 15 og 10 prosent. Totalt sett vil konsept 2 dermed få en score på 4,38 (Figur 9.10).



*Figur 9.10 Score per kriterium og total score for konsept 2.*

### 9.4.3 Konsept 3

#### Nøkkelinformasjon

Konsept 3 består av en overvannsdam, grønne tak og et regnbed. Dette gir konseptet en BGF på 0,92, og en kostnad (nåverdi) lik 1,53 millioner NOK (Tabell 9.14).

Tabell 9.14 Nøkkelinformasjon om konsept 3.

<b>Tiltak</b>	<b>Utforming og informasjon</b>
Overvannsdam	Tørrværsvolum 140 m <sup>2</sup> Fordrøyningsvolum 514 m <sup>3</sup>
Grønne tak	Sedumbepantning Vekstmedium 50 mm Tilbakeholdelseskapasitet 40%
Regnbed	Utformet som et symmetrisk trapes Areal 21 m <sup>2</sup> Bunnbredde 0,6 m Toppbredde 1 m Fordrøyningskapasitet 5 m <sup>3</sup>
<b>Faktor</b>	<b>Verdi</b>
Nåverdi	1,53 mill. NOK
BGF	0,92

#### Flomrisiko og magasineringskapasitet

Som nevnt under beskrivelse av konseptforslagene (kapittel 9.2) vil konsept 3 sikre eksempelområdet og nedstrøms områder mot en 50 års nedbørshendelse med klimafaktor på 1,5. Konsept 3 vil dermed sikre oppfyllelse av de absolutte kravene som omhandler maks tillatt utslipp til kommunal ledning, flomsikring og eiendommens fordrøyningskapasitet.

Siden overvannsdammen har et tørrværsvolum på 140 kubikkmeter vil ikke risikoen for at overvannsdammen går tom for vann være stor, og vanningsbehovet vil dermed kunne være sikret gjennom hele vekstsesongen.

På bakgrunn av dette vil konsept 3 oppfylle de samme kravene, målene og behovene som konsept 2. Dette medfører at konsept 3 får en score lik 6 på kriteriet «flomrisiko og magasineringskapasitet».

## **Innvirkning på nærmiljøet**

Konsept 3 vil ha en samlet BGF på 0,92, noe som vil være en økning i BGF på 0,08 fra nullalternativet. I tillegg til overvannsdammen vil både regnbedet og de ekstensive takene legge til rette for økt biologisk mangfold. Begge tiltakene vil også ha en mulig positiv påvirkning på luftkvaliteten i området. Ekstensive tak vil ikke bidra til estetikk eller rekreasjon og det er dermed usikkert om takene vil ha en positiv innvirkning på beboerne i området. Regnbed vil bidra til en estetisk fin utforming og vil trolig ha en positiv effekt på beboerne.

Dette konseptet oppfyller miljøkravet om en BGF på minst 0,8. Effektmålet om at det kun skal benyttes blågrønne løsninger og samfunnsmålet om å styrke det biologiske mangfoldet vil også være oppfylt. På den måten vil konseptet i stor grad dekke beboernes behov om et grønt uteområde som bidrar til rekreasjon. De normative behovene om lokal overvannshåndtering med naturbaserte løsninger og at løsningen skal ivareta økosystemet vil også oppfylles i stor grad.

På bakgrunn av dette får konseptet en score lik 5 på kriteriet «innvirkning på nærmiljøet».

## **Overvannets kvalitet**

Som nevnt under beskrivelse av konseptforslagene (kapittel 9.2) vil konsept 3 sikre at overvannet kan brukes til vanning av alle vekster, og blir dermed klassifisert som «godt egent» til vanningsformål. På grunn av at konsept 3 inkluderer grønne tak og regnbed, som mest sannsynlig vil bidra til en viss renseeffekt, antar vi at overvannets kvalitet totalt sett vil være noe bedre enn kvaliteten til overvannet i konsept 2.

På den måten vil konseptet oppfylle samfunnsmålene om at konseptet skal bidra til ivaretagelse av omkringliggende resipienter (Glomma) og at konseptet skal føre til utnyttelse av overvann. I tillegg vil konseptet dekke det normative behovet om at overvann som benyttes til vanning og rekreasjon skal ha tilfredsstillende kvalitet.

På bakgrunn av dette får konseptet en score lik 6 på kriteriet «overvannets kvalitet».

## **Kostnad**

Konsept 3 har lavest vedlikeholdskostnader og nest lavest investeringskostnad, og totalt sett lavest nåverdi. Altså er konsept 3 det mest optimale konseptforslaget økonomisk sett, sett bort fra nullalternativet. Beregnet score på kriteriet «kostnad» er 4,6.

## **Vedlikeholdsbehov**

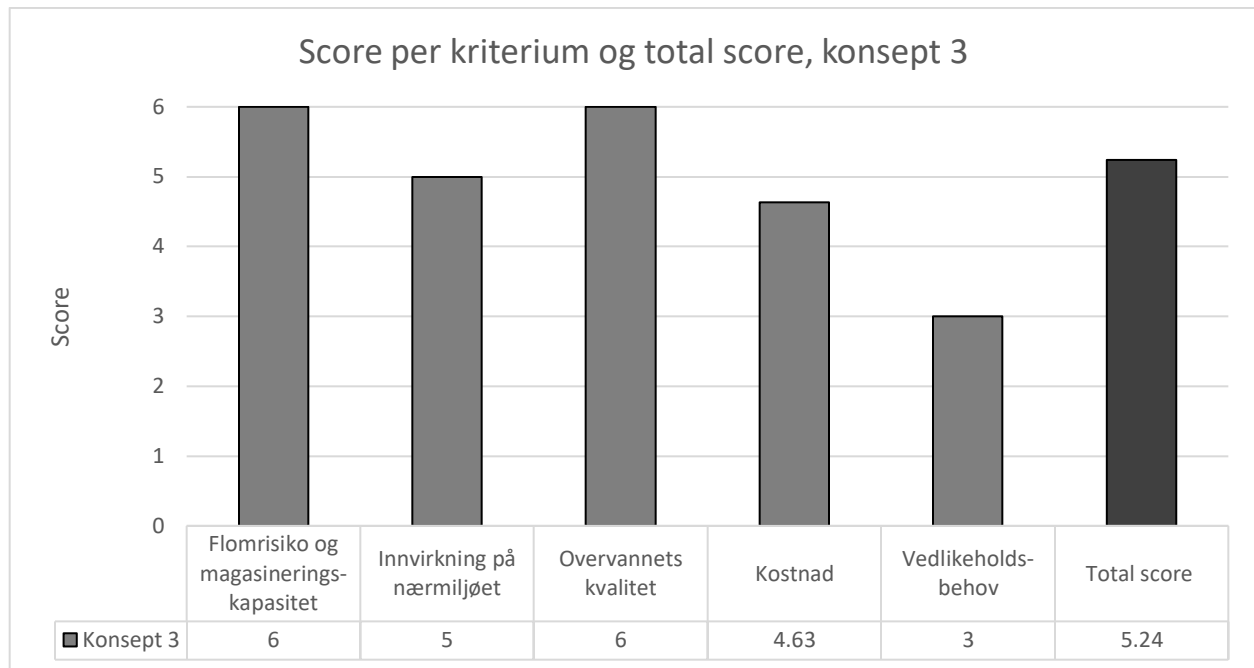
Vedlikeholdsbehovet til overvannsdammen vil være likt som for konsept 2. Regnbedet vil kreve vedlikehold som resten av parkområdet, og det vil være nødvendig med vanning under tørkeperioder. Det vil være nødvendig med jevnlig vedlikehold og skjøtsel av de grønne takene, og tømning av sluk en gang i året. Takene tåler både tørke- og frostperioder godt, så vi regner derfor med at det ikke vil være nødvendig med vanning av takene.

Effektmålet om en løsning med minimalt behov for vedlikehold vil oppfylles til en viss grad ved valg av konsept 2, da regnbedet kun trenger vedlikehold som øvrige parkarealer og de grønne takene kun trenger vedlikehold en gang i året. Dette medfører at samfunnsmålet om en lite ressurskrevende løsning også vil tilfredsstilles noe. Fredrikstad kommune og beboernes behov for overvannstiltak som ikke krever mye eller kostbart vedlikehold vil for dette konseptet bli ivaretatt i mindre grad enn konsept 2 på grunn av det ekstra vedlikeholdet som er nødvendig for regnbedet og de grønne takene.

På bakgrunn av dette får konseptet en score lik 3 på kriteriet «vedlikeholdsbehov».

## **Oppsummering av konsept 3 sin score**

Totalt sett vil konsept 3 få en score på 5,24 (Figur 9.12 (Figur 9.11)). Konseptet får maksimal score på «flomrisiko og magasineringskapasitet» og «overvannets kvalitet», som er vektet henholdsvis med 30 og 20 prosent. Konsept 3 får en score lik 5 på «innvirkning på nærmiljøet», som er vektet med 20 prosent. Konseptet kommer middels ut på «vedlikeholdsbehov», med en score på 3, men dette gir lite utslag da dette kriteriet kun er vektet 10 prosent.



*Figur 9.11 Score per kriterium og total score for konsept 3.*

## 9.4.4 Konsept 4

### Nøkkelinformasjon

Konsept 4 består av en overvannsdam, grønne tak, et regnbed og levende vegger. Dette gir konseptet en BGF på 0,92. Konseptet vil ha en kostnad (nåverdi) lik 1,93 millioner NOK (Tabell 9.15).

Tabell 9.15 Nøkkelinformasjon om konsept 4.

<b>Tiltak</b>	<b>Utforming og informasjon</b>
Overvannsdam	Tørrværsvolum 140 m <sup>2</sup> Fordrøyningsvolum 514 m <sup>3</sup>
Grønne tak	Sedumbeplantning Vekstmedium 50 mm Tilbakeholdelseskapasitet 40%
Regnbed	Utformet som et symmetrisk trapes Areal 21 m <sup>2</sup> Bunnbredde 0,6 m Toppbredde 1 m Fordrøyningskapasitet 5 m <sup>3</sup>
Levende vegger	Blokk A, 40 m <sup>2</sup>
<b>Faktor</b>	<b>Verdi</b>
Nåverdi	1,93 mill. NOK
BGF	0,92

### Flomrisiko og magasineringskapasitet

Som nevnt under beskrivelse av konseptforslagene (kapittel 9.2) vil fordrøyningssevnen til konsept 4 være den samme som for konsept 3, og konseptet vil dermed oppfylle de samme kravene, målene og behovene som konsept 3.

Dette medfører at konsept 4 får en score lik 6 på kriteriet «flomrisiko og magasineringskapasitet».



## **Innvirkning på nærmiljøet**

Konsept 4 vil ha en samlet BGF på 0,92, altså likt som konsept 3. BGF blir med andre ord ikke påvirket av at det anlegges levende vegger, men levende vegger vil likevel kunne bidra positivt til det biologiske mangfoldet. I tillegg vil levende vegger virke støydempende og bidra til å bedre luftkvaliteten. På sommeren vil tiltaket kunne bidra til en estetisk finere utforming av uteområdet, men det er noe usikkert hvor estetisk fine de vil være på vinteren ettersom vintergrønne planter har stor rotvekst, noe som er vanskelig å legge til rette for ved anleggelse av levende vegger.

Dette konseptet vil oppfylle de samme kravene og målene, samt dekke de samme behovene, som konsept 3, men anleggelse av levende vegger vil ha en ytterligere positiv effekt på nærmiljøet, noe som gjør at konsept 4 får en score lik 6 på kriteriet «innvirkning på miljøet».

## **Overvannets kvalitet**

Som nevnt under beskrivelse av konseptforslagene (kapittel 9.2) vil ikke overvannets kvalitet påvirkes negativt av at det anlegges levende vegger, som er det eneste som skiller konsept 3 og 4. Så siden konsept 3 scorer maksimalt på dette kriteriet, er det fornuftig å anta at konsept 4 også gjør det. Konsept 4 får dermed en score lik 6 på kriteriet «overvannets kvalitet».

## **Kostnad**

Konsept 4 har høyest investeringskostnad og nest høyest vedlikeholdskostnad, og totalt sett høyest kostnad (nåverdi) av de gjenværende konseptforslagene. Levende vegger er det eneste som skiller konsept 4 fra konsept 3, som har lavest nåverdi av de tre gjenværende konseptene. Ut ifra beregninger utgjør kostnaden til levende vegger nesten 20 prosent av total nåverdi, enda levende vegger kun skal anlegges på 40 kvadratmeter av blokk A.

Beregnet score er 4,2 på kriteriet «kostnad».

## **Vedlikeholdsbehov**

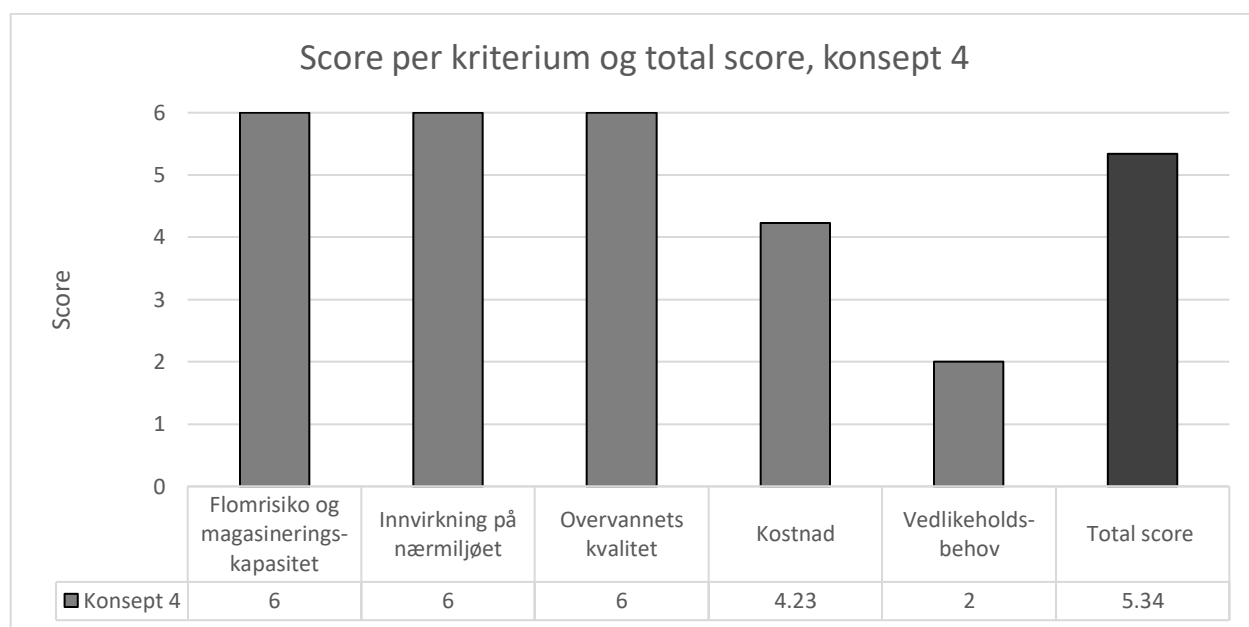
For overvannsdammen, regnbed og ekstensive tak vil vedlikeholdsbehovet være det samme som for konsept 3. I tillegg vil levende vegger kreve noe vedlikehold. I etableringsfasen krever levende vegger mye vedlikehold, med dette vil avta noe etterhvert. Levende vegger krever god skjøtsel av

plantene og klipping annethvert år, og vanning i tørkeperioder, noe som er negativt når det prosjektutløsende behovet blant annet går ut på at tiltaket bør håndtere økt vannmangel.

Dette konseptet vil dekke de samme behovene, målene og kravene som konsept 3 for dette kriteriet, men konsept 4 vil ha et større vanningsbehov, og får derfor en score lik 2 på dette kriteriet.

### Oppsummering av konsept 4 sin score

Totalt sett vil konsept 4 få en score på 5,34 (Figur 9.12). Konseptet får maksimal score på «flomrisiko og magasineringskapasitet», «innvirkning på nærmiljøet» og «overvannets kvalitet», som er vektet henholdsvis med 30, 25 og 20 prosent. Konseptet kommer dårlig ut på «vedlikeholdsbehov», men det gir lite utslag da dette kriteriet kun er vektet 10 prosent.

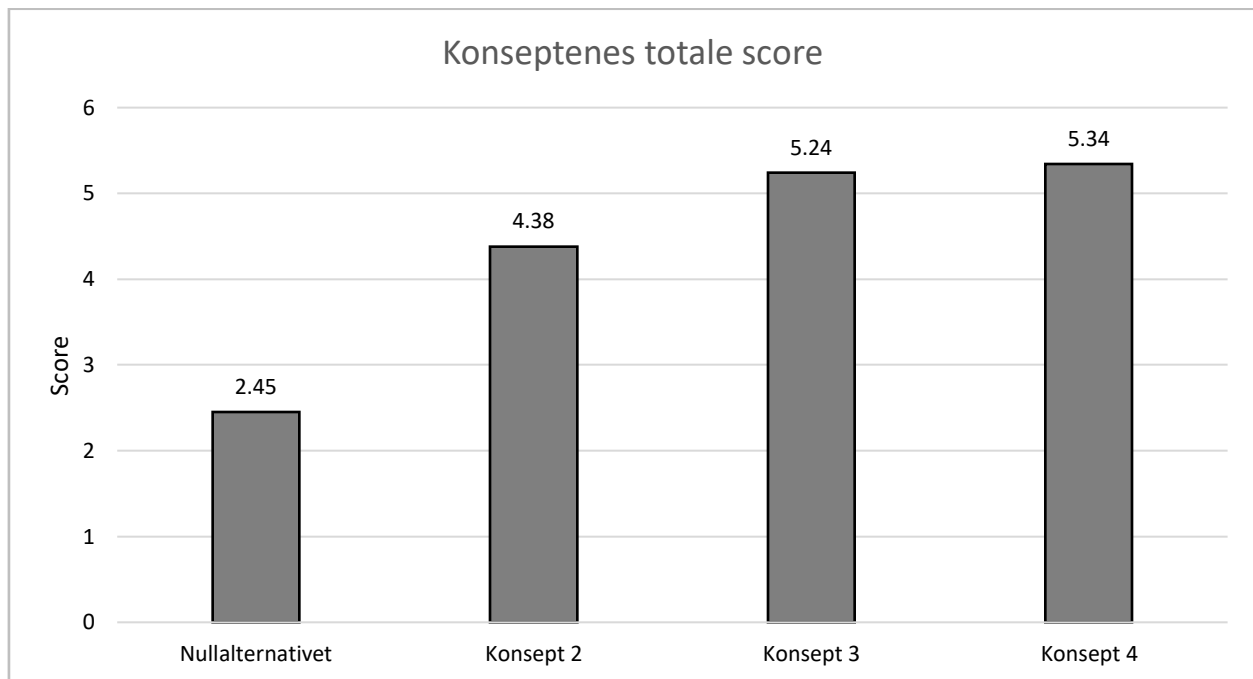


Figur 9.12 Score per kriterium for konsept 4.

## 9.5 Konseptenes totale prestasjonsevne

Totalt sett fikk konsept 4 best score, med en total score på 5,34 (Figur 9.13). Konseptet som kom nest best ut var konsept 3, med en total score på 5,24. Konsept 3 og 4 ligger altså relativt nære hverandre når det gjelder score. Konsept 2 og nullalternativet fikk en total score på henholdsvis 4,38 og 2,45. Disse fikk dermed en lav score sammenliknet med konsept 3 og 4, og vi har derfor valgt å utelukke dem i videre vurderinger.

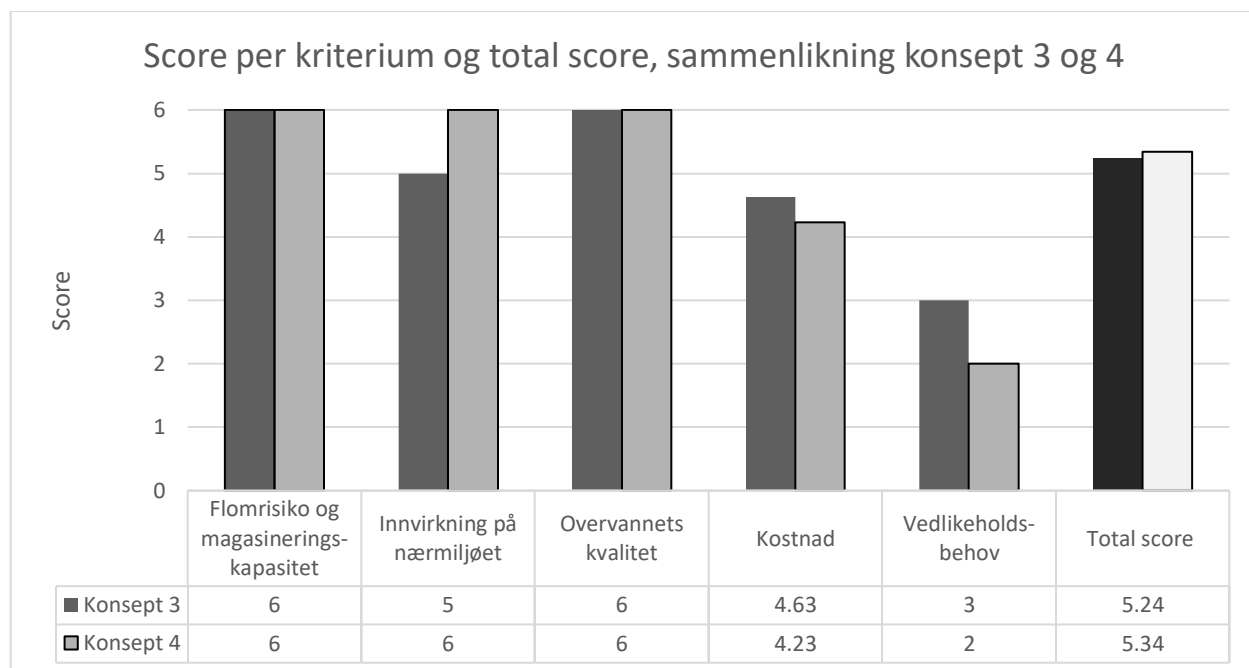
For kriteriene «overvannets kvalitet» og «flomrisiko og magasineringskapasitet» scoret konsept 3 og 4 likt, med en score på 6 på begge kriteriene (Tabell 9.16). Kriteriene som skiller konseptene fra hverandre er altså «innvirkning på lokalmiljøet», «kostnad» og «vedlikeholdsbehov» (Figur 9.14).



Figur 9.13 Konseptenes totale score.

Tabell 9.16 Alle konseptenes totale score.

Evalueringkriterium	Vekting	Konsept			
		0	2	3	4
Flomrisiko og magasineringskap.	30 %	1	6	6	6
Innvirkning på nærmiljøet	25 %	1	3	5	6
Overvannets kvalitet	20 %	2	4	6	6
Kostnad	15 %	6	4,2	4,6	4,2
Vedlikeholds-behov	10 %	6	4	3	2
<b>TOTAL SCORE</b>		2,45	4,38	5,24	5,34



Figur 9.14 Sammenlikning av gjenværende konsepters prestasjonsevne (konsept 3 og 4) for de ulike kriteriene.

## 9.6 Følsomhetsanalyse

Videre vil vi utføre en følsomhetsanalyse for å undersøke robustheten til rangeringen. Dette innebærer at vi sjekker hvordan rangeringen mellom konsept 3 og 4 endrer seg ved endring i konseptenes score på de ulike kriteriene. Hvis denne endringen er urimelig, anses rangeringen som robust, og konsept 4 regnes som det mest optimale konseptet. Siden det kun er levende vegger som skiller konsept 4 fra konsept 3, er det interessant å se hvilken innvirkning levende vegger har på konsept 4 sin prestasjonsevne.

For «flomrisiko og magasineringskapasitet» og «overvannets kvalitet» scorer konsept 3 og 4 likt og mottar maksimal score. Det er urealistisk at anleggelse av levende vegger, som er det eneste som skiller de to konseptene, vil utgjøre en forskjell i score på disse kriteriene, og vi anser derfor scoregivningen på «flomrisiko og magasineringskapasitet» og «overvannets kvalitet» som robust.

Videre i følsomhetsanalysen tar vi for oss de tre kriteriene hvor konseptene scorer forskjellig for å se hvor robust scoregivningen er. Disse kriteriene er «kostnad», «vedlikeholdsbehov» og «innvirkning på nærmiljøet».

Konsept 3 scorer bedre enn konsept 4 på «kostnad». Anleggelse av levende vegger er en av de dyreste overvannstiltakene som er undersøkt i denne oppgaven, og kan dermed ha en betydelig innvirkning på den totale kostnaden til et konsept. Siden veggarealet for levende vegger ikke er så stort, vil imidlertid ikke kostnaden til konsept 4 bli påvirket i så stor grad. Det er vel og merke noe urealistisk å anta at veggen ikke blir mer enn 40 kvadratmeter. Om man hadde planlagt levende vegger for et areal på 100 kvadratmeter, ville den totale scoren til konsept 3 og 4 blitt lik.

Det er realistisk at arealet til de levende veggene blir mer enn 40 kvadratmeter, noe som gjør det realistisk at konsept 4 vil score lavere på «kostnad» enn det gjør per nå. Spørsmålet er hvor mye større arealet eventuelt vil bli, og dermed hvor mye lavere konsept 4 vil prestere totalt sett. Hvis arealet blir større enn 100 kvadratmeter, vil konsept 3 totalt sett prestere bedre enn konsept 4.

«Vedlikeholdsbehov» er det andre kriteriet konsept 3 scorer bedre på enn konsept 4. De to konseptene vil stort sett ha det samme vedlikeholdsbehovet, men konsept 4 vil i tillegg ha behov for vedlikehold av levende vegger. Hovedgrunnen til at dette utgjør 1 i scoreforskjell er at levende vegger har behov for vanning, spesielt i etableringsfasen. Vi ser det imidlertid ikke som sannsynlig

at levende vegger skal utgjøre mer enn 1 i scoreforskjell på «vedlikeholdsbehov», noe som fører til at konsept 4 ikke vil kunne få lik eller bedre score enn konsept 3 på dette kriteriet, og scoregivningen på «vedlikeholdsbehov» anses dermed som robust.

«Innvirkning på nærmiljøet» er det eneste kriteriet konsept 4 scorer bedre på enn konsept 3. En endring i score for dette kriteriet vil ha mye å si da kriteriet er vektet med 25 prosent. Hadde konsept 3 scoret like mye som konsept 4 på dette kriteriet ville den endelige scoren blitt henholdsvis 5,47 og 5,31, altså ville konsept 3 kommet best ut at rangeringen. Det må derfor diskuteres hvorvidt det er sannsynlig at levende vegger vil utgjøre en forskjell på 1 i score mellom de to konseptene for kriteriet «innvirkning på nærmiljøet».

Levende vegger vil kunne føre til økt biologisk mangfold, støydemping, forbedret luftkvalitet og en estetisk fin utforming i sommerhalvåret. Så selv om levende vegger utgjør et areal på kun 40 kvadratmeter i konsept 4, ansees det som realistisk at tiltaket vil utgjøre en forskjell på 1 i score for konseptet. Av den grunn anses scoregivningen for kriteriet «innvirkning på nærmiljøet» som robust.

På bakgrunn av overnevnte momenter anses scoregivningen for «vedlikeholdsbehov» og «innvirkning på nærmiljøet» som robust. «Kostnad» er det eneste kriteriet som er usikkert, da det kommer an på hvor stort areal med levende vegger som anlegges. For dette tilfellet, hvor arealet er bestemt å være 40 kvadratmeter, ser vi imidlertid på scoregivningen som robust. Det betyr at den endelige rangeringen anses som robust, og vi anbefaler derfor konsept 4 til videre utvikling. Samtidig som konsept 4 får best score, vil det også være det mest innovative av alle konseptforslagene. Så ved å velge dette konseptet vil man i tillegg til å oppfylle alle satte behov, mål og krav, dermed oppfylle EU-prosjektets ønske om en innovativ løsning og deres behov om at kunnskapen fra dette prosjektet skal kunne brukes videre i andre prosjekter.

## **10 RESULTATER OG DISKUSJON**

I dette kapitlet diskuteres funnene fra KVVU-en i lys av målene som er satt for oppgaven. Diskusjonsdelen vil hovedsakelig handle om hvordan KVVU fungerer som metode, og hvorvidt det vil være et gunstig verktøy for kommuner for å sikre helhetlig, tidligfase planlegging av overvannsprosjekter, eller ikke. Ettersom hovedmålet med denne oppgaven er å vurdere KVVU som metode, vil diskusjonsdelen sammenfalle med oppgavens resultater.

### **10.1 Vurdering av KVVU som verktøy for kommuner**

Hovedmålet for denne oppgaven var å vurdere om KVVU kan være et gunstig verktøy for kommuner ved planlegging av overvannshåndtering, og å se på hvilke justeringen som vil være nødvendig for at metoden skal fungere for kommuner. Videre vil vi diskutere styrker og svakheter ved de ulike trinnene i metoden, og til slutt diskutere hvorvidt KVVU passer som metode i denne sammenhengen eller ikke.

#### **Behovsanalysen**

En fordel med behovsanalysen er at man identifiserer alle aktuelle behov i forbindelse med prosjektet. Ved å ta hensyn til alle eksisterende behov, legger man til rette for at prosjektets resultat vil gagne flest mulig. Spesielt gjennom den interessentbaserte behovsanalysen, hvor man kartlegger prosjektets interessenter og deres behov, og dermed sørger for at prosjektet ses fra flere perspektiv når valg av konsept skal tas.

Siden KVVU-en ble utført for Fredrikstad kommune, valgte vi å sette Fredrikstad kommune som primærinteressent i den interessegruppebaserte behovsanalysen. Som sekundærinteressenter satte vi EU-prosjektet og utbygger, og som tertiærinteressent satte vi innbyggerne. Årsaken til denne inndelingen var de ulike partenes påvirkningskraft, men i ettertid har vi innsett at dette kanskje ikke var en helt optimal inndeling. KVVU benyttes for å maksimere samfunnsnyttene, og da vil det nok være mer naturlig å sette beboerne som sekundærinteressent, og heller EU-prosjektet og utbygger som tertiærinteressent.

I et framtidig prosjekt bør dessuten den interessegruppebaserte behovsanalysen gjøres mer grundig. Med tanke på Fredrikstad kommune burde vi gått mer i detalj for å kartlegge alle eksisterende

behov, eksempelvis behovene til kommunens ulike etater (bydrift, bygg og eiendom, vann, avløp og renovasjon). Dette kunne bidratt til å sikre at relevante fagområder blir involvert tidsnok inn i planleggingen.

Når det gjelder utbygger og EU-prosjektet, kunne det for eksempel blitt satt av en dag med hver av dem, hvor alle deres behov hadde blitt identifisert og diskutert. For å kartlegge behovet til fremtidige beboere kunne det blitt utført spørreundersøkelser blant boligsøkere for å kartlegge hvilke behov de har ved valg av bolig for å sikre at faktisk eksisterende behov blir lagt til grunn. Et såpass grundig arbeid har imidlertid ikke vært mulig å utføre med den tidsbegrensningen vi har hatt.

### **Målsettingen til konseptet**

Det er mange hensyn som må tas ved definering av målene til konseptet. Å sørge for målbare mål var utfordrende, spesielt når det gjaldt samfunnsmålene. Disse målene er på et overordnet nivå og skal vise hvilken samfunnsnytte valgt konsept skal medføre. Samfunnsmålene var derfor vanskelig å spesifisere og å gjøre verifiserbare. Effektmålene på sin side ble definert mer spesifikt da de skulle vise den direkte effekten som valgt konsept skulle medføre. Effektmålene var dermed lettere å gjøre verifiserbare.

Det var vanskelig å skille mellom behov og mål ved definering av målene. Behovene og målene henger nært sammen, og ved å oppfylle målene vil man implisitt dekke behovene. Vi har prøvd å definere behovene på et overordnet nivå, og målene på et detaljert nivå. Vi ser det som en fordel å definere mål i tillegg til å avdekke eksisterende behov, da målene er mer konkrete og vil kunne fungere som motivasjon ved utføring av prosjektet. De involverte partene i prosjektet vil gjennom målsettingen hele tiden være klar over formålet med prosjektet og jobbe mot det samme.

### **Overordnet kravdokument**

Utarbeidelse av krav har for oss vist seg å være veldig nyttig. De absolutte kravene har gjort alternativanalysen enklere å gjennomføre, ved at det konseptet som ikke oppfylte disse kravene ble utelukket tidlig i prosessen. Siden kravene er spesifikke og verifiserbare, har det dessuten vært enkelt å sammenlikne konseptene opp mot kravene.



## Multikriterieanalyse

Måten løsningene har blitt evaluert og rangert har sine styrker og svakheter. Fordelene ved å benytte multikriterieanalyse for å finne den mest optimale løsningen, er at flere evalueringskriterier kan benyttes og i tillegg vektet forskjellig etter hvilke forhold som er viktige. På den måten blir det tatt hensyn til flere faktorer når konseptforslagene vurderes, herunder de ulike interessentenes behov. Man sikrer dermed at flest mulig interessenter ivaretas når konseptforslagene evalueres. I tillegg er metoden brukervennlig og lett å forstå, og det kan gjennomføres en følsomhetsanalyse for å se hvor robust endelig rangeringen er.

På den andre siden forutsetter metoden at evalueringskriteriene er uavhengige, noe som sjeldent stemmer overens med virkeligheten. I vårt tilfelle vil «overvannets kvalitet» og «innvirkning på nærmiljø» være to kriterier som avhenger av hverandre til en viss grad. Eksempelvis vil god kvalitet på overvannet ha god innvirkning på nærmiljøet, og motsatt ved dårlig kvalitet på overvannet. Dette gjelder også kriteriene «kostnad» og «vedlikeholdsbehov», da et konsept som trenger mye vedlikehold implisitt vil medføre økt vedlikeholdskostnad.

Dersom mange evalueringskriterier benyttes, vil i tillegg noen av kriteriene få liten effekt på den totale scoren. I dette tilfellet har vi benyttet fem evalueringskriterier, noe som egentlig er i meste laget da det blir vanskeligere å vekte de ulike kriteriene på en hensiktsmessig måte. En bedre løsning kunne kanskje vært å sammenslå «overvannets kvalitet» og «innvirkning på nærmiljøet», og «kostnad» og «vedlikeholdsbehov» til to kriterier. Da ville vi unngått problemet med avhengige kriterier, i tillegg til at hvert kriterium ville hatt større effekt på total score. Problemet som oppstår ved bruk av få evalueringskriterier kan imidlertid være at det ikke blir tatt hensyn til alle behov. Det er med andre ord viktig å sørge for en god balanse når det gjelder antall evalueringskriterier – ikke for mange slik at alle kriteriene får innvirkning på total score, men tilstrekkelig mange slik at alle behov ivaretas gjennom kriteriene.

En annen ulempe med denne evalueringsmetoden er at utformingen og vektleggingen av kriteriene, samt scoregivningen er en utfordrende prosess som bør utføres med innspill fra flere parter slik at flest mulig synspunkter og meninger blir vurdert. Vektingen og scoregivningen har mye å si for endelig rangering av konseptene, og da er det viktig å sørge for veloverveide valg. I denne KVVU-en har vi forsøkt å ta veloverveide valg ved å vekte kriteriene og gi score med utgangspunkt i det

prosjektutløsende behovet, prosjektets primær-, sekundær- og tertiærinteressenter, samt de øvrige behov, mål og krav som er definert. For framtidige tilfeller der KVVU benyttes for å finne det optimale konseptet for overvannshåndtering, anbefaler vi å inkludere flere parter, for eksempel interessentene, ved vekting og scoregiving.

I dette tilfellet, hvor man ønsker å ende opp med et samfunnsnyttig konsept, er det flere forhold enn kostnader og inntekter som bør vurderes. Når det gjelder scoregiving, er det derfor en fordel å benytte multikriterieanalyse hvis man ønsker å vurdere kvalitative forhold, som for eksempel innvirkning på nærmiljø og overvannets kvalitet, da kriteriene måles i den enheten som er mest relevant for det enkelte kriteriet. Det brukes kun økonomiske verdier på kostnader og inntekter.

Det var nyttig å definere poengskalaen presist før vi ga de ulike konseptene score. Alle kriteriene er kvalitative kriterier, bortsett fra kostnad. Det kan være utfordrende å gi poeng til kvalitative kriterier uten å inkludere subjektive vurderinger, men ved å benytte en godt definert poengskala, hvor det er tydelig hva ulike scorer betyr, kan man oppnå objektive beslutninger og en mer representativ rangering. Det var imidlertid en utfordring å kun ta hensyn til den definerte poengskalaen ved scoregiving. Vi ser i ettertid at vi lot konseptene påvirke hverandres score, noe som gjorde at scoregivingen ikke ble helt objektiv for hvert konsept.

Som en del av multikriterieanalysen ble det utført en følsomhetsanalyse for å sikre at endelig rangering var robust og kunne benyttes til videre anbefalinger. Å utføre en følsomhetsanalyse anses som hensiktsmessig da denne analysen vil kvalitetssikre den gjennomførte multikriterieanalysen og resulterende rangering. Ved å utføre følsomhetsanalysen kunne vi i tillegg enkelt se hvilke endringer som måtte til for at det ene konseptet skulle nå igjen det andre i totalscore, noe som var interessant i tilfellet der levende vegger utgjorde den eneste forskjellen mellom to konsepter.

## **Utvikling av alternative konsepter**

En svakhet med metoden er at den krever konsepter som ikke overlapper hverandre. Normalt sett ser en KVVU på helt ulike, utelukkende tiltak, som er ment å løse samme problem. I tilfeller hvor problemstillingen omhandler overvannshåndtering, er det begrenset hvor ulike tiltakene kan være.

Vi forsøkte å imøtekomme kravet om utelukkende konseptforslag gjennom utviklingsstrategien. Strategien var imidlertid ikke helt optimal da konseptene overlapper hverandre ved at flere av dem

inneholder like tiltak. Dette kunne gjort det vanskelig å skille konseptene fra hverandre, noe som videre kunne gjort det utfordrende å bestemme hvilket av konseptene som var mest optimalt. Resultatene fra KVVU-en viste imidlertid en viss forskjell mellom konseptene, og følsomhetsanalysen konstaterte at denne forskjellen var robust. Av den grunn anser vi utviklingsstrategien som nyttig ved bruk av KVVU i kommuner.

## **Utførte justeringer**

Hovedmålet for denne masteroppgaven var å vurdere om KVVU kan være et gunstig verktøy for kommuner ved planlegging av overvannshåndtering, og å se på hvilke justeringer som må gjøres for at KVVU skal kunne fungere. I denne oppgaven innebar disse justeringene å utelukke den etterspørselsorienterte behovsanalysen i trinn 1, og å utelukke hele trinn 5 kalt «føringer for forprosjektet». Det ble også gjort en navneendring av ren formell årsak.

Disse justeringene anses som hensiktsmessige. For det første ville ikke en etterspørselsorientert behovsanalyse vært relevant for denne KVVU-en. I tillegg ville ikke føringer for prosjektet bidratt til å oppnå KVVU-ens formål, som var at endelig konseptvalg skulle være det mest optimale konseptet med tanke på samfunnsnytte, herunder et konsept som ville sikret eksempelområdet mot økt nedbørintensitet og overflateavrenning, og som ville lagt til rette for utnyttelse av overvann. Føringer for forprosjektet kan gjøres på et senere tidspunkt, etter at selve KVVU-en er gjennomført og når endelig konseptvalg skal utvikles videre.

I tillegg valgte vi å utføre en multikriterieanalyse, herunder en følsomhetsanalyse, for å evaluere konseptforslagene. Som tidligere nevnt innebærer en slik analyse en del utfordringer, men det anbefales likevel å inkludere den i KVVU-en. En multikriterieanalyse vil gjøre det enklere for kommunen å ivareta flere ulike behov, mål og krav på en strukturert måte. Analysen vil på den måten sørge for at man ved valg av konsept tar hensyn til flere faktorer enn kun kostnader, noe som kan øke den totale samfunnsnyttens.

## **Resultatene fra konseptvalgutredningen**

Det er viktig å merke seg at resultatene fra denne KVVU-en avhenger av de antakelsene som er gjort og de forutsetningene som er satt. Siden prosjektet er på et tidlig stadium, er det mange forhold som enda ikke er bestemt, og disse kan ha stor innvirkning på resultatet. Blant annet vil

terrengforholdene bestemme hvilke av løsningene som kan brukes, for eksempel om det kan etableres et regnbed der vi har tenkt, og om vannet fra andre steder i eksempelområdet vil føres til midten av tiltaksområdet. Del 2 av utbyggingen som per nå ikke er bestemt, vil også ha innvirkning på resultatene. Det kan for eksempel hende det skal etableres LOD-tiltak oppstrøms tiltaksområdet, altså i området for utbygging del 2, som vil håndtere noe av nedbøren som faller på feltet. Dette kan gjøre at det ikke blir nødvendig med like omfattende løsninger i tiltaksområdet.

For at resultatene fra en reell KVVU skal komme til nytte, ser vi det som viktig at KVVU-en utføres før selve prosjektet starter, slik at alle føringer som KVVU-en resulterer i er på plass og blir benyttet som utgangspunkt for prosjektet. Disse føringene kan blant annet gjelde terrengutformingene.

### 10.1.1 Kan KVVU fungere for kommuner?

Totalt sett er det knyttet både styrker og svakheter til bruk av KVVU ved planlegging av overvannshåndtering (Tabell 10.1).

Tabell 10.1 Styrker og svakheter knyttet til bruk av konseptvalgutredning slik den er gjennomført her.

Styrker	Svakheter
Sørger for at prosjektets resultat gagnar flest mulig ved å ta hensyn til de ulike interessentene og deres behov.	En omfattende metode som krever tid og ressurser.
Sørger for klare mål som kan virke motiverende i det videre prosjektarbeidet.	Utfordring å kartlegge alle aktuelle behov og gjøre en hensiktsmessig interessentanalyse.
Sørger for at prosjektets resultat oppfyller alle nødvendige krav.	Utfordring å sikre representative, uavhengige evalueringskriterier.
Sørger for god planlegging tidlig i prosjektfasen, noe som kan være kostnadsbesparende senere.	Utfordring å vekte kriteriene, samt gi score, uten subjektiv vurdering.
Sørger for at man ved valg av konsept tar hensyn til flere faktorer enn kun kostnader, noe som kan øke den totale samfunnsnyttan.	Utfordring å sikre konsepter som ikke overlapper hverandre, noe som kan gjøre det vanskelig å skille konseptene fra hverandre ved sammenlikning.
Ved bruk av følsomhetsanalyse kan man avgjøre om endelig konseptvalg er et robust valg.	Utfordring å bestemme hvilket av konseptene som er mest optimalt da scoregivningen kan resultere i relativt like totalscorer.

KVVU sikrer som nevnt god planlegging tidlig i prosjektfasen, at prosjektets resultat gagnar flest mulig og at det mest optimale konseptet står igjen til slutt. På den måten kan metoden sørge for maksimering av prosjekters samfunnsnytte. Spørsmålet er likevel om metoden er gunstig for kommuner ved planlegging av overvannshåndtering.

Ved utvikling av flere konsepter som skal sammenliknes, legger man opp til ressurskrevende arbeid med tanke på utvikling og vektning av evalueringskriterier, utvikling av ulike konseptforslag og gjennomføring av en multikriterieanalyse for hvert forslag. For at KVVU skal være en anvendbar metode for kommuner med tanke på tid og ressurser, kan det være et alternativ å endre strategien

for utvikling av konsepter. Istedenfor å utvikle tre til fire konseptforslag, kan det settes opp ett konseptforslag som testes mot kravene, målene og behovene. Hvis konseptet for eksempel ikke oppfyller kravene, er det nødvendig å utvikle det videre. Implisitt betyr dette at man ikke bruker evalueringskriterier for å vurdere konseptet, noe som gjør at man slipper utfordringene rundt utvikling av representative og uavhengige evalueringskriterier. Det er i denne sammenheng viktig å sikre en grundig behovsanalyse for å kartlegge alle eksisterende behov, samt sikre presise mål og krav som kan benyttes ved evaluering av konseptet.

En annen fordel med å utelukke utvikling av flere konseptforslag, er at man unngår utfordringen i å sikre at konseptforslagene ikke overlapper hverandre. Det er utfordrende å unngå utelukkende konsepter, noe som kan gjøre det vanskelig å skille dem fra hverandre og sammenlikne dem ved bruk av evalueringskriterier. Resultatene fra denne KVVU-en viste imidlertid en viss forskjell mellom konseptenes totalscorer, og gjennom følsomhetsanalysen kunne det konkluderes med at rangeringen var robust. Så selv om forskjellene er relativt små, bidro multikriterieanalysen til å vise hva som skilte konseptene fra hverandre.

Ved å utvikle kun ett konseptforslag, sparer man tidsbruk ved at man ikke trenger å utvikle flere konseptforslag eller vurdere disse opp mot evalueringskriterier i en multikriterieanalyse, samtidig som man fortsatt vil kunne ivareta behovene, målene og kravene. På en annen side vil en slik strategi kunne medføre at konseptforslaget ikke utvikles mer enn helt nødvendig, noe som kan medføre at det ikke blir tatt hensyn til alle eksisterende behov i tilstrekkelig grad. Dette kan videre føre til at konseptforslaget ikke er det mest optimale ut fra et helhetsperspektiv. Utvikling av flere konseptforslag vil i mye større grad sikre at man ender opp med det mest optimale forslaget siden man sammenlikner flere forslag og tar hensyn til de ulike behovene, målene og kravene på en strukturert måte gjennom multikriterieanalysen.

For å sikre at valgt konsept er det mest optimale ut fra et helhetsperspektiv, anbefales det derfor å utvikle flere konseptforslag som evalueres i en multikriterieanalyse. Da dette er en ressurskrevende prosess, kan det være nødvendig at kommuner mottar øremerkede midler for å styrke kapasiteten og kompetansen når det kommer til planlegging av overvannshåndtering. På den måten blir det tilrettelagt for at kommuner skal kunne gjøre grundigere planlegging, herunder utførelse av KVVU for planlegging av overvannshåndtering.

## 10.2 Lokale overvannsløsninger

I dette kapitlet diskuterer vi delmålet som går på å finne lokale løsninger for å sikre eksempelområdet og nedstrøms områder mot økt nedbørintensitet og overflateavrenning.

I denne KVVU-en valgte vi å se på grønne tak, levende vegger, regnbed, overvannsdam og regnhøsting som potensielle tiltak for å sikre eksempelområdet og nedstrøms områder mot økt nedbørintensitet og overflateavrenning. Resultatet av KVVU-en viste at det mest komplekse konseptet, altså konsept 4 som inkluderte grønne tak, levende vegger, et regnbed og en overvannsdam, var det mest optimale konseptet av de fire som ble vurdert. Dette konseptet vil dermed sikre eksempelområdet og nedstrøms områder mot økt nedbørintensitet og overflateavrenning.

Når det gjelder sikring av eksempelområdet og nedstrøms områder, vil de tiltakene som er lagt fram i denne oppgaven først og fremst sikre nedstrøms områder ved at tiltakene sørger for magasinering og fordrøyning av overvannet, og ved at de sikrer at maksimalt utslipp til kommunalt nett ikke overskrider kommunens krav (100 l/s). Når det gjelder sikring av eksempelområdet har vi antatt at terrenget har tilstrekkelig fall fra blokkene, og at alt vann vil renne motstandsritt til midten av tiltaksområdet. Dette er en forutsetning for at blokkene skal være sikret mot en 200 års nedbørshendelse. Det ligger imidlertid usikkerhet i denne forutsetningen, og ved utførelse av KVVU i en kommune vil det være nødvendig at kommunen setter føringer for hvordan terrenget skal utformes.

Gjennom utvikling av konseptene har vi kommet frem til at etablering av overvannsdam i stor grad vil kunne være tilstrekkelig for å holde tilbake overflateavrenning fra et område slik at nedstrøms områder sikres mot flomhendelser. For et så stort område som eksempelområde blir effekten av regnbed, ekstensive tak og levende vegger minimal sammenliknet med effekten til en overvannsdam. Regnbed og ekstensive tak vil i noen grad bidra til å forsinke flomtopper, men disse tiltakene i seg selv ikke vil være tilstrekkelig for å sikre nedstrøms områder mot flomhendelser. For mindre nedbørsområder kan det tenkes at en overvannsdam ikke er nødvendig, og at det holder med regnbed og grønne tak.

Det ble ikke tatt hensyn til mulige inntektskilder ved beregning av kostnaden knyttet til de ulike overvannsløsningene. Kostnadsbesparelsene knyttet til redusert drikkevannsforbruk på grunn av

løsninger som legger til rette for utnyttelse av overvann, viste seg å være neglisjerbare og ble derfor ikke inkludert i kostnadsberegningene. Vi har heller ikke inkludert kostnadsbesparelse i forbindelse med vannskader på bygg og infrastruktur. Overvannsløsningene vil kunne sikre eksempelområdet, og avlaste flomveien, slik at faren for oversvømmelser reduseres, noe som vil føre til færre vannskader og reduserte kostnader. Årsaken til at disse kostnadsbesparelsene ikke er tatt i betraktning, er at alle konseptforslagene vil sørge for god sikring mot oversvømmelser, noe som betyr at den samme kostnadsbesparelsen vil gjelde for alle konseptforslagene og vil dermed ikke ha noen innvirkning på det endelige resultatet.

Når det gjelder kostnadsberegningene, er det flere forhold rundt løsningene som ikke er tatt i betraktning. Blant annet har vi ikke inkludert kostnadene knyttet til installasjon av pumper, overløpsventil, rør, vannkran, og andre komponenter som vil være nødvendig for at flere av overvannstiltakene skal fungere (for eksempel vanntanken og overvannsdammen). Siden disse komponentene vil være nokså like for hvert av tiltakene, er det imidlertid rimelig å anta at kostnaden knyttet til dem er ubetydelig ved sammenlikning av de ulike konseptenes totale nåverdi. Av den grunn anses det ikke som nødvendig å inkludere disse komponentene i kostnadsberegningene.

Alle beregninger og antakelser knyttet til overvannsløsninger var konservative. Dette gjelder beregning av avrenningskoeffisient, beregning av total overvannsmengde ved bruk av regnenvelopmetoden, og beregning av totalt vanningsbehov. I tillegg gjelder det antakelsen om at byggetrinn 2 ikke vil bestå av noen overvannstiltak. Dette har nok gjort at overvannstiltakene er noe overdimensjonert, noe som vil gjøre tiltakene unødvendig kostbare. Ved dimensjonering av overvannstiltak burde man vurdere om det er nødvendig at alle tiltak dimensjoneres konservativt, eller om det kanskje er tilstrekkelig at kun noen få tiltak dimensjoneres slik. Optimalt sett bør dessuten ikke fremtidig dimensjonering av overvannstiltak baseres på så usikre beregninger som i denne oppgaven, blant annet beregning av avrenningskoeffisient og konsentrasjonstid. Da vi ikke hadde noe mer nøyaktig å gå ut ifra, samt på grunn av tidsbegrensninger, måtte vi imidlertid gjøre disse antakelsene for å kunne evaluere de ulike konseptene mot hverandre.



### **10.3 Utnyttelse av overvann**

I dette kapitlet diskuterer vi delmålet som går ut på å finne overvannsløsninger som legger til rette for utnyttelse av overvann.

I oppgaven har vi kun tatt for oss vanningsbehovet som oppstod i ekstremåret 2018, og da kun sett på vanningsbehovet for parsellhagene og veksthuset. Resultatene av KVVU-en viser at det ikke vil være et problem for eksempelområdet å dekke vanningsbehovet for 2018 så lenge overvannsdammen eller magasineringsstanken under bakken dimensjoneres med et tørrværsvolum på 140 kubikkmeter. For å sikre at overvannet har tilstrekkelig god kvalitet og faktisk kan brukes til vanning av alle vekster, burde kvaliteten til overvannet følges opp og sjekkes når konseptet er anlagt.

Det bør imidlertid nevnes at ved perioder med lite nedbør og mye tørke, vil det være sannsynlig at noe av vannet i overvannsdammen kan fordampe. I slike perioder vil det derfor være usikkert hvor mye vann man har tilgjengelig til vanning, og det er dermed usikkert om konseptene hvor overvannsdammen skal benyttes som kilde til vanningsvann vil kunne dekke vanningsbehovet som oppstod i 2018.

# 11 KONKLUSJON

Ut fra KVVU-en ser vi at eksempelområdet har potensiale til å dekke vanningsbehovet for 2018, forutsatt at magasineringsstiltakene dimensjoneres slik at de kan romme nødvendig tørrværsvolum. Resultatet av KVVU-en viste i tillegg at det mest komplekse konseptet, som inkluderte grønne tak, levende vegger, et regnbed og en overvannsdam, var det mest optimale konseptet for eksempelområdet. Gjennom utvikling av konseptene har vi kommet frem til at etablering av overvannsdam i stor grad vil kunne være tilstrekkelig for å holde tilbake overflateavrenning fra et område slik at nedstrøms områder sikres mot flomhendelser.

Resultatet av denne oppgaven tyder på at KVVU kan være et godt verktøy for å sikre helhetlig, tidligfase planlegging av overvannshåndtering i kommuner, fordi man gjennom KVVU tidlig tar hensyn til alle involverte interessenter og sikrer et tverrfaglig samarbeid innad i kommunen. Dette vil føre til samfunnsnyttige overvannsløsninger, som ivaretar kommunens behov, og behovene til eksterne interessenter som beboere eller utbygger.

For å optimalisere KVVU til bruk i kommuner, bør det gjennomføres en grundig behovsanalyse, da denne legger grunnlaget for videre arbeid. Det er i behovsanalyse man har mulighet til å kartlegge de interessentene som bør ivaretas gjennom prosjektet. Det er i tillegg nyttig å sette tydelige og målbare effektmål ut ifra behovene. Målene bør brukes i utvikling av konsepter, og kan virke motiverende i prosjektprosessen som følger. Videre vil godt utarbeidede absolutte krav gjøre det enklere for kommunen å gjøre en grovutsiling av konsepter, slik at konsepter som ikke tilfredsstillers absolutte krav utelukkes tidlig. At den etterspørselsorienterte behovsanalysen i trinn 1 og føringer for forprosjektet (trinn 5) ble utelukket fra denne KVVU-en anses som en fornuftig beslutning, da disse trinnene vil være lite relevante ved utførelse av KVVU i kommuner.

Det anbefales å inkludere en multikriterieanalyse i KVVU-en, da denne vil gjøre det lettere for kommunen å vurdere flere sammenhenger og målsetninger på en strukturert måte. Ved å benytte multikriterieanalysen sørger kommunen for at flest mulig behov ivaretas, samtidig som det tas hensyn til interessentenes prioriteringsgrad ved å vekte evalueringskriteriene forskjellig. Bruk av en godt definert poengskala i multikriterieanalysen vil i tillegg gjøre det lettere for kommunen å gjøre et objektivt konseptvalg. Videre ser vi det som hensiktsmessig og nødvendig å utføre en følsomhetsanalyse av resultatet fra multikriterieanalysen for å sikre at endelig resultat er robust.

Vi har i tillegg sett det som gunstig å utvikle ulike konsepter som sammenliknes med hverandre, og anbefaler det fremfor å utvikle og vurdere kun ett konsept. Selv om vurdering av ulike konseptforslag gjennom en multikriterieanalyse har vist seg å være en tidkrevende prosess, vil det sikre at valgt konsept er det mest optimale ut ifra et helhetsperspektiv. Hvis det kun utvikles ett konsept, vil man muligens kunne sikre at de absolutte kravene dekkes, men man vil ikke sikre at alle eksisterende behov blir ivaretatt. Det anbefales derfor å utvikle flere konsepter som sammenliknes, men da kan det være nødvendig at kommuner mottar øremerkede midler for å styrke kapasiteten og kompetansen når det kommer til planlegging av overvannshåndtering.

Ved å utføre KVVU på et tidlig stadium i prosessen, vil man kunne ivareta mange av momentene som er ønskelig i kommunal overvannsplanlegging, blant annet samfunnsnytte, helhetlig tenking på tvers av fag- og etatsgrenser og omfattende behovsanalyser. Ved å sikre helhetlig planlegging gjennom KVVU vil det kunne sørge for at kommuner blir bedre rustet for fremtidens klimaendringer, herunder mer ekstreme tørkeperioder og nedbørsperioder.

# REFERANSER

- Andersen, J. R., Bratli, J. L., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., ... Aanes, K. J. (1997). *Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann*. Oslo.
- Banach, A., & Fjeldhus, K. (2016). *Overvannsdammer - et urbant vannmiljø*.
- Berghage, R. D., Beattie, D., Jarrett, A. R., Thuring, C., Razaeei, F., & O'Connor, T. P. (2009). *Green Roofs for Stormwater Runoff Control*.
- Bjerve, G. H. (2019). 2018-været ga ekstreme kontraster. Hentet 12. februar 2019, fra <https://forskning.no/klima-ntb-vaer-og-vind/2018-vaeret-ga-ekstreme-kontraster/1276540>
- Braskerud, B. C. (2014). *Grønne tak og styrtregn*.
- Braskerud, B. C. (2016). *Grønne tak for flomdemping*.
- Braskerud, B. C., & Paus, K. H. (2018). Blågrønn infrastruktur-mer enn håndtering av overvann? VANN.
- Braskerud, B., & Paus, K. H. (2016a). *Regnbed for lokal flomdemping*.
- Braskerud, B., & Paus, K. H. (2016b). *Regnbed som renseløsning for forurenset vann*.
- Byggteknisk forskrift (TEK17). (2017). Byggteknisk forskrift (TEK17). Hentet 16. april 2019, fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- Bærum kommune, Dronninga Landskap, COWI, & C. F. Møller. (2014). *Blågrønn faktor - Veileder byggesak*. Bærum kommune.
- Chin, D. A. (2013a). *Water-Resources Engineering* (3. utg.). Harlow: Pearson.
- Chin, D. A. (2013b). *Water Resources Engineering* (3. utg.). Harlow: Pearson.
- COWI. (2013). *På lag med regnet. Veileder for lokal overvannshåndtering*. Oslo.
- Direktoratet for økonomistyring. (2018). *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*. Oslo.
- Elnan, K., & Leszczynski, E. (2018). *Boligmarkedsanalyse. Kongsberg kommune*. Oslo.
- Finansdepartementet. (2010a). *Veileder nr. 10. Kvalitetssikring av konseptvalg, samt styringsunderlag og kostnadsoverslag for valgt prosjektalternativ. Målstruktur og målformulering*. (No. 1.1).
- Finansdepartementet. (2010b). *Veileder nr. 8. Kvalitetssikring av konseptvalg, samt styringsunderlag og kostnadsoverslag for valgt prosjektalternativ. Nullalternativet* (No. 1.1).
- Finansdepartementet. (2010c). *Veileder nr 9. Utarbeidelse av KVU/KL dokumenter: Kvalitetssikring av konseptvalg, samt styringsunderlag og kostnadsoverslag for valgt prosjektalternativ* (No. 1.1).
- Finansdepartementet. (2014). *Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv.* (No. R-109/14).

- Folkehelseinstituttet. (2012). Mikrobiologiske drikkevannsanalyser - hva forteller de? Hentet 30. april 2019, fra <https://www.fhi.no/ml/drikkevann/nasjonal-vannvakt/mikrobiologiske-drikkevannsanalyser/>
- Forurensningsloven. (2018). Lov om vern mot forurensninger og om avfall. Hentet 16. april 2019, fra [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6#KAPITTEL\\_4](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6#KAPITTEL_4)
- Fredrikstad blad. (2017). Nå kan du ikke lenger vanne som du vil. Hentet 12. februar 2019, fra <https://www.f-b.no/rade/vanningsrestriksjoner/hage/na-kan-du-ikke-lenger-vanne-som-du-vil/s/5-59-802968>
- Fredrikstad blad. (2018). Nå: Innfører vanningsrestriksjoner i Fredrikstad og Hvaler. Hentet 11. februar 2019, fra <https://www.f-b.no/nyheter/vann-og-avlop/vanningsrestriksjoner/na-innforer-vanningsrestriksjoner-i-fredrikstad-og-hvaler/s/5-59-1114212>
- Fredrikstad kommune. (2016). *Hovedplan vann og avløp 2008-2028 (Rullering 2016)*.
- Fredrikstad kommune. (2019). Gebyrer. Hentet 25. mars 2019, fra <https://www.fredrikstad.kommune.no/tjenester/Vann-vei-trafikk/vannogavlop/gebyrer/>
- Fredrikstad kommune, & Cowi. (2007). *Overvannsrammeplan*.
- Gabriel, S., & Fiil, L. (2016a). *Flerkunksjonelle lekeomtåder*. Oslo.
- Gabriel, S., & Fiil, L. (2016b). Regnhøsting for vanning i hager. *Oslo kommune*.
- Hanslin, H. M., & Johannessen, B. G. (2018). *Grønne tak som LOD- og miljøtiltak* (Bd. 4). NIBIO, NTNU, Miljødirektoratet.
- Hanslin, H. M., Schmidt, I., Haraldsen, T. K., & Aamlid, T. S. (2018). *Kunnskapsstatus : Plan som tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD)* (Bd. 4).
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., ... Ådlandsvik, B. (2015). *Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015*.
- Høysaeter, T., & Daviknes, H. K. (2011). *Hva legges til grunn for kommunens vurdering av badevannskvaliteten?*
- Jernbaneverket. (2015). *Sammenstilling-interessentanalysen. KVU Grenlandsbanen - vurdering av sammenkobling av Vestfoldbanen og Sørlandsbanen*.
- Jernbaneverket, Statens vegvesen, & Ruter AS. (2015). *KVU Oslo-Navet. Konseptvalgutredning for økt transportkapasitet inn mot og gjennom Oslo*.
- Johannessen, B. G., Hanslin, H. M., & Muthanna, T. M. (2017). Green roof performance potential in cold and wet regions. *Ecological Engineering*, 106, 436–447. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.011>
- Johannessen, B. G., Muthanna, T. M., & Braskerud, B. C. (2018). Detention and retention behavior of four extensive green roofs in three Nordic climate zones. *Water (Switzerland)*, 10(6), 1–23. <https://doi.org/10.3390/w10060671>
- Jordal, H. A., Samset, K., & Nyhus, O. H. (2018). *God praksis i arbeidet med konseptvalgutredninger (KVU)*. Trondheim.

- Karlsen, J. T. (2015). *Prosjektledelse - Fra initiering til gevinstrealisering* (3. utg.). Oslo: Universitetsforlaget.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2018). Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning. Hentet 16. april 2019, fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2018-09-28-1469>
- Kvalheim, E. V. (2015). *Concept: Forståelig og transparent? Formidlingen av resultater fra samfunnsøkonomiske analyser*. Trondheim.
- Lamera, C., Becciu, G., Rulli, M. C., & Rosso, R. (2014). Green Roofs Effects on the Urban Water Cycle Components. *Procedia Engineering*, 70, 988–997. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.02.110>
- Leivestad, V., & Skogvold, T. (2017). Blågrønn faktor-Et nyttig verktøy i byggesaksbehandlingen. VANN.
- Lillegraven, R., & Langemyhr, T. Ø. (2018). *Bruk av levende vegger i Norge 2018*. OsloMet.
- Lindholm, O., & Bjerkholt, J. T. (2018). Vannteknikk for landskapsplanleggere. *Norges miljø- og biovitenskapelige universitet*.
- Lindholm, O. G. (2003). Forurensinger i urbant overvann. I *Vannforeningen*. VANN.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I., & Reinvang, R. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*. Oslo.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), e1500323. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Meteorologisk institutt. (2017). Det blir varmere. Hentet 12. februar 2019, fra <https://www.met.no/vaer-og-klima/hvordan-blir-vaeret-i-framtiden>
- Miljødirektoratet. (2016). Overvann - Klimatilpasning. Hentet 14. februar 2019, fra <http://www.klimatilpasning.no/klimautfordringer/overvann/>
- Miljødirektoratet, & COWI. (2015). *Gjennomgang av avrenningsfaktor*.
- Miljøverndepartementet. (2010). *NOU 2010: 10*. Oslo.
- Miljøverndepartementet. (2013). *NOU 2013: 10*. Oslo: regjeringen.no.
- Morgan, S. M., Ostendorf, M., Retzlaff, W., Thomapson, K., Woolbright, M., & Celik, S. (2011). *Storm Water Runoff From Green Retaining Wall Systems*. Southern Illinois University Edwardsville.
- Munda, G. (2004). Social multi-criteria evaluation: Methodological foundations and operational consequences. *European Journal of Operational Research*, 158(3), 662–677. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00369-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00369-2)
- Nielsen, T. S., & Hansen, K. B. (2007). Do green areas affect health? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators. *Health & Place*, 13(4), 839–850. <https://doi.org/10.1016/J.HEALTHPLACE.2007.02.001>

- Nnadi, E. O., Newman, A. P., Coupe, S. J., & Mbanaso, F. U. (2015). Stormwater harvesting for irrigation purposes: An investigation of chemical quality of water recycled in pervious pavement system. *Journal of Environmental Management*, 147, 246–256. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2014.08.020>
- NOR, B. (2011). Konseptvalgutredning (KVU). Hentet 29. april 2019, fra <https://www.banenor.no/Prosjekter/Inter-City-/Prosjektartikler1/Konseptvalgutredning-KVU/>
- Norconsult. (udatert). Konseptvalgutredning (KVU) Bygdøy allé. Hentet 29. april 2019, fra <https://www.norconsult.no/prosjekter/konseptvalgutredning-kvu-bygdoy-alle/>
- Noreng, K., Kvalvik, M., Busklein, J. O., Merete, I., Susanne, C., Og, C., & Kristine, H. (2012). *Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentesprosjekt*. Trondheim.
- Norsk Klimaservicesenter. (2019). Norsk Klimaservicesenter. Hentet 25. februar 2019, fra <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>
- Norsk Vann. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering (Rapport 162-2008)*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.09.006>
- Næss, P. (2004). *Bedre utforming av store offentlige investeringsprosjekter. Vurdering av behov, mål og effekt i tidligfasen*. Trondheim.
- Næss, P. (2005). *Bedre behovsanalyser; Erfaringer og anbefalinger om behovsanalyser i store offentlige investeringsprosjekter*. Trondheim.
- Olsson, J., Berggren, K., Olofsson, M., & Viklander, M. (2009). Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden. *Atmospheric Research*, 92(3), 364–375. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2009.01.015>
- Oslo kommune. (2018). *Brukerveiledning for blågrønn faktor i boligprosjekter i Oslo*.
- Paus, K. H., Åstebøl, S. O., Robba, S., Clavier, K., & Stange, R. (2016). *Vegetasjonsbruk ved åpen overvannshåndtering*.
- Plan- og bygningsloven. (2010). Lov om planlegging og byggesaksbehandling. Hentet 16. april 2019, fra [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71/KAPITTEL\\_4-9#KAPITTEL\\_4-9](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71/KAPITTEL_4-9#KAPITTEL_4-9)
- Porsgrunn kommune. (2016). *Boligstrategi med handlingsplan for Porsgrunn kommune 2016-2019*. Porsgrunn. <https://doi.org/10.03.2016>
- Røstum, J., Bruaset, S., Sekse, T., Bjørnsen, B., Uribe, C., & Markhus, E. (2014). *Åpne flomveger i bebygde områder*. Norsk Vann.
- Samset, K. (2016). *Mulighetsrommet. Utgangspunktet for et godt konseptvalg*.
- SCALGO. (udatert). Hentet 29. april 2019, fra <https://scalgo.com/>
- Sekse, T. (Norconsult A. (2012). *Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer*. Hamar.

- SiEUGreen | Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. (udatert). Hentet 28. april 2019, fra <https://www.nmbu.no/en/projects/sieugreen>
- Simonich, S. L., & Hites, R. A. (1995). *Organic Pollutant Accumulation in Vegetation*. Bloomington.
- Skog, A. P., Malmberg, J., Emilsson, T., Jägerhök, T., & Capener, C.-M. (udatert). *Växtbädd och Vegetation*.
- Solheim, H. G., Dammen, E., Skaldebø, H. O., Myking, E., Svendsen, E. K., & Torgersen, P. (2004). *Concept rapport nr 4. Konseptutvikling og evaluering i store statlige investeringsprosjekt*. Trondheim.
- Spinks, A. T., Coombes, P., Dunstan, R., & Kuczera, G. (2003). *Water Quality Treatment Processes in Domestic Rainwater Harvesting Systems*. Institution of Engineers Australia.
- SSB. (2019). Kommunefakta Fredrikstad - SSB. Hentet 21. mars 2019, fra <https://www.ssb.no/kommunefakta/fredrikstad>
- Stigsdotter, U. K., Ekholm, O., Schipperijn, J., Toftager, M., Kamper-Jørgensen, F., & Randrup, T. B. (2010). Health promoting outdoor environments - Associations between green space, and health, health-related quality of life and stress based on a Danish national representative survey. *Scandinavian Journal of Public Health*, 38, 411–417. <https://doi.org/10.1177/1403494810367468>
- Tryland, I., Mæhlum, T., Wennberg, A. C., Paruch, A. M., Krystad, R., Paruch, L., ... Kvitsjøen, J. (2017). *Tiltak for å oppnå bedre hygiensik vannkvalitet til rekreasjonsformål i overvann og byvassdrag- forprosjekt for å identifisere forskningsbehov*. NIVA.
- VA/Miljø-blad. (2015). Overvannsdammer. Beregning av volum. VA/Miljø-blad nr. 69. Hentet 8. april 2019, fra <http://www.va-blad.no/overvannsdammer-beregning-av-volum/>
- Van Herzele, A., & de Vries, S. (2012). Linking green space to health: a comparative study of two urban neighbourhoods in Ghent, Belgium. *Population and Environment*, 34(2), 171–193. <https://doi.org/10.1007/s11111-011-0153-1>
- Vatn, A. (2005). *Institutions and the environment*. Edward Elgar Publishing.
- Veisten, K., Smyrnova, Y., Klæboe, R., Hornikx, M., Mosslemi, M., Kang, J., ... Kang, J. (2012). Valuation of Green Walls and Green Roofs as Soundscape Measures: Including Monetised Amenity Values Together with Noise-attenuation Values in a Cost-benefit Analysis of a Green Wall Affecting Courtyards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(11), 3770–3788. <https://doi.org/10.3390/ijerph9113770>
- Villarreal, E. L., & Bengtsson, L. (2005). Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 25(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2004.11.008>
- Villarreal, E. L., & Dixon, A. (2005). Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40(9), 1174–1184. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2004.10.018>
- Walsh, C. J., Fletcher, T. D., & Burns, M. J. (2012). Urban Stormwater Runoff: A New Class of



Environmental Flow Problem. *PLoS ONE*, 7(9).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045814>

Welde, M. (2016). *Kostnadsutvikling i store statlige investerings-prosjekter fra KS1 til KS2*. Trondheim.

Woods, B., Wilson, B., Undale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual C753*. London.

Yr. (2018). Været som var (klima). Fredrikstad (Østfold). Hentet 21. mars 2019, fra  
<https://www.yr.no/sted/Norge/Østfold/Fredrikstad/Fredrikstad/klima.måned03.html>

Zhu, K., Zhang, L., Hart, W., Liu, M., & Chen, H. (2004). Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. *Journal of Arid Environments*, 57(4), 487–505. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00118-6](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00118-6)

Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (2. utg.). Norsk Vann.

# VEDLEGG

## Vedlegg 1 – Nøkkeltall for eksempelområdet

Tabellen under viser nøkkeltallene for eksempelområdet som har blitt benyttet i beregninger.

<b>Eksempelområdet</b>	
Areal (nedbørfeltets størrelse)	29 500 m <sup>2</sup>
Andel av totalt nedbørsfelt	0,33

<b>Utbygging del 1</b>	
Areal	10 100 m <sup>2</sup>
Andel grøntareal	80 %
Andel tak	15 %
Andel asfaltert areal	5 %
Areal blokk A	613 m <sup>2</sup>
Areal blokk B	720 m <sup>2</sup>

<b>Utbygging del 2</b>	
Areal	19 400 m <sup>2</sup>
Andel grøntareal	40 %
Andel tak	50 %
Andel asfaltert areal	10 %

<b>Overvannsledning</b>	
Total kapasitet	300 l/s
Tillatt utslipp fra eksempelområdet	100 l/s

## Vedlegg 2 – Infiltrametertest

Tallene i tabellen under viser resultatene fra infiltrametertesten gjort i Fredrikstad, tirsdag 02.04.2019. Testene er tatt på østsiden av blokk B. Det ble gjennomført tre tester, hvor test 1 feilet på grunn av problemer med utstyret.

Test nr.	Dybde (cm)
Test 2	28
Test 3	29

Test 2				
Vannivå (cm)	Tid (min)	Tidsintervall (min)	Differanse vannivå (cm)	Vannledningsevne (cm/min)
0	0,00			
33	3,07			
35	4,08	1,02	2	1,97
38,5	6,00	1,92	3,5	1,83
42	6,92	0,92	3,5	3,82
0	9,25			
17	10,35			
19,5	11,02	0,67	2,5	3,75
22	11,75	0,73	2,5	3,41
25	12,42	0,67	3	4,50
28	13,33	0,92	3	3,27
30	14,50	1,17	2	1,71
33	15,13	0,63	3	4,74
37	16,23	1,10	4	3,64
40	17,17	0,93	3	3,21
			Gjennomsnitt	3,26 (K <sub>sat</sub> )

Test 3				
Vannivå	Tid (min)	Tidsintervall (min)	Differanse vannivå (cm)	Vannledningsevne (cm/min)
19	6,40			
21,5	7,47	1,07	2,5	2,34 (K <sub>sat</sub> )

### Vedlegg 3 – Oversikt over tiltaksverdier for ulike tiltak (BGF)

Tiltak	Spesifikasjon	Tiltaksverdi
<b>Terreng og flater</b>		
Grønt terreng		1
Grønne tak	Jordlag > 80 cm	0,9
	79 > Jordlag > 40 cm	0,7
	39 > Jordlag > 2 cm	0,4
Grønne vegger		0,4
Terrengforsenkninger		1
Regnbed og vadi	Regnbed	4
	Vadi	1
Dam med permanent vannspeil		2
Delvis åpne flater		0,3
Tette flater		0,2
<b>Trær og busker</b>		
Eksisterende trær	Omkrets > 90 cm	25
	Omkrets < 90 cm	12,5
Nye trær	Blir større enn 10 m	10
	Blir lavere enn 10 m	5
Busker		0,4
<b>Blågrønn struktur</b>		
Styrke blågrønn struktur	Blågrønne strukturer som kobles til eksisterende blågrønne strukturer utenfor tomten	0,05 per stykk (opptil to)



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway