



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Overvann fra tak som innsatsfaktor i vannforbruk: En casestudie av et planlagt næringsbygg

Stormwater from roofs as an input in water
consumption: A case study of a planned commercial
building

Frida Berg Lyshoel
Industriell økonomi

FORORD

Denne oppgaven markerer min avslutning på fem flotte år på masterstudiet i industriell økonomi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Jeg vil takke min samarbeidsbedrift OBOS for at jeg har fått lov til å bli med i det spennende arbeidet med overvannshåndteringen på Construction City. Jeg vil også takke min biveileder Håkon Aksnes hos Norconsult for både god hjelp og for tilgang til nødvendig beregningsgrunnlag til oppgaven. Videre ønsker jeg å takke Asmamaw T. Shiferaw for veiledning og hjelp underveis i arbeidet.

Jeg vil også takke involverte studenter og forelesere for forståelse for min hverdag som toppidrettsutøver, og for at dere har gitt meg muligheten til å fullføre studiet mitt samtidig som jeg har spilt fotball. Takk til Elin Mosnesset-Timraz, toppidrettsrådgiver ved NMBU, for at du alltid har vært behjelpelig med tilrettelegging i studiehverdagen.

Takk til omtrent hele slekta for at dere har stilt opp og hjulpet meg på ulike fagområder, og til foreldre for eminent korrekturlesing i sluttspurten. Til slutt vil jeg rette en stor takk til venner, familie og min samboer Andreas for støtte og motiverende ord i denne krevende prosessen.

Oslo, desember 2020

Frida Berg Lyshoel

SAMMENDRAG

Tilgang til rent drikkevann er en av de største utfordringene vi står ovenfor i nyere tid, blant annet på grunn av befolkningsvekst, urbanisering, forurensning og klimaendringer.

Klimaendringer fører også til større mengder nedbør på kortere tid. Ledningssystemer som ikke er dimensjonert for å håndtere økte nedbørsmengder i fremtiden kan skape problem og få store økonomiske konsekvenser, spesielt i byer og tettsteder. Urban fortetting, økte nedbørsmengder, samt færre grøntområder som naturlig håndterer vannet, vil gjøre at den tradisjonelle metoden for overvannshåndtering i lukkede rørsystemer møter på utfordringer i form av overbelastning.

For å løse disse utfordringene kan utnyttelse av overvann som ressurs være et viktig bidrag, fordi det reduserer det totale trykket på ledningsnett og reduseres forbruk av drikkevann. Oppgaven undersøker gjennomførbarhet og potensialet for effektiv vannbesparelse og lønnsomhet knyttet til oppsamling av regnvann på tak i kontorbygg. Oppgaven er en mulighetsstudie av det planlagte næringsbygget Construction City på Ulven i Oslo. For de to alternative oppsamlingsarealene i denne oppgaven er det mulig å oppnå en effektiv vannbesparelse på henholdsvis 37% og 52% frem mot 2050.

Det er en utbredt oppfatning av at bærekraftige bygg er vesentlig mer kostbart å bygge enn tradisjonelle bygg. Til tross for stort potensiale for vannbesparelse, viser nåverdiregningene at verken alternativ 1 eller alternativ 2 kan sies å være direkte økonomisk lønnsomme. Sosial aksept, mangel på teknologisk kunnskap og fravær av insentiver skaper barrierer for at flere gjennomfører innovative og bærekraftige tiltak i nybygg. I tillegg kan politisk engasjement og strengere myndighetskrav bidra til at det i fremtiden ikke skal lønne seg å la vær å bygge bærekraftig og innovativt.

ABSTRACT

Access to safe drinking water is one of the biggest challenges we face in recent times, partly due to population growth, urbanization, pollution and climate change. Climate change also leads to larger amounts of precipitation in a shorter time. Pipe systems that are not dimensioned to handle future climates can have major economic consequences, especially in cities and towns. The traditional method for stormwater management in closed pipe systems is facing challenges such as congestion of water and sewage networks as well as fewer green areas that can naturally handle the water, due to urban densification.

To solve these challenges, the utilization of stormwater as a resource can be an important contribution, because it can reduce the total pressure on the water and sewage network and reduce the consumption of drinking water. This thesis studies feasibility and the potential for water saving efficiency and profitability related to rainwater harvesting from roofs in office buildings. The thesis is a feasibility study of the planned commercial building Construction City at Ulven in Oslo. For the two alternative collection areas in this project, it is possible to achieve a water saving efficiency of 37% and 52% by 2050, respectively.

There is a widespread perception that sustainable buildings are significantly more expensive to build than traditional buildings. Despite the potential for water savings, the present value calculations show that neither alternative 1 nor alternative 2 are directly economically profitable. Social acceptance, lack of technological knowledge and the absence of incentives create barriers to implement innovative and sustainable solutions in new buildings. In addition to this, political involvement and stricter government requirements may contribute to the fact that in the future it will not pay off to refrain from building sustainably and innovatively.

Innhold

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
ABSTRACT	III
FIGURLISTE	VI
TABELLISTE	VI
SENTRALE BEGREPER.....	VII
1. INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.1 Klimaendringer og overvannshåndtering	1
1.1.2 Nedbør i Norge i dag og i fremtiden.....	2
1.1.3 Vann på avveie	5
1.1.4 Tilgang på drikkevann.....	5
1.1.5 Sosial aksept	6
1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål.....	6
2. TEORETISK RAMMEVERK	8
2.1 Overvannshåndtering.....	8
2.1.1 Oslo Kommunes strategi for overvannshåndtering	9
2.1.2 Blågrønne løsninger.....	11
2.1.3 Avrenningsfaktor, ϕ	11
2.2 Urbanhydrologi.....	12
2.3 Lovverk	13
2.4 Vannforbruk i Norge.....	14
2.5 Effektiv vannbesparelse	15
2.6 Lønnsomhet.....	15
2.6.1 Netto nåverdi.....	15
2.6.2 Alternative lønnsomhetsbetraktninger	17
2.7 Prognosemodeller og måling av prognosefeil	21
3. METODE	23
3.1 Forskningsdesign	23
3.2 Litteratursøk og fagkompetanse	24
3.3 Innsamling av kvantitative data	24
3.4 Innsamling av kvalitative data	25
3.5 Økonomiske avveininger	25
3.6 Prognoser	28
3.6.1 Prognose for vanngebyrer.....	28
3.6.2 Prognose for fremtidig nedbør.....	30

4. PRESENTASJON AV CASESTUDIET	34
4.1 Beskrivelse av prosjektområdet	34
4.2 Overvannshåndtering på tak	36
4.3 BREEAM	37
4.4 Beregningsgrunnlag	38
4.5 Konseptbeskrivelse	39
4.5.1 Oppsamling av regnvann	39
4.5.2 utfordringer	42
5. RESULTATER	44
5.1 Vannbehov i bygningen	44
5.2 Mulig oppsamlet regnvannsvolum og besparelse	45
5.3 Økonomisk analyse	46
5.3.1 Kostnader	46
5.3.2 Besparelser	47
5.3.3 Netto nåverdi	48
6. DISKUSJON	49
6.1 Gjennomførbarhet	49
6.2 Potensiale for vannbesparelse	50
6.3 Lønnsomhet	52
6.3.1 Lønnsomhet – et relativt begrep?	53
6.4 utfordringer og indirekte virkninger	56
7. KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID	58
REFERANSELISTE	60
VEDLEGG 1: KONTANTSTRØM FOR NETTO NÅVERDIBEREGNING	67

FIGURLISTE

<i>Figur 1: Norsk klimaservicesenter (u.å.-b). Historisk utvikling for årlig nedbør ved Blindern målestasjon i Oslo</i>	2
<i>Figur 2: Norsk klimaservicesenter (u.å.-a) Klimaframskrivninger for Oslo for RCP4.5</i>	4
<i>Figur 3: Norsk klimaservicesenter (u.å.-a) Klimaklimaframskrivninger for Oslo for RCP8.5</i>	4
<i>Figur 4: Lindholm (2008) tretrinnsstrategien for overvannshåndtering</i>	10
<i>Figur 5: Sintef (2012) Urbaniseringens effekt på overflateavrenning</i>	13
<i>Figur 6: Grønn Byggallianse & Høgskolen i Østfold (2019) Generelt miljøfokus ved leie – status og utvikling</i>	20
<i>Figur 7: (Statistisk sentralbyrå, 2017; Statistisk sentralbyrå, 2020a) Historisk utvikling og prognose for årlig vanngbyr i Oslo kommune</i>	29
<i>Figur 8: (Wong et al. (2016); EURO-CORDEX (Jacob et al. (2014)), referert i Norsk klimaservicesenter, 2020) Klimaframskrivninger for nedbør i Oslo fra 2025 til 2050</i>	31
<i>Figur 9: Norsk klimaservicesenter (u.å.-b) Historisk nedbør og predikert fremtidig nedbør for Blindern målestasjon i Oslo</i>	33
<i>Figur 10: Norconsult/Construction City (2020) Kart over bygget i fugleperspektiv</i>	35
<i>Figur 11: Norconsult/Construction City (2020) Inndeling av takareal</i>	35
<i>Figur 12: Vannsystemets ulike komponenter</i>	41
<i>Figur 13: Hjalmarsson (2020) Prinsippskisse for systemets hovedfunksjoner. Basert på Citypassagen Örebro</i>	42
<i>Figur 14: Blue Mountain Co (u.å.) Funksjonen til et «first flush»-system</i>	43

TABELLISTE

<i>Tabell 1: (Hanssen-Bauer et al., 2015) Endring i nedbørsmengde for Østlandet i perioden 1971-2000 til 2031-2060 basert på framskrivninger</i>	3
<i>Tabell 2: COWI (2015) Avrenningsfaktorer for ulike typer flater</i>	12
<i>Tabell 3: Drifts- og vedlikeholdskostnader for vannsystem som samler opp regnvann på tak</i>	26
<i>Tabell 4: Investeringskostnader for blå tak og grønne tak</i>	27
<i>Tabell 5: Regresjonsstatistikk for prognosemodellen for vanngbyr</i>	30
<i>Tabell 6: Variansanalyse for prognosemodell for vanngbyr</i>	30
<i>Tabell 7: Regresjonsstatistikk for prognosemodellen for fremtidig nedbør</i>	33
<i>Tabell 8: Variansanalyse for prognosemodellen for fremtidig nedbør</i>	34
<i>Tabell 9: Fordeling av ulike planlagte arealtyper på taket til Construction City</i>	37
<i>Tabell 10: Grønn Byggallianse (2016) Poengfordeling for vannbesparelse</i>	38
<i>Tabell 11: Beregningsgrunnlag for byggets totale vannbehov for toaletter</i>	44
<i>Tabell 12: Mulig oppsamlet regnvannsvolum og effektiv vannbesparelse (WSE)</i>	45
<i>Tabell 13: Kostnadsestimater for system for oppsamling av regnvann på tak</i>	47
<i>Tabell 14: Netto nåverdi for alternativene</i>	48
<i>Tabell 15: Effektiv vannbesparelse i et utvalg av tidligere forskning</i>	51

SENTRALE BEGREPER

Begrep	Forklaring
Flomrisiko	Kombinasjonen av sannsynligheten for flom, og omfanget av dens potensielle følger.
Klima	Været er for eksempel temperatur, vind, nedbør, skydekke, lufttrykk etc. som vi opplever på et bestemt tidspunkt og et bestemt sted. Klima forteller oss hvor hyppig forskjellige værforhold forekommer på et sted eller i et område (Hanssen-Bauer et al., 2015).
Infiltrasjon	Prosess der vannet trenger ned i jorda gjennom overflaten og beveger seg loddrett ned i profilet (Ødegaard, 2014)
Avrenning	Vannets bevegelser på jordoverflaten mot sluk, grøft, bekkeinntak, naturlig eller kunstig kanel eller innsjø, elv eller annen resipient (Ødegaard, 2014)
Utslippsscenarioer	Antakelser om fremtidige utslipp av drivhusgasser
Klimaframskrivninger	Baserer seg på utslippsscenarioer. Scenariene legges inn i globale klimamodeller. Ulike globale klimamodeller er bygget på forskjellige måter og inneholder forskjellige komponenter som kan gi forskjellige resultater. Resultatene nedskaleres ved hjelp av enten en regional klimamodell, såkalt dynamisk nedskalering, eller statistiske modeller (Hanssen-Bauer et al., 2015)
RCM	Regional Climate Model
RCP	Representative Concentration Pathways. Beskriver forskjellige scenarioer for framtidig utvikling av globale utslipp av klimagasser (CO ₂ , CH ₄ og N ₂ O) og aerosoler (partikler) (Hanssen-Bauer et al., 2015)
RCP2.6	Stabile klimagassutslipp de første årene; kraftig reduksjon fra 2020. Utslippene av klimagasser må reduseres kraftig fra 2020, og må rundt 2080 være redusert til 0. Det betyr at resterende menneskeskapte utslipp da må kompenseres ved at klimagasser fjernes fra atmosfæren. RCP2.6 er det eneste scenarioet som mest sannsynlig fører til en global oppvarming på mindre enn 2 °C i forhold til perioden 1850-1900 (Hanssen-Bauer et al., 2015)

RCP4.5

Stabile/svakt økende utslipp; deretter reduserte utslipp. Også dette scenarioet krever en kraftig reduksjon i klima-gassutslipp. Utslippene kan øke svakt i begynnelsen, men fra 2040 må de avta, og fra 2080 må utslippene stabiliseres på et nivå som tilsvarer ca. 40 % av utslippene i 2012. På global skala beregnes under dette scenarioet en temperaturøkning på rundt 2,5 °C mot slutten av århundret, relativt til perioden 1850-1900 (Hanssen-Bauer et al., 2015)

RCP8.5

Kontinuerlig vekst i klimagassutslipp. Kalles ofte 'business as usual' scenarioet, fordi økningen i klimagassutslipp i stor grad følger samme utvikling som vi har hatt de siste tiårene. Scenarioet innebærer at dagens CO₂-utslipp tredobles innen 2100 i tillegg til en rask økning i metanutslipp. Under RCP8.5 er det svært sannsynlig at global temperaturøkning ved slutten av århundret blir mer enn 4 °C relativt til perioden 1850-1900 (Hanssen-Bauer et al., 2015)

1. INNLEDNING

Dette kapittelet beskriver bakgrunnen for oppgaven og presenterer problemstilling og tilhørende forskningsspørsmål.

1.1 BAKGRUNN

Økte nedbørsmengder på grunn av fremtidige klimaendringer vil kunne skape problem for dagens ledningssystemer som ikke er godt nok dimensjonert. Dette kan igjen få store økonomiske konsekvenser, spesielt i byer og tettsteder. Skader som oppstår ved flom og store mengder overvann kan ramme både innbyggere, kommuner, forsikringsselskaper og eiere av vei og annen infrastruktur (Magnussen et al., 2015). Tilgang til rent drikkevann er en av de største utfordringene verden står ovenfor i nyere tid, blant annet på grunn av befolkningsvekst og urbanisering, samt forurensning og klimaendringer som følge av befolkningsvekst og urbanisering (Vialle, 2011). Utnyttelse av overvann som en ressurs kan være et viktig bidrag til å løse disse utfordringene.

1.1.1 KLIMAENDRINGER OG OVERVANNSHÅNTERING

Klima er definert som gjennomsnittlig vær over en lengre tidsperiode, som for eksempel 30 år (NOU 2015: 16). Hanssen-Bauer (2015) peker på at klimaendringer har forekommet til alle tider, men før den industrielle revolusjonen var årsakene til klimaendringene på jorden hovedsakelig naturlig. Videre påpeker Hanssen-Bauer (2015) at etter industrialiseringen har menneskeheten påvirket klimautviklingen i større og større grad.

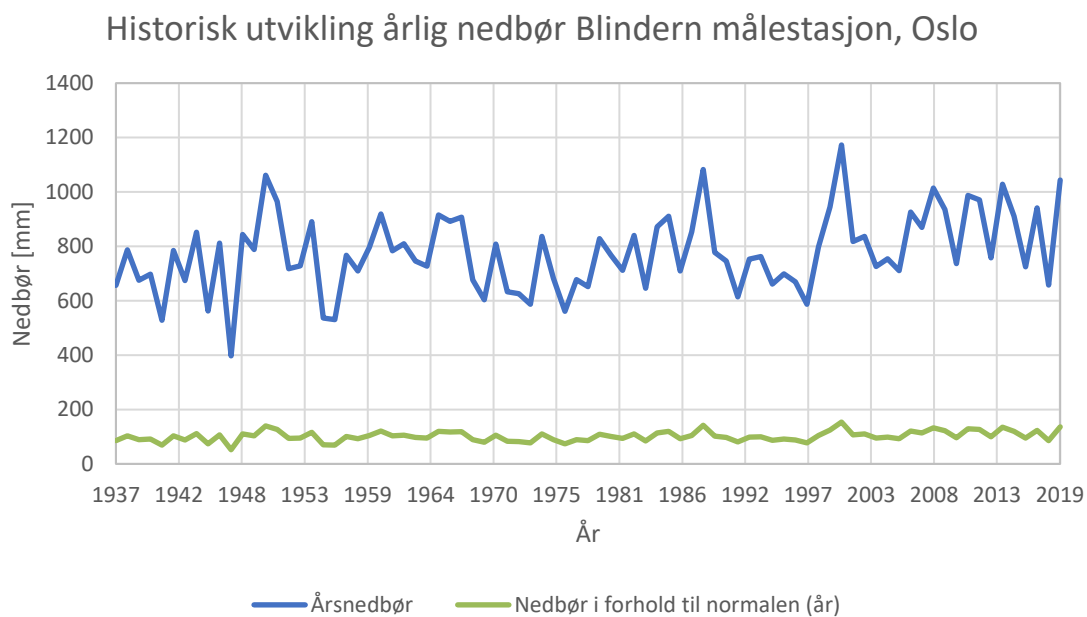
I byområder med store mengder harde flater vil avrenningen skje raskere og skape større flommer enn ved avrenning i et naturlig terreng (Asplan Viak, 2014). Klimaendringene fører med seg både kraftigere og hyppigere regn, som skaper kapasitetsproblemer for vann- og avløpsnett. Tradisjonelt har håndtering av overvann i urbane områder vært basert på å lede

vannet raskest mulig bort i lukkede ledninger og rørsystemer (Ødegaard, 2014). Den tidligere og tradisjonelle metoden for overvannshåndtering har fått to store utfordringer (Sintef, 2018):

- Det blir vanligere med ekstremnedbør der store vannmengder på kort sikt overbelaster overvann- og avløpsnett.
- Urban fortetting og færre grøntområder som naturlig håndterer vannet.

1.1.2 NEDBØR I NORGE I DAG OG I FREMTIDEN

Hovedtendensen i nedbørsutviklingen i Norge er at det har blitt våtere klima, og særlig de siste 20 årene (Meteorologisk institutt, 2017). For å beregne hvordan menneskelige aktiviteter potensielt kan ha innvirkning på klimaet fremover kan det gjøres antakelser om hvordan utslipp som kan påvirke klima vil endre seg. Disse antakelsene kalles gjerne utslippsscenarioer (NOU 2015: 16).



Figur 1: Norsk klimaservicesenter (u.å.-b). Historisk utvikling for årlig nedbør ved Blindern målestasjon i Oslo

Figur 1 viser at i perioden fra 1900 og frem til 2020 har nedbøren i Norge økt med ca. 18% (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016a). I tillegg har det også vært en økning i hendelser med kortvarig og intens nedbør flere steder i landet. I klimaframskrivninger for

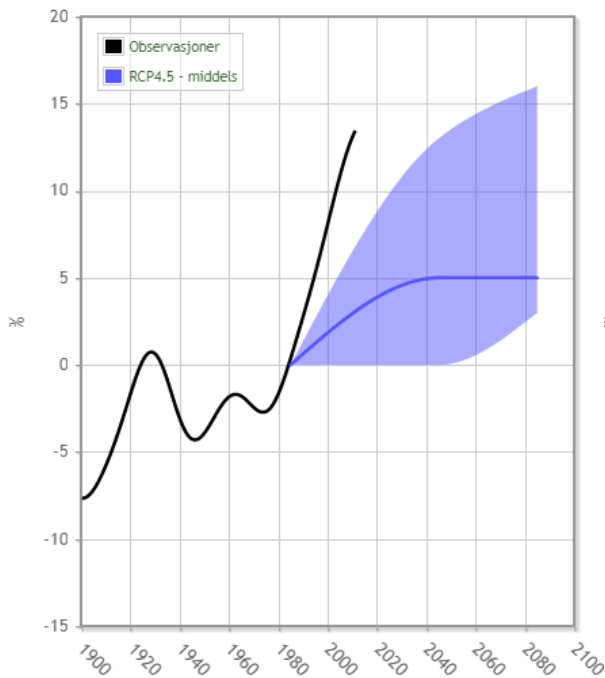
Østlandet vist i tabell 1 antas det en 6% og 7% økning (median-verdi) for henholdsvis RCP4.5 og RCP8.5 fra perioden 1971-2000 til 2031-2060.

Tabell 1: (Hanssen-Bauer et al., 2015) Endring i nedbørsmengde for Østlandet i perioden 1971-2000 til 2031-2060 basert på framskrivninger

		1971-2000 til 2031-2060: Endring (%) i total nedbørsmengde					
		RCP 4.5			RCP 8.5		
Region	Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
NR-2 Østlandet	År	6	2	16	7	4	16

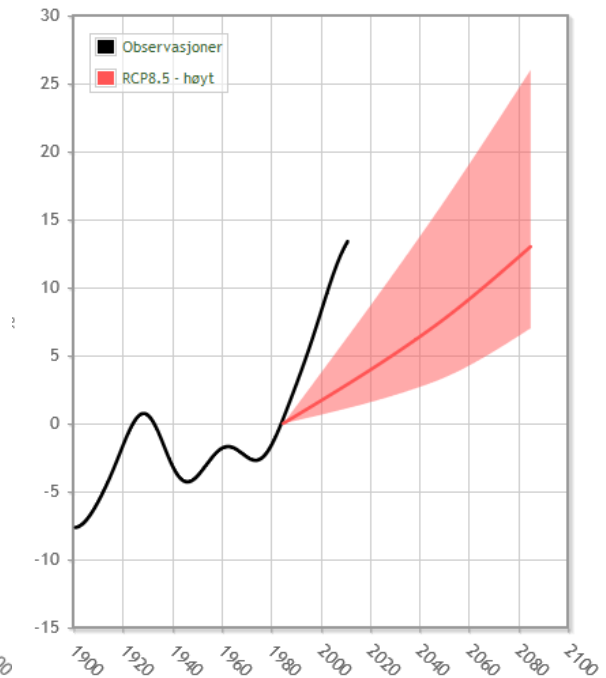
For meteorologiske og hydrologiske variable presenteres resultatene av framskrivningene som medianverdi (med), 10-persenttil (lav) og 90-persentil (høy) (Hanssen-Bauer et al., 2015). Medianen deler utvalget i to slik at hver del har like mange elementer. Med andre ord er det like mange framskrivninger med større klimaforandringsverdier som det er med lavere verdier enn medianen. På bakgrunn av at 10- og 90-persentilene (lav og høy) er definert slik at 10% av framskrivningene har lavere (10-persentil) eller høyere (90-persentil) ligger 80% av framskrivningene mellom høy og lav og representerer dermed et usikkerhetsestimert.

Nedbør for Oslo, RCP4.5 - middels, for hele året



Figur 3: Norsk klimaservicesenter (u.å.-a) Klimaframskrivninger for Oslo for RCP4.5

Nedbør for Oslo, RCP8.5 - høyt, for hele året



Figur 2: Norsk klimaservicesenter (u.å.-a) Klimaframskrivninger for Oslo for RCP8.5

Figur 2 og 3 viser utviklingen av nedbør i Oslo i perioden 1900 til omtrent 2085 for henholdsvis RCP4.5 og RCP8.5. Verdiene viser avvik [%] fra perioden 1971-2000. Svart kurve viser observasjoner, utjevnet for å illustrere variasjoner på en 30-års skala. Farget kurve viser trend i medianverdi fra en rekke RCM-simuleringer, fra omtrent 1983 til 2085. Skravert område indikerer spredning mellom lav og høy klimaframskrivning (10 og 90 persentiler). Klimaendringer vil for Oslo og Akershus særlig føre til behov for tilpasning knyttet til kraftig nedbør og økte problemer med overvann. Årsnedbøren i Oslo og Akershus beregnes å øke med 15% som sesongmessig fordeler seg slik: Vinter: 30%, vår: 25% sommer: 5% og høst: 10%. I tillegg forventes det at nedbørmengden for døgn med kraftig nedbør økes med ca. 20%, der størst økning i intensitet (30%) er forventet i vintermånedene. (Norsk klimaservicesenter, 2017).

1.1.3 VANN PÅ AVVEIE

Vann- og avløpsbransjen står ovenfor en utfordring når det gjelder å tilpasse seg og håndtere disse klimaendringene. Det menes at årlig nedbørsvolum kan øke med 20-30% enkelte steder (Lindholm, 2008). Dette vil sprengte den hydrauliske kapasiteten på avløpsnett og overfylte avløpsledninger kan bl.a. føre til at vann trenger opp i sluker i bygninger. I tillegg til dette kan også vann fra omliggende terreng trenge inn i bebyggelse. Mange av de eksisterende rørsystemene i byene er ikke dimensjonert for å håndtere de økte nedbørmengder og når rørene har fylt kapasiteten kan overvannet finne en egen vei på overflaten. Ledningsnett for avløp i tettbygde områder er ofte gamle, og med spillvann og overvann i felles ledninger. Det er derfor viktig å kunne redusere mengden overvann som tilføres disse ledningene og dermed minke mengde overvann som føres til avløpsreanseanlegg.

«Klimaprofil for Oslo og Akershus – Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning» (2017) er gitt ut av Norsk Klimaservicesenter og gir en oversikt over klimarelaterte problemstillinger. Klimaprofilen peker på at de største skadene på bebyggelse og infrastruktur i Oslo og Akershus gjerne oppstår i forbindelse med kraftig kortvarig nedbør, som gir store mengder overvann og urbanflommer. Det har vært særlig mange skader knyttet til overbelastning av vannledningsnett i Oslo og Akershus de siste 15 årene (Norsk klimaservicesenter, 2017). I 2008 var antall rapporterte skader knyttet til overvann på 18 000 saker, mens tallet for skader innen samme kategori i 2016 var 28 000 (Sintef, 2018). Ifølge Sintef (2018) økte erstatningsutbetalingen for disse skadene fra 700 millioner i 2008 til 1,3 milliarder i 2016.

1.1.4 TILGANG PÅ DRILLEVANN

Tilgang på ferskt og rent vann er et av de største utfordringene verden står overfor, og kun 0,5% av alt vannet på jorda er utnyttbart ferskvann (Ødegaard, 2014). Vann er mange steder blitt en knapphetsressurs og bruk av regnvann til for eksempel toalettspyling kan dermed bidra til å løse flere fremtidige utfordringer (mindre totalbelastning på ledningsnett og mer tilgjengelig drikkevann). Tre milliarder av jordens befolkning har ikke jevn tilgang på rent

vann og 70% har ikke toalett i eller nær boligen – noe som fører til forurensning av drikkevannskildene (Haugan, u.å.)

1.1.5 SOSIAL AKSEPT

Tidligere har overvann blitt sett på som et problem, mens vannet heller bør oppfattes som en ressurs, både for rekreasjon og som et positivt element i nærmiljøet (Lindholm et al., 2008). Fram til i dag har infrastruktur i stor grad blitt bygd og driftet på en slik måte at det har stor negativ påvirkning både på klimagassutslipp og spredning av miljøgifter og har i tillegg hatt dårlig ressursutnyttelse. Nye og innovative løsninger kan representere en risiko (både teknologisk og økonomisk) som ikke byggeiere er villige til å ta, men det er behov for å oppgradere nåværende praksis (Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom, 2016).

Sosial aksept for utnyttelse av regnvann er et moment som veier tungt i beslutningsavgjørelser knyttet til slike prosjekter (Barthwal et al., 2014). Både når det gjelder aksept fra utbygger, finansieringsselskap, leietagere, eiere og samfunnet for øvrig. På bakgrunn av befolkningsvekst, tørke og redusert kapasitet til å levere vann har systemer for oppsamling og bruk av regnvann blitt implementert i ulik infrastruktur i store deler av verden. I Norge er vann relativt billig og vi opplever på langt nær samme knapphet som andre steder i verden. Tiltak for bruk av regnvann er derfor ikke utbredt i særlig stor grad. En årsak til dette kan være at det fortsatt er en oppfatning av at bærekraftige bygg er vesentlig mindre lønnsomt å bygge enn tradisjonelle bygg (Grønn Byggallianse, 2016; Stec, 2015).

1.2 PROBLEMSTILLING OG FORSKNINGSSPØRSMÅL

I denne oppgaven vil jeg undersøke hvordan en kan benytte overvann som ressurs i vannforbruk. Problemstillingen belyses ved hjelp av følgende forskningsspørsmål:

- Er det praktisk mulig å gjennomføre et prosjekt som benytter seg av regnvann til toalettspyling for dette caset?
- I hvilken grad vil prosjektet påvirke forbruket av rensset vann?
- Er løsningen lønnsom sammenlignet med eksisterende praksis?

Caseobjektet i denne oppgaven, Construction City, er et planlagt næringsbygg på Ulven i Oslo. Caseobjektet blir nærmere beskrevet i kapittel 4. Med eksisterende praksis mener her tradisjonell spyling av toaletter der det utelukkende benyttes rensset vann.

Denne oppgaven vil først gi en innføring i nødvendig teoretisk rammeverk. I teoridelen beskrives informasjon om overvannshåndtering, vannets kretsløp, urbanhydrologi, lovverk knyttet til overvannshåndtering, vannforbruk i Norge samt en innføring i lønnsomhetsanalyser og prognosemodeller. Videre følger et metodekapittel som presenterer metodisk tilnærming for å fremskaffe data og informasjon for å svare på problemstillingen og dens underliggende forskningsspørsmål. Etter beskrivelsen av metodisk tilnærming presenteres caset og prosjektområdet, og konseptet beskrives i sin helhet. Dette kapitlet presenterer også beregningsgrunnlag som er benyttet videre i oppgaven. Til slutt presenteres og diskuteres resultater fra casestudiet med bakgrunn i teori og litteratur. Oppgaven avsluttes med en konklusjon samt en anbefaling til videre arbeid.

Problemstillingen oppgaven setter søkelys på er forsøkt utarbeidet slik at konklusjonen også skal ha ekstern validitet. Med ekstern validitet menes det at studiens konklusjoner kan generaliseres til andre situasjoner, for eksempel fremtidige kontorbygg som planlegges (Thrane, 2018)

Overvannet på eiendommen skal håndteres både på taket og på bakken, men tidsbegrensningen for denne oppgaven gjør at den avgrenses til å kun omhandle overvannshåndteringen på taket. Overvann kan benyttet som ressurs på flere måter, men denne oppgaven avgrenses til å kun undersøke alternativer som dreier seg om tiltak for å samle regnvann og å benytte det til toalettspyling i samme bygg.

2. TEORETISK RAMMEVERK

Dette kapitlet beskriver nødvendig teori som danner grunnlag for å besvare oppgavens problemstilling og vil derfor i hovedsak belyse følgende tema:

- Overvannshåndtering og krav rundt dette
- Oslo Kommunes Strategi for overvannshåndtering
- Urbanhydrologi
- Relevant lovverk
- Vannforbruk i Norge
- Økonomiske betraktninger
- Prognosemodeller

2.1 OVERVANNSHÅNTERING

Ved nedbør eller snøsmelting synker noe av vannet ned i grunnen (infiltrerer), mens deler renner bort på overflaten. Dette vannet kalles overvann, og renner av på tak, vegger og andre tette flater (Ødegaard, 2014). Håndtering av overvann er viktig både for å redusere faren for oversvømmelser og for å opprettholde vannets naturlige kretsløp (Oslo Kommune, u.å.). Naturlig infiltrasjon av overvann minker avrenning og bidrar til å opprettholde grunnvannstanden (Miljødirektoratet, u.å.-b)

En optimal overvannshåndtering er tilpasset og tar hensyn til både lokale forhold og lokale behov. Metodene og løsningene må fungere både ved alminnelig nedbør, flom og tørt vær samt til alle årstider. Ifølge Ødegaard (2014) er de viktigste prinsippene for en helhetlig overvannshåndtering (NOU 2015: 16; Ødegaard, 2014):

- Å forebygge skader ved å påse at tilfredsstillende sikkerhet for liv, helse, miljø, økonomi og infrastruktur ivaretas
- Utnytte overvann som ressurs
- Styrke biologisk mangfold i bymiljøet

Å forebygge skader ved hjelp av en god overvannshåndtering kan gjøres ved å sikre at flomutsatte områder ikke bebygges, sikre trygge flomveger og redusere overløpsdrift for avløpssystemet. I tillegg skal en helhetlig overvannshåndtering sikre god vannkvalitet i grunnvann, vassdrag og sjøer, ivareta vegetasjonsområder innenfor urbane områder og sikre god bruk av vannveger ved utforming av nye urbane områder (Ødegaard, 2014)

Tradisjonell håndtering av overvann i urbane områder har basert seg på å føre vannet ned i sluk og transportere det i rør og lukkede ledningssystemer (Magnussen, 2015; Ødegaard, 2014). Denne praksisen var ment å gi gode urbane miljøer og sikre mot oversvømmelser, men ifølge Ødegaard (2014) resulterer metoden ofte i:

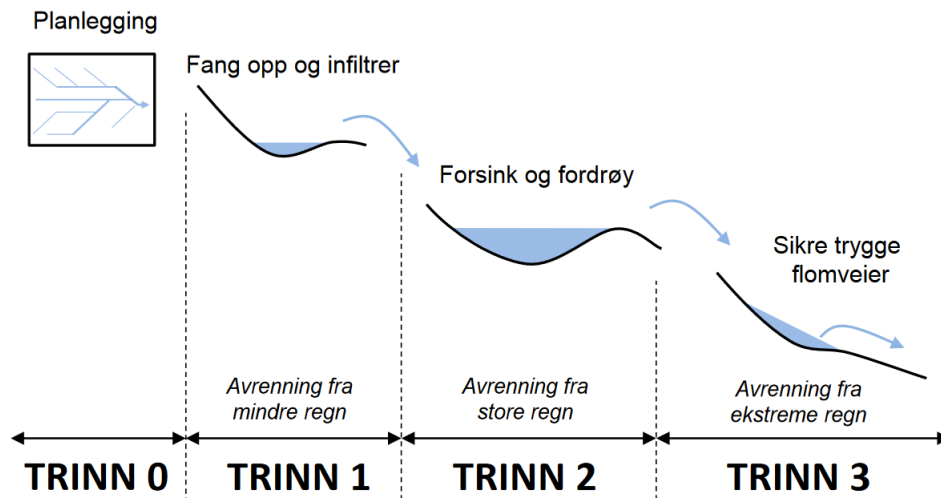
- Økt overvannsavrenning i mengde og intensitet
- Økt vannhastighet og fare for erosjon
- Senkning av grunnvannsstanden samt skader på vegetasjon om bygningskonstruksjoner
- Utslipp og spredning av overvannsforurensninger (tungmetaller og miljøgifter mm)
- Foringelse av det økologiske miljøet (reduksjon av biologisk mangfold)

Ødegaard (2014) peker videre på at en fremtidsrettet og bærekraftig overvannshåndtering må baseres på å håndtere overvannet lokalt. I planleggingen for overvannstiltak er det viktig å avklare prosjektets lønnsomhet, og hvilke tiltak som vil være både robuste og kostnadseffektive (Miljødirektoratet, u.å.-b)

2.1.1 OSLO KOMMUNES STRATEGI FOR OVERVANNSHÅNTERING

Ifølge Oslo Kommune sin strategi for overvannshåndtering (2014) skal overvann så langt det lar seg gjøre håndteres på egen tomt og i åpne løsninger. Naturlig infiltrasjon av overvann minker avrenning og bidrar til å opprettholde grunnvannstanden (Miljødirektoratet, u.å.-a).

Strategi for overvannshåndtering



Figur 4: Lindholm (2008) tretrinnsstrategien for overvannshåndtering

Tretrinnsstrategien til Oslo Kommune, illustrert i figur 4, forklarer at små nedbørsmengder infiltreres i grunnen, større nedbørsmengder skal fordrøyes og forsinkes og ekstreme nedbørsmengder skal ledes trygt videre i åpne flomveier.

Oslo kommune har utarbeidet en plan for overvannshåndtering, og det er dette som ligger til grunn for det eksisterende arbeidet med overvannshåndtering på tomten til Construction City. *Strategi for overvannshåndtering i Oslo 2013-2020* konkretiseres spesielt tre mål:

- Skader som følge av overvann og urban flom skal unngås ved å møte klimautfordringene og minimere skade
- Alt overvann som tilføres resipienten skal ha kvalitet som resipienten tåler slik at vannforskriftens mål nås
- Overvann skal infiltreres, fordrøyes og brukes lokalt der det er praktisk mulig. Det bør brukes åpne, naturlige og flerfunksjonelle fordrøyningsystemer.

Strategien bygger videre på at åpen og flerfunksjonell overvannshåndtering skal være en naturlig del av tidlig planlegging når vi bygger nytt.

2.1.2 BLÅGRØNNE LØSNINGER

Egenskapen til et blågrønt tak er at det er vannakkumulerende slik at nedbør som ender opp på taket vil absorberes, reduseres og forsinkes. Tidligere var det derimot vanlig at både ingeniører og entreprenører behandlet «grønne tak» og «blå tak» separat (Elvebakk et al., 2018).

Grønne tak er «levende» tak som er dekket med vegetasjon. Grønne tak kan bidra til overvannshåndtering ved at det kan absorbere og holde på store mengder vann. Blå-grønne tak er en tverrfaglig tilnærming til vannhåndtering og grønne områder og er en kombinasjon av vegetasjon og regnvannshåndtering i takkonstruksjonen (Andenæs et al., 2018; Elvebakk et al., 2018). De blå-grønne løsningene har samme prinsipp som grønne tak, men har som regel et ekstra element for absorbering og fordrøyning av vann for eksempel under jordlaget (Shafique et al., 2016).

Blå tak eller blå løsninger er ikke-vegeterte løsninger som for eksempel dreneringssystemer, dammer etc. (Elvebakk et al., 2018; Shafique et al., 2016). Et blå-grått tak er en miks av tradisjonelle tette flater og blå løsninger. Blå og blå-grå tak kan ha samme fordrøyende egenskaper som et grønt eller blå-grønt tak, men forskjellen er at blå og blå-grå tak ikke består av levende vegetasjon (Elvebakk et al., 2018).

2.1.3 AVRENNINGSFAKTOR, ϕ

Avrenningsfaktoren uttrykker hvor stor andel av nedbøren som ikke infiltreres til grunnen, eller fordamper. Mengden infiltrert nedbør vil dermed være gitt ved;

$$\text{Infiltrert nedbør} = \text{Nedbørmengde} * (1 - \phi)$$

Avrenningsfaktoren er blant annet avhengig av overflatens permeabilitet, beskaffenhet og fallforhold i terrenget (NOU 2015: 16). For å bestemme avrenningsfaktor må type dekke/overflate på tomt og takflater være valgt. I denne oppgaven er det er valgt å følge anbefalingene fra COWIs rapport «Gjennomgang av avrenningsfaktorer» (COWI, 2015) som bruker følgende faktorer for ulike flater:

Tabell 2: COWI (2015) Avrenningsfaktorer for ulike typer flater

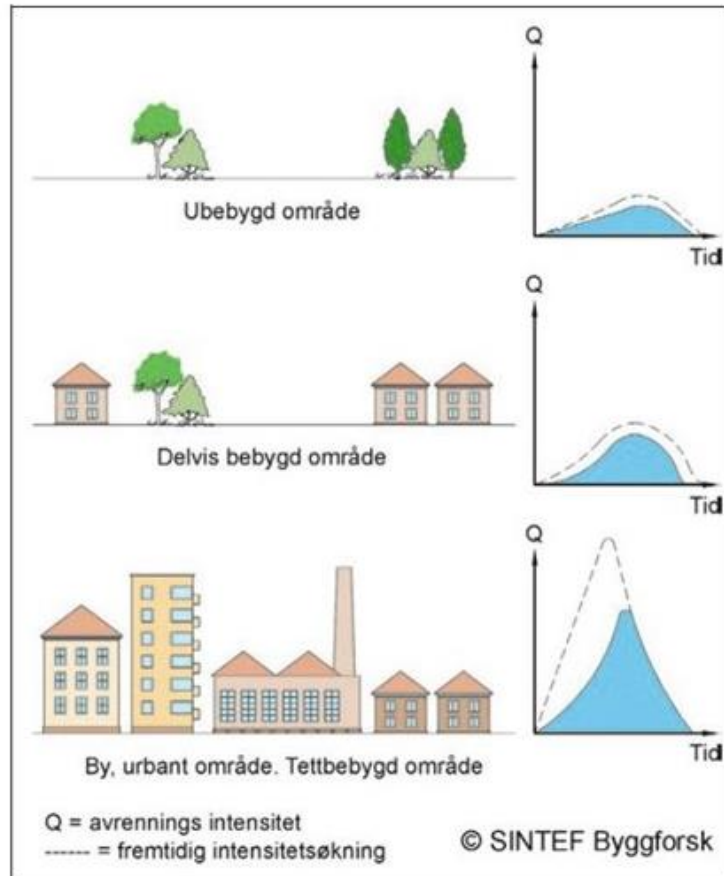
Type flate	Avrenningsfaktor
Bygningsareal	0,9
Veiareal	0,8
Helt permeabelt (resten av nedbørfeltet)	0,2

Ifølge tabell 2 er det for bygningsareal anbefalt å benytte avrenningsfaktor 0,9.

2.2 URBANHYDROLOGI

Hydrologi er læren om vannets forekomst, egenskaper, kretsløp og vekselvirkning med omgivelsene (Ødegaard, 2014). Hydrologi er derfor svært viktig ikke bare for forståelse, men også for forvaltning av både lokale, regionale og globale vannressurser.

Vannets kretsløp, eller den hydrologiske syklusen er et sentralt begrep innen hydrologi. Det forklarer det naturlige systemet for sirkulasjon av vannet gjennom at vann fra hav eller på jordoverflaten varmes opp av sola, fordampes og fraktes over jordoverflaten i en atmosfærisk sirkulasjon som vanndamp før det kommer ned igjen som nedbør. En del av vannets kretsløp er urbanhydrologi. Urbanhydrologi omhandler den delen av vannets kretsløp som er knyttet til utbygde områder (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016b). Når et område bygges ut og urbaniseres vil den naturlige vannbalansen endre seg. Som illustrert i figur 5 vil urbanisering og utbygging føre til at mengden tette flater øker, som igjen fører til økt overflateavrenning både i intensitet og volum.



Figur 5: Sintef (2012) Urbaniseringens effekt på overflateavrenning

Andre hydrologiske effekter av urbanisering og utbygging er senking av grunnvannstand, erosjon og reduksjon i både infiltrasjon og fordampning. Konsekvenser av disse hydrologiske effektene kan være blant annet økt fare for oversvømmelser i bygninger, setningsskader, uttørking av vegetasjon samt at det kan resultere i økt påkjenning på resipient, både når det gjelder volum og forurensning.

2.3 LOVVERK

- Planlegging av bygging av vann- og avløpsanlegg reguleres bla av plan- og bygningsloven med forskrifter. Kommunal- og moderniseringsdepartementet har ansvar for denne loven, og direktoratet for byggkvalitet er sentralt direktorat.

- Vann og avløp er definert som såkalt kritisk infrastruktur i samfunnet, med egne krav til sikkerhet og beredskap. Justisdepartementet og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap er sentrale instanser, i tillegg til helse- og miljømyndighetene (Jørgensen, 2016).
- Etter ny endring av plan- og bygningsloven (1. juli 2017) er det nå lovfestet at overvann skal være sikret før kommunen godkjenner oppføring av bygning
- Byggeteknisk forskrift (2017) har som formål; «å sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi.»

For tiltaket beskrevet i denne oppgaven vil særlig følgende paragrafer være gjeldende:

§ 15-5 Innvendig vanninstallasjon

§ 15-7 Utvendig vannforsyningsanlegg med ledningsnett

§ 15-8 Utvendig avløpsanlegg med ledningsnett. Overvann og drensvann

2.4 VANNFORBRUK I NORGE

Nordmenn er blant de med størst økologisk fotavtrykk i verden, og dersom alle hadde levd som en gjennomsnittlig nordmann ville vi hatt behov for 2,8 jordkloder (Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom, 2016). Økologisk fotavtrykk er en betegnelse som brukes for å forklare hvor mye jord- og vannareal som kreves for å dekke forbruket vårt samtidig som at naturen skal kunne fornye de ressursene som brukes (Global Footprint Network, u.å.). I Norge produserer vannverkene ca. 700 millioner m³ årlig (Ødegaard, 2014). Et stort problem i Norge er at vi har svært høye tall for vannlekkasje. Av den totale produksjonen av drikkevann forsvinner hele en tredjedel i form av lekkasje (Berge, 2018; Jørgensen, 2016; Ødegaard, 2014).

I Norge kommer 90 % av vannforsyningen fra overflatevannkilder som innsjøer, tjern og elver, mens 10 % stammer fra grunnvannskilder. 42 % av vannproduksjonen fra kommunale vannverk går til husholdninger, 2 % til fritidsboliger, 24 % går til næringsliv, mens 32 % som nevnt går tapt som lekkasjer på ledningsnett (Norsk Vann, 2011).

I 2019 var estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk per tilknyttet innbygger 178 l/person/døgn (Statistisk sentralbyrå, 2020b). Av dette utgjør toalettspyling ca. 23% av totalt døgnforbruk (Bomo & Schade, 2015). Ifølge Forsvarsbygg (2012) er det ikke uvanlig i et kontorbygg at omtrent 40% av vannforbruket medgår til toaletter og urinaler. Ulike toaletter bruker ulik mengde vann, men moderne toaletter med to ulike knapper bruker gjerne mellom 3 og 6 liter.

2.5 EFFEKTIV VANNBESPARELSE

Videre i oppgaven blir det benyttet følgende formel for beregning av vannbesparelse.

$$WSE = \frac{W_t - M_t}{W_t} * 100\%$$

Der

WSE = Water Saving Efficiency (effektiv vannbesparelse)

W_t = Totalt volum levert til toalett

M_t = Tilførsel av vann fra ordinært nett

Formelen blir benyttet for å regne ut hvor stor andel av totalt vannforbruk til toalett som dekkes av regnvann.

2.6 LØNNSOMHET

Dette kapitlet beskriver nødvendig teori og ulike metoder for å beregne økonomisk lønnsomhet. Teorien benyttes videre i beregningene og i diskusjonsdelen for å besvare forskningsspørsmålet om tiltaket er økonomisk lønnsomt sammenlignes med tradisjonell praksis.

2.6.1 NETTO NÅVERDI

Ved nåverdimetoden regner vi om fremtidige beløp til dagens pengeverdi. Nåverdimetoden bør benyttes når lønnsomhet i investeringsbeslutninger tas, fordi den tar høyde for hele levetiden og prosjektets kapitalbinding slik at en får fram formuesveksten (Berg, 2018). Vi beregner netto nåverdi fordi virkninger (inn- og utbetalinger) som oppstår i nær fremtid ofte oppfattes som mer verdifulle enn langsiktige virkninger. Blant annet fordi ressurser som brukes i dag, alternativt kan investeres, gi avkastning og dermed gi grunnlag for økt forbruk lengre frem i tid (Direktoratet for økonomistyring, 2018).

Formelen for nåverdiberegning kan uttrykkes som

$$NNV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{X_n}{(1+r)^n}$$

Der

NNV = netto nåverdi

I_0 = investeringsbeløp

t = antall perioder

x_n = kontantstrøm i periode n

r = diskonteringsrente

Diskonteringsrenten er et avkastningskrav justert for risiko. Det er ikke alltid åpenlyst hva diskonteringsrenten bør settes til, men den bør avspeile risikonivået på investeringen og den må være høyere enn bankens innlånsrente. For å finne avkastningskravet til en investering kan vi bruke kapitalverdmodellen (KVM) som sier oss noe om forholdet mellom risiko og forventet avkastning. Kapitalverdmodellen uttrykkes slik

$$E(r_M) = r_f + \beta_M [E(r_M) - r_f]$$

Der

$E(r_M)$ = forventet avkastning

r_f = risikofri rente

$E(r_M) - r_f$ = risikopremie

$E(r_M)$ = Forventet avkastning for markedsporteføljen (kontantstrøm inntjent)

β_M = Beta-koeffisient

Risikofri rente er lang statsobligasjon (typisk 10 år) eller historisk risikofri realrente. Det er med andre ord den renten du får med risiko tilnærmet lik null.

Beta-koeffisient er markedets systematiske risiko. Altså den risikoen vi ikke får diversifisert bort. Det kan være nedgangstider, manglende likviditet og markedskollaps.

Risikopremie er meravkastning du krever ved å påta risiko.

Yield

I eiendomsbransjen brukes ofte begrepet yield, som er en betegnelse på forholdet mellom inntekt og eiendomsverdi.

Netto yield er gitt ved:

$$Yield = \frac{\text{Brutto leieinntekter} - \text{Eierkostnader}}{\text{Kjøpesum}}$$

Høyere yield indikerer høyere risiko knyttet til fremtidig inntjening. Begrepet prime yield gjelder for de mest ettertraktede eiendommene, mens sekundær yield gjelder for alminnelige eiendommer (næringseiendom i denne oppgaven).

Teorien i dette delkapittelet benyttes senere i oppgaven i den økonomiske analysen for å undersøke investeringens lønnsomhet.

2.6.2 ALTERNATIVE LØNNSOMHETS BETRAKTNINGER

Samfunnsøkonomi handler om hvordan vi benytter ressurser som for eksempel naturressurser, arbeidskraft eller produksjonsutstyr. Samfunnsøkonomi analyserer også muligheter for å øke verdiskapningen og fordele resultatet på en mer rettferdig måte.

(Universitetet i Bergen - Institutt for økonomi, 2009). Vi skiller mellom kostnader i en samfunnsøkonomisk analyse og kostnader i en budsjettanalyse (Direktoratet for økonomistyring, 2018). Ifølge Direktoratet for økonomi sin veileder i samfunnsøkonomiske analyser (2018) er det flere viktige spørsmål en bør stille seg:

- Hvilke positive og negative virkninger har tiltaket? Og for hvem?
- Overstiger de positive virkningene de negative?

Veilederen peker også på at det er viktig å vurdere i hvilken grad virkninger som ikke lar seg verdsette av kroner, bidrar til å gjøre tiltaket mer eller mindre lønnsomt for samfunnet. Videre påpekes det at samfunnsøkonomiske analyser viser om tiltak *totalt* sett er lønnsomme for samfunnet eller ikke. Samfunnsøkonomiske tiltak vil ha positive virkninger for noen og negative virkninger for andre. I mange tilfeller, og særlig i forbindelse med miljøtiltak, kan det være vanskelig å måle virkningene i kroner. I slike tilfeller kan man gjennomføre en nytte-kostnadsanalyse basert på de virkningene man finner det faglig forsvarlig å verdsette (Direktoratet for økonomistyring, 2018)

I en nytte-kostnadsanalyse må både nyttevirkninger og kostnader kategoriseres. Ifølge veilederen for samfunnsøkonomi analyse (2018) kan nyttevirkninger betegnes som positive virkninger, effekter, fordeler eller gevinster som for eksempel:

- Trygghet
- Kvalitet
- Tidsbesparelser
- Helsegevinster
- Miljøgevinster
- Estetiske gevinster

Kostnadsvirkninger er i veilederen definert som all bruk av ressurser som følger av tiltaket, herunder investeringskostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader. I utgangspunktet vil tiltak med positiv netto nåverdi være beregnet til å også å være samfunnsøkonomisk lønnsomme, men dersom det er mange virkninger som ikke er prissatte, skal man også vurdere i hvilken grad disse påvirker tiltakets lønnsomhet (Direktoratet for økonomistyring, 2018, se kap. 3.5.6). At et tiltak er samfunnsøkonomisk lønnsomt betyr ifølge Finansdepartementet (2005) at samfunnet som helhet er villig til å betale minst like mye

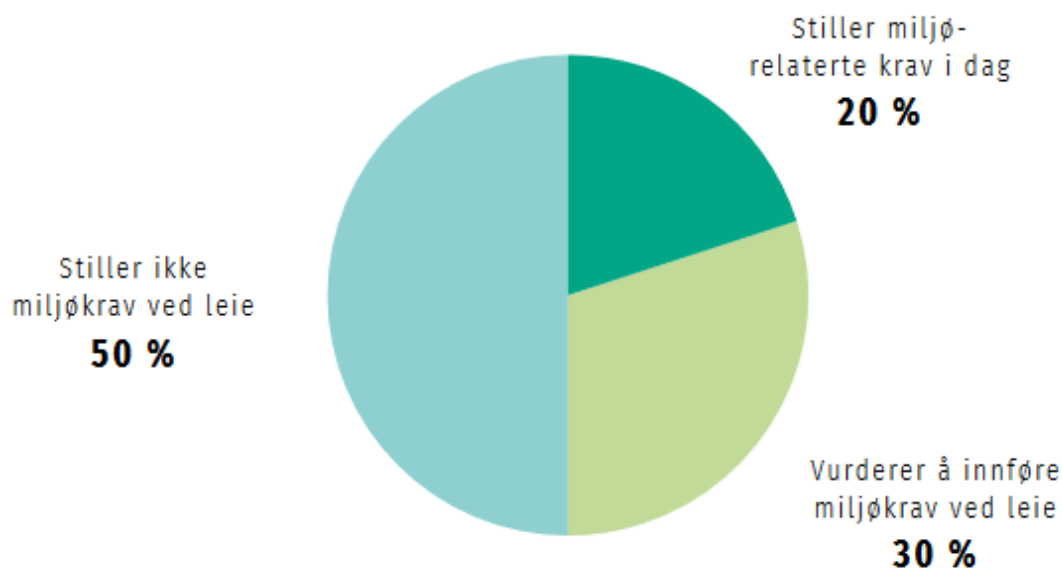
som det tiltaket koster. Ifølge Hagen (2009) bør investeringer i naturmiljø og naturgoder prinsipielt være langsiktige og naturressurser som er kritiske for liv og menneskelig aktivitet bør være evigvarende. Tilgang til tilstrekkelig mengde rent drikkevann kan defineres som en slik kritisk ressurs. Hagen poengterer at størstedelen av slike kostnader vil bæres av fremtidige generasjoner, i likhet med miljøgevinstene.

Det skilles gjerne mellom tre samfunnsøkonomiske utredningsnivåer: minimumsanalyse, forenklet analyse og samfunnsøkonomisk analyse (Direktoratet for økonomistyring, 2018). En minimumsanalyse går ut på å beskrive problemet (herunder nullalternativet), angi grove estimater og formulere mål. Hovedforskjellen mellom utredningsnivåene er i hvilken grad virkninger tallfestes og verdsettes. I en minimumsanalyse og forenklet analyse vil virkninger tallfestes dersom informasjon er lett tilgjengelig.

Teorien for samfunnsøkonomisk analyse benyttes senere i oppgaven for å diskutere prosjektets lønnsomhet sett fra et samfunnsøkonomisk ståsted. Samfunnsøkonomiske aspekter blir viktigere og viktigere.

«På vei mot et nullutslippssamfunn basert på sirkulærøkonomi vil rammebetingelsene for å vurdere verdi være i kontinuerlig endring.» (Grønn Byggallianse & Høgskolen i Østfold, 2019)

Grønn Byggallianse og Høgskolen i Østfold har gitt ut rapporten «Merverdien av grønne bygg» og peker på at det er byggeier/utleier som i stor grad avgjør hvordan man skal bygge. Selv om det i hovedsak er byggeier som tar initiativ og fatter beslutninger, er det tre andre aktørgrupper har også stor innvirkning: myndigheter, finansaktører og leietagere. Disse tre aktørene har mulighet til å både motivere og å presse en byggeier.



Figur 6: Grønn Byggallianse & Høgskolen i Østfold (2019) Generelt miljøfokus ved leie – status og utvikling

«Tenants shade of green» er en undersøkelse som retter seg til leietagere som er medlemmer i NHO Service, RIF og Arkitektbedriftene. Resultatet av undersøkelsen (figur 6) viser blant annet at 50% av leietagere enten stiller, eller vil stille miljørelaterte krav i fremtiden.

Undersøkelsen avdekket at eiere har liten tro på at leietagere har høyere betalingsvilje for grønne bygg, men tallene viser at de er villige til å betale omtrent 2% mer. At leiemarkedet beveger seg i en slik retning at leietakere er mer betalingsvillig for grønne bygg bekreftes også av andre studier (Eichholtz et al., 2010). Det faktum at leietakere er opptatte av miljø er det motsatte av det man har trodd tidligere (Solberg, 2015). Undersøkelsen kan gi en indikasjon på hva som skjer i leiemarkedet, men siden det er leders ansvar vil det si at spørsmålene i undersøkelsen nødvendigvis ikke er riktig barometer for meninger hos leietagere generelt (Grønn Byggallianse & Høgskolen i Østfold, 2019).

2.7 PROGNOSEMODELLER OG MÅLING AV PROGNOSEFEIL

Prognosemodeller, eller statistiske tidsrekkeanalyser, er en teknikk som brukes for å analysere hvordan en variabel utvikler seg med tiden, der hensikten er å benytte modellen utenfor dens gyldighetsområde (Løvås, 2013).

En metode for å predikere er regresjonsanalyse. En regresjonsanalyse undersøker hvilken sammenheng det er mellom variabler. En enkel lineær regresjon undersøker en rettlinjert sammenheng mellom to variabler. Hensikten med regresjonsanalysen er å finne et best mulig estimat til vår ukjente linje som beskriver sammenhengen mellom variablene (Løvås, 2013). Det er viktig å tolke modellen etter man har funnet regresjonslinjen for å undersøke om den er meningsfull. En undersøger gjerne blant annet hvor godt linjen passer til dataene, om korrelasjonskoeffisienten er tilfeldig positiv og om det eventuelt ville vært fornuftig å undersøke en sammenheng som ikke er lineær.

Prognosemodeller er i denne oppgaven benyttet for å predikere fremtidig nedbør og fremtidige vanngbyrer.

Nedenfor følger en forklaring over relevante begreper knyttet til regresjonsanalyse.

F-verdi undersøker signifikansen til regresjonsmodellen. Dersom vi observerer stor verdi for F, tyder det på at regresjonslinjen forklarer en stor del av totalvariasjonen. F-verdien sammenligner variasjon *innad* i gruppene med variasjon *mellom* gruppene. (Løvås, 2013).

$$F = \frac{S_G^2}{S_E^2}$$

Multipel R – R er en stokastisk variabel som ligger mellom -1 og 1. Absoluttverdien til R antyder hvor sterk lineær sammenheng det er mellom x og y. En R-verdi på 1 tilsier at verdiene ligger nøyaktig på samme rette linje, og fortegnet angir retningen på sammenhengen. Positiv R-verdi angir at punktene ligger i nærheten v en rett, økende linje. (Løvås, 2013)

R-kvadrat. Andelen variasjoner som forklares av modellen er lik

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T}$$

Der SS_R = feil som forklares av modellen og SS_T = total variasjon blant y -verdiene. Vi kan si at R^2 er korrelasjonen opphøyd i andre potens (Løvås, 2013)

Justert R-kvadrat Forventningsrettet estimator for populasjonens r^2 . tar hensyn til datasettets størrelse n og antall koeffisienter p

Standardavvik s er et mål for spredning i verdiene i datasettet. Standardavviket antyder verdienes variasjon rundt gjennomsnittet og forteller oss om spredninger rundt snittet er stor eller liten (Thrane, 2018). Standardavviket er gitt ved kvadratroten av variansen som formuleres slik:

$$s^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

Altså er standardavviket

$$s = \sqrt{s^2}$$

Der y_i er hver observasjon og \bar{y} er gjennomsnittet av de n observasjonene.

P-verdi I denne oppgaven vil nullhypotesen være at korrelasjonen er lik 0. Vi kan forkaste nullhypotesen dersom p -verdien er lav (Løvås, 2013). Det vil si at dersom vi har en lav p -verdi er modellen god.

Et konfidensintervall er en statistisk størrelse for et utvalgt \pm en feilmargin, og kvantifiserer usikkerheten som oppstår når vi uttaler oss om en populasjon basert på et tilfeldig utvalg fra den gitte populasjonen (Thrane, 2018).

3. METODE

Dette kapitlet beskriver, begrunner og presenterer hvilke metoder som er valgt for å fremskaffe data og informasjon for å videre svare på problemstillingen og dens underliggende forskningsspørsmål. Kapitlet er ment å gi innsikt i hvilke vurderinger som er tatt med hensyn til validitet og reliabilitet. Kapitlet skal tydeliggjøre de metodiske valg som er tatt slik at oppgaven blir forståelig for leseren og for å sikre bekreftbarhet og troverdighet.

3.1 FORSKNINGSDSIGN

Denne oppgaven er et enkeltcasesdesign med flere analyseenheter, og baserer seg i stor grad på litteraturgjennomgang og funn fra tidligere forskning som er relevante for oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål. Litteraturen er ment å gi grunnlag for sammenligning med resultatene som fremkommer i oppgaven. Oppgaven er en mulighetsstudie av hvordan overvann/regnvann fra tak potensielt kan utnyttes som ressurs, og er således ikke en studie som undersøker et planlagt tiltak. Oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål er utformet på en slik måte at jeg finner det hensiktsmessig å benytte en blanding av kvalitative og kvantitative metoder for å gi innsikt i emnet som blir beskrevet.

Oppgaven samler informasjon gjennom blant annet eksempelstudier, ekspertmeninger og observasjoner. For å gjøre vurderinger er det også brukt kvantitativ metode for å samle inn tallfestede historiske data og beregninger fra Construction City.

Problemstillingen har ett definert underliggende kvantitativt mål

- Hvor mye rensset vann kan en spare på å benytte regnvann som nedskyll til toalett?

For å svare på problemstillingen tar jeg utgangspunkt i Construction City som beregningsgrunnlag. Oppgaven bygger på generelle betraktninger rundt konseptet, samt en vurdering av konseptet knyttet opp mot Construction City. Deretter undersøkes to potensielle alternativer for oppsamlingsarealer på taket for å belyse hvilke innvirkning dette har for miljø, vannbruk og økonomi sammenlignet med eksisterende litteratur.

3.2 LITTERATURSØK OG FAGKOMPETANSE

I arbeidet med denne oppgaven er det gjennomført litteraturstudier av lignende prosjekter og relevant teori. Litteratursøket ble er i hovedsak gjennomført via Google Scholar, Scopus og Web of Science.

Utover litteraturstudiene ble fagpersonell innenfor ulike områder kontaktet for å bidra med innspill, erfaringer og kompetanse.

Jeg har hatt fokus på at litteraturgjennomgangen skal være relevant og viktig for oppgavens problemstilling, at det er ny forskning og at det kan trekkes likheter med oppgavens case. Det har imidlertid vært utfordrende å finne et bredt og representativt utvalg fra tidligere forskning knyttet direkte opp til oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål. Det er begrenset litteratur der studieobjektet er direkte sammenlignbart med denne oppgavens case.

3.3 INNSAMLING AV KVANTITATIVE DATA

I arbeidet med denne oppgaven er det samlet inn kvantitative data knyttet til nedbør, vanngbyrer og data fra beregningsgrunnlag fra prosjekteringen til Construction City. Kvantitative data knyttet til nedbør og vanngbyrer er benyttet til å predikere fremtidige verdier. Dette temaet er nærmere beskrevet i delkapittel 3.6.

Konseptideen er basert på en hypotese om at en kan spare vann ved å bruke det til å skylle ned i toalett. For å underbygge hypotesen, samt å vurdere potensialet til eventuelt å prosjektere med dette tiltaket har det blitt gjort analyser av historiske data for faktisk vannbesparelse i tidligere studier.

3.4 INNSAMLING AV KVALITATIVE DATA

Oppgaven bygger i stor grad på tidligere forskning og annen relevant litteratur, fordi konseptet er lite utbredt (i Norge) og innovativt. Innovasjon betyr å fornye eller skape noe nytt (Digitaliseringsdirektoratet, 2014), noe som ofte kan være forbundet med både uforutsigbarhet og risiko. For å redusere uforutsigbarhet og risiko ved innføring av lite implementerte prosjekter bør potensielle risikofaktorer og svakheter kartlegges så godt det lar seg gjøre i tidlig fase. Av den grunn er det, i tillegg til de kvantitative målene, ønskelig å belyse hvilke praktiske utfordringer konseptet står ovenfor. Informasjon rundt dette er innhentet fra samarbeidsbedriften og rådgivende ingeniører innen vann og avløp og VVS for å belyse disse sidene av prosjektet.

3.5 ØKONOMISKE AVVEININGER

For å beregne økonomisk lønnsomhet til investeringen er det valgt å benytte netto nåverdi som metode for å belyse hvilken kvantitativ verdi prosjektet skaper. På grunn av oppgavens tidsbegrensning, lite tidligere forskning fra Norge og ikke tilstrekkelig data tilgjengelig er det valgt å ikke analysere andre faktorer for lønnsomhet. Det er ikke gjort en fullstendig samfunnsøkonomisk analyse for tiltaket fordi slike analyser som regel gjennomføres for statlige tiltak med vesentlige virkninger. Det er imidlertid hensiktsmessig å belyse kvalitative virkninger tiltaket kan bidra til som for eksempel samfunnsutvikling, kunnskap og renommé. Det derfor gjennomført en form for minimumanalyse i diskusjonsdelen der kvalitative verdier blir diskutert fra et samfunnsøkonomisk ståsted.

Det er også verdt å merke seg om investeringen i et slikt system vil påvirke miljøsertifiseringen til bygget. Dersom det slår mye ut på sertifiseringen kan avkastningen bli høyere.

Tiltaket som er beskrevet i denne oppgaven vil ha en investeringskostnad, samt årlige kostnader knyttet til drift- og vedlikehold. På grunn av oppgavens tidsbegrensning er det derimot ikke hentet inn detaljerte kostnader i forbindelse med et slikt prosjekt, da det krever ressurser. Kostnadsestimater er hentet fra forprosjektet til et lignende prosjekt (Kristiansen,

2020) med halvparten så stor størrelsesorden, og estimatene er derfor doblet i denne oppgaven. Det vil ikke nødvendigvis være den beste måten å tilpasse kostnadene til riktig størrelsesorden, men som nevnt krever det en mengde arbeid fra eksterne for å estimere i detalj. Summene inneholder også kostander knyttet til prosjektering. Estimaterne som er oppgitt er beheftet med en usikkerhet på +/- 20-30% (Kristiansen, 2020). Usikkerheten er relativt høyt da det oppgis at kostandene ikke er kvalitetssikret med hver enkelt entreprenør innenfor de ulike fagområdene til de ulike installasjonene. Det er ikke oppgitt når prosjekteringen av det lignende prosjektet ble foretatt, noe som også fører med seg usikkerhet. Det er imidlertid naturlig at nøyaktigheten til kostnadsestimater er avhengig av både tilgjengelig data og i hvilken fase av prosjektet en befinner seg (Magnussen, 2013). Tidlig i prosjektet det mangel på informasjon og usikkerheten vil derfor være stor. En usikkerhet på omtrent 20-30% er imidlertid akseptabelt i såpass tidlig i en forprosjektfase (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2017; Samferdselsdepartementet, 2016).

Drifts- og vedlikeholdskostnader knyttet til slike tiltak vil inneholde blant annet slamtømming og en drifts- og serviceavtale. For å beregne dette må det gjøres vurderinger knyttet til eksempelvis hvilke filtre og annet utstyr man ønsker å benytte seg av da de ulike typene har ulike behov for vedlikehold. I denne oppgaven er det kun gjort estimater knyttet til drift og vedlikehold basert på tidligere forskning (Hicks, 2008; Roebuck et al., 2011; U.S. Environmental Protection Agency, 2013)

Tabell 3: Drifts- og vedlikeholdskostnader for vannsystem som samler opp regnvann på tak

Kostnadspost	Aktivitetsfrekvens	Kostnad
Utskifting av pumpe	Hvert 10. år	337 800
Utskifting av ventiler	Hvert 7,5 år	12 000
Utskifting av filter	Hvert 5. år	10 000
Elektronisk kontroll	Hvert 10. år	2 000
Slamtømming	Hvert 3. år	15 000
Vasking av tak, rensing av sluk	Hver 6. måned	10 000
Inspeksjon, rapportering og informasjonsstyring	Hver 6. måned	5 000 kr

Til dette caset er aktivitetsfrekvens og kostnader oppgitt i tabell 3 justert opp med tanke på systemets størrelse og antall mennesker som benytter seg av det. Når det kommer til diskonteringsrente i nåverdiberegningen er denne basert på retningslinjer fra Finansdepartementet (2014), tidligere forskning (Matos et al., 2015; Roebuck et al., 2011) og nåværende prime og sekundær yield for kontor i Oslo som ligger på henholdsvis 3,25%¹ og 4,85%². Som investor kan en benytte observert markedsyield som avkastningskrav. Siden kontantstrømmene knyttet til drift, vedlikehold og vanngbyrer er noe usikker for caset i denne oppgaven, er den risikojusterte avkastningen skrudd noe opp fra sekundær markedsyield og det benyttes en diskonteringsrente på 5% i nåverdiberegningen.

Siden det ikke medfølger noe kostnadsanalyse for det planlagte blå-grønne konseptet på taket til Construction City, er investeringskostnadene i tabell 4 basert på litteratur og tidligere forskning. Det var noe utfordrende å finne tilfredsstillende nok litteratur for kostnader for rene blå tak.

Tabell 4: Investeringskostnader for blå tak og grønne tak

Type tak	Referanse	Kostnad	Enhet
Grønt	Bianchini & Hewage (2012) Niu et al. (2010) Clark et al. (2008) Teotónio et al. (2018)	1 856	kr/m ²
Blått	Foster et al. (2011)	430	kr/m ²

Det er rimelig å anta at kostnader for selve takkonstruksjonen alene vil være lik for blått tak og tak for oppsamling av regnvann. Forskjellen er at et system for oppsamling av regnvann i tillegg vil ha kostnader knyttet til kummer og andre installasjoner. Kostnaden for grønt tak benyttes videre i nåverdiberegninger og trekker fra den estimerte investeringskostnaden for alternativ 2 da det er å anse som en besparelse å ikke ta med dette.

¹ Per november 2020

² Per oktober 2020

3.6 PROGNOSE

I denne oppgaven er det benyttet prognoser for å forutsi fremtidige vanngebyrer og fremtidig nedbør. Når det gjelder tidsperspektiv for prognosene er det i denne oppgaven valgt å starte prediksjonen fra om med år 2025 da dette er tidspunktet bygget forventes å stå klart. Prognosene er årlig og er estimert frem til år 2050.

Prognosene bygger på tre viktige antakelser (Løvås, 2013)

- Den valgte trenden fortsetter videre inn i framtiden
- Sesongfaktorene er de samme i framtiden
- Vi ser bort fra tilfeldig variasjon

Løvås (2013) poengterer at det er viktig å merke seg at enhver tidsrekkemodell baserer seg på antakelsen om at framtiden følger samme tilfeldige variasjonsmønster som fortiden. Å predikere i seg selv er derfor ingen sikker måte å forutsi framtiden på, og særlig prognoser som gjelder for lengre perspektiv vil gi en stor grad av usikkerhet. For å øke reliabiliteten i forskningsmetodene i denne oppgaven, er det derfor ansett som et viktig moment at feilkildene og usikkerhetene i prognosemodellene undersøkes og belyses.

Analysene av prognosemodellene er gjort ved hjelp av regresjonsanalyse i Excel, som får fram flere viktige variabler som forklarer modellene.

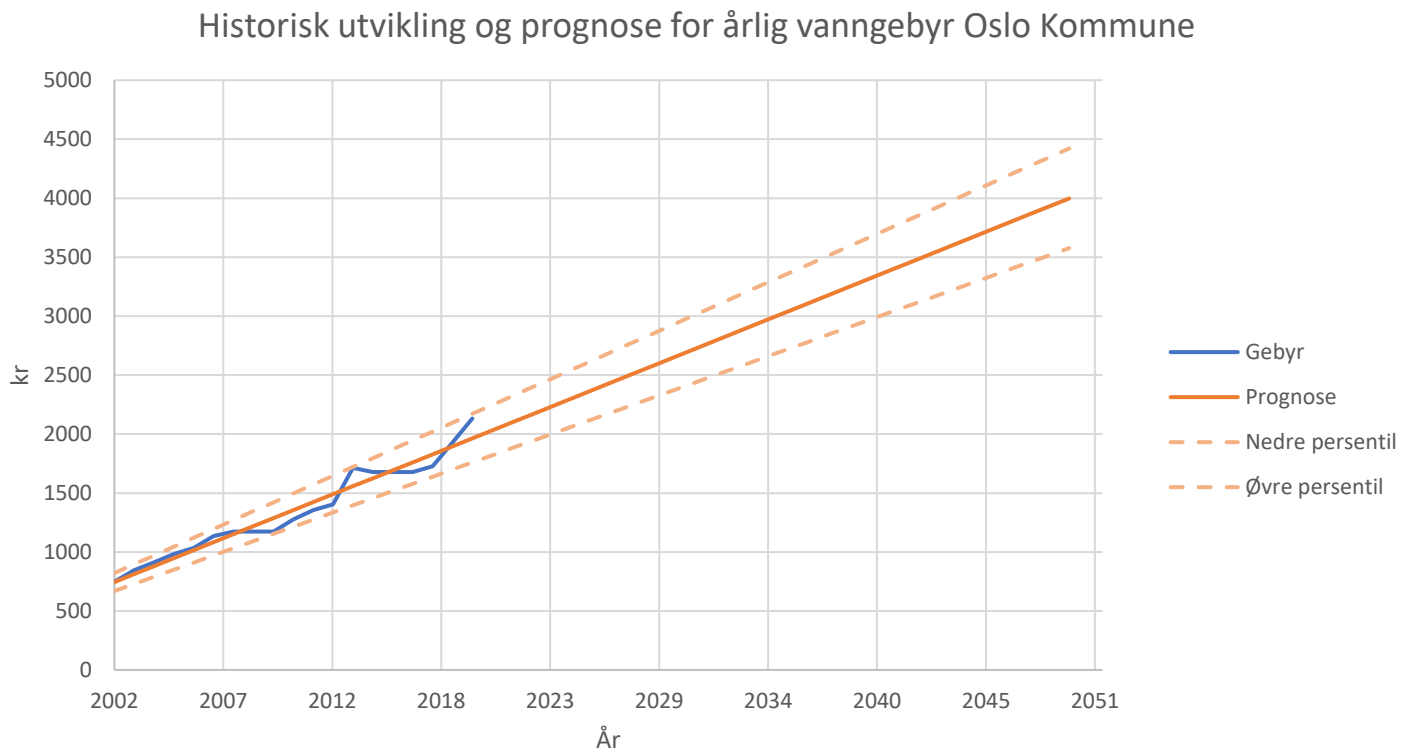
3.6.1 PROGNOSE FOR VANNGEBYRER

Prognosemodeller er viktig både i investeringsplanlegging og i forbindelse med risikostyring i prosjekter. Det er valgt et tidsperspektiv på mer enn fem år i prognoseberegningene for vannpriser, og det er tatt hensyn til hvilke perioder som er relevant for prognosen i valg av modell.

I en godt tilpasset prognosemodell bør prediksjonsfeilen ligne tilfeldig støy, og systematisk under- eller overprediksjon skal ikke forekomme. I undersøkelsen var det trendregresjon som slo ut som prognosemodellen med minst prognosefeil. Regresjonsanalyse brukes både

til å finne ut om, og eventuelt i hvor sterk grad, to variabler er statistisk forbundet med hverandre (Thrane, 2018).

Det antas at prognosen for neste periode (2021) også er den beste prognosen for etterfølgende perioder.



Figur 7: (Statistisk sentralbyrå, 2017; Statistisk sentralbyrå, 2020a) Historisk utvikling og prognose for årlig vanngbyr i Oslo kommune

Regresjonsanalysen viser en sterk positiv korrelasjon, altså en statistisk sammenheng mellom årstall og pris for vann. Regresjonslinjen i figur 7 er benyttet for å beregne fremtidige vanngbyrer for hvert enkelt år frem til 2050, og har følgende verdi:

$$y = b_0 + b_1x = 744,747 + 67,8x$$

Der b_0 = konstant og b_1 = regresjonskoeffisient/stigningstall.

For å undersøke om resultatene fra en regresjonsanalyse er statistisk signifikante (pålitelige), kan vi undersøke regresjonsstatistikk og variansanalyse.

Tabell 5: Regresjonsstatistikk for prognosemodellen for vanngebyr

Regresjonsstatistikk	
Multippel R	0,979045555
R-kvadrat	0,958530198
Justert R-kvadrat	0,956090798
Standardfeil	81,65931645
Observasjoner	19

Tabell 6: Variansanalyse for prognosemodell for vanngebyr

Variansanalyse					
	F	Signifikans-F	Standardfeil	t-Stat	P-verdi
Regresjon	392,936853	3,46152E-13			
Skjæringspunkt			36,0354377	20,6670826	1,7494E-13
X-variabel 1			3,42033238	19,8226349	3,4615E-13

Med bakgrunn i verdiene fra regresjonsanalysen er det rimelig å si at modellen er svært god. Regresjonsstatistikken og variansanalysen i henholdsvis tabell 5 og tabell 6 viser blant annet lave p-verdier, høy F-verdi og en R-kvadrat på 0,956 som forklarer hvor stor andel av variasjonen som forklares av modellen.

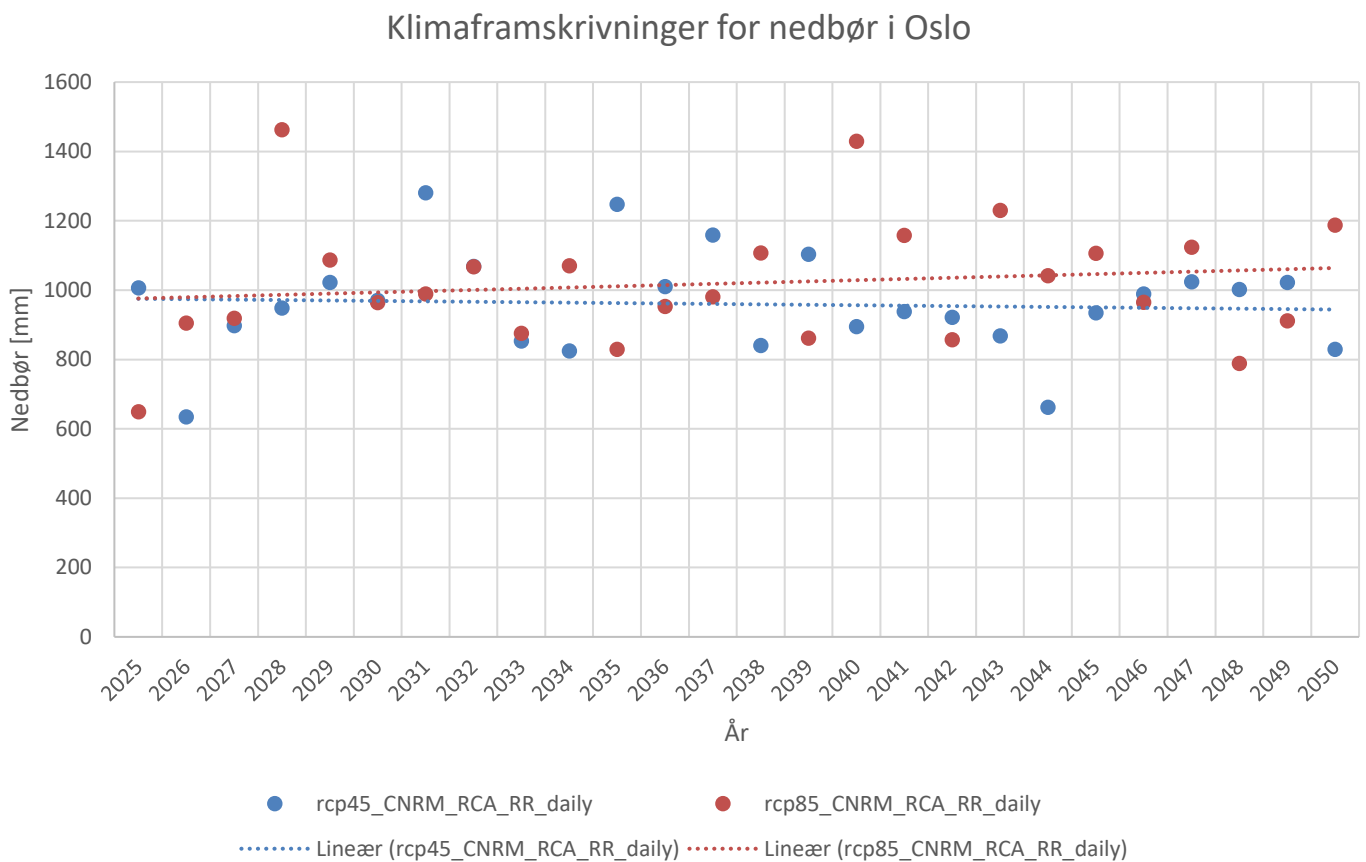
3.6.2 PROGNOSE FOR FREMTIDIG NEDBØR

Dette kapittelet er ment å presentere, beskrive og forklare valgte metoder knyttet til prognoser for fremtidig nedbør. Samtidig er det viktig å belyse utfordringer og usikkerheter knyttet til de valgte metodene.

Tilgang til gode og pålitelige nedbørsdata er, sammen med kunnskap om hydroklimatologiske forhold i Norge, en forutsetning for gode resultater i beregnings- og analysearbeidet (Ødegaard, 2014). Til tross for dette er det utfordringer knyttet til å

estimere fremtidige klima- og værforhold fordi vi har mangelfull informasjon om både klimasystemets følsomhet og framtidig klimavariasjon (Hanssen-Bauer et al., 2015).

I Stortingsmeldingen om Klimatilpasning i Norge (Meld. St. 33 (2012-2013)) anbefales det å være føre var i arbeidet med klimatilpasninger og at man derfor bør benytte høye alternativer for vurderinger knyttet til konsekvenser av klimaendringer. På bakgrunn av dette er det ikke benyttet framskrivninger for utslippsscenario RCP2.6 som innebærer stabile klimagassutslipp frem til 2020, og deretter kraftig reduksjon.



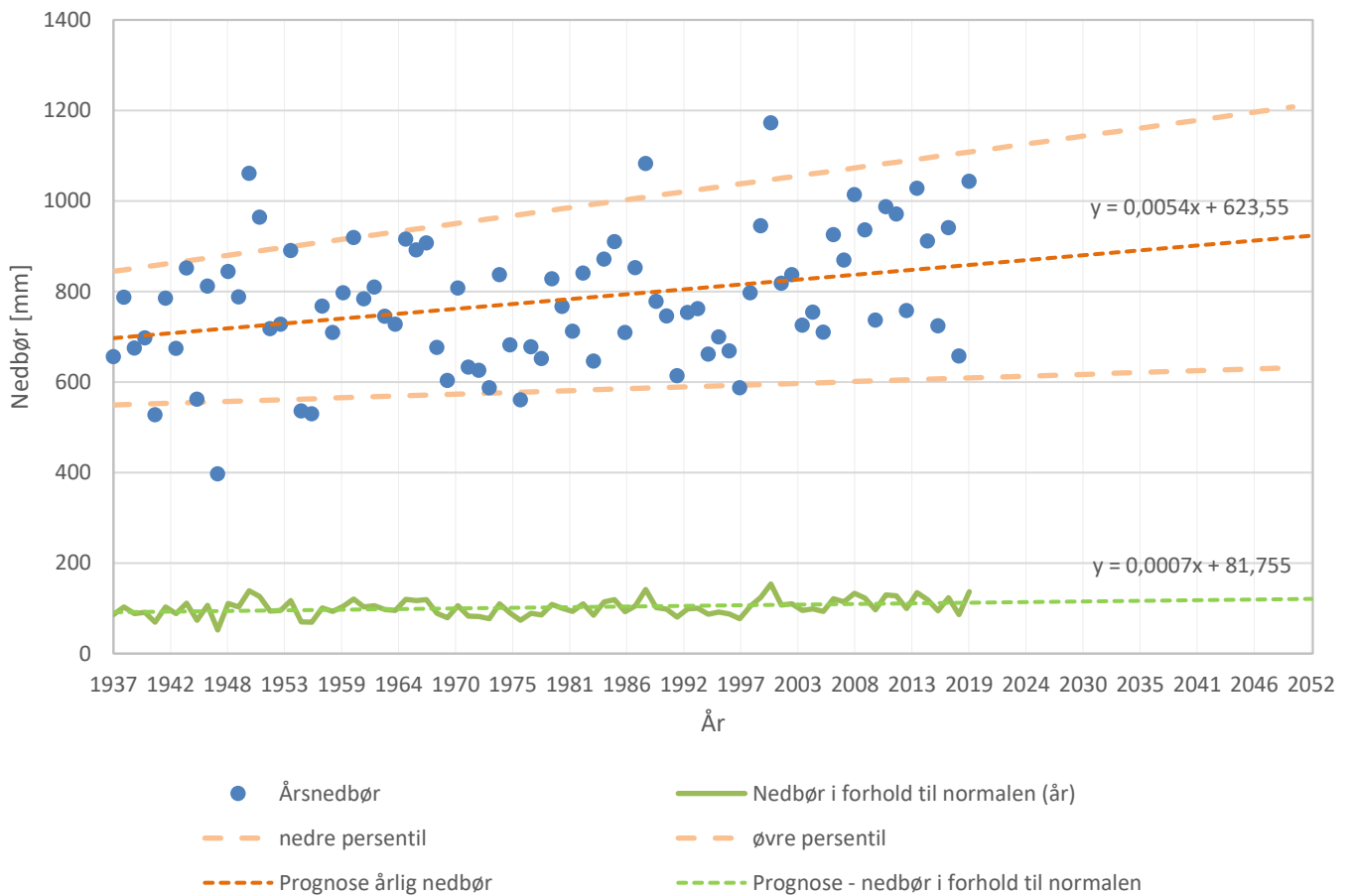
Figur 8: (Wong et al. (2016); EURO-CORDEX (Jacob et al. (2014))), referert i Norsk klimaservicesenter, 2020) Klimaframskrivninger for nedbør i Oslo fra 2025 til 2050

Datsettet i figur 8 er opprinnelig rutenettceller som tilsvarer 1 x 1 km, men er konvertert til Excel-format. Det er i utgangspunktet daglige nedbørsverdier i mm/dag, men disse er lagt sammen til summert årlig nedbør for området som deretter divideres på områdets størrelse. Datsettet i figur 8 gjelder for Oslo kommune i perioden 2025 til 2050. Det er benyttet

modell CNRM RCA, som vil si global klimamodell CNRM og regional klimamodell RCA. RCA tilhører Sveriges meteorologiske og hydrologiske institutt.

I rapporten «Klima i Norge 2100» under kapittel 4 «Klimautvikling i nær framtid» anbefaler Hanssen-Bauer et al. (2015) anbefalt datagrunnlag for beslutningsgrunnlag for planleggingsformål for de nærmeste tiår. Her anbefales det at man ved planlegging for opptil et par tiår baserer seg på historiske observasjoner. Manglende kjennskap til fremtidige klimagasser, klimasystemets følsomhet og forenklinger i klimamodellene gjør framskrivningene usikre (Hanssen-Bauer et al., 2015; NOU 2015: 16). Usikkerheten i klimasystemets følsomhet skyldes at det finnes flere prosesser som enten kan forsterke eller svekke klimaendringer, og disse mekanismene er ikke kjent fullt ut (Hanssen-Bauer et al., 2015). Ulemper knyttet til feil, usikkerheter og begrensninger med hensyn til tilgjengelige variabler og oppløsning i tid om rom anses å være større enn fordelene ved å inkludere antakelser om fremtidige klimapådriv (Hanssen-Bauer et al., 2015). På bakgrunn av dette er det derfor valgt å benytte prognoser basert på historiske nedbørdata som beregningsgrunnlag videre i oppgaven. For historiske nedbørsdata presentert i innledningen kan vi utlede en prognose for fremtidig nedbør frem til 2050 (Figur 9).

Historisk utvikling og prognose - årlig nedbør Blindern målestasjon, Oslo



Figur 9: Norsk klimaservicesenter (u.å.-b) Historisk nedbør og predikert fremtidig nedbør for Blindern målestasjon i Oslo

Det er ofte stor variasjon i klimadata, noe som også fremkommer i figur 9. Konfidensintervallet uttrykker usikkerhet og stor variasjon i datasettet.

Tabell 7: Regresjonsstatistikk for prognosemodellen for fremtidig nedbør

Regresjonsstatistikk	
Multipel R	0,331192226
R-kvadrat	0,109688291
Justert R-kvadrat	0,098696788
Standardfeil	136,2129587
Observasjoner	83

Tabell 8: Variansanalyse for prognosemodellen for fremtidig nedbør

Variansanalyse					
	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>
Regresjon	9,97937178	0,00222557			
Skjæringspunkt			51,0561129	12,2130312	4,6701E-20
X-variabel 1			0,00170507	3,15901437	0,00222557

Fra verdiene i tabell 7 og 8 ser vi at prognosemodellen for fremtidig nedbør er mer usikker enn prognosemodellen for vanngbyrer. Det skyldes at datasettet i modellen har større spredning i forhold til gjennomsnittet og modellen får derfor et større standardavvik. For å kvantifisere feilen i modellen er det benyttet et 95% konfidensintervall i grafen (nedre og øvre persentil). Hadde datasettet hatt flere observasjoner ville prognosen vært mer pålitelige, men de historiske observasjonene var ikke tilgjengelig for en lengre tidsperiode enn tilbake til 1937.

4. PRESENTASJON AV CASESTUDIET

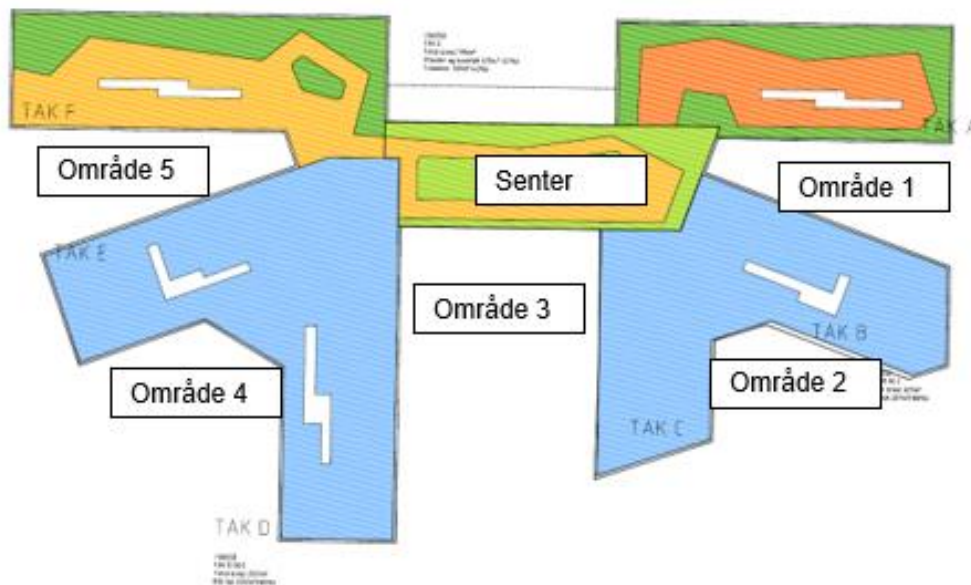
4.1 BESKRIVELSE AV PROSJEKTOMRÅDET

Construction City er en planlagt kunnskapspark der tomten er plassert på Ulven i Oslo. Prosjektet omfatter etablering av nytt kontorbygg samt tilhørende utearealer. Ulven er et område som er under utbygging og det er planlagt bygget 3000 boliger og over 200 000 m² med næringsarealer som en del av OBOS' Ulven-utbygging. Construction City er en klynge og en samlokalisering av bygg-, anleggs-, gjenvinnings-, og eiendomssektor for å dele innsikt, samarbeide om prosjekter og bygge en samlet konkurransekraft (Construction City, u.å.)



Figur 10: Norconsult/Construction City (2020) Kart over bygget i fugleperspektiv

Figur 10 viser Construction City i sin helhet sett fra et fugleperspektiv, med tilhørende utearealer.



Figur 11: Norconsult/Construction City (2020) Inndeling av takareal.

Hele kontorbygget er på omtrent 100 000 m² og det er planlagt at bygget skal romme ca. 5000 arbeidsplasser. Tomtens areal er på omtrent 23 000 m² og ny bygningsmasse blir oppført med et grunnareal på 15 385 m² (kjeller). På den sørlige delen av tomten vil det bli etablert regnbed, terskler, pukkmagasin og vannspeil. På den vestlige siden vil det bli etablert regnbed, pukkmagasin og lukket fordrøyning under bakken. På taket – som denne oppgaven handler om – er det planlagt blå tak, grønne tak og oppholdsarealer. På grunn av tomtens størrelse er det, som illustrert i figur 11, valgt å dele inn tomten i seks ulike områder. Det vil etableres blått tak på omtrent 4890 m² av taket, som tilsvarer omtrent 53% av totalt takareal.

Construction City sin strategi er at så mye som mulig av overvannet på eiendommen håndteres åpent og i dagen. Takarealet opptar en stor prosentandel av det totale arealet på tomten, og det anbefales at så mye som mulig av overvannet fra taket burde håndteres på taket. Garasjen under bygget gjør det i tillegg vanskelig å etablere lukket fordrøyning og reduserer muligheten for lokal infiltrasjon.

4.2 OVERVANNSHÅNTERING PÅ TAK

Overvannet på tomten er planlagt å håndteres ved infiltrasjon og fordrøyning på egen tomt. Etter at overvannet på tomten er fordrøyd og infiltrert, slippes det resterende vannet kontrollert ut på kommunalt overvannsnett. Ved ekstreme nedbørshendelser skal overskuddsvannet ledes trygt ut av området.

Det antas at takene A, B, D, E og F etableres med:

- 50% sedumstak
- 40% blått tak
- 10% tette flater

Det antas at tak C etableres med:

- 80% blått tak
- 20% tette flater

Tabell 9: Fordeling av ulike planlagte arealtyper på taket til Construction City

Arealtype	Areal [m ²]
Tette flater	8 301
Grønt	1 930
Blått tak	4 890
Totalt takareal	15 121

I denne oppgaven er det imidlertid valgt å se på to ulike alternativer for det mulige konseptet som er beskrevet. Nullalternativet i denne oppgaven vil ikke være å bygge et tradisjonelt tak med tette flater, men beholde planene for overvannshåndtering på tak slik de er beskrevet ovenfor i tabell 9. Dette er viktig å ta hensyn til i videre diskusjon når lønnsomhet vurderes.

Videre i oppgaven skiller det mellom to alternativer:

Alternativ 1: Benytte kun det planlagte blå arealet på taket til oppsamling av regnvann. Dette tilsvarer et totalt oppsamlingsareal på 4 890 m².

Alternativ 2: Benytte både det planlagte blå og det planlagte grønne arealet på taket til oppsamling av regnvann. Dette tilsvarer et totalt oppsamlingsareal på 6 820 m².

Et tredje alternativ kunne potensielt vært å benytte hele takarealet til å samle opp regnvann, men det er ønskelig at det skal være mulig å benytte deler av taket til oppholdsareal og alternativet er derfor sett bort fra.

4.3 BREEAM

BREEAM-NOR er en norsk tilpasning av det internasjonale miljøsertifiseringsverktøyet BREEAM (Building Research Establishment's Assessment Method). BREEAM er en metode for å måle et byggs bærekraftige egenskaper (Grønn Byggallianse, 2016). Et BREEAM-NOR sertifikat utstedes i fem nivåer; pass, good, very good, excellent og outstanding. For tomten til Construction City etterstrebes det å oppnå BREEAM Excellent. Det er mulig å oppnå 5 poeng totalt fordelt på flomrisiko, overvannshåndtering og begrensning av

vassdragsforurensning. Emnet Pol 03 under kategorien «forurensning» har som formål å unngå, redusere eller forsinke avrenning av regnvann til offentlige avløpssystemer og vassdrag for å begrense risiko for lokal flom både på og utenfor eiendommen. Det skal også begrense vassdragsforurensning og annen miljøskade.

*«Resirkulering av regnvann kan sameksistere med og supplere andre vannkilder og forsyningssystemer og dermed avlaste andre vannkilder. Resirkulering av regnvann kan redusere belastning på avløps-/overvannsnett og oversvømmelser i bygater»
(Grønn Byggallianse, 2016)*

Det er også mulig å innhente poeng i kategorien vann under emnet Wat 01 Vannforbruk. Wat 01 har som formål å redusere bruken av drikkevann til sanitærformål i bygg fra alle kilder gjennom bruk av vanneffektive komponenter og vannresirkuleringsystemer. (Grønn Byggallianse, 2016). Vannforbruket (l/person/dag) for det vurderte bygget sammenlignes med et referanseforbruk og tildeles som vist i tabell 10.

Tabell 10: Grønn Byggallianse (2016) Poengfordeling for vannbesparelse

Antall poeng	% forbedring
1	12,5%
2	25%
3	40%
4	50%
5	55%
Mønstergyldig	65%

4.4 BEREGNINGSGRUNNLAG

Grunnlaget og byggesteinen for arbeid med overvannshåndtering er kjennskap til overvannsmengdene i området. En god strategi- og beslutningsprosess er avgjørende for å sikre en god overvannshåndtering (Miljødirektoratet, u.å.-b). Hva som er funksjonelle og kostnadseffektive tiltak vil avhenge av lokale forhold, og kunnskap og områdets avrenning og

klimaendringer vil gi beslutningstakere et utgangspunkt for å finne de riktige alternativene (NOU 2015: 16). Ulike overvannstiltak har ulik egnethet i forskjellige områder og det er lokale forhold som setter premisser for hvilke tiltak som vil være optimale.

Ved beregningene videre i oppgaven legges det til grunn at alle kontor plassene i Construction City er leid ut og disponeres når kontorbygget åpner i 2025. Videre forutsettes det et belegg på 70% tilstedeværelse på kontoret basert på tidligere litteratur (Halvarsson, 2013; Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2014). Ved beregninger for dette prosjektet legges det også til grunn en kontor plasskapasitet på 5000 plasser. Basert på erfaringer fra prosjektet Citypassagen, informasjon fra BREEAM-manualen (Grønn Byggallianse, 2016) og annen informasjon om nyere toalett er det valgt å benytte et spylevolum på 4,5 l pr spyling.

4.5 KONSEPTBESKRIVELSE

Denne oppgaven bygger på en mulighetsstudie med et konsept som i hovedsak går ut på å bruke overvann som ressurs i vannforbruk. Oppsamling av regnvann går ut på å samle opp vann for å benytte det i fremtiden til for eksempel vasking, matlaging eller som i denne oppgaven – til toalettspyling. Oppsamlet regnvann er å anse som et substitutt for alternativet som er verdifullt og rent drikkevann.

4.5.1 OPPSAMLING AV REGNVANN

Oppsamling av regnvann er antakeligvis en av de eldste metodene i verden for å håndtere behov for vannforsyning (Campisano, 2017), men konseptets effektivitet utvikler seg med teknologien. I urbane områder innebærer prosessen oppsamling, lagring, behandling og distribusjon av regnvann fra for eksempel tak, terrasser, gårdsplasser og andre tette flater i tilknytning til stedet vannet skal benyttes (Campisano, 2017). Under regnhendelser akkumuleres regnvann og lagres midlertidig i en tank for å dekke etterspørsel etter vann enten helt eller delvis.

Systemet i denne oppgaven tar utgangspunkt i å samle opp regnvannet på taket av bygningen for å kunne benytte det videre til å spyle ned toalettene. En nærmere beskrivelse av konseptet finnes i neste delkapittel. Takflater må ha et så rent dekke som mulig som ikke avgir uønskede kjemikalier (for eksempel sveiset membran eller takpapp). Flere studier har vist at grove takflater holder på partikler og forurensede materialer i større grad enn glatte flater og kan dermed ha en negativ effekt på regnvannet som samles (Bradford og Denich, 2007; Despins et al., 2009; Farreny et al., 2001, referert i Campisano, 2017). Det er viktig å påse at det ikke gror vekster som for eksempel mose da dette bidrar til bakterievekst som igjen fører til økt behov for behandling av vannet. Fordelen med overvann fra takflater er at det inneholder mindre mengder uønskede urenheter sammenlignet med regnvann fra gårdsplasser og parkeringsarealer. Regnvann fra gårdsplasser og parkeringsarealer kan inneholde oljer og kjemikalier samt større mengder partikler. Selv om regnvann fra takflater har lavere antall partikler, vil det være nødvendig med filtrering for å redusere partikkelnivået. Filtre skal bidra med å fange opp faste stoffer som sedimenter, blader og annet rusk for å hindre at dette følger med vannet og ned i oppsamlingstanken. Det kan også inneholde patogene bakterier fra fugleavføring, eller døde fugler.

Vannsystemet i sin helhet består i grove trekk av komponentene og installasjonene som er illustrert i figur 12 og 13. Regnvannet fra oppsamlingsarealet på taket ledes ned og når først en «first flush»-viderekobling³. Vannet går deretter gjennom et filter for å redusere partikkelnivået før det sendes videre til et utjevningsmagasin under bakken. Det kan for eksempel benyttes grovsiling ved første filtrering, som typisk har lysåpning 1-3 mm og hovedsakelig benyttes for filtrering av større gjenstander (Ødegaard, 2014). Fra utjevningsmagasinet pumpes regnvannet til et regnvannsmagasin, som får påfyll både fra regnvann og fra det ordinære vannettet ved behov. Vannet i regnvannsmagasinet er klart til bruk og pumpes videre for distribusjon til toalett i bygningen.

³ «First-flush» forklares nærmere i delkapittel 4.5.2

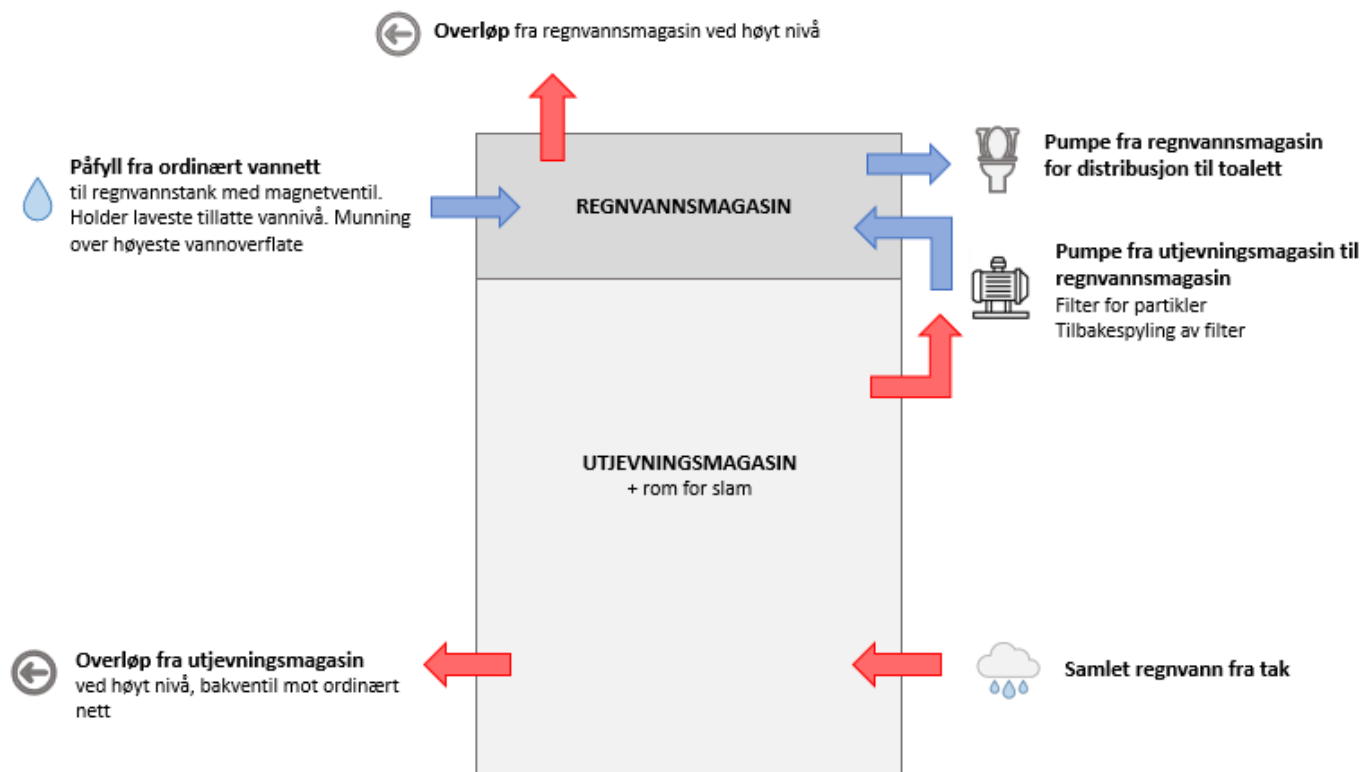


Figur 12: Vannsystemets ulike komponenter⁴

Utjevningsmagasinet må ha nok rom til slam som samles i bunnen. Dette slammet må tømmes med jevne mellomrom.

Nedbør er vanskelig å forutsi og det er umulig å vite nøyaktig hvor stort volum nedbørsystemet kommer til å samle. I tillegg må det beregnes at det kan oppstå tørkeperioder. Det må derfor kobles to vannledninger til hvert toalett i bygningen.

⁴ Figurene viser ikke faktisk utforming for bygget, men er ment som en illustrasjon for prosessene i systemet



Figur 13: Hjalmarsson (2020) Prinsippskisse for systemets hovedfunksjoner. Basert på Citypassagen Örebro.

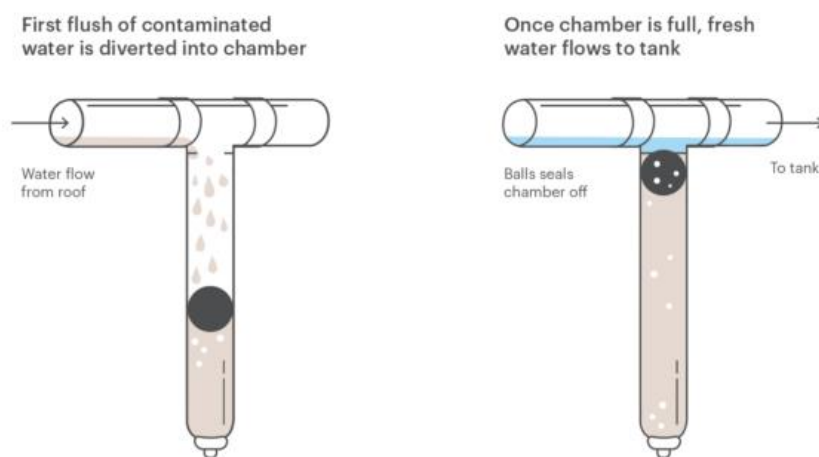
Figur 13 viser vannbalansen inn og ut av magasinet under bakken. Utjevningstanken tar inn regnvann fra tak og er samtidig utstyrt med et overløp med bakventil som slipper ut vann til ordinært avløpsnett ved for høyt vannivå i tanken. Vannet som pumpes videre fra utjevningstanken til regnvannstanken går gjennom et finere filter (enn det første filteret). Filter kan rengjøres ved tilbakespyling med jevne tidsintervaller. Filteret blir renses ved hjelp av høy hastighet på vannet som fjerner filterkorn og slam.

4.5.2 UTFORDRINGER

Utfordringene med slike tiltak vil blant annet være at regnintensiteten vil variere over tid, og det doble rørsystemet må dimensjoneres deretter. Regulering av dette systemet kan også være en utfordring. En annen utfordring er at et slikt system krever kontinuerlig og regelmessig vedlikehold. Det er blant annet behov for å sjekke sedimentnivå i

utjevningmagasinet og tømme slammet som akkumuleres. Brønner på taket vil også ha behov for ettersyn for å påse at disse ikke tetter seg til. Overvann/regnvann kan inneholde uønsket avfall, miljøgifter og partikler som kan føre til at rørsystemer krever mer vedlikehold.

Det er ikke uvanlig at det i tørkeperioder fører til at uønsket materiale akkumuleres opp på takflater. Det er diskusjoner rundt temaet om fordelene med en viderekobling for «første spyling». Gikas og Tsihrintzis (2012) konkluderer i en studie med at en installasjon for «first-flush» øker den fysisk-kjemiske kvaliteten på vannet.



Figur 14: Blue Mountain Co (u.å.) Funksjonen til et «first flush»-system

Figur 14 viser funksjonen til et «first flush»-system. Avlederen kanalisere det første regnvannet opp og lagrer det slik at det mest forurensede vannet isoleres i avledningskamre og skilles dermed fra vannet som lagres for videre bruk

Et first flush-system fungerer slik at det første vannet som ledes ned fra taket vil samles opp i et rør eller en tank, i stedet for å ledes direkte til utjevningmagasinet. Når røret eller tanken er fylt opp vil resterende mengde vann gå videre til utjevningmagasinet uten at det første regnvannsvolumet blander seg.

5. RESULTATER

I dette kapittelet presenteres resultater og funn fra casestudien. Første delkapittel tar for seg beregninger som identifiserer totalt vannbehov i bygningen. Videre følger et delkapittel som presenterer potensialet for mulig oppsamlet regnvannsvolum på tomten. Til slutt følger et delkapittel som belyser resultater fra de økonomiske beregningene knyttet til kostnader, gevinst og netto nåverdi.

5.1 VANNBEHOV I BYGNINGEN

Det totale vannbehovet i bygningen legger fundamentet for hvor stor andel som potensielt kan dekkes av systemet. Det antas et belegg på 70% tilstedeværelse på kontoret. Det tilsvarer 3500 personer på kontoret til samme tid. Dersom det tas utgangspunkt i at en person i gjennomsnitt går på toalettet tre ganger om dagen og spylemengden er 4,5 liter per toalettbesøk tilsvarer dette 47 250 liter, eller 47,25 m³ per dag (Tabell 11). Ved fulltidsarbeid regnes det normalt 230 arbeidsdager i året (Skatteetaten, 2019). Følgelig blir vannbehovet for toalettspyling omtrent 10 867 m³ i løpet av ett år.

Tabell 11: Beregningsgrunnlag for byggets totale vannbehov for toaletter

Variabel	Verdi	Enhet
Arbeidsplasser	5000	personer
Tilstedeværelse	70	%
Totalt	3500	personer
Gjennomsnittlig antall toalettbesøk pr dag pr person	3	
Totalt antall toalettbesøk pr dag	10 500	
Mengde vann pr spyling	4,5	liter
Totalt vannbehov pr dag	47 250	liter
	47,25	m ³
Arbeidsdager ilt ett år	230	
Totalt årlig vannbehov	10 867,5	m³

5.2 MULIG OPPSAMLET REGNVANNSVOLUM OG BESPARELSE

I dette delkapittelet presenteres tall som viser potensialet for mulig oppsamlet regnvannsvolum på taket (Tabell 12).

Tabell 12: Mulig oppsamlet regnvannsvolum og effektiv vannbesparelse (WSE)

År	Alternativ 1			Alternativ 2	
	Predikert nedbør	Oppsamlet regnvann	WSE	Oppsamlet regnvann	WSE
	[mm]	[m ³]	%	[m ³]	%
2025	871	3833	35 %	5346	49 %
2026	873	3842	35 %	5359	49 %
2027	875	3851	35 %	5371	49 %
2028	877	3860	36 %	5383	50 %
2029	879	3868	36 %	5395	50 %
2030	881	3877	36 %	5407	50 %
2031	883	3886	36 %	5419	50 %
2032	885	3894	36 %	5431	50 %
2033	887	3903	36 %	5444	50 %
2034	889	3912	36 %	5456	50 %
2035	891	3920	36 %	5468	50 %
2036	893	3929	36 %	5480	50 %
2037	895	3938	36 %	5492	51 %
2038	897	3947	36 %	5504	51 %
2039	899	3955	36 %	5516	51 %
2040	901	3964	36 %	5528	51 %
2041	903	3973	37 %	5541	51 %
2042	905	3981	37 %	5553	51 %
2043	907	3990	37 %	5565	51 %
2044	909	3999	37 %	5577	51 %
2045	911	4007	37 %	5589	51 %
2046	913	4016	37 %	5601	52 %
2047	915	4025	37 %	5613	52 %

2048	917	4034	37 %	5626	52 %
2049	918	4042	37 %	5638	52 %
2050	920	4051	37 %	5650	52 %

På bakgrunn av anbefalinger (COWI, 2015; NOU 2015: 16) er det i beregningene for mulig oppsamlet regnvannsvolum er det benyttet en avrenningsfaktor på 0,9.

5.3 ØKONOMISK ANALYSE

Dette delkapittelet presenterer resultater fra økonomiske beregninger knyttet til både kostnader og gevinst. Det er viktig å påpeke at de økonomiske beregningene, og særlig investeringskostnaden, baserer seg på estimater. De økonomiske beregningene er, sammen med flere faktorer, ment å gi grunnlag for å diskutere prosjektets lønnsomhet.

5.3.1 KOSTNADER

Dette kapittelet presenterer estimerte kostnader knyttet til gjennomføring av prosjektet. Det er viktig å merke seg at dette er forventede kostnadsposter og estimatene er beheftet med usikkerhet. Estimatene for investeringskostnadene knyttet til prosjektet omfatter bare kostnader før systemet er i drift og er presentert i tabell 13.

Tabell 13: Kostnadsestimater for system for oppsamling av regnvann på tak

Installasjon og utstyrskostnader for egen tilførsel til toalett	Kostnad
Rørinstallasjon	1 200 000 kr
Fordelerskap og pumper	1 200 000 kr
Bygningsmessige arbeider	600 000 kr
Totalt installasjon og utstyr for egen tilførsel til toalett	3 000 000 kr
Installasjon og kostnader for renseanlegg	Kostnad
Tett akkumuleringstank utendørs	1 200 000 kr
Røranlegg	400 000 kr
Rense/gjenvinningsanlegg overvann	600 000 kr
Bygningsmessige arbeider	600 000 kr
Akkumulering	200 000 kr
Totalt installasjon og kostnader for renseanlegg	3 000 000 kr
Totale kostnader	6 000 000 kr

For alternativ 1 vil investeringskostnaden være 6 000 000 kr. Dersom det regnes med at kvadratmeterprisen for blått tak er 430 kr, som tidligere nevnt, vil alternativ 2 ha en ekstra investeringskostnad på 829 900 kr. Dette med bakgrunn i at alternativ 2 har et oppsamlingsareal som er 1930 m² større enn alternativ 1. Ved alternativ 2 vil en derimot ikke bygge det grønne taket. Det vil si at kostnaden for det grønne taket ikke tas med i beregningen og kan sånn sett ses som en besparelse. Som tidligere nevnt er det regnet med en kvadratmeterpris for grønt tak på 1856 kr i denne oppgaven. Besparelsen for et areal på 1 890 m² blir dermed 3 582 080 kr. Den totale investeringskostnaden for alternativ 2 settes derfor til 3 247 820 kr.

5.3.2 BESPARELSER

Gitt stigningskurven i pris i metodekapittelet er det gjort beregninger for økonomisk gevinst i besparte vanngebyrer. Gebyrer for avløp vil være likt uavhengig av om man benytter rensed

vann eller regnvann til spyling. Vanngebyr var i 2020 12,41 kr per m³ ekskl. mva. og 15,51 kr per m³ inkl. mva. (Oslo Kommune, 2020). Oslo Kommune (2020) stipulerer at forbruket utgjør omtrent 1,3 m³ for hver kvadratmeter bruksareal boligen har. Med dette som grunnlag for prognosemodellen presenterte i delkapittel 6.5.1 er gevinstene presentert i nåverdiberegningen i neste delkapittel.

5.3.3 NETTO NÅVERDI

I beregningene for netto nåverdi er det lagt til grunn at investeringskostnaden vil være i 2021. Fra 2021 og frem til 2025 vil ikke gevinster i form av besparte vanngebyrer være med i beregningen da næringsbygget ikke er tatt i bruk i dette tidsrommet. Som vist i tabell 14 har begge alternativene negativ netto nåverdi.

Tabell 14: Netto nåverdi for alternativene

	Alternativ 1	Alternativ 2	Enhet
Investeringskostnad	6 000 000	3 247 820	kr
Diskonteringsrente	5	5	%
Periode	25 (26 perioder)	25 (26 perioder)	år
Total diskontert besparelse i perioden	1 072 599	1 495 936	kr
Totale diskontert kostnad i perioden	856 716	856 716	kr
Netto nåverdi	-5 784 117	-2 608 600	kr

6. DISKUSJON

I dette kapitlet vil resultater fra casestudiet diskuteres ut fra forskningsspørsmålene som ble stilt og sammenlignet mot tidligere forskning. Første delkapittel tar for seg de tre forskningsspørsmålene og forsøker å gi et kort svar på spørsmålene.

- Er det praktisk mulig å gjennomføre et prosjekt som benytter seg av regnvann til toalettspyling for dette caset?
- I hvilken grad vil prosjektet påvirke forbruket av rensset vann?
- Er løsningen lønnsom sammenlignet med eksisterende praksis?

Deretter vil feilkilder/forutsetninger bli diskutert. Tidligere forskning gir oss mye av grunnlaget for å diskutere problemstillingen. Både når det gjelder gjennomførbarhet, lønnsomhet og vannbesparelse.

6.1 GJENNOMFØRBARHET

Det første forskningsspørsmålet besvares i all hovedsak av tidligere prosjekter. Basert på litteratur og tidligere forskning er det tydelig at systemer for oppsamling av regnvann også er gjennomførbare i større kommersielle bygninger, i alle fall rent teknisk sett. Det er særlig grunnlag for å påstå at det er gjennomførbart fordi tidligere litteratur også viser at slike systemer allerede er i drift for både større næringsbygg og studentboliger i andre land. Terskelen for å ta i bruk teknologien på nye bygg/bygningskomplekser er derimot en utfordring som blir nærmere diskutert i delkapittel 6.4.

Når første forskningsspørsmål er besvart er det interessante å undersøke påfølgende og mer omfattende spørsmålene angående potensiale for vannbesparelse og lønnsomhet.

6.2 POTENSIALE FOR VANNBESPARELSE

Potensiale for vannbesparelse knyttet til utnyttelse av regnvann vil variere etter både nedbørmengde og forbruk. Siden tidligere forskning varierer i både type bygg, nedbør og forbruk vil resultatene være sprikende.

Et studie av en husholdning på fire personer i sør-vest Frankrike resulterte i en effektiv vannbesparelse⁵ på 87% (Tabell 15) etter bytte til regnvann som skyllevann til toalett i stedet for å bruke rensset vann (Vialle et al., 2011). Studiet ble gjort fra mars 2009 til februar 2010, og denne perioden korresponderte til en regnmengde på omtrent 766 mm fordelt på 174 dager. Forskjellen på dette studiet og denne oppgavens problemstilling er at nevnte studie ikke tar for seg et slikt system i storskala for bygninger av en slik størrelse som Construction City.

Andre studier som er mer sammenlignbare med denne oppgavens problemstilling er blant annet Stec og Zelenáková (2019) som gjorde casestudier på studentboliger i Polen og Slovakia. Det ble konkludert med at det er et potensiale for effektiv vannbesparelse på henholdsvis 18% og 29% for toalettspyling (Tabell 15).

Citypassagen er et kontorbygg i Örebro i Sverige som er svært relevant å sammenligne med denne oppgavens case da det er et lignende bygg, det er nytt og det ligger i Norden. Bygget er oppført av eiendomsselskapet Castellum. Bygget er på 15 000 m² og rommer omtrent 1000 arbeidsplasser. Det sto ferdig i 2019 og en del av dets miljøprofil er å benytte regnvann til spyling av toaletter. I tidlig fase ble kostnader for installasjon av bruk av regnvann beregnet til mellom 300 000 og 400 000 svenske kroner⁶. Det samlede takarealet er omtrent 2400 m². Det er 16 toaletter i hver etasje og hele bygget har sju etasjer. Til hvert toalettrom finnes det to ledninger for inngående vann – en for rensset vann og en for regnvann.

I Castellum sin prosjektering regnet de med 4 liter vann per toalettbesøk. De hadde regnet med totalt 2 300 m³ vann til toalettspyling, hvorav regnvann skulle utgjøre ca. 1 400 m³ av dette ifølge estimatene. De antok at av de 1 000 arbeidsplassene i kontorbygget, så ville de ha 70% tilstedeværelse, altså 840 personer på kontoret. Det ble regnet med at de i

⁵ Water Saving Efficiency (WSE) – se kap. 2.5

⁶ Tilsvarer omtrent 320 000-425 000 norske kroner med dagens kurs anno 27. oktober 2020 (Norges Bank, u.å.)

gjennomsnitt gikk tre ganger på toalettet daglig og at det dermed går 10 m³ vann per arbeidsdag. På ett år med 235 arbeidsdager blir dette 2 350 m³. Det reelle vannforbruket til toalettspyling i 2019 var på 3 150 m³ hvorav regnvann utgjorde 1 700 m³. Dette tilsvarer ca. 54%. Tabell 15 viser en oppsummering av effektiv vannbesparelse i tidligere forskning.

Tabell 15: Effektiv vannbesparelse i et utvalg av tidligere forskning

Referanse	Land	Type bygg	Effektiv vannbesparelse
Citypassagen Örebro	Sverige	Kontorbygg	54% *
Vialle et al. (2011)	Frankrike	Enmannsbolig	87% *
Stec og Zelenáková (2019)	Polen	Studentbolig	18%
	Slovakia	Studentbolig	29%
Ward et al. (2012)	Storbritannia	Kontorbygg	87% *

* Ikke kalkulert besparelse, men virkelig.

Når det gjelder caset i denne oppgaven er har alternativ 2 størst potensiale for mulig oppsamlet regnvannsvolum og har omtrent 15% høyere effektiv vannbesparelse enn alternativ 1. Ved alternativ 2 sparer prosjektet om lag 5 500 m³ drikkevann i året. Det tilsvarer i størrelsesorden det totale årsforbruket til 85 personer hvis en regner 65 m³ som et gjennomsnittlig årlig forbruk per person⁷.

Estimert mengde oppsamlet regnvann vil selvsagt påvirkes av fremtidig nedbørmengde. Ved bruk av regresjonsanalyse av historiske data (figur 9) framkommer fremtidig mengde nedbør en god del lavere enn ved å bruke klimaframskrivninger for nedbør fra figur 8 (om lag 10-15% lavere). Ved å bruke prognose av historiske data for fremtidig nedbør i stedet for klimaframskrivninger for nedbør påvirkes både mengde oppsamlet vann, effektiv vannbesparelse (WSE) og lønnsomheten i negativ retning. Hvis klimaet endres stadig hurtigere og en ikke greier redusere klimagassene kan det tenkes at det er mer korrekt å benytte klimaframskrivninger for nedbør.

⁷ Ref. kap. 2.4

6.3 LØNNSOMHET

Amos et al. (2016) peker på at tidligere forskning som undersøker økonomiske aspekter med slike prosjekter, ofte har motstridende resultater. Det finnes studier som konkluderer med at oppsamling av regnvann er lønnsomt (Stec & Kordana, 2015) men det kan være stor variasjon etter hvor kompleks studieobjektet er. Det finnes tilsvarende studier som viser det motsatte (Slys og Stec, 2020; Stec og Zelenáková, 2019). Å undersøke lønnsomheten til en småskala boligblokk vil for eksempel ikke være direkte sammenlignbart med å undersøke lønnsomhet for et storskala næringsbygg, men kan til en viss grad gi en pekepinn. Det vil også være sprikende resultater i lønnsomhetsanalyser ved studier i ulike land, da både mengde nedbør og vanngbyrer vil variere.

Ingen av de to alternativene er økonomisk lønnsomme i en nåverdibetraktning. Også her kommer imidlertid alternativ 2 best ut, fordi en større andel av det totale vannbehovet blir dekket av regnvann og genererer dermed lavere vanngbyrer. Hovedårsaken til at alternativ 2 fremstår mer lønnsomt er imidlertid at investeringskostnaden vil være betydelig lavere fordi det grønne taket ikke er med.

I beregninger av lønnsomhet er det også beregnet pris på rensert vann med regresjonsanalyse og predikering av historiske priser. Bare en relativt liten årlig økning i vanngbyret sammenlignet med den estimerte vil gi langt større besparelser. Det kan tenkes at det i fremtiden vil bli knapphet på rent vann og kommunen må finne nye og marginale vannkilder som er relativt dyrere å sette i drift og at vanngbyrene dermed øker mer enn forutsatt i beregningene. Å undersøke lønnsomhet til en investering i nåverdiproblemer er ofte knyttet til at beslutningsgrunnlaget for gjennomføring tar utgangspunkt i at dersom en oppnår positiv nåverdi bør en investere. Et investeringsproblem er derimot ofte mer kompleks enn et tradisjonelt nåverdiproblem der utfallet av en utregning vil være enten «ja» eller «nei» avhengig av om netto nåverdi er positiv eller negativ. Spørsmål en kan stille seg er om det vil være mer lønnsomt å investere nå eller vente på en ny, bedre og mer effektiv teknologi. Det er dette som kan være et tredje alternativ i et nåverdiproblem. Dette tredje alternativet, «vent og se», vil derimot ikke være hensiktsmessig i dette tilfellet da et slikt vannsystem vil være svært kostbart å investere i dersom det ikke planlegges i prosjektets tidlige fase.

Det er også relativt enkel teknologi og lave investeringskostnader forbundet med dette prosjektet. Det er vanskelig å se at disse kostnadene i så måte skal kunne reduseres/økes særlig mye, også i fremtiden.

Når det gjelder diskonteringsrenten i nåverdiberegningen er det ikke nødvendigvis opplagt hva denne bør settes til, men i denne oppgaven er den satt til 5% basert på blant annet tidligere litteratur. Hvis dagens lave renter skulle fortsette langt inn i fremtiden bør kanskje neddiskonteringsrenten settes lavere, noe som medfører økt lønnsomhet for prosjektet.

6.3.1 LØNNSOMHET – ET RELATIVT BEGREP?

Et lignende tema er behandlet av Ward et al. (2012) i en studie som undersøker ytelsen til et storskala system for oppsamling av regnvann. Ward et al. (2012) peker på at til tross for en mengde studier som tar for seg muligheter for oppsamling av regnvann er det kunnskapshull knyttet til detaljerte empiriske vurderinger av ytelse (Ward et al., 2012). Studiet tar for seg et kontorbygg i Storbritannia og undersøker faktisk vannbesparelse med estimert vannbesparelse

Amos et al. (2016) belyser et viktig tema når det gjelder lønnsomhetsanalyser av tiltak som omhandler oppsamling av regnvann, og peker på at det er behov for å standardisere metodene for økonomiske analyser av disse systemene. Dette på bakgrunn av både varierende og motstridende resultater. Amos et al. (2016) viser også til at en økonomisk analyse av et system for oppsamling av regnvann bør ha et bredt perspektiv, fordi en økonomisk analyse bør måle både prosjektets private og sosiale kostnader og gevinster knyttet til både samfunnet og økonomi.

«Vi tror at næringslivets fremtidige vinnere er de som i strategien for sin kjernevirksomhet forener globale samfunns- og miljømessige utfordringer med egen lønnsom vekst» (Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom, 2016)

Hagen (2019) skrev en rapport der han drøfter markedsøkonomiens muligheter og begrensninger når det gjelder effektiv styring av ressursbruk i situasjoner der økonomisk virksomhet skaper miljøproblemer for samfunnet. Hagen (2019) påpeker at miljøgoder som ren luft og rent vann ikke kan håndheves som privat eiendomsrett og at det derfor må være

tilgjengelig for alle. Av den grunn vil rent vann være til felles nytte og blir referert til som et fellesgode. Hagen (2019) adresserer at problemet med slike goder uten eksklusiv tilgang gjør at det ikke kan allokere gjennom markeder og følgelig finnes det i utgangspunktet ikke markedspriser som kan signalisere verdien på et slikt gode og hva degradering av kvaliteten til slike goder koster.

De problemstillinger som Hagen (2019) peker på er ikke hensyntatt i litteratur som undersøker lønnsomheten til miljøinvesteringer slik som tiltaket beskrevet i denne oppgaven. Hagen (2019) poengterer at når fellesressurser er knappe, vil den enkeltes forbruk redusere nytten andre brukere får av samme ressursen.

Roebuck et al. (2011) tar også opp en lignende problematikk der det pekes på at tidligere studier og undersøkelser har fokusert på vannbesparingspotensial, mens den økonomiske vurderinger enten er utelatt eller vurdert med en ad hoc-løsning⁸. Artikkelen antyder at tidligere forskning bygger på en generalisering rundt begrepet «lønnsomhet», der miljøinvesteringer blir behandlet som en hvilken som helst annen investeringsbeslutning. Det blir trukket direkte konklusjoner til lønnsomhet gjennom kontantstrømmer inn og ut. I denne artikkelen er applikasjoner som ikke trenger drikkevann definert som toalett, vaskemaskiner og vanning i hagen. Størrelsesordenen til husstandsbesetninger er én til fem personer. I dette studiet ble livskostnad benyttet som metode for å beregne lønnsomhet, der det ble tatt hensyn til ulike interessentperspektiv og fremtidige kostnadsscenarioer. Roebuck et al. (2011) konkluderer med at et slikt system for oppsamling av regnvann var betydelig mindre kostnadseffektivt enn tradisjonell løsning og at uten økonomisk støtte i fremtiden vil det heller ikke bli kostnadseffektivt innenfor rimelige fremtidige scenarier. En viktig problemstilling som belyses av Roebuck et al. (2011) er at tidligere studier mangler en grundig vurdering av alle potensielle kostnadselementer i en slik investering.

Som nevnt tidligere i oppgaven er det flere faktorer å ta hensyn til når en undersøker lønnsomheten til et prosjekt. Dersom en velger å utelukkende se på utregningen av netto nåverdi kan en påstå at prosjektet ikke vil være økonomisk lønnsomt. Det vil imidlertid være hensiktsmessig å se dette i lys av andre faktorer som spiller inn. Lønnsomhet kan defineres på flere måter og ikke utelukkende i form av sparte eller tjente kroner. Et slikt prosjekt kan,

⁸ Ikke løst på generelt grunnlag

tross en negativ økonomisk lønnsomhet, overstige den totale lønnsomheten i form av for eksempel medieoppmerksomhet som igjen kan føre til at det blir enklere å leie ut arealet i bygningen. Hva en anser som lønnsomt vil være avhengig av bedriftens verdier.

«Investeringer i miljøtiltak gjelder prosjekter som normalt gir miljøgevinster langt inn i fremtiden. Metoder for samfunnsøkonomisk verdsetting av miljøgoder gir grunnlag for beregning av nyttesiden for miljøinvesteringer. Det kan for eksempel være investeringer i renseutstyr for lokale utslipp til vann og luft som vil gi bedre vann- og luftkvalitet...Lønnsomheten til slike investeringer vil da være avhengig både av verdsettingen av miljøgevinstene, og av alternativverdien av de ressursene som miljøinvesteringen legges beslag på.» (Hagen, 2009)

Et poeng som da er viktig å drøfte er om et slikt tiltak har stor innvirkning på byggets miljøsertifisering. Dersom det har det så kan avkastningen på bygget øke. Som tidligere nevnt er leietakere villige til å betale inntil 2% mer for bærekraftige bygg. Dersom en tar utgangspunkt i kvadratmeterpris for kontorbygg med høy standard på Ulven ligger denne på omtrent 1800 kr (Union Gruppen, 2020a). 2% høyere betalingsvillighet vil dermed gi et tillegg på 36 kr/m². Om det antas at 80 000 m² av det totale kontorarealet skal leies ut, tilsvarer dette nesten 3 millioner kr i økte årlige inntekter. Dersom dette er realiteten, vil prosjektet være tjent inn etter 3-4 år og være svært lønnsomt. På grunn av stigende kontorledighet i Oslo som følger av at nybygg (kontorbygg) ferdigstilles og sysselsettingsveksten avtar som følge av covid-19 og lavkonjunktoren som pandemien har ført med seg, vil derimot markedsløien falle. Det er imidlertid ventet en klar bedring i leiemarkedet fra 2022 når nybyggingen faller og vi mest sannsynlig får en normalisert økonomi i Norge (Union Gruppen, 2020b).

Når det gjelder byggeiers motivasjon for å bygge grønt trengs det insentiver. Det kan være kostbart å investere grønt for tidlig før etterspørselen etter grønne bygg er der og mens grønne løsninger er dyre, men det kan også bli kostbart å vente for lenge da det tar tid å endre en byggportefølje (Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom, 2016). Hagen (2009) poengterer det samme når det gjelder nyttegevinsten til miljøtiltak. Nyttegevinsten vil være usikker på grunn av det lange tidsperspektivet. Nullalternativet, å ikke investere, vil dog også være usikkert fordi vi ikke vet utviklingen i fravær av miljøinvesteringer. Som tidligere nevnt

har det derimot vist seg at finans utvikler seg i en slik retning at miljøkrav i lovverk vil skjerpes og leietakere etterspør miljøkvaliteter i større grad.

En faktor som kan bidra til å skape mindre usikkerhet rundt risikoen knyttet til grønne investeringer er politisk motivasjon og insentivordninger. Det som særlig kjennetegner investeringer i miljøtiltak, er at samfunnsnyttene av slike tiltak vanligvis er svært langsiktige og kan i noen tilfeller først og fremst ha virkninger for fremtidige generasjoner. Et tiltak som bidrar til å redusere klimautfordringer er en nyttegevinst som vil gjelde for svært lang tid. For et kommersielt selskap vil dette kanskje ikke være av viktigste orden, og mer kortsiktig lønnsomhet vil ha høyere prioritering.

Hagen (2009) skriver

«Skadelig utslipp til luft, vann eller jord fører til en kvalitetsmessig forringelse av livsviktige fellesressurser. Det underliggende insentivproblemet er det samme. Enhver forurensner får en økonomisk fordel av utslippet for eksempel i form av lave kostnader for å bli kvitt avfall. Ulempene fordeles over alle berørte aktører, og selv om virkningene for hver enkelt kan være moderate, kan summen av skadevirkningene være betydelig.»

Hagen (2009) poengterer noe svært viktig når det gjelder insentiver. En utbygger vil velge å ikke investere i et slikt vannsystem dersom en ikke går i null eller får en økonomisk gevinst som følge av å gjennomføre. Utbygger får da en økonomisk fordel i form av lavere kostnader av å ikke gjennomføre, men ulempene med høyt forbruk av drikkevann vil berøre langt flere enn de som har interesse i bygget.

6.4 UTFORDRINGER OG INDIREKTE VIRKNINGER

Når utfordringer knyttet til prosjektet skal evalueres vil det være hensiktsmessig å diskutere risikofaktorer knyttet direkte til installasjonene. Prosjektet vil innebære at det bygges et ekstra vannsystem i tillegg til det tradisjonelle, siden det vil være behov for tilførsel av både regnvann og rensert vann. Det gjør at bygget får doble rørsystemer, og flere rør innebærer en større risiko for feil og ulykker som for eksempel lekkasjer. Systemet vil også kreve mer vedlikehold enn et tradisjonelt system for spyling av toaletter.

I oppgaven presenteres to alternative oppsamlingsareal for casebygget. Man vil ved alternativ 2 fjerne det grønne elementet på takarealet. Ulempene med dette er at vegeterte takområder kan fungere som parkanlegg og bidra til estetikk og rekreasjon. Utover estetiske og rekreasjonsmessige bidrag kan grønne tak ha en reduserende effekt på mengde svevestøv, bidra til CO₂-fangst samt energibruk i bygg (Noreng et al., 2012).

Som nevnt tidligere i oppgaven er det fremdeles en oppfatning av at kostnader for miljøtiltak i bygg er større enn nytten. En utfordring med slike holdninger er at det potensielt tar tid å vende om en slik tankegang. Det er liten tvil om at tiltaket har flere samfunnsmessige fordeler, men utfordringen er å få byggeiere til å ta hensyn til dette da de i hovedsak er opptatt av bedriftens egen vinning. Incentivordninger og strengere krav fra myndighetene vil bidra til at næringslivet må svare.

«Å tørre og teste nye løsninger og ta lærdom er viktig for overvannsframtida.»

(Oslo Kommune, 2014)

Oslo Kommune påpeker i strategi for overvannshåndtering (2014) at et viktig skritt på veien for en mer helhetlig overvannshåndtering er at vi alle har et felles mål å jobbe etter – å sikre at klimaendringene og miljøet ivaretas samtidig som løsningene bør bidra ved å gi byen en merverdi. Det pekes videre på at det må legges til rette for at det skal bli enkelt å velge bærekraftige løsninger foran tradisjonelle. Parsons et al. (2012) peker på at til tross for at kunnskapen rundt teknologien rundt oppsamling av regnvann har økt er den fortsatt ikke tilstrekkelig. I studien konkluderes det blant annet med at økonomiske begrensninger, fravær av incentiver, mangel på informasjon og teknisk kunnskap samt byggeieres holdninger alle er faktorer som vil fortsette å begrense implementeringen av slike løsninger. O'Donnell et al. (2017) støtter opp under disse argumentene gjennom en undersøkelse blant britiske arbeidstakere innen investering, overvannshåndtering, planlegging, prosjektledere, politikk og kommunikasjon, miljørådgivning og bytrafikkstyring. I undersøkelsen kommer det tydelig frem at den viktigste årsaken menes å være en motvilje for å støtte ny tilnærming/endringspraksis. Campisano et al. (2017) retter søkelys mot funn som viser at graden av implementering av systemer for oppsamling av regnvann og teknologivalg, er sterkt påvirket av økonomiske begrensninger og lokale forskrifter. Studiet konkluderer med at anbefalingene i mange land knyttet til det å bevare vann ofte ikke vurderer andre fordeler knyttet til slike systemer. Campisano et al. (2017) anbefaler videre at forskning bør vies til

forståelse av hvordan institusjonell og sosio-politisk støtte kan forbedre systemeffektivitet og øke samfunnsaksepten for slike systemer. Selv om politisk motivasjon, insentivordninger og lovendringer ikke kan skape samfunnsendringer alene, kan det bidra til økt gjennomføringsvilje hos flere aktører.

Når det gjelder beregninger for vannforbruk i bygningen er det tatt høyde for en tilstedeværelse på 70 %. Mange bedrifter regner derimot med at etter covid-19 vil dette tallet være noe lavere. Løsninger med hjemmekontor har tvunget mange bedrifter til alternative arbeidsformer og flere antar at man i fremtiden vil ta fleksible løsninger mer i bruk med en miks av hjemmekontor og tilstedeværelse på arbeidsplass. Under selve pandemien har flere sett seg nødt til å jobbe hjemmefra, men flere bedrifter har allerede kunngjort at de i fremtiden også vil fristille sine arbeidstakere til å jobbe hjemmefra hvis de ønsker det (Fløtten & Trygstad, 2020). Det kan føre til at WSE vil være noe høyere enn beregnet i denne oppgaven fordi det totale vannforbruket minker. Det vil derimot ikke være mulig å anslå helt korrekte tall for tilstedeværelse på kontorene. Det vil heller ikke påvirke hverken mengde spart drikkevann eller lønnsomheten, såfremt ikke belegget er så lavt at en ikke greier bruke alt regnvannet.

7. KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

Med grunnlag i tidligere forskning er det rimelig å si at prosjektet er praktisk mulig å gjennomføre også for Construction City. Særlig på bakgrunn av at det tidligere er gjennomført tiltak for oppsamling av regnvann for storskala bygninger. I oppgaven kommer det frem at det for dette caset er mulig å oppnå en effektiv vannbesparelse på inntil 37% og 52% frem mot 2050 for henholdsvis alternativ 1 og alternativ 2.

Å argumentere for om et slikt tiltak er lønnsomt eller ikke avhenger av hva den enkelte virksomhet legger til grunn for å definere lønnsomhet og hvilke andre faktorer (som for eksempel merinntekter) en tar hensyn til. Dersom beregningene utelukkende baserer seg på netto nåverdi, kommer det frem at verken alternativ 1 eller alternativ 2 kan sies å være direkte økonomisk lønnsomme for bedriften hvis eneste besparelse er lavere vannavgift. Hvis en forutsetter økt betalingsvilje i form av leie som følge av høyere miljøsertifisering kan

prosjektet med stor sannsynlighet regnes hjem også i en nåverdibetraktning. Dersom en også tar i betraktning at både samfunn og finansmarkedet er inne i et grønt skifte har prosjektet potensiale til å bli lønnsomt på sikt, med bakgrunn i strengere miljøkrav fra både leietakere og finansmarkedet.

Til tross for at prosjektet er praktisk mulig å gjennomføre er det utfordringer knyttet til terskelen for å ta i bruk løsningen. Det er fremdeles oppfatninger om at grønne tiltak i bygg ikke er økonomisk lønnsomme. For kommersielle bedrifter vil dette være en flaskehals for å ta i bruk slike løsninger. For at tekniske løsninger skal bli billigere er markedet avhengig av at flere benytter seg av dem. Initiativ fra byggenæringen selv, samt større politisk engasjement og økonomisk motivasjon gjennom insentivordninger kan sammen øke aksept og gjennomføringsvilje for tiltaket og føre til å dra utviklingen i riktig retning mot et grønt skifte. Per dags dato er det en tendens til at det lønner seg for bedrifter å *ikke* bygge bærekraftig og innovativt og det er derfor behov for en endringsvilje hos både næringsliv, politikere og samfunnet for øvrig.

Til videre arbeid anbefales det å undersøke hvordan begge alternativene vil slå ut på BREEAM-sertifiseringen. For å bygge videre på lønnsomhetsanalysen vil det være hensiktsmessig å gjøre videre undersøkelser for hvordan avkastningen vil påvirkes av endringer i sertifiseringen. Det må gjøres detaljert prosjektering av vannsystemet og vurderes ulike filtreringsprosesser og størrelse på magasin. Det anbefales også å gjøre undersøkelser for å kartlegge norske bedrifters holdninger knyttet til slike prosjekter og for å tydeliggjøre barrierer for å gjennomføre slike tiltak. Selv om det i denne oppgaven kun er benyttet netto nåverdi, kunne det vært hensiktsmessig å gjøre en samfunnsøkonomisk analyse for å tydeliggjøre om det er grunnlag for å gi insentiver og støtte.

REFERANSELISTE

- Amos, C. C., Rahman, A., Gathenya, J. M. (2016). Economic Analysis and Feasibility of Rainwater Harvesting Systems in Urban and Peri-Urban Environments: A Review of Global Situation with a Special Focus on Australia and Kenya. *Water*, 8 (4). doi: <https://doi.org/10.3390/w8040149>.
- Andenæs, E., Kvande, T., Muthanna, T.M., Lohne, J. (2018). Performance of Blue-Green Roofs in Cold Climates: A Scoping Review. *Buildings*, 8 (4). doi: <https://doi.org/10.3390/buildings8040055>.
- Asplan Viak. (2014). *Overvann som ressurs. Økt bruk av overvann som miljøskapende element i byer og tettsteder*: Asplan Viak AS. Tilgjengelig fra: <https://d21dbafykfdck9.cloudfront.net/1485874414/rapport-overvann-2016-12-21.pdf> (lest 18.08.2020).
- Barthwal, S., Chandola-Barthwal, S., Goyal, H., Nirmani, B., Awasthi, B. (2014). Socio-economic acceptance of rooftop rainwater harvesting - A case study. *Urban Water Journal*, 11 (3): 231-239. doi: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.765489>.
- Berg, T. (2018). *Grunnleggende økonomistyring*. 2. utg. Oslo: Cappelen Damm.
- Berge, G., Sæther, M.S. (2018). *Rent drikkevann til alle?*: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/rent-drikkevann-til-alle> (lest 03.11.2020).
- Bianchini, F., Hewage, K. (2012). Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Building and Environment*, 58: 152-162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.005>.
- Blue Mountain Co. (u.å.). *Divert the first flush*. Tilgjengelig fra: <https://rainharvesting.com.au/fundamentals/divert-the-first-flush/> (lest 16.11.2020).
- Bomo, A.-M., Schade, M. (2015). *Vannforbruk i husholdninger. En erfaringsinnhenting*: Vannforeningen. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2015_929348.pdf (lest 16.11.2020).
- Byggteknisk forskrift. (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840> (lest 15.11.2020).
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115: 195-209. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>.
- Clark, C., Adriaens, P., Talbot, F.B. (2008). Green Roof Valuation: A Probabilistic Economic Analysis of Environmental Benefits. *Environmental Science & Technology*, 42 (6): 2155-2161. doi: <https://doi.org/10.1021/es0706652>.
- Construction City. (u.å.). *Construction City Cluster*. Tilgjengelig fra: <https://constructioncity.no/nb/this-is-construction-city/construction-city-cluster> (lest 10.09.2020).

- COWI. (2015). *Gjennomgang av avrenningsfaktorer*. Publikasjonsnummer M-293: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M293/M293.pdf> (lest 28.10.2020).
- Digitaliseringsdirektoratet. (2014). *Kva er innovasjon?* Tilgjengelig fra: <https://www.difi.no/fagomrader-og-tjenester/innovasjon/hvordan-jobbe-med-innovasjon/hva-er-innovasjon> (lest 24.11.2020).
- Direktoratet for økonomistyring. (2018). *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*. Tilgjengelig fra: <https://dfo.no/filer/Fagomr%C3%A5der/Utredninger/Veileder-i-samfunnsokonomiske-analyser.pdf> (lest 25.10.2020).
- Eichholtz, P., Kok, N., Quigley, J.M. (2010). Doing Well by Doing Good? Green Office Buildings. *American Economic Review*, 100 (5): 2492-2509. doi: 10.1257/aer.100.5.2492.
- Elvebakk, K., Time, B., Skjeldrum, P.M., Kvande, T. (2018). *Ombygging til blågrønne og blågrå tak - problemstillinger og sjekklister*. Rapportnummer 10.
- Finansdepartementet. (2005). *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kilde/fin/reg/2005/0029/ddd/pdfv/266324-veileder_i_samfunnsok_analyse_trykket.pdf (lest 14.11.2020).
- Finansdepartementet. (2014). *Rundskriv R-109/2014*. Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_109_2014.pdf (lest 15.11.2020).
- Fløtten, T., Trygstad, S. (2020). *Post korona - en ny fase for den nordiske modellen?* Fafo-notat 2020:11: Fafo. Tilgjengelig fra: <https://www.fafo.no/images/pub/2020/10328.pdf>.
- Forsvarsbygg. (2012). *Vann, avløp og sanitær*. Tilgjengelig fra: <https://www.forsvarsbygg.no/no/nyheter/nyhetsarkiv-avhending/2003/vann-avlop-og-sanitar/> (lest 03.11.2020).
- Foster, J., Lowe, A., Winkelmann, S. (2011). *The value of green infrastructure for urban climate adaption*: The Center for Clean Air Policy. Tilgjengelig fra: <http://www.ggi.dcp.ufl.edu/library/reference/The%20value%20of%20green%20infrastructure%20for%20urban%20climate%20adaptation.pdf>.
- Gikas, G. D., Tsihrintzis, V. A. (2012). Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *Journal of Hydrology*, 466-467: 115-126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.020>.
- Global Footprint Network. (u.å.). *Ecological Footprint*. Tilgjengelig fra: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> (lest 12.12.2020).
- Grønn Byggallianse. (2016). *BREEAM-NOR 2016 for nybygg*. Teknisk manual SD5075NOR - Ver: 1.2. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/12/KOPI-SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Version-1.2.pdf> (lest 10.09.2020).

- Grønn Byggallianse & Høgskolen i Østfold. (2019). *Merverdien av grønne bygg*. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/10/Merverdien-av-gr%C3%B8nne-bygg.pdf> (lest 13.11.2020).
- Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom. (2016). *Eiendomssektorens veikart mot 2050*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskeiendom.org/wp-content/uploads/2016/09/Eiendomssektorens-veikart-mot-2050.pdf> (lest 14.11.2020).
- Hagen, K. P. (2009). *Miljøøkonomi og samfunnsøkonomisk lønnsomhet*. Rapportnummer 22. Tilgjengelig fra: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/228100/305503_FULLTEXT01.pdf?sequence=1&isAlloved=y (lest 08.10.2020).
- Halvarsson, J. (red.). (2013). *Behovsstyrt ventilasjon - Samtidighet og dimensjonering. Energieffektiv behovsstyrt ventilasjon, Oslo, 19.11.2013: The Research Centre on Zero Emission Buildings*.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. (2015). *Klima i Norge 2100*. NCCS report no. 2/2015: Norsk klimaservicesenter (NKSS). Tilgjengelig fra: <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8> (lest 07.09.2020).
- Haugan, I. (u.å.). *Kildesortert vann*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/sistenytt/kildesortert-vann/> (lest 16.11.20).
- Hicks, B. (2008). *A Cost-Benefit Analysis of Rainwater Harvesting at Commercial Facilities in Arlington County, Virginia*. Tilgjengelig fra: https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/512/MP_wdh11_a_200805.pdf;jsessionid=2DA8BC2B4B861E7CDA7794C4E649398A?sequence=1 (lest 05.12.2020).
- Hjalmarsson, H. (2020). *Citypassagen* (E-post til Frida Berg Lyshoel 20.09.2020).
- Jørgensen, T. L. (2016). *Samfunn: Norsk Vann*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskvann.no/index.php/vann/om-vann/17-samfunnsutvikling/297-samfunnsutviklingsoversikt> (lest 13.09.2020).
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2014). *Arbeidsformer i fremtidens regjeringskvartal - miljø, teknologi og samhandling*. Rapport fra arbeidsgruppe: Regjeringen. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kmd/bst/rapport_arbeidsformer_fr_emptidig_regjeringskvartal.pdf?fbclid=IwAR0IFwyFwmesLGIUIXVJCcakMpl1xBAZp_54oEW5fYHJFxd4JQ7cD90WgM4 (lest 09.12.2020).
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2017). *Styring av store statlige byggeprosjekter i tidligfase - Veileder for oppdragsgivende departement*. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/contentassets/1b8987132a004f208dea5a750203312f/h-2389_styring_store_statlige_byggeprosjekter.pdf (lest 12.12.2020).

- Kristiansen, J. (2020). *Kostnadsestimater vannsystem* (E-post til Frida Berg Lyshoel 12.10.2020).
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, I. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Rapportnummer 168.
- Løvås, G. G. (2013). *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 3. utg. Oslo: Universitetsforlaget AS.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I., Reinvang, R.,. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*. 2015/02. Tilgjengelig fra: <http://www.vista-analyse.no/site/assets/files/5632/kostnaderognyttevedovervannstiltakm305.pdf> (lest 25.10.2020).
- Magnussen, O. M. (2013). *Temahefte Estimering - Teori og praksis*. 1 utg.: Norsk senter for prosjektledelse. Tilgjengelig fra: <https://www.prosjektnorge.no/wp-content/uploads/2019/11/temahefte-estimering-rev4-A5-trykkversjon.pdf> (lest 10.12.2020).
- Matos, C., Bentes, I., Santos, C., Imteaz, M., Pereira, S. (2015). Economic Analysis of a Rainwater Harvesting System in a Commercial Building. *Water Resources Management*, 29: 3971-3986. doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1040-9>.
- Meld. St. 33 (2012-2013). *Klimatilpasning i Norge*: Klima- og miljødepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-33-20122013/id725930/?ch=1> (lest 25.10.2020).
- Meteorologisk institutt. (2017). *Klima fra 1900 til i dag*. Tilgjengelig fra: <https://www.met.no/vaer-og-klima/klima-siste-150-ar> (lest 15.11.2020).
- Miljødirektoratet. (u.å.-a). *Overvann*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/overvann/> (lest 16.11.20).
- Miljødirektoratet. (u.å.-b). *Overvann*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/overvann/> (lest 18.08.2020).
- Niu, H., Clark, C., Zhou, J., Adriaens, P. (2010). Scaling of Economic Benefits from Green Roof Implementation in Washington, DC. *Environmental Science & Technology*, 44 (11). doi: <https://doi.org/10.1021/es902456x>.
- Norconsult/Construction City. (2020). *Søknad om forhåndsuttalelse til rammesøknad*. Upublisert manuskript.
- Noreng, K., Kvalvik, M., Busklein, J.O., Ødegård, I.M., Clewing, C.S., French, H.K. (2012). *Grønne tak - Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt*. Prosjektrapport 104. Oslo: SINTEF Byggeforsk.
- Norges Bank. (u.å.). *Valutakurser*. Tilgjengelig fra: <https://www.norges-bank.no/tema/Statistikk/Valutakurser/> (lest 28.10.2020).

- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2016a). *Klima, nå og i framtiden - Om klima, hydrologi og fremskrivninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/klima/klima-na-og-i-framtiden/?ref=mainmenu> (lest 04.09.2020).
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2016b). *Urbanhydrologi*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/urbanhydrologi/?ref=mainmenu> (lest 24.08.2020).
- Norsk klimaservicesenter. (2017). *Klimaprofil Oslo og Akershus*. Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning: Norsk klimaservicesenter. Tilgjengelig fra: <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-oslo-og-akershus/attachment/12036?ts=15d9d3c7ba3> (lest 06.09.2020).
- Norsk klimaservicesenter. (2020). *Nedlasting av griddata*. Tilgjengelig fra: <https://nedlasting.nve.no/klimadata/kss> (lest 18.11.2020).
- Norsk klimaservicesenter. (u.å.-a). *Klimaframskrivninger*. Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/scenarios.xhtml> (lest 15.11.2020).
- Norsk klimaservicesenter. (u.å.-b). *Seklima - Observasjoner og værstatistikk*. Tilgjengelig fra: <https://seklima.met.no/observations/> (lest 15.11.2020).
- Norsk Vann. (2011). *Informasjon om vann*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskvann.no/index.php/vann/om-vann> (lest 10.09.2020).
- NOU 2015: 16. *Overvann i byer og tettsteder - Som problem og ressurs*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf> (lest 28.08.2020).
- O'Donnell, E. C., Lamond, J.E., Thorne, E.R. (2017). Recognising barriers to implementation of Blue-Green Infrastructure: a Newcastle case study. *Urban Water Journal*, 14 (9): 964-971. doi: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2017.1279190>.
- Oslo Kommune. (2014). *Strategi for overvannshåndtering i Oslo 2013-2030*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/1334879-1426836380/Tjenester%20og%20tilbud/Vann%20og%20avl%C3%B8p/Skiema%20og%20veiledere/Overvann/Strategi%20for%20overvannsh%C3%A5ndtering.pdf> (lest 22.11.2020).
- Oslo Kommune. (2020). *Vann- og avløpsgebyrer*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/priser-beregninger-og-vannmaler/vann-og-avlopsgebyrer/#gref> (lest 03.10.2020).
- Oslo Kommune. (u.å.). *Overvannshåndtering*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/arbeider-pa-vann-og-avlopsnettet/overvannshandtering/#gref> (lest 18.08.2020).
- Parsons, D., Goodhew, S., Fewkes, A., De Wilde, P. . (2012). The perceived barriers to the inclusion of rainwater harvesting systems by UK house building companies. *Urban Water Journal*, 7 (4): 257-265. doi: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2010.500331>.
- Roebuck, R. M., Oltean-Dumbrava, C., Tait, S. (2011). Whole life cost performance of domestic rainwater harvesting systems in the United Kingdom. *Water and*

- Environment Journal*, 25 (3): 355-365. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00230.x>.
- Samferdselsdepartementet. (2016). *Kostnadsestimering av veg- og jernbaneprosjekter*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/3717bb5a66ac4a8fb8fcbfed5658a77/kostnadsestimering-av-veg--og-jernbaneprosjekter.pdf> (lest 10.12.2020).
- Shafique, M., Lee, D., Kim, R. (2016). A Field Study to Evaluate Runoff Quantity from Blue Roof and Green Blue Roof in an Urban Area. *International Journal of Control and Automation*, 9 (8): 59-68. doi: <http://dx.doi.org/10.14257/ijca.2016.9.8.07>
- Sintef. (2012). *Vann i by - håndtering av overvann i bebygde områder*. Byggforskserien 311.015. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/2562/vann_i_by_haandtering_av_overvann_i_bebygde_omraader.
- Sintef. (2018). *Vann på avveie koster mest*: Sintef. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/vann-pa-avveie-koster-mest/> (lest 25.10.2020).
- Skatteetaten. (2019). 3.2.8 *Fradrag for reise mellom hjem og fast arbeidssted (arbeidsreiser)*. Tilgjengelig fra: <https://www.skatteetaten.no/person/skatt/skattemelding/finn-post/3/2/8/> (lest 29.09.2020).
- Slys, D., Stec, A. (2020). Centralized or Decentralized Rainwater Harvesting Systems: A Case Study. *Resources*, 9 (5). doi: <https://doi.org/10.3390/resources9010005>.
- Solberg, M. G. (2015). *Flere vil ha grønne bygg: Derfor lønner det seg*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/flere-vil-ha-gronne-bygg-derfor-lonner-det-seg/223408> (lest 18.11.2020).
- Statistisk sentralbyrå. (2017). 08122: Gebyrer for renovasjon, vann og avløp. Satser for en standard bolig på 120 m², ekskl. mva. (kr) (K) (avslutta serie) 2002 - 2017.
- Statistisk sentralbyrå. (2020a). 12842: *Kommunale gebyrer knyttet til bolig (K) 2016 - 2020*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/12842/> (lest 30.10.2020).
- Statistisk sentralbyrå. (2020b). *Kommunal vannforsyning*. Tilgjengelig fra: https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostraaar (lest 16.11.2020).
- Stec, A., Kordana, S. (2015). Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 105: 84-94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.006>
- Stec, A., Zelenáková, M. (2019). An Analysis of the Effectiveness of Two Rainwater Harvesting Systems Located in Central Eastern Europe. *Water*. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/w11030458>.
- Teotónio, I., Silva, C. M., Cruz, C. O. (2018). Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 199: 121-135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.084>.
- Thrane, C. (2018). *Kvantitativ metode - En praktisk tilnærming* 1utg. Oslo: Cappelen Damm.

- U.S. Environmental Protection Agency. (2013). *Rainwater Harvesting - Conservation, Credit, Codes, and Cost Literature Review and Case Studies*. Tilgjengelig fra: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/rainharvesting.pdf> (lest 05.12.20).
- Union Gruppen. (2020a). *Leiemarkedet*. M2 Analyseportal. Tilgjengelig fra: <https://m2.union.no/leiemarked> (lest 11.12.2020).
- Union Gruppen. (2020b). *Stigende ledighet gir fall i markedsleien*. M2 Analyseportal. Tilgjengelig fra: <https://m2.union.no/leiemarked/leieprisutvikling/stigende-ledighet-gir-fall-i-markedsleien> (lest 05.12.2020).
- Universitetet i Bergen - Institutt for økonomi. (2009). *Hva er samfunnsøkonomi?* Tilgjengelig fra: <https://www.uib.no/econ/39522/hva-er-samfunns%C3%B8konomi> (lest 22.10.2020).
- Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Huau, M.C., Montréjaud-Vignoles, M. (2011). Modelling of a roof runoff harvesting system: The use of rainwater for toilet flushing. *Water Science & Technology: Water Supply*, 11 (2): 151-158. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2011.031>.
- Ward, S., Memon F.A., Butler, D.,. (2012). Performance of a large building rainwater harvesting system. *Water Research*, 46 (16): 5127-5134. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.043>.
- Ødegaard, H. (red.). (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2 utg.: Norsk Vann.

VEDLEGG 1: KONTANTSTRØM FOR NETTO NÅVERDIBEREGNING

	Alternativ 1	Alternativ 2
Investeringskostnad	kr -6 000 000	kr -3 247 820
Diskonteringsrente	5 %	5 %

Periode	År	Bespargelse		Kostnader	Neddiskontert besparelse		kostnader	Total neddiskontert kontantstrøm	
		Alternativ 1	Alternativ 2		Alternativ 1	Alternativ 2		Alternativ 1	Alternativ 2
1	2025	56 076	78 209	30 000	53 406	74 484	28 571	24 835	45 913
2	2026	57 912	80 768	30 000	52 528	73 259	27 211	25 317	46 049
3	2027	59 750	83 333	30 000	51 614	71 986	25 915	25 699	46 071
4	2028	61 596	85 907	45 000	50 675	70 676	37 022	13 654	33 655
5	2029	63 450	88 493	30 000	49 715	69 337	23 506	26 209	45 831
6	2030	65 316	91 096	40 000	48 740	67 977	29 849	18 892	38 128
7	2031	67 186	93 703	45 000	47 748	66 593	31 981	15 767	34 612
8	2032	69 063	96 321	42 000	46 744	65 194	28 427	18 317	36 766
9	2033	70 948	98 949	30 000	45 733	63 784	19 338	26 395	44 445
10	2034	72 845	101 595	45 000	44 720	62 371	27 626	17 094	34 745
11	2035	74 745	104 245	379 800	43 702	60 950	222 061	-178 359	-161 111
12	2036	76 653	106 906	30 000	42 683	59 529	16 705	25 978	42 824
13	2037	78 568	109 578	45 000	41 667	58 112	23 864	17 802	34 247
14	2038	80 497	112 267	30 000	40 656	56 703	15 152	25 504	41 550
15	2039	82 428	114 960	42 000	39 649	55 298	20 203	19 446	35 095
16	2040	84 366	117 664	55 000	38 649	53 903	25 196	13 453	28 707
17	2041	86 313	120 379	30 000	37 658	52 521	13 089	24 569	39 432
18	2042	88 272	123 111	30 000	36 679	51 155	12 466	24 213	38 690
19	2043	90 234	125 847	45 000	35 709	49 802	17 808	17 900	31 994
20	2044	92 203	128 594	30 000	34 750	48 466	11 307	23 444	37 159
21	2045	94 181	131 352	379 800	33 805	47 148	136 326	-102 521	-89 178
22	2046	96 170	134 127	57 000	32 876	45 851	19 485	13 390	26 366
23	2047	98 163	136 907	30 000	31 959	44 573	9 767	22 192	34 806
24	2048	100 164	139 697	30 000	31 058	43 315	9 302	21 756	34 013
25	2049	102 172	142 497	45 000	30 172	42 080	13 289	16 883	28 791
26	2050	104 193	145 316	40 000	29 303	40 869	11 250	18 054	29 619
		Sum			1 072 599	1 495 936	856 716	215 883	639 220
							NNV	Alternativ 1	Alternativ 2
								kr -5 784 117	kr -2 608 600



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway