

Nytte- kostnadsanalyse av grønne tak

Cost-benefit analysis of green roofs

Jonas Henriksen

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
Institutt for Matematiske realfag og Teknologi
Masteroppgave 30 stp. 2013



Forord

Masteroppgaven (M30-IMT Vann- og miljøteknikk) utgjør 30 studiepoeng og er utført i 2013 ved Institutt for matematiske realfag og teknologi ved UMB.

Jeg vil takke hovedveileder Professor Oddvar G. Lindholm ved institutt for matematiske realfag og teknologi for faglig støtte. Takk til COWI Oslo som har disponert kontor plass til oppgaveskriving.

Til slutt vil jeg si takk til alle som har foreslått litteratur, sendt artikler og svart på spørsmål.

Sammendrag

Som følge av klimaendringene vil vi oppleve økte utfordringer tilknyttet håndtering av overvann i urbane områder. Årsaken til dette vil være en kombinasjon av økning i andelen impermeable flater og en økning i antall mer intense nedbørhendelser. Det er mye fokus på tiltak for å imøtekomme denne utfordringen og grønne tak kan være en del av løsningen på dette problemet.

En nytte- kostnadsanalyse søker å kvantifisere nytteeffektene hos grønne tak. Det utføres også en casestudie som videre beskriver kostad- og nytteeffekter ved bruk av grønne tak som LOD løsning, alternativt til tradisjonelle lukkede overvannssystemer. Analysen tar hensyn til norske forhold og de krav kommunen stiller til fordrøyning.

Resultatet fra nytte- kostnadsanalysen viser at grønne tak gir en negativ netto nåverdi. Den økonomiske analysen har flere usikre faktorer tilknyttet verdsetting av nytte- og kostnadseffektene. Prisene for grønne tak vil også variere ut i fra ulike type prosjekter.

Abstract

Due to climate change we will see increasingly challenges related to stormwater in urban areas. The reason for this is a combination of increasingly impervious surfaces and an increase in frequency of more intense precipitation. Much focus within urban planning is added to these challenges and green roofs might be one of the solutions.

A cost-benefit analysis seeks to quantify the beneficial aspects of green roofs. There is also performed a casestudy which further describes the costs and benefits of using green roofs as a LID-solution alternate to a traditional subsurface stormwater solution. The analysis takes Norwegian circumstances into account.

Results from the cost-benefit analysis show us that there is a negative net present value for green roofs.

The economical analysis has several uncertainties related to valuing the cost- benefits. Price may vary depending on different type of projects.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	2
Sammendrag.....	3
Abstract.....	4
DEL 1: Introduksjon.....	
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	1
1.2 Oppgavestruktur.....	1
1.3 Mål for oppgaven.....	1
DEL 2: Teori og fakta.....	2
2.1 Klima og klimafremskrivninger.....	3
2.1.1 Klima.....	3
2.1.2 Klimafremskrivninger for Norge (Østlandet).....	4
2.2 Urbanisering.....	6
2.2.1 Økt urbanisering og fortetning.....	6
2.2.2 Avrenningskoeffisient.....	7
2.2.3 Avløpssystemet.....	7
2.2.4 Strategier og tiltak for overvannshåndtering.....	8
2.2.5 Kompenserende tiltak mot klimaendringenes effekt.....	10
2.2.6 Miljøsertifisering BREEAM.....	11
2.3 Grønne tak.....	11
2.3.1 Grønne tak.....	11
2.3.2 Typer grønne tak.....	12
2.3.3 Utforming av sedumtak.....	13
2.3.5 Utfordringer tilknyttet grønne tak.....	14
2.4 Samfunnsøkonomisk analyse.....	15
2.4.1 Velferdsteori og Kaldor-hicks-kriteriet.....	17
2.4.2 Netto nåverdi.....	18
2.4.3 Nytte kostnadsbrøk.....	18
2.4.4 Bedriftsøkonomisk og samfunnsøkonomisk lønnsomhet.....	1
2.4.5 Kalkulasjonsrente.....	19
DEL 3: Nytte- kostnadsanalyse.....	20
3.1 Nytte- kostnadsanalyse av grønne tak.....	21
3.1.1 Grunnlaget for analysen.....	21
3.1.2 Avgrensninger og forutsetninger for analysen.....	21
3.1.3 Overvann.....	22
3.1.4 Energiforbruk.....	23
3.1.5 Klima.....	24
3.1.6 Bygning.....	25
3.2 Casestudie.....	27
3.2.1 Innledende om casestudiet.....	27
3.2.2 Presentasjon av caseområdet.....	27
3.2.3 Tiltak A: Næringsbygg uten grønt tak.....	
3.2.4 Tiltak B: Næringsbygg med grønt tak.....	
DEL 4: Diskusjon og konklusjon.....	
4. Resultater.....	

4.1	Resultat for nytte kostnadsanalyse.....	
4.2	Resultater for casestudiet.....	
5.	Diskusjon.....	
5.1	Usikkerhet og bakgrunnsmateriale.....	
5.2	Vurdering av resultat.....	
6.	Konklusjon.....	
	Litteraturliste.....	

Figurer

Figur 1: IVF-kurve for målestasjon 18701, Oslo-blindern (1868-2013) (eKlima 2013). (Meteo-
nologisk institutt 2013).....

Figur 2: Hvordan urbanisering påvirker den naturlige vannbalansen (Mork et al 2012).....

Figur 3: Viser treleddsstrategien for håndtering av nedbør (Mork et al (2012) ref. Norsk Vann
(2009)).....

Figur 4: Hydrogram før og etter urbanisering. Figuren er hentet fra Stenberg (2012).....

Figur 5: Sedumtak på et næringsbygg i malmø (VegTech 2012).....

Figur 6: Oppbygning av sedumtak (VegTech 2102).....

Figur 7: Vannmetning i jordvolum hos et 30 cm grønt intensivt tak (Norgen 2012).....

Figur 8: Kaldor-Hicks-kriteriet (Holmseth (2011) ref. Aanesland (2010)).....

Figur 9: -

Figur 10: Porevolum i vekstmediet (French 2012).....

Figur 11: Simulering av gjennomsnittlig taktemperatur en sommerdag (Busklein 2011).....

Figur 12: Målt lufttemperatur og temperaturen målt hos ulike typer tak (Busklein 2011).....

Figur 13: Illustrasjon av et næringsbygg med tradisjonelt tak. Modellen er konstruert i Google
sketchup.....

Figur 14: Prinsippskisse av rørmagasin (Brødrene Dahl).....

Figur 15: Illustrasjon av et næringsbygg med grønt tak. Modellen er konstruert i Google
sketchup.....

Tabeller

Tabell 1: Avrenningskoeffisienter for ulike type flater (Mays (2001) ref. Lindholm (2011)).....	
Tabell 2: Hydraulisk analyse av tiltak A.....	
Tabell 3: Økonomisk analyse av tiltak A.....	
Tabell 4: Hydraulisk analyse av tiltak B.....	
Tabell 5: Økonomisk analyse av tiltak B.....	
Tabell 6: Presentasjon av resultatet for nåverdiberegninger av grønne tak.....	
Tabell 7: Presentasjon av resultatene for den hydrauliske analysen av casestudiet.....	
Tabell 8: Presentasjon av resultatene for den økonomiske analysen av casestudiet.....	

Formelliste

- Formel 1: Netto nåverdi (Finansdepartementet 2012).....
- Formel 2: Nytt- kostnadsbrøk (Finansdepartementet 2012).....
- Formel 3: Den rasjonelle formel (Vegvesen 2011).....

Liste over forkortelser

VAV - Vann- og Avløpsetaten, Oslo
NNV - Netto Nåverdi
Vekstmedium - Grønt tak
NTNU Norges teknisk- naturvitenskaplige Universitet
UMB - Universitet for miljø- og biovitenskap
RIF - Rådgivende ingeniørers forening
NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat
SNL - Store Norske leksikon
DANVA - Dansk Vand- og Spildevannsförening
IVF - Intensitet-Vårighet-Frekvens
LID - Low Impact Development
BMP - Best Management Practis
KPI - Konsumprisindeks
IMT - Institutt for Matematiske realfag og Teknologi
FNO - Finansnærings Fellesorganisasjon
BREEAM - Building Research Establishment Enviromental Assessment Method
WGRC - World Green Roof Conference
LOD - Lokal Overvannsdiskonering
FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau
TEK10 - Teknisk Forskrift
FN - Forente Nasjoner (United Nations, engelsk)
NIFS - Naturfare: Infrastruktur - Flom - Skred
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat
RegCLIM - Regional Climate Development Under Global Warming
IPCC - FNs Klimapanel, worldwide
NOU - Norges offentlige utredninger
CNT - Center for Neighborhood Technology
GBC - Green Building Council

Del 1: Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Bakgrunn for denne oppgaven er å se på nytte- og kostnadseffektene som gjelder for grønne tak. Et grønt tak vil si at deler eller hele taket til en bygning er dekket med vegetasjon og et vekstmedium, plantet over en vanntett membran. Det kan også ha en rotbarriere, drenerør og infiltrasjonssystemer. Grønne tak dekker flere formål, hvor det gir en absorberings- og fordrøyningseffekt for nedbør, isolasjon til bygningen, økt arts mangfold og reduserer "urban heat island"-effekt (Danielsson 2013).

I Norge er det byggherren som må stå for merkostnadene tilknyttet etablering av grønne tak (French 2013) og grunnet den høye etableringskostnaden kan det tenkes at det billigste og enkleste alternativet velges. Blant annet pålegger Oslo Kommune anvendelse av grønne tak i enkelte byggeprosjekter (Oslo Kommune 2012).

Det kan gjennomføres samfunnsøkonomiske analyser i forkant av prosjekt eller tiltak for å kartlegge fordeler og ulemper ved ulike alternativer. Ved å tillegge montære verdier på nytte- og kostnadseffekter hos et tiltak, vil en nytte- og kostnadsanalyse være en metode som kan benyttes til dette (Finansdepartementet 2012). Dette vil gjøre beslutningstaking ved valg av alternativ enklere for blant annet byggherren.

1.2 Oppgavestruktur

Denne oppgaven består av fire deler. Del en er introduksjonsdelen som tar for seg tema og målet med oppgaven. Andre del er et litteraturstudie er teoridelen som gjennomgår relevante skrevne kilder som omhandler temaet i oppgaven. Ulike anbefalinger og betraktninger fra teoridelen danner grunnlag for å kunne utføre en nytte- og kostnadsanalyse og et casestudie i del tre. Del fire inneholder resultatene fra analysen og casestudiet, diskusjon og konklusjon.

1.3 Mål for oppgaven

Utredningen i denne oppgaven har som mål å gi en nøytral og uavhengig nytte- og kostnadsanalyse av grønne tak. Dette gjøres ved hjelp av metodeverktøy brukt av statens vegvesen håndbok 140, konsekventanalyser og norges offentlige utredninger, samfunnsøkonomiske analyser. En casestudie skal ytterligere belyse hvilke nytte- og kostnadseffekter som er tilknyttet urban overvannshåndtering ved bruk av grønne tak.

Del 2: Teori og fakta

2.1 Klima og klimafremskrivninger

Begrept klima kan defineres som ”en beskrivelse av gjennomsnittsværet på ett sted eller område, slik det framkommer når enkeltobservasjoner bearbeides statistisk etter internasjonale retningslinjer” (Meteorologisk institutt).

Klimaendringene er blant de største utfordringene samfunnet vårt kommer til å oppleve i dette århundret. Temperaturendringer, endring i nedbørmønstre og havstigning er faktorer som kommer til å prege oss i økende grad. Forventete klimaendringer kan få betydelige negative konsekvenser for naturen, såfremt som liv og helse. Infrastruktur som veier, vannforsyning og bygninger er også sårbare ovenfor forventede klimaendringer. Derfor er det viktig å forsterke vedlikehold av eksisterende infrastruktur og tilpasse ny infrastruktur med hensyn på klimaendringene (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Klimafremskrivninger er et viktig grunnlag for samfunnets tilpasning til klimaendringene. For å vurdere betydningen av framtidige klimaendringer, er det viktig å se sammenhengen av det klimaet vi har per i dag, i sammenheng med historisk observerte klimavariasjoner og endringer. (Hanssen-Bauer et al. 2009). Dette kapitlet søker å belyse hvilke klimaendringer og endring i nedbørmønstre, som kan forventes for Østlandet i løpet av dette århundret. Klimaet i Norge avhenger av det globale klimasystemet. Ved nedskaleringer av globale klimamodeller, har klimafremskrivninger for Norge blitt utført for det 21. århundret. Klimasystemet er komplisert og er ikke fullt ut beskrevet, derav vil det også herske en del usikkerheter til klimamodellene (Hanssen-Bauer et al. 2009).

FNs klimapanel IPCC er et vitenskapelig panel bestående av verdens ledende klimaforskere og inkluderer også CICERO i Norge. Klimapanelet har som hensikt å utrede vitenskaplig kunnskap tilknyttet klimaendringer og samfunnsøkonomiske påvirkninger som dette vil medføre. I 2013 publiserte IPCC den endelige rapporten AR5, hvor det konkluderes med at klimaendringer er menneskeskapte (IPCC).

De regionale klimafremskrivningene IPCC baseres på er tre scenarier (Hanssen-Bauer et al. 2009):

- Scenarier for menneskeskapte utslipp av drivhusgasser og partikler.
- Globale beregninger av klimasystemets respons for disse
- Metoder for å regionalisere disse beregningene med større geografiske detaljer og rikdom

2.2 Lokale klimafremskrivninger for Østlandet

Lufttemperatur og vekstsesong

Fryse-tine sykler er antall dager som hvor temperaturen beveger seg under 0 C, kalt 0-gradspasseringen vil avta mellom 10 og 60 % i kystnære strøk (Innbjør (2011) ref. Haugen Iversen (2008)). Midtelsfremskrivninger for Østlandet anslår antall dager med snødekke fra 35 til 65 dager mot år

2100 (Hanssen_{Bauer}etal.2009).

Vekstsessongen anslås å øke med 1-2 måneder for store deler av landet (Hanssen-Bauer et al. 2009). For Østlandet medfører dette en økning fra dagen 176-225 dager til 211-225 dager fram mot år 2100 (NOU 2013). Den generelle temperaturstigningen medfører at vekstsessongen1 vil øke med 1-2 maneder for store deler av landet (Hanssen-Bauer et al. 2011).

Nedbør

Gjennomsnittlig årlig nedbør for Norge forventes å øke fra minst 5% opp til 30% fram mot slutten av dette århundret. Det vil være store geografiske og sesongavhengige variasjoner i både frekvens og intensitet av nedbørepisodene.

Vinternedbøren forventes å øke med opp til 40% i deler av Øst-, Sør- og Vestlandet. I motsetning anslås sommernedbøren i de samme områdene til å avta.

Hovedsaklig forventes det flere dager med større nedbørepisoder, og gjennomsnittlig mengde for disse dagene blir høyere i hele Norge for alle årstider(Hanssen-Bauer et al. 2009). Neddenfor (se figur 1) vises en IVF-kurve som består av målinger gjort ved målestasjonen på blindern, Oslo. Denne viser en logaritmisk graf bestående av intensitet, varighet og frekvens til nedbørshendelser for blindern. Varigheten av nedbørmålingene dekker et intervall fra 1 minutt til 24 timer (1440 minutter), med estimat for gitte returperioder: 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 og 200 år (eKlima). Nedbørsintensiteten benyttes senere i den hydrauliske analysen (Hanssen-Bauer et al. 2011).

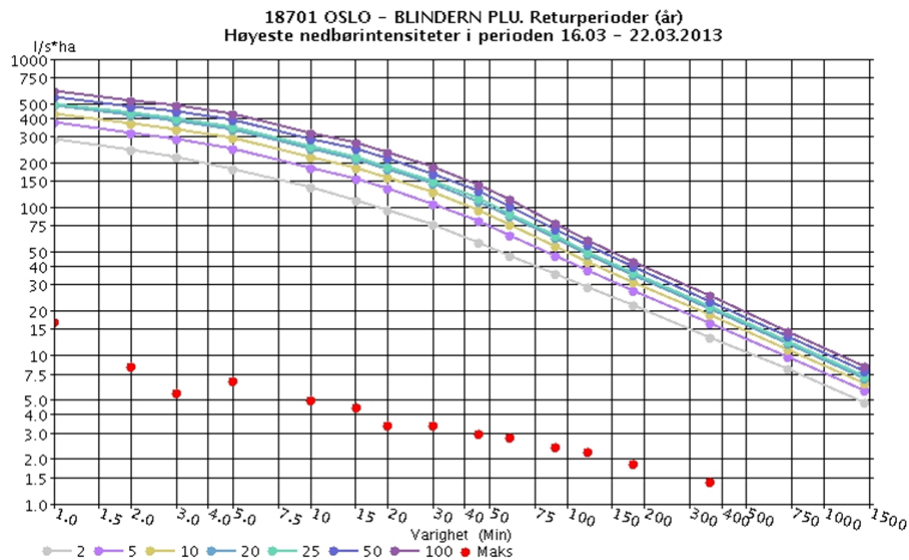


Figure 1: IVF-kurve for målestasjon 18701, Oslo-Blindern (for perioden 1968-2013) (eKlima 2013).

Ekstremnedbør

Ekstreme nedbør episoder har en stor innvirkning på samfunnet og kan føre til tap av menneskeliv samt skader på infrastruktur. Slike episoder bidrar også til en overbelastning av avløpsanlegget, noe som ofte fører til gate- og kjelleroversvømmelser. For å hindre denne type hendelser må det innføres passende dimensjonerende kriterier. Det er opptil samfunnet å bestemme graden av akseptabel risiko vi er villige til å ta, ved eksempelvis, hvor ofte oversvømmelser i utsatte områder kan tillates. Følgende kan avrenning og nedbør anslås, og

videre benyttes som dimensjoneringsgrunnlag for planlegging av ny infrastruktur, bygninger og lignende. Dermed er det også viktige med nøyaktige estimater av ekstreme nedbør episoder (Overeem 2009).

Det forventes en stor økning i antall dager med ekstremnedbør, spesielt om vinteren. For Østlandet er middelfremskrivningene på 262 % om vinteren (Innbjør (2011) ref. (Hanssen-Bauer 2009)). Sett i sammenheng med middelfremskrivninger for nedbørmengde i vinterperioden på 25 %, vil dette medføre mer frekvente nedbørepisoder med høyere intensitet enn dagens ekstremnedbør.

Avrenning og flom

For Norge vil avrenning fra mark øke ut i fra sesong- og geografiske variasjoner. Temperaturøkningen vil spille en rolle for avrenningen, da den påvirker evaporasjon og hvor lang sesongen der nedbøren er lagret som snø. Avrenning fra snøsmelting, kombinert med nedbør er hovedårsaken til store flomepisoder. Det ventes at temperaturøkningen vil føre til en framskynding av vårflommene (NOU 2010:10).

Fremskrivninger for avrenning på Østlandet tyder på økt tendens til høst- og vinterflom for nedbørfelt i avstand 100km fra kysten. Større innlands nedbørfelt som per i dag fører til vårflommer fortsetter denne trenden, uten signifikant økning i frekvens av flomepisoder. Dette til tross for at større nedbørepisoder forventes tidligere i sesongen. På grunn av denne økningen i store nedbørepisoder vil mindre nedbørfelt belastes ytterligere og samtidig risikere økt frekvens av flomepisoder. Følgende anbefalinger for beregning av 200-, 500- og 1000-års flomepisoder fram til år 2100, for Østlandet (Lawrence Hjalst 2011).

- 0% Økning for innlands nedbørfelt dominert av vårflom som følge av snøsmelting
- 20% Økning for kystnære områder som Akershus, Oslo, Vestfold og Østfold
- 20% Økning for alle nedbørfelt med areal mindre enn $100km^2$

En rekke usikkerhetsmomenter er tilknyttet klimafremskrivninger. Usikkerhetene kan deles inn i fire kategorier: (Hanssen-Bauer et al. 2009):

- Naturlig klimavariasjon er klimatiske svigninger, og kan ha en varighet fra ett til mer enn hundre år. Om forandringene skyldes naturlige klimaendringer kan kun sannsynliggjøres.
- Kunnskap om ytre prosesser er godt dokumenterte grunnet observasjoner og målinger utført de siste tiårene. Usikkerhet knyttet til tidligere observasjoner gjør det vanskelig å forutse framtidige scenarier.
- Antropogene påvirkninger knyttet til utslipp av drivhusgasser, avskogning og endret arealbruk henger også sammen med påvirkning av klimaet. Omfanget av de antropogene forholdene i framtiden kan ikke fastslås fullstendig.

- Ukjente faktorer og manglende kunnskap om klimasystemet, uttrykker en mulighet for at det er hittil uoppdagede prosesser som kan ha større virkning enn tidligere antatt.

2.2 Urbanisering

2.2.1 Økt urbanisering og fortetning

Proessen der befolkningsøkningen i urbane områder øker betrakelig i forhold andelen som blir boende i desentraliserte strøk kalles for urbanisering. Per i dag bor 79,4 % av Norges befolkningen i byer og tettsteder klassifisert som urbane områder (UN 2011). Et av områdene hvor det forventes sterkest befolkningsvekst er Oslo, der det anslås en økning fra dagens 613 000 innbyggere til 832 000 innbyggere i år 2040 (SSB 2012).

En konsekvens av urbaniseringen er en økning av antall utendørsanlegg, veger, innkjørsler, parkeringsområder og takflater. Dette bidrar til en stor økning av impermeable flater og forandrer dermed den naturlige vannbalansen. Til sammenligning (Figur XX). kan det vises til at i landlige områder søker kun 5% av overflatevannet vegen direkte til elver, i motsetning til tette urbane områder, hvor opp til 95% av nedbøren ender som overvann (Mork et al. 2012).

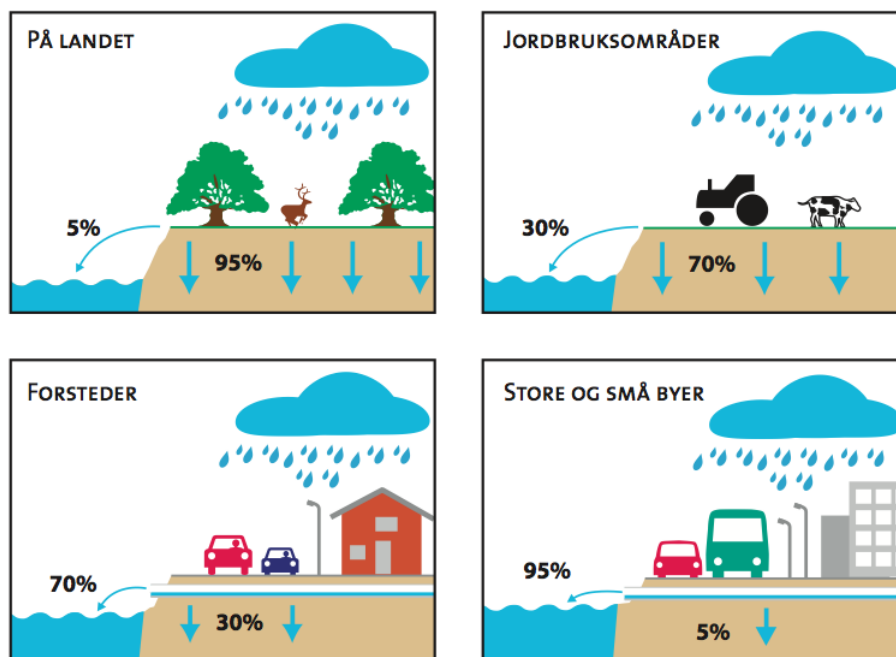


Figure 2: Hvordan urbanisering påvirker den naturlige vannbalansen (Mork et al. 2012).

Hovedparameteren som bidrar til vannbalansen i urbane områder er nedbør. Studier viser at nedbørintensiteten for urbane områder er større enn i landlige områder. Nedbørøkningen kan være opp til 15 % høyere for urbane områder (Marsalek et al. 2008). Det er hovedsaklig to grunner som fører til denne økningen. En årsak er nedbørøkning som følge høyere temperatur i urbane områder, på grunn av forskjellig termisk balanse. Dette fenomenet kalles "urban-heat island", som avhenger av flere faktorer. Deriblant fører mørke overflater til lave albedo-verdier og samtidig økt absorbering av energi, overflødig varme fra bygningsmassene og redusert nedkjøling via evaporasjon på grunn av liten tilgang til vegetasjon og våte områder (Marsalek et al. 2008). Den andre årsaken som fører til mer nedbør i urbane områder er svevestøv fra trafikk og luftstagnering, noe som også bidrar til raskere dannelse av nedbør

(ROWE (2010) ref. i Oslo Kommune (2010)).

En økning i urbaniseringsgrad gir en høyere andel impermeable flater. Det er ikke kun vannmengden som øker, men også tilløpet til raskere avrenning, med høyere intensitet. Den store overflateavrenningen belaster ledningene betraktelig og utvidelsen av nettet holder ikke tritt med de økende belastningene (Lindholm et al. 2007). Til eksempel mangler avløpssystemet i Oslo kapasitet til å håndtere de store vannmengdene som kommer ved ekstreme nedbørepisoder. Overvannet ender dermed opp med å belaste renseanlegget og gjør det samtidig vanskelig å overholde utslippskravene (Vann og avløpsetaten 2012).

2.2.2 Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisienten (ϕ) er forholdet mellom avrenning og nedbør foret gitt område. Dens skal benyttes for og spissavrenningen foret mindre urbant felt senere i oppgaven. Volum avrenningskoeffisienten ϕ_{vol} er forholdet mellom avrent vannvolum og tilhørende nedbørvolum. Spissavrenningskoeffisienten ϕ_{spiss} er forholdet mellom maksimalt avløp og midlere regnintensitet for samme område (Lindholm et al. 2011).

Avrenningskoeffisienten avhenger av områdets og overflatens permeabilitet, fallforhold, nedbørintensitet og nedbørvarighet (Lindholm et al. 2011). Tabell 1 viser utarbeidede avrenningskoeffisienter for ulike type overflater.

Type flater	C
Tak	0,8-0,9
Asfalterte veger og gater	0,7-0,8
Grønne tak	0,4-0,7
Grusveger	0,4-0,6
Plen	0,05-0,1

Tabell 1. Avrenningskoeffisienter for ulike type flater

(Mays (2001) ref. Lindholm (2011)).

Avrenningskoeffisienten øker med økende nedbørintensitet, samtidig som den øker med økt nedbørvarighet. Dette fordi andelen av nedbøren som infiltrerer til grunnen og andelen som holdes tilbake av vegetasjon, flater og våtområder ses på som bundet ved større nedbørepisoder. Dersom nedbørvolumet øker ved enten høyere intensitet eller varighet, vil andelen som renner av også øke. Denne andelen uttrykkes via avrenningskoeffisienten (Lindholm et al. 2011).

2.2.3 Avløpssystemet

Avløpshåndtering og sanitære forhold er uunværlig infrastruktur, som bidrar til helsemessige levekår i urbane områder. Spillvannshåndtering inkluderer oppsamling og rensing av avløpsvann fra husholdninger og industri. Etter rensing av spillvannet ledes det til en resipient. Avløpssystemet består av desentralisert oppsamling av spillvann, sentraliserte avløpssystemer i rør under bakken og avløpsrenseanlegg. I tillegg til spillvann, samles ofte også overflateavrenning opp i avløpssystemet. Det er hovedsaklig to typer avløpssystemer, fellesavløp og separat avløp (Spengen 2010). I 2010 utarbeidet Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) en helhetlig tilstandsvurdering av infrastrukturen i Norge, hvor de tildeler poeng på en karakterskala fra 1 til 5. I rapporten tar de blant annet for seg det kommunale avløpsanlegget, som kommer verst ut av samtlige infrastrukturelle områder, med karakter 2. Dette begrunnes med at den årlige fornyelsestakten er altfor lav, og minket fra 0,56 % i år 2005 til 0,45 % i 2008. Samtidig som samtlige kommuner ikke overholder dagens krav til rensing. Det konkluderes med at det trengs store investeringer for å få på plass tilfredsstillende renseseffekt, separering av avløpsnett (fra

fellessystem til separatsystem) og fornyelse av ledningsnettene generelt (RIF 2010)

2.2.3 Strategier og tiltak for overvannshåndtering

Behandling av overvannet lokalt innebærer å gjenopprette en del av den naturlige vannbalansen ved å øke infiltrasjon ned til grunnen eller la vannet renne bort via åpne vannveier og dammer. For dette brukes uttrykket lokal overvannsdiskonponering brukes (LOD) i Norge (Lindholm 2008). Hovedprinsippet i overvannsveilederen for Oslo Kommune sier at "Tilførselen av overvann til det offentlige avløpsnettene skal minimaliseres". Videre står det at "alt overvann skal fortrinnsvis tas hånd om lokalt, det vil si gjennom infiltrasjon, utslipp til resipient, eller på annen måte utnyttet som ressurs, slik at vannets naturlige kretsløp opprettholdes og naturens selvrensingsevne utnyttes" (Vann og Avløpsetaten 2012). Lindholm et al. (2011) oppsummerer hovedvisjonene for LOD på følgende måte:

- Forebygge skader ved at overvannet håndteres slik at tilfredsstillende sikkerhet for liv, helse og miljø oppnås. Samfunnet velger akseptabel risiko for skade på eiendom og infrastruktur. Reduksjon i vannforurensning.
- Overvannet utnyttes som en ressurs ved å bidra til et positivt landskapselement i bymiljøet og for bruk til rekreasjonsformål.
- Styrke det biologiske mangfoldet i bymiljøet ved infiltrasjon, åpne vannveier, dammer, grønne tak og så videre.

For at disse prinsippet skal følges og overvannet skal bli sett på som en ressurs i urbane områder, kreves det en god kobling mellom overvannshåndtering, byarkitektur, areal- og landskapsplanlegging (Mork et al 2012). I motsetning til den tradisjonelle måten hvor overvannet føres ned i sluk og bortledes i rør, må tankesettet forandres til en god disponering av overvannet, som samsvarer med hovedprinsippet i veilederen.

Etter Lindholm et al. (2011) bør dimensjonering av lokal overvannsdiskonponerings (LOD) tiltak bygge på treleddsstrategien (se figur 3), som tar utgangspunkt i nedbørepisodenes størrelsesorden. Prinsippet i treleddsstrategien er at det første leddet skal holde tilbake mindre nedbørepisoder. Når nedbør av høyere intensitet overbelaster det første leddet, fanges det videre opp av neste ledd. Ved ekstreme episoder vil de to øvrige leddene ikke klare all avrenningen og det må legges opp til åpne flomveier, som kan avlede de største nedbørepisodene. Leddene referes til som ulike overvannssystemer hvor infiltrasjon og tilbakeholdelse spiller en rolle (Lindholm et al. 2011).

Hydrogrammet (Figur 4) nedenfor viser forholdet mellom avrenning i et område, før og etter urbanisering. Den stiplede linjen viser avrenning for et urbant område med stor andel impermeable flater. Kurven viser at avrenningsvolumet stiger raskt som følge av høy avrenningsintensitet. Dette medfører en stor flomtopp, som kan resultere i store strukturelle skader (Lindholm 2008).

Den heltrukne svarte linjen viser typisk avrenning for et landlig område, før urbanisering. En høy andel permeable flater og vegetasjon, sørger for god infiltrasjon av nedbøren. Lav avrenningsintensitet gir en mer ustrakt kurve over tid og resulterer ikke i tilsvarende flomtopp som hos det urbane området uten LOD-tiltak.

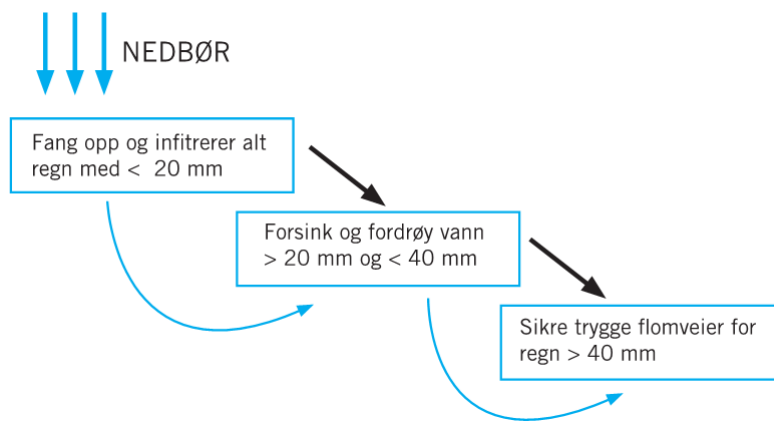


Figure 3: Viser treleddsstrategien for håndtering av nedbør (Mork et al. (2012) ref. Norsk Vann (2009)).

Den grå stiplede linjen i hydrogrammet viser avrenning for et urbant område med godt implementerte tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD). Det grå feltet viser avrenningen som tidligere kom opp til et skadelig flomtoppnivå, er forsinket og tilbakeholdt. Dermed er også formålet med LOD-tiltakene oppnådd. Den gule sirkelen viser first flood-effekten, som er den første del av avrenningen i en større nedbørhendelse. Denne type avrenning inneholder de største konsentrasjonene med forurensende partikler, som blant annet olje og støvpartikler (NSW 2012).

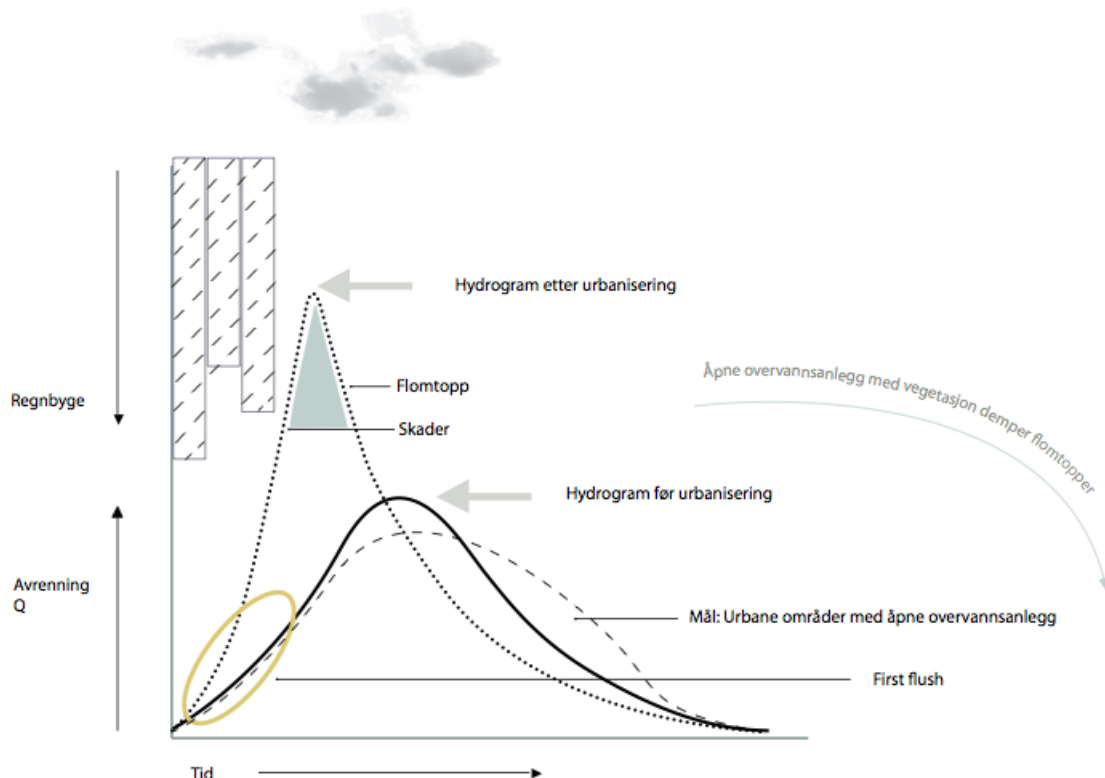


Figure 4: Hydrogram før og etter urbanisering. Figuren er hentet fra Stenberg (2011).

Hydrogrammet illustrerer hvordan åpne overvannsløsninger med vegetasjon bidrar til å dempe overflateavrenningens intensitet og følgende, de verste flomtoppene (Stenberg 2011). En god forståelse av velfungerende LOD-tiltak kan bidra til en effektiv storskala implementering for å gjenopprette mest mulig av den naturlige vannbalansen (Spengen 2010). Lokale forhold

har betydning for valg av anleggstype (Lindholm 2012). Og siden tak dekker 20-50 % av det totale overflatearealet i urbane områder, vil grønne tak ha et stort potensiale som LOD-tiltak ved tilpasning til eksisterende bygninger så fremt som nye byggeprosjekter (US-EPA (2008) ref. Spengen(2010)).

2.2.4 Kompenserende tiltak mot klimaendringenes effekt

Klimaendringene kan medføre store skader på natur og samfunn. Et resultat av økte nedbørmengder de siste tiårene har bidratt til økt skadeomfang på hus og veier. I 2011 ble det utbetalt skadeerstatninger knyttet til vanninntregning i bygg for over 2 milliarder kroner (NOU 2013).

Kommuner, fylkeskommuner og statlige myndigheter har et ansvar for å ta hensyn til klimatiske rammebetingelser i relevante deler av sin virksomhet, herunder klimaendringer (NOU 2013). Byøkologisk program 2011-2026 for Oslo Kommune har som visjon og hovedmål at Oslo skal være et bærekraftig bysamfunn der alle har rett til ren luft, rent vann og tilgang på gode friområder. Herunder påpekes det at systematiske risikovurderinger er viktige for å håndtere usikkerhet i beslutninger og investeringer og planlegging, noe som krever mer detaljert kunnskap om klimautviklingen. En sentral utfordring er å sikre at byen er godt rustet til å håndtere økende nedbørmengder og flomvann. Kommunen ønsker i den sammenheng å benytte lokale løsninger for overvannshåndtering større grad, og bruke overvann som en ressurs i bylandskapet (Oslo Kommune 2011).

Det er knyttet en stor usikkerhet til hvordan utviklingsforløpet til ekstremnedbør vil forekomme i tiden fremover. Det kan stilles spørsmål om hvor store endringer som kan forventes og hvor hurtig de kan komme. DANVA har utarbeidet en Klimakogebog (2011) der modellberegninger viser at det kan forventes en nedbørsøkning på 20-50 % fram til 2070-2100. Det vises også til store variasjoner geografiske variasjoner, og at noen områder kan forvente en endring på opptil 100 % (DANVA 2011). Gjennomsnittlig middelframskrivning for Østlandet i år 2050 og år 2100 anslår en nedbørøkning på henholdsvis 6,7 % og 12,2 % (Winther et al 2011). Klimakogeboken gir utgangspunkt til valg av klimafaktorer for norske forhold. Statens vegvesen foreslår at det tas standpunkt til hva slags klimafaktor som velges, ut i fra type prosjekt. Eksempelvis anbefales det en klimafaktor henholdsvis 1,3 for 10 returperiode og 1,4 for 100 år returperiode for kritisk infrastruktur eller tekniske installasjoner med forventet levetid på 100 år. Enkelte kommuner velger også aktivt en egen klimastrategi ut i fra valg av klimafaktor for det aktuelle prosjektet (Vegvesen 2011). I den nye veilederen for klimatilpasset overvannshåndtering, vil Norsk Vann med grunnlag i undersøkelser gjort i Danmark, Storbritannia og Sverige anbefale et tillegg på 50 % på tidligere IVF-kurver (Lindholm 2012). Oslo kommune følger retningslinjene og vil i sin nye Overvannsveileder også stille et krav til at klimafaktoren økes til 1,5 (Olsen 2013).

Lindholm lister opp en rekke kompenserende tiltak for klimaendringene i urbane områder (Lindholm 2011):

- Redusere mengden av tilrering til avløpssystemene, med bruk av infiltrasjon til grunnen ved frakobling i eksisterende systemer og ikke-tilkobling i nye fortettinger og utbygginger.
- Forsinkelse og demping av flomtoppene før vannet tilføres avløpssystemet ved bruk av åpne vannveier, våtmarker, åpne renner, grønne tak og så videre.

- Separering av overvannet i fellesavløpssystemet ved å legge nye rør kun for overvann og la spillvannet gå i den gamle fellesledningen.
- Fordrøyningsiltak som lukkede fordrøyningsmagasin (overdimensjonerte rør og plastkassetter).
- Rensende overløp som oppkonsentrerer forurensningene og sender dette til avløpsrenseanlegget.

Grønne tak kan redusere belastningen på avløpsnettene ved episoder med mye nedbør. De grønne takene vil kunne absorbere og dempe generering av overvann i byene, i tillegg har det også en rekke andre fordeler som beskrives senere. Dette er en av flere løsninger på overvannsproblematikken tilknyttet klimaendringer og kan settes inn i en grønn løsningsorientering, hvor planteliv benyttes oppå bygninger for å overvinne et problem.

2.2.5 Miljøsertifisering BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment method) er et klassifiseringssystem for bygninger og eiendommer. BREEAM har som hensikt å dokumentere forskjeller på miljø og helsebelastninger ved valg av løsninger for prosjekter. Med utgangspunkt i England i 1990 har BREEAM blitt en anerkjent og vel anvendt standard, som benyttes i en rekke land verden over.

Per i dag er det verdens mest brukte miljøklassifiseringssystem med over 200000 sertifiserte og 830000 registrerte bygg. I 2011 tilpasset Norwegian Green Building Council (NGBC) en norsk standard ved navn BREEAM-NOR.

En klassifisering via BREEAM gjør det mulig å tildele prosjekter et sertifikat, der det deles ut poeng i ti kategorier i henhold til ytelse. Poengene blir lagt sammen til en samlet poengsum på en skala. Poengsummen gir en sertifisering for prosjekteringen, der vurderingen foretas av en nøytral tredje part (NGBC 2012).

Bruk av grønne tak er et av flere tiltak som kan benyttes for å oppnå en høyere poengsum i BREEAM-prosjekter. Deriblant redusere konsekvenser for eksisterende økologi, ved at taket kan virke som et nytt habitat for eksisterende arter som tilhører området. Langsiktig påvirkning av artsmangfold for tomter uten økologisk verdi, ved at det tilfører tomten et naturlig habitat. Et viktig punkt omfatter dempetiltak mot flom, som benyttes for å redusere avrenningen fra nedbør (BREEAM-NOR 2012).

2.3 Grønne tak

2.3.1 Grønne tak

Tradisjonelt har torvtak blitt benyttet i lengre tid på fritidsboliger og hytter i Norge. Nå i senere tid har også arkitekter, ingeniører og byplanleggere sett muligheten for etablering av grønne tak i urbane strøk. Det er fortsatt tilknyttet stor usikkerhet rundt dimensjoneringskriteriene for grønne tak i kaldt klima, noe som gjør prosjekterings og planleggingsfasen vanskelig. Erfaringer og dimensjoneringsveiledninger for grønne tak kommer hovedsaklig fra Tyskland og USA, som ikke uten videre kan implementeres under Nordiske forhold (French et al (2012)). Dette kapitlet vil ta for seg hvordan grønne tak utformes, hva som er anbefalte dimensjoner for grønne tak og noen av utfordringene med grønne tak. I tillegg vil de begreper, prosesser og teori som er nødvendig for å forstå funksjonen til grønne tak gjennomgå.

2.3.2 Typer grønne tak

Ekstensiv grønne tak karakteriseres ved plantevekster som er tolerante ovenfor tørke, samt krever lite vedlikehold eksempelvis sedum. Byggehøyden er lav i forhold til de andre typene grønne tak: anslagsvis 50-250mm. Vekten til sedumtaket er ca. $50\text{kg}/\text{m}^2$ i tørr tilstand og $130\text{kg}/\text{m}^2$ når taket er vannmettet (Veg Tech 2012). Sedumtak kan legges både på flate tak og skrående tak, der lagoppbygningen med forskjellige sjikt varierer med takfall og klima (French et al. 2012). Dersom sedum benyttes på skrå tak, vil det ikke være nødvendig med dreneringslag siden vannet vil renne vekk naturlig (Sæverud (2010) ref. i (Seim 2010)). Grunnet lav vekt, behov for lite vedlikehold og lett tilpasning til eksisterende bygninger egner sedumtak seg til utbredt bruk i eksisterende og nye urbane områder (Spengen 2010). Denne type tak vil utredes nærmere i dette studiet.



Figure 5: Sedumtak på et næringsbygg Malmö (Vegtech 2012).

Semi-intensive tak er en mellomting mellom ekstensive- og intensive tak. Byggehøyden er middels stor: 130-250 mm og veier $120\text{-}200\text{ kg}/\text{m}^2$ i vannmettet tilstand. Semi-intensive tak krever flatere tak på grunn av større byggehøyde, og krever mer vedlikehold enn ekstensive tak. Fordelen er at semi-intensive tak kan utformes slik at de egner seg til opphold av mennesker og oppnår dermed også større rekreasjonsverdi enn ekstensive tak (French et al. 2012).

Intensive tak er tykke og tunge tak som skal tåle menneskelig aktivitet. Typisk byggehøyde for vekstlaget er 150-400 mm og vekt i vannmettet tilstand varierer mellom $200\text{-}1000\text{ kg}/\text{m}^2$. Vekten avhenger om det dyrkes trær oppå taket eller ikke. Bærekonstruksjonen må dimensjoneres for den store vekten intensive grønne tak gir. Ved anleggelse på eksisterende tak må konstruksjonen forsterkes ytterligere, dersom dette i det hele tatt lar seg gjøre (French et al. 2012).

2.3.3 Utforming av sedumtak

Ekstensive grønne tak kan deles i flere undergrupper. For denne oppgaven velger jeg å omtale rene sedumtak. Sedumtakene skal utformes etter krav i henhold til grønne tak. Der det stilles krav til et voksende medium for vegetasjon, med evne til et lagringsvolum for vannavrenning, samt forhindre lekkasjer til byningen (Spengen (2010) ref. Mentens et al. (2002)).

Bærekonstruksjonen til et sedumtak kan være av betong, betongelementer, stalplater eller trekonstruksjoner. Det er takets bæreevne som avgjør hvor tunge vegetasjonskonstruksjoner som kan benyttes (French et al. 2012).

Fordelen med sedumtak er dets lave vekt på $50\text{kg}/\text{m}^2$ og $130\text{kg}/\text{m}^2$ i vannmettet tilstand. Dette gjør at det også kan tilpasses og benyttes på eksisterende bygninger. En kontrollberegning av takets bæreevne må foretas før sedumtaket legges (Veg Tech 2012). Vegetasjonen legges ut som ferdige vegetasjonsmatter, eller alternativt ved at vekstmediet legges ut for så og tilsås.



Figure 6: Oppbygning av sedumtak (Vegtech 2012).

- Vekstmediet til plantedekket består av nedknuste mineraler, masser fra lava eller teglsteing og kan inneholde mindre enn 20% organisk materiale (Clewing et al. 2012).
- Planter av tynne og lette vekstmedier brukes i sedumtak. For nordiske forhold er det sukkulentaktige (vannsamlede) plantearter, med tykke blader og utvalgte moser som er best egnet. Sukkulentaktige planter har evnen til å lagre vannet over lengere tid ved at de kun åpner spalteåpningene om natten, når fordampningen er lavest (Clewing et al. 2012). Hos semi-intensive og intensive tak benyttes det rotbarrierer for å hindre at planterøttene trenger gjennom underliggende membran. Derimot trengs det ikke en rotbarriere ved bruk av sedumarter, siden disse har et svakt rotsystem (Clewing (2012) ref. Seim (2009)).
- Dreneringslag tar opp vannet som ikke blir tatt opp av vekstmediet. Siden vekstmediet kun er i stand til å holde 35-40% av fuktigheten, vil dreneringslaget bidra til en forsterkning av det naturlige vannopptaket (Cantor 2008).

Avhengig av klimaet på byggestedet og av fallforhold på taket, vil det være behov for varierende oppbygging med fuktbevarende og/eller drenerende sjikt. Drenerende sjikt skal sikre at

overflødig vann effektivt blir ledet bort, og dermed unnga problemer med for mye stående vann i taket som kan forårsake plantedød. Sedumtak kan monteres på tak med helning opp til 30 grader. For takvinkel på 0-5 grader benyttes ofte et drenerende sjikt, men for takvinkel på 5-30 grader sløyfes ofte dette sjiktet for at takflaten skal kunne holde på mer fuktighet (Danielsson 2013).

Fuktbevarende (eller vannlagrende) sjikt holder tilbake vann som senere kan tas opp i planten, og kan bestå av knasteplater eller forskjellige typer filt. Fuktbevarende og drenerende sjikt kan i noen tilfeller være et og samme sjikt, og dette sjiktet vil ofte også fungere som et beskyttende sjikt.

- Vanntettingsmembran bør brukes for å hindre gjennomtrekking av vann. Denne bør testes for å se om membranen er tett (Cantor 2008).
- Filterduk Filterduk: Hindrer at små partikler fra blant annet jorden, skal tette dreneringssystemet. På den måten kan man unnga dammer av vann (Cantor 2008).
- Isolasjon Sørger for at bygningen ikke mister så mye av varmen på vinteren og ved varme dager kan den fungere som avkjøling. Det bør være av lett materiale, men må ikke bli komprimert av vekten av det som skal ligge over (Cantor 2008).

2.3.4 utfordringer tilknyttet grønne tak

Dette kapitlet vil gi et kort innblikk i ulike fordeler og ulemper tilknyttet ekstensive grønne tak. Med utgangspunkt i casestudiet senere vil hovedfokuset ligge på hvilken innvirkning fordrøynings-effekten hos ekstensive tak gir ved implementering i urbane strøk. Valg av avrenningskoeffisient tas også med i dette kapitlet.

Kontroll av takets bæreevne

For nye bygninger tas det høyde for ekstra vekt tilknyttet grønne tak i prosjekteringsfasen. Ved eksisterende bygninger hvor det ønskes å ettermontere et grønt tak, må det foretas kontrollberegninger for den ekstra lasten (French et al. 2012).

Brannsikkerhet

TEK 10 påpeker at byggverk skal prosjekteres og utføres slik at sannsynligheten for at brann skal oppstå, utvikle og spre seg er liten, og materialene som brukes skal ha egenskaper som ikke gir uakseptable bidrag til brannutvikling.

Ekstensive grønne tak er motstandsdyktige mot gnister og varmestråling ved tilstrekkelig vedlikehold. Vanning, klipping og fjerning av visne og tørre plantedeler regnes som tilfredsstillende tiltak (FLL (2010) ref. French et al. (2012)).

Tilgjengelighet

Sedumtak tåler lite mekanisk slitasjone i form av tråkk. Dette vil virke begrensende på menneskelig aktivitet på takene, dersom det ikke er tilrettelagt med gangarealer. Ferdsel ved skjøtsel og vedlikehold aksepteres (Dunnett Kingsbury (2008) ref. Clewing (2012)).

Vekstsesong

Vekstsesongen defineres som antall dager med gjennomsnittstemperatur over 5 grader (CICERO 2012). Per i dag varierer vekstsesongen for de ulike landsdelene, fra 70 dager i høyfjellet opptil 225 dager på vestlandet (NOU 2010:10). På grunn av klimaendringene forventes det en økning av vekstsesongen på opptil to måneder mot slutten av dette århundre (NorClim 2012).

Værforhold

Værforhold spiller en stor rolle for grønne taks evne til å holde tilbake vann. Taket vil oppnå best bufferkapasitet etter lengere varme perioder, hvor vann fra tidligere nedbørepisoder har fordampet. I motsetning vil bufferkapasiteten begrenses ved lengere nedbørperioder med lav intensitet, som vil føre til at metningspunktet nås. Som følge av dette vil takets evne til å redusere avrenningen begrenses ytterligere og avrenningen vil også starte raskere (French et al 2012).

Utfordringer i kaldt klima

En av de større utfordringene innen LOD-anlegg og infiltrasjon i kaldt klima er gjenfrysning av filtermediet. Den hydrauliske konduktiviteten kan synke flere størrelsesordener som følge av frost. Dersom filtermediet er vannmettet når frosten inntreffer vil dette føre til betongfrost, noe som gjør at mediet nærmest blir impermeabelt (Dalen 2012). I rapporten ”Grønne tak; et kunnskapsinnhøytingsprosjekt” (Noreng et al. 2012) modelleres et 30cm dypt grønt tak i løpet av en 10 dagers frostperiode uten snødekke.

Figur 7. viser vannmetningsgraden én dag etter snøsmeltingen har påbegynt og ved slutten av snøsmelteperioden (dag 20). Vanninnholdet øker raskere i den våte jorden enn i den tørre. For å øke retensjonskapasiteten hos det grønne taket i snøsmelteperioden vil det være fordelaktig at taket er tørrest mulig før frosten inntreffer (Noreng et al 2012). Dette er viktig for å sikre best mulig hydrologisk ytelse ved regn-på-snø-episoder, hvor smeltevannavrenning kombinert med nedbør vil sørge for vesentlig høyere avrenning (Dalen 2012).

2.4 Samfunnsøkonomisk analyse

Finansdepartementet har utarbeidet en veileder i samfunnsøkonomiske analyser som fokuserer på evaluering av offentlige tiltak. Statens Vegvesen benytter håndbok 140 for konsekventanalyser av veg- og transportprosjekter. Denne tar utgangspunkt i finansdepartementet sin veileder for samfunnsøkonomiske analyser. Håndbok 140 gir veiledning om hvordan konsekventanalyser bør utføres på prosjektnivå med avveining mellom alternative løsninger. Det spesifiseres at deler av metodikken også kan benyttes på andre plannivå (Vegvesen 2006). Med utgangspunkt i veilederen og håndboken vil henholdsvis teorien og metodikken i denne oppgaven baseres på disse.

Ved en vurdering av ulike tiltak er det nødvendig å ha oversikt over hvilke alternativer som finnes og virkningene av disse (Finansdepartementet 2012). Den samfunnsøkonomiske analysen har som hensikt å bistå med best mulig grunnlag for å kunne foreta en god beslutning. Dette gjøres ved å tilegne kostnader og nytteeffekter for ulike tiltak en verdi, for videre å sammenligne og rangere de ulike tiltakene. Samfunnsøkonomisk lønnsomhet oppnås når totalverdien av nytteeffektene er større enn summen av kostnadseffektene. Dette innebærer at totalsummen er positiv. For slike tilfeller er samfunnet villig til å betale minst like mye som tiltaket koster. Analysen bør også inkludere ulike effekter og virkningene av disse ved ulike tidspunkt innen

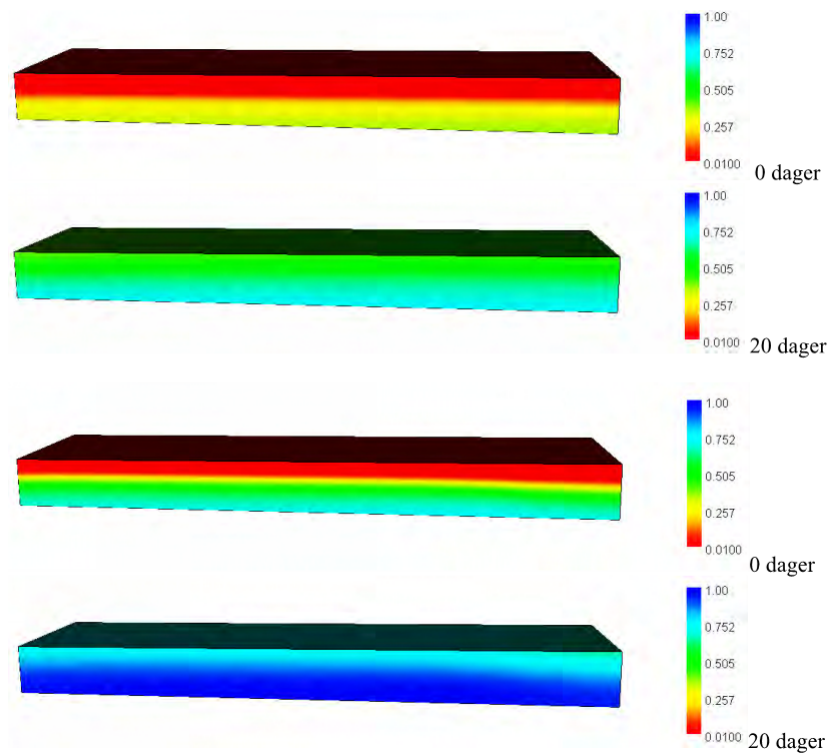


Figure 7: Vannmetning i jordvolum hos et 30 cm grønt intensivt tak, øverst: tørr jord ved innfrysning, nederst: våt jord ved innfrysning. 1 på fargeskalaen betyr at alt vannet i profilet er i form av is (Noreng 2012).

analyseperioden.

Nytten og kostnaden beregnes som en endring fra nullalternativet. Nullalternativet innebærer den tilstanden som er i dag, uten at eventuelle tiltak utføres. Det er hovedsaklig endringer som tiltaket medfører i forhold til nullalternativet som vi ønsker å måle (DFØ 2010).

2.4.1 Velferdsteori og Kaldor-Hicks-Kriteriet

Den samfunnsøkonomiske analysen er forankret i økonomisk velferdsteori. Forutsetningene for at et marked skal fungere effektivt er at tilbud er lik etterpørsel. Dette gir høyest samfunnsøkonomisk gevinst. Dersom forutsetningene for at et marked ikke er oppfylt, vil det si at det er en situasjon med markedssvikt. Myndighetene kan da gripe inn med virkemidler som avgifter, subsidier eller lover for å korrigere markedssvikten. Ved markedssvikt oppnås et effektivitetstap fordi ressursene ikke blir brukt på best mulig måte. Og den samfunnsøkonomiske gevinsten blir følgende ikke maksimert (Holmseth (2011) ref. Shcotter (2009)).

Kaldor-Hicks-kriteriet er et økonomisk effektivitetskriterium som sier at hvis et tiltak er gir større gevinster enn ulemper, kan tiltaket forsvares. Tiltaket forsvares selv om det har negative effekter for berørte parter. Så framt summen av fordelene overstiger de negative konsekvensene, er dette akseptabelt.

Figur 7. viser at dersom A^* (tilaket) beveger seg i positiv horisontal og vertikal retning, vil det nærme seg nyttekurven og samtidig holde seg innenfor mulighetsområdet.

En vurdering av nytte-kostnadsanalysen innenfor Kaldor-Hicks kriteriet fokuserer på de totale økonomiske virkningene av et tiltak. Kaldor-hicks-kriteriet tar hensyn til at alle kan få det bedre, i motsetning til en pareto optimalitet hvor det finnes både vinnere og tapere. Dermed vil kaldor-hicks-kriteriet være det beste effektivitetskriteriet for økt velferd i samfunnet (DFØ

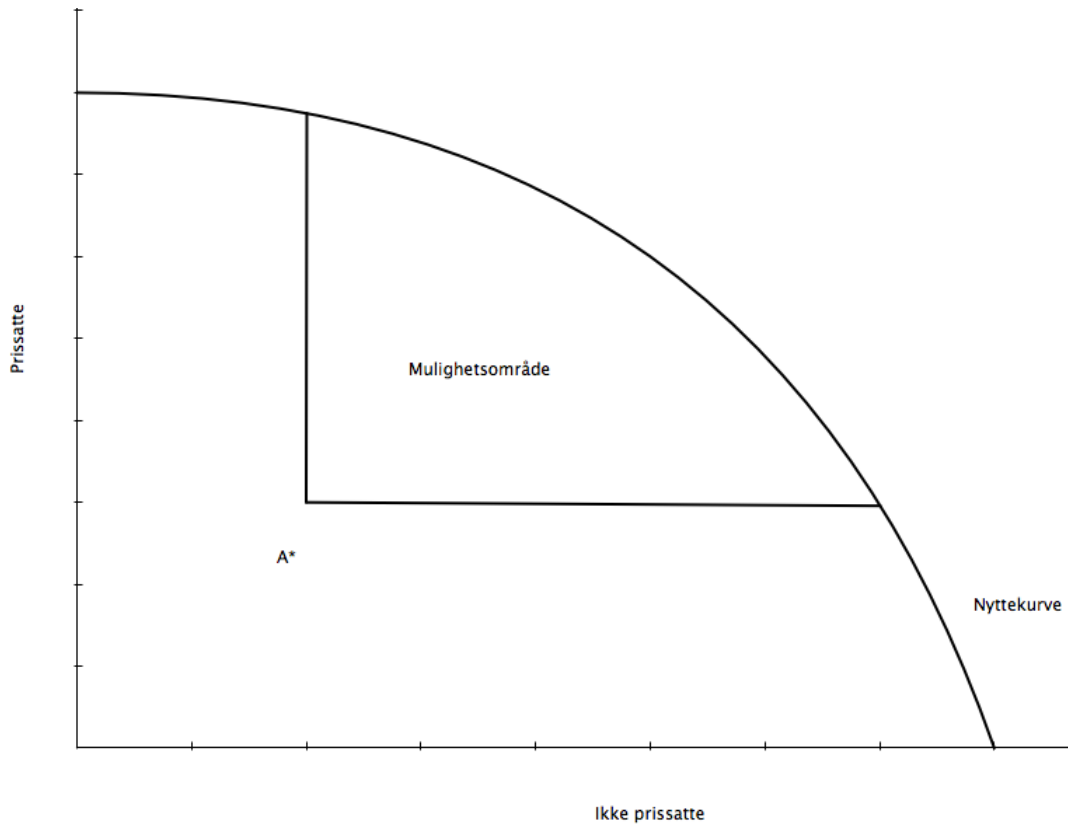


Figure 8: Kaldor-Hicks-kriteriet (Aanesland (2010) ref. Holmseth (2011)).

2010)

2.4.2 Netto nåverdi

Netto nåverdi benyttes for å beregne den samfunnsøkonomiske lønnsomheten tilknyttet investeringer. Virkningene av nytten og kostnader for tiltaket oppstår på ulike tidspunkt og nåverdimetoden neddiskonterer fremtidige nytteeffekter til en nåverdi som representerer dagens verdi av fremtidige effekter (Finansdepartementet 2013). Virkningene må som følge av levetiden neddiskontres til et felles tidspunkt ved hjelp av kalkulasjonsrenten.

Figure 9: Formel 1

$$NN = \sum_{t=0}^n \frac{\Delta N_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{\Delta D_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{\Delta U_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{\Delta I_t}{(1+r)^t} = \Delta N - \Delta D - \Delta I - \Delta U$$

NN = Netto nåverdi

I_0 = Investeringsutgift som beløper i år 0

U_t = Nytteoverskuddet i år t

k = Diskontigeringsrenten

Ligning (1) viser netto nåverdi (NNV) som en funksjon av diskonteringsrenten, r og antall år i levetid av tiltaket T. Investeringskostnaden C_0 er negativ og C_t beskriver summen av nytte og kostnadsvirkningene i år t. Netto nåverdien må være lik null eller positiv for at investeringen skal anses som lønnsom. Ved en positiv netto nåverdi vil nytten være høyere

enn kostnadene og tiltaket bør gjennomføres. Dersom netto nåverdien er like null, vil verdien av nytten verdsettes like mye som kostnadene. Negativ netto nåverdi betyr at verdien av de neddiskonterte kostnadseffektene er høyere enn nytteeffektene og derfor bør ikke tiltaket gjennomføres (Finansdepartementet 2012).

En positiv netto nåverdi vil ikke alltid kunne avgjøre om et prosjekt skal gjennomføres. Ressursmessige begrensninger relatert til prosjektet kan gjøre at netto nåverdien gir et feil bilde av tiltaket. Størrelsen på prosjekter har betydning for hvor lønnsomme prosjekter er, der store prosjekter har en tendens til å gi bedre netto nåverdi enn mindre prosjekter (Finansdepartementet 2005).

2.4.3 Nytte kostnadsbrøk

Nåverdimetoden viser ikke hvor mye man får igjen av hver investerte krone. Den samfunnsøkonomiske nyttekostnadsbrøken (NKB) tar hensyn til totale kostnader og total nytte, uavhengig av om offentlige budsjetter budsjetter dekker kostnadene eller ikke. Nyttekostnadsbrøken tar også hensyn til hva som er de mest positive netto fordelene for samfunnet. Dersom brøken er større enn null, og desto høyere verdi, vil gi en bedre lønnsomhet for prosjektet. Dette gjør det enkelt å rangere prosjektets lønnsomhet etter fallende nyttekostnadsbrøk.

$$(2) \text{ NKB} = \frac{\text{Nytte}}{\text{Kostnader}}$$

2.4.4 Bedriftsøkonomisk og samfunnsøkonomisk lønnsomhet

Prosjekter som gjennomføres antas å være bedriftsøkonomisk lønnsomme. Et bedriftsøkonomisk lønnsomt prosjekt er ikke nødvendigvis det samme som et samfunnsøkonomisk lønnsomt prosjekt og omvendt (Jensen et al. 2003). Dette grunnet konsumentoverskudd og markedssvikt. Konsumentoverskudd er nytteverdien til en gode som kun konsumentene drar nytte av. I et fritt konkurransemarked vil dette overskuddet være det som skiller samfunnsøkonomisk- og bedriftsøkonomisk lønnsomhet. Bedriftsøkonomisk overskudd skjer ved et produsentoverskudd, mens samfunnsøkonomisk overskudd er summen av produsent- og konsumentoverskuddet.

2.4.5 Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten er den samfunnsøkonomiske alternativkostnaden tilknyttet bundet kapital i et prosjekt. Kalkulasjonsrenten uttrykker kapitalens avkastning i det beste alternativets anvendelse. Nytte- og kostnader generert på ulike tidspunkt kan sammenlignes ved at nytte- og kostnadseffektene neddiskonteres til samme år. De antatte effektene diskonteres ned til et bestemt tidspunkt ved bruk av kalkulasjonsrenten. Den viser at framtidig nytte og kostnader ikke verdsettes like høyt som nåvernde nytte og kostnader. Størrelsen på kalkulasjonsrenten avgjør hvor lønnsomt et langsiktig prosjekt blir (Finansdepartementet 2012). Det tas utgangspunkt i vegvesen sin veileder konsekventanalyse som anbefaler at kalkulasjonsrenten settes til 4,0 % for infrastruktur med levetid på 40 år (Vegvesen 2006).

Del 3: Analyse og casestudie

3.1 Nytte kostnadsanalyse

En nytte-kostnadsanalyse er et verktøy for å avklare konsekvensene ved bruk av midler til ulike investeringer. Formålet med analysen er å trekke frem konsekvensene ved alternative tiltak, før det tas en endelig beslutning ved valg av tiltak. Hensikten er å avgjøre om nytten av et tiltak er verdt kostnadene ved å gjennomføre det. Nytte og kostnadsanalysen tar hensyn til til både prissatte og ikke-prissatte effekter. Forskjellen mellom fordeler og ulemper målt i kroneverdi representerer total netto nåverdi av et tiltak (Finansdepartementet 2012).

Nytte kostnadsanalyser er det viktigste beslutningsgrunnlaget når det gjelder investeringer i infrastruktur (Vegvesen 2006).

3.1.1 Grunnlaget for analysen

Grunnlaget for nytte- kostnadsanalysen deles inn i to ulike deler:

- Kvantifisering av prissatte effekter gjennom en verdsettingsstudie
- Kvantifisering av kostnadene tilknyttet etablering, drift og vedlikehold, ved bruk av erfaringsdata
- Belyse fordeler tilknyttet ikke-prissatte effekter

Det er gjennomført en verdsettingsstudie som kartlegger de ulike nytte- og kostnadseffektene hos grønne tak. Videre er det på grunnlag av erfaringstall fra litteraturstudiet angitt gjennomsnittlige investeringskostnader og forventede årlige kostnader tilknyttet drift og vedlikehold av taket. Det må imidlertid påpekes at flere av effektene ikke blir vurdert etter økonomisk nytte, da erfaringstall ikke var mulig å oppdrive.

De ikke-prissatte effektene behandles kvalitativt, selv om det er mulig å estimere en kroneverdi på den ikke-kvantifiserbare nytten. Det er eksempelvis mulig å anslå en verdiøkning av en bygning med grønt tak som følge av forbedret visuell verdi. Eller reduserte forsikringsutbetalinger i forbindelse med vannskader tilknyttet ekstremnedbør. Dette som følge av en redusert belastning på det kommunale avløpsnettets grunnet grønne taks fordrøyningsseffekt. Denne oppgaven tar ikke utgangspunkt i å tallfeste slike effekter.

3.1.2 Avgrensninger og forutsetninger for analysen

Det kan være utfordrene å verdesette framtidige paramtere som er tilknyttet usikkerhet. I denne oppgaven blir det tatt forbehold om visse forenklinger, og det tas noen forutsetninger for å avgrense omfanget og samtidig forenkle analysen. Forutsetningene som tas begrunnes og tar utgangspunkt i retningslinjer hos Statens Vegvesen.

Analyseperiode settes lik den fysiske levetiden for grønne tak, som antas å være lik 40 år. Både kostnader og nyttegevinster beregnes fra tiltakets tiltredelse. Med analyseperioden menes den perioden der nytte- og kostnadseffekter skal beregnes.

Videre i dette avsnittet utdypes framgangsmåten for verdsetting av de ulike effektene. Med utgangspunkt i effektene som ble funnet i kartleggingen skal disse tallfestes i fysiske størrelser, for videre å kunne verdsette de i kroner der dette er mulig.

3.1.3 Overvann

Den største fordelen ved implementering av grønne tak er dens evne til håndtering av overvann. Ordinære flate tak, der et vanntett takbelegg bestående av asfalt eller plast er øverste sjikt i takkonstruksjonen, vil avrenningen fra nedbør starte umiddelbart. Grønne tak vil redusere intensiteten i avrenningen, det vil si mengden avrent vann per tidsenhet, og utsette tidspunktet for nå den høyeste intensiteten innftreffer. [kan holde tilbake fra 50 % til 80 % av nedbøren gjennom et år. Faktorer som påvirker denne variasjonen er det grønne takets oppbygning, vanninnhold og nedbørintensitet.

SINTEF sin rapport Urbanisering - Grønne tak i urbane strøk konkluderer med at intensiteten på regnet spiller en stor rolle når det kommer til beregning av grønne taks lagringskapasitet (Busklein 2009). Ved stor nedbørintensitet vil grønne tak absorbere mindre nedbør.

Lagringsvolumet i taket bestemmes av areal, dybde og porøsitet. Helningen til taket og oppbygning inkludert vegetasjonsdekket, virker inn på forhold mellom nedbørhendelser. Ved mye nedbør i forkant av en ekstremnedbørepisode vil forsinkelseeffekten være dårligere enn dersom taket er tørt ved starten av en nedbørepisoden (Se figur 8). Når taket er vannmettet vil responsen på avrenningsmengder være raskere (Jetten (2002) ref. French et al. (2012)).

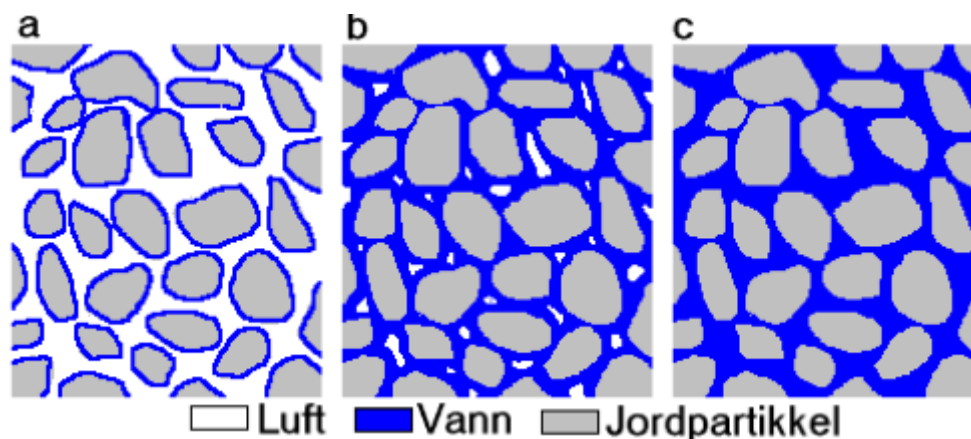


Figure 10: Porevolum i vekstmediet (French 2012).

Nødvendige parametre for å beregne fordrøyningseffekten hos grønne tak er porøsitet og fysiske dimensjoner for plantedekket, derav høyde, bredde og dybde. Avhengig av hvor raskt vannet strømmer gjennom det grønne taket bestemmes av vannledningsevnen, K (m/s) sammen med takvinkelen. Når det porøse mediet er vannmettet gis ledningsevnen ved K_s (m/s), som da er maksimal vannhastighet, mens den umettede vannledningsevnen blir en funksjon av vanninnholdet. Umettede forhold gjør at vannet strømmer vertikalt ned mot bunnen av taket. Mens i den vannmettede sonen, strømmer vannet parallelt med takflaten og hastigheten begrenses av den mettede vannledningsevnen (French et al. 2012).

Fordrøyningseffekten av vann hos grønne tak kan deles inn i tre deler (French et al 2012):

Tilbakeholdelse av vann Mengden vann et grønt tak kan holde tilbake bestemmes i hovedsak av kornstrukturen og tykkelsen til vekstmediet. Siden det er fri drenasje i bunnen av

vekstmediet vil det ikke stå fritt vann i porene til vekstmediet. Det tilbakeholdte vannet ligger derfor på overflaten av kornene i vekstmediet. Den mengde vann som et grønt tak kan holde på etter at fritt vann er drenert ut kan betegnes som takets metningspunkt (French et al. 2012).

Forsinkelse av avrenning Forsinkelse av avrenning er tiden (minutter) det tar fra en nedbøren i taket registreres til avrenning fra taket starter. Forsinkelsestiden avhenger av tiden det tar før taket når metningspunktet og dreneringsretning vannet tar. Den bestemmes av takhelling, oppbygning av drensaget og avstanden til taknedløpet (French et al. 2012).

Faktorer som virker begrensende på grønne taks evne til å bremse avrenningen er hvis det forekommer flere, kraftig følgende nedbørepisoder, samt etter langvarig nedbør. Dermed vil metningspunktet hos taket. Allikevel viser målinger at selv om det grønne taket har et høyt vanninnhold og er nær metningspunktet ved start av en nedbørepisode, vil avrenningen forsinkes og total mengde avrent vant reduseres noe (Busklein 2011).

Redusert avrenningsintensitet Redusert avrenningsintensitet vil si mengden avrent vann per tidsenhet er mindre for et grønt tak sammenlignet med et ordinært tak. Avrenningsintensiteten hos et grønt tak forsinkes i tid og reduseres i størrelse sammenlignet med avrenningsintensiteten hos det ordinært tak (French et al. 2012).

Avrenningskoeffisient hos grønne tak

En studie utført i North Carolina (Smith 2003) fant gjennomsnittlig avrenningskoeffisient for 10 nedbørhendelser til å være lik 0,5. Green Building Council i Nederland anbefaler også å bruke tilsvarende avrenningskoeffisient for sedumtak med vekstmedium fra 6-10 cm (GBC 2011). Nedbørhendelser på størrelseorden 30 mm og 38 mm med 15 minutters varighet ble brukt i studiene. Vekstmediet ble forhåndsvis vannmettet og tørket over en periode på 24 timer før testing. Avrenningskoeffisienten for sedumtak på 0,5 velges å benyttes senere i oppgaven.

3.1.4 Energiforbruk

Energisparepotensiale Leverandører foreslår et energisparepotensiale på 4,15 kWh/m²/år (Banting et al, 2005 ref. Vital Vekst). Med en strømpris på 42 øre/kWh (Navrud 2010).

Fysisk nytte

Energisparepotensiale Grønne tak kan redusere varmekraften gjennom tak fra 18-75 %. Variasjonen avhenger av flere faktorer som vær, takkonstruksjon og isolasjon. Størst reduksjon oppnås hos tak med lite isolasjon, gjerne eldre bygninger. Nyere bygninger dimensjoneres ofte med en mer energieffektiv profil og har dermed tykkere takmembran for å redusere varmekraften gjennom taket. Dermed vil størst effekt oppnås ved tilpasning til eldre tak (Tabares-Velasco P.C. 2009).

Energisparepotensiale ved bruk av lyse tak i stedet for mørke, er for Trondheim ble målt til 0,6 kWh/m² (Figur 11). Til sammenligning har Los Angeles hvor den er så høy som 8,6 kWh/m². En simulering av temperaturen hos et mørkt tak på en gjennomsnittlig sommerdag i Norge, viser ingen påvirkning av temperaturen på innvendig overflate (Busklein 2011).

Vital Vekst angir en besparelse for sedumtak til 4,15 kWh/m²/år. Dette er etter forsøk gjort i Toronto, Canada (Banting et al, 2005 ref. Vital Vekst), som har tilsvarende lik temperatur og sesongvariasjoner som Oslo (Wolframalpha, mean temperature oslo vs toronto).

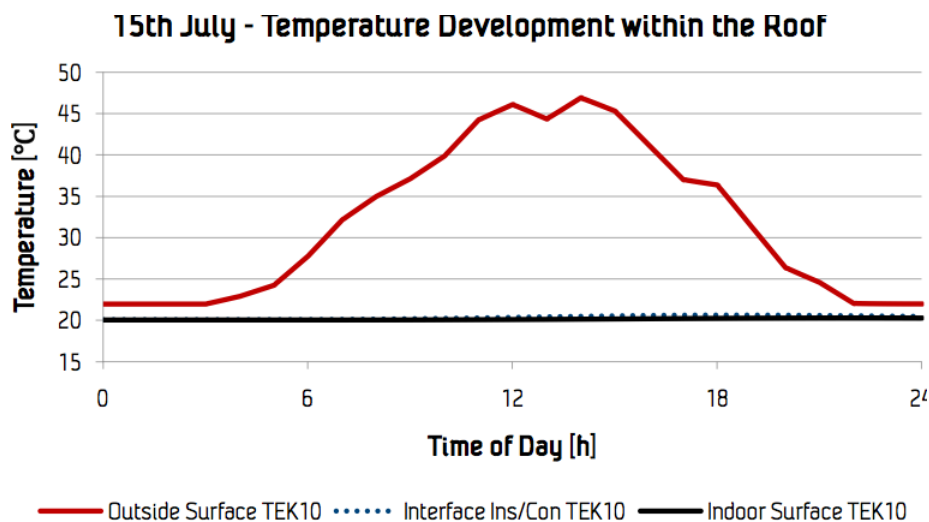


Figure 11: Simulering av gjennomsnittlig taktemperatur en sommerdag (Busklein 2011).

3.1.5 Klima

Fysisk nytte

- Reduksjon i luftforurensning. Et økende problem i urbaniserte områder, deriblant Oslo er luftforurensning fra vegtrafikk, særlig svevestøv (PM_{10}) og NO_2 . Hovedkilden til luftforurensning er stor trafikk eller luftstagnasjon (Vegvesen 2006). Plantene på sedumtaket bidrar til å ta opp og binde svevestøvet, noe som bidrar til økt luftkvalitet (Cantor 2008). Studier gjort i utlandet, estimerer at et $2000m^2$ sedumtak kan fjerne opptil 4000 kg svevestøv årlig. En storskala implementering av grønne tak kan redusere store mengder luftforurensning i form av svevestøv (ROWE (2010) ref. i Oslo Kommune (2010)).
- Reduksjon av CO_2 . Plantene på sedumtaket har en viss effekt når det kommer til å fange opp CO_2 via fotosyntesen. Men det bør merkes at den største effekten sedumtak kan bidra med som følge redusert CO_2 , er mindre bruk av elektrisitet tilknyttet oppgvarming og nedkjøling av bygninger (Cantor 2008).

Urban heat island er et fenomen som benyttes der urbane områder er varmere enn utkantområder. Det er flere faktorer som bidrar til dette fenomenet (Spengen (2010) ref. Marsalek (2008)).:

- Mørke overflater som asfalt og tak har lave albedo-verdier, noe som gjør at sollys absorberes i større grad enn hos lyse overflater.
- Overskuddsvarme fra bygninger
- Høye bygg fører til mindre sirkulasjon, noe som kan føre til lokale luftturbulenser.
- Redusert kjøleeffekt ved at evaporasjon har mindre tilgang til grøntområder og vann. Ved å erstatte de mørke overflatene med vegetasjon, kan temperaturøkningen dempes. Grønne

tak bidrar til å redusere lufttemperaturen over taket og dermed bidra til å redusere urban heat island effekten (Busklein 2011).

Økonomisk nytte

Reduksjon i mengde svevestøv NVE (2003) gir lokalt utslipp av svevestøv (PM10) en monetær verdi lik 0,18 kr/gram. I analysen tas det utgangspunkt i at grønne tak årlig absorberer 2 kg svevestøv per m² (Rowe et al. (2010) ref. Oslo Kommune (2012)).

I følge Getter et al. (2009) kan grønne tak direkte fange opp 0,168 kg C/m² noe som gir en monetær verdi på 0,3 kr/kg direkte CO₂-opptak.

Indirekte reduserer grønne tak mengden CO₂ ved unngåtte strømforbruk til avkjøling av bygningen. CO₂-faktor for strøm etter klimaplan Oslo Akershus, med middels import fra Danmark er g/kWh = 275g (Norconsult). Noe som gir 0,275 kg/kWh * 4,15 kWh = 1,14 kg per m² ekstensivt grønt

3.1.6 Økologi

Fysisk nytte

Biologisk mangfold Ved etablering av grønne tak prøver man å gjengi de naturlige omgivelsene som var før urbaniseringen. Dette kan bidra med å tiltrekke seg bestemte arter og videre styrke lokale økosystemer (Cantor 2008). Fordelen med sedumtak er at de kan sikre uforstyrrende omgivelser for planter og dyr, noe som er en nødvendig forutsetning for dems overlevelse (Sæverud 2010).

3.1.7 Bygning

Etableringskostnad

Kostnader for sedumtak kan variere fra 400-600 kr/m² + mva. ferdig lagt, inkludert transport. Større prosjekter kan ha lavere kostnader, fra 300-400 kr/m², der 400 kr/m² velges i denne oppgaven. Denne kostnaden anses som en ekstrakostnad ved valg av grønne tak i forhold til et vanlig kompakt tak tekket med takbelegg (French et al. 2012).

Det er ulike forhold som kan påvirke etableringskostnaden hos grønne tak. Behov for branteknisk klassifisering og krav til innfesting av takbelegget vil øke kostnaden. Følgende vil investeringskostnaden øke ved tilpasning av eksisterende tak, der kontroll og eventuell forsterkning av bærekonstruksjon er nødvendig (French et al. 2012).

Drift og vedlikehold Nødvendig årlig tilsyn med skjøtsel og vedlikehold av sedumtak begrenser seg til fjerning av døde og visne planter, erstatte døde planter, årlig gjødsling og raking, samt kontrollere at slukene ikke er tettet igjen (French et al. 2012). Driftutgiftene hos sedumtak beløper seg til 2,5 ganger av det som er vanlig for tradisjonelle tak (København Kommune). Typisk årlig driftskostnad for sedumtak ligger i intervallet 2-10 kr/m² (Clewing et al. 2012). For denne oppgaven velges vedlikeholdskostnaden lik 5 kr/m²/år.

Visuell verdi

Tak refereres ofte til som den femte fasaden, fordi bygning ikke kun har fire vegger, men også taket skal kunne utformes og brukes. Grønne lunger i urbane områder gir positive effekter med hensyn på miljø og gode rekreasjonsarealer (Sintef 2011). Det bidrar også til en visuell og estetisk arkitektonisk variasjon, som har en positiv effekt på innbyggernes livskvaliteten

(Mentens 2002).

Tyskland har utviklet en metode kalt *biotopflächenfaktor* (grønnflatefaktor). Malmö bruker denne metoden på nye utbyggingsprosjekter. Metoden går ut på å bestemme en verdi på forholdet mellom vegetasjon og ikke permeable flater innenfor et tomteareal (Böhme Hansen 2010).

$$\text{grønnflatefaktor}(GOF) = \frac{\text{effektivt areal}}{\text{hele tomteareal}}$$

Formelen brukes i forprosjekteringen for å se hvor mye vegetasjon det vil være etter utbygging. Sedumtak gis en grønnflatefaktor verdi på 0,6, mens ikke permeable flater tilegnes en verdi på 0-0,1. For næringsareal anbefales en GOF verdi lik 0,3 (Böhme Hansen 2010).

Økt levetid hos takmembran

Grønne tak øker takmembranets forventede levetid med opp til det dobbelte av tradisjonelle tak (København Kommune 2008). Levetid for modifiserte bitumen tak antas å være lik 20 år (Spengen 2010), derfor beregnes levetiden med grønne tak lik 40 år. Den forlengede levetiden hos takmembranet oppnås ved to faktorer (Busklein 2011).

UV-beskyttelse Der grønne tak absorberer UV- og infrarød stråling som normalt forringer takmembranen via fotokjemiske reaksjoner.

Beskyttelse mot temperatursvingninger Hvor beskyttelse mot frost, varme og store temperatursvingninger reduserer takmembranets mekaniske påkjenninger. Målinger av taktemperaturer viser en 40°C variasjon i temperatur hos et tradisjonelt tak, sammenlignet med et sedumtak der variasjonen i temperatur var mindre enn 10°C (Busklein 2011).

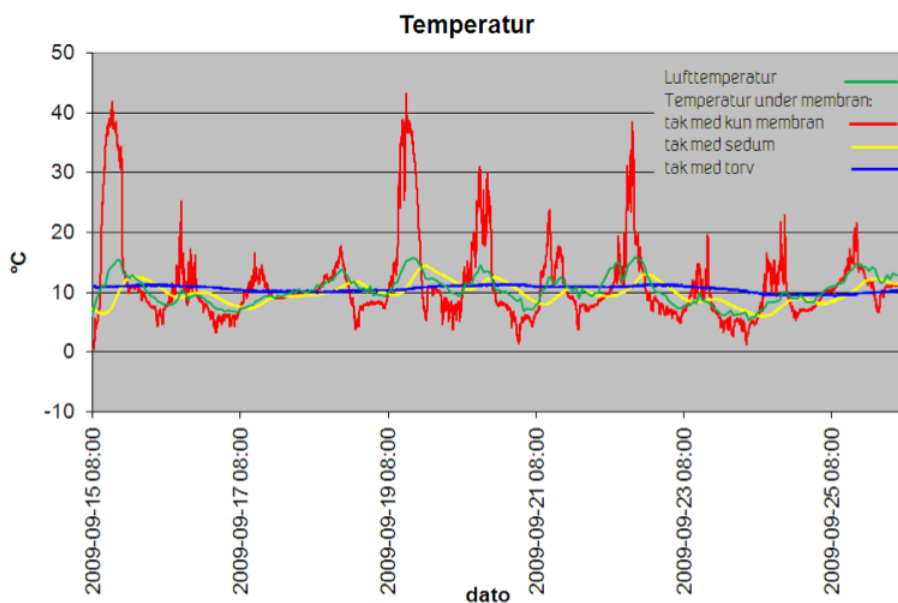


Figure 12: Målt lufttemperatur og temperaturer målt hos hos ulike typer tak (Busklein 2011)

3.2 Casestudie

3.2.1 Innledende om casestudiet

Formålet med casestudiet er å se nærmere på det totale kostnadsbildet for etablering av grønne tak på et næringsbygg. Dette gjøres ved å benytte verdiene brukt i nytte- kostnadsanalysen gjort tidligere. I tillegg inkluderes det en hydraulisk vurdering der det tas med kommunale krav til overvannshåndtering. Grunnlaget for casestudiet blir å undersøke hvorvidt etablering av grønne tak på et næringsbygg kan oppveie for de kostnadene dette medfører, og om de til slutt vil utgjøre en samlet gevinst eller kostnad for samfunnet og byggherren.

3.2.2 Presentasjon av caseområdet

Caseområdet består av et tenkt næringsbygg med en takflate tilsvarende 2000 m² og en tilhørende parkeringsplass på 2000 m². Dimensjoneringskriteriene for overvann tar utgangspunkt i Oslo Kommunes veileder for overvannshåndtering.

Dimensjonerende nedbørhyppighet settes lik 20 år (Se IVF-kurve Oslo-Blindern, kapittel 2.1), som er gjeldende for bysenter, industriområder og forretningsstrøk. Dette er i tråd med Norsk Vanns anbefalte minimums dimensjonerende hyppighet for separate og fellesavløpssystem. Avrenningskoeffisientene som benyttes er 0,90 for tette flater, som blir gjeldene for parkeringsplass og tradisjonelt tak (Oslo Kommune 2012). Som nevnt i avsnitt 3.1.3 anbefaler produsenten en avrenningskoeffisient på 0,50 for grønne tak. Etter anbefaling av Olsen (2013) settes klimafaktor lik 1,5, da denne vil være gjeldene for neste utgave av overvannsveilederen. Rammebetingelser for påslippmengder av overvann til offentlig avløpsledning varierer fra 5-20 l/s for et tiltaksområde på 0,1-0,5 ha. Det tas utgangspunkt i at næringsbyggets beliggenhet er i et område med dårlig kapasitet på det offentlige ledningsnett, og maksimal påslippmengde settes lik 5 l/s.

Kravet om maksimal påslippmengde til kommunalt avløpsnett gjør det nødvendig å fordrøye overvannet etter større nedbørsepisoder. I dette tilfellet kan bygningseier velge en tradisjonell løsning basert på et lukket fordrøyningsmagasin i bakken, eller et grønt tak på næringsbygget kombinert med et lukket fordrøyningsmagasin.

Den økonomiske analysen søker å finne hvilke besparelser eller kostnader det er tilknyttet bruk av et grønt tak i kombinasjon med et fordrøyningsmagasin, alternativt at det kun benyttes et lukket fordrøyningsmagasin. Begge tiltakenes kostnader vurderes i forhold til krav om et fordrøyningsvolum satt etter maksimal påslippmengde for offentlig overvannsnett.

For at tiltaket med grønt tak skal være bedrift- og samfunnsøkonomisk optimalt, må kostnadene ved etablering av et grønt tak være mindre enn kostnadene ved å kun benytte seg av et lukket overvannssystem.

Den økonomiske analysen vil spenne seg over en tidsperiode på 40 år, da dette forutsettes å være levetiden hos grønne tak. Referansetidspunktet blir satt til år 2013, som tidligere brukt i nytte- kostnadsanalysen.

3.2.3 Tiltak A: Næringsbygg uten grønt tak

Tiltak A tar for seg et næringsbygg med et modifisert bitumen tak. Figuren under illustrerer caseområdet.

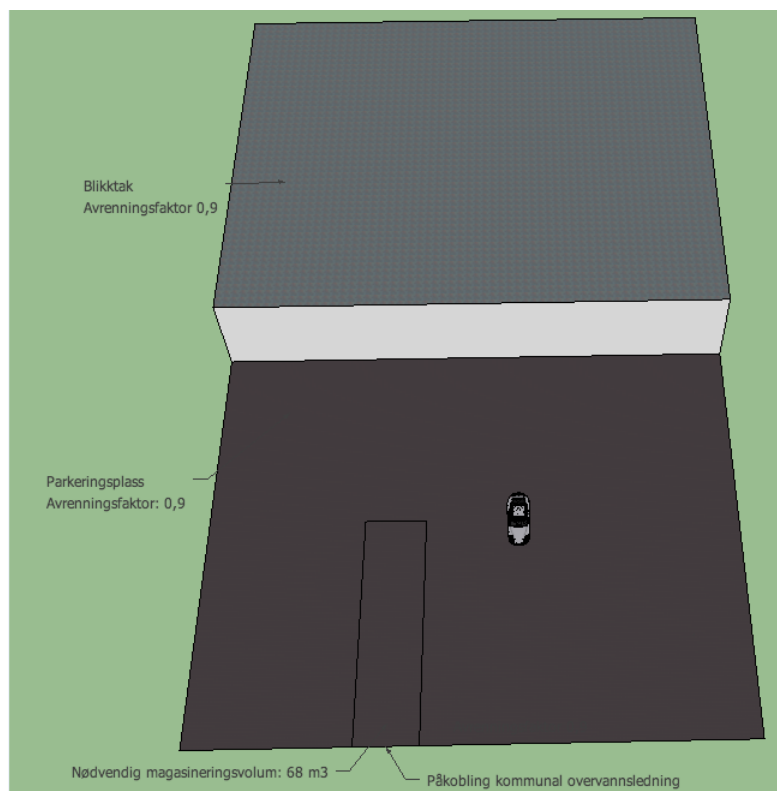


Figure 13: Illustrasjon av et næringsbygg med tradisjonelt tak

Hydraulisk analyse

For å innfri kravene til maksimalt påslipp av overvann inn på kommunalt avløpsnett etableres det et lukket rørmagasin. Denne vil virke som en fordrøyningsenhet for overvann ved større nedbørsepisoder (Se figur 14).

Vedlagt tabell viser den hydrauliske analysen gitt de forutsetningene som er gitt ovenfor. Avrenningen beregnes med den rasjonelle metoden (4). Det trekkes i fra 5 l/s som tillatt påslipp på offentlig overvannsnett. En 20 års nedbørsintensitet for 10 minutter skal fordrøyes.

$$(3) Q = \varphi \cdot I \cdot A \cdot Kf$$

Der avrenning (Q) er gitt ved avrenningsfaktor φ , dimensjonerendenedbørintensitet (I) oppgitt l/s/ha,

Avrenning	l/s	72.5
Tilført magasin (minus påslipp 5 l/s)	l/s	67.5
Størrelse rørmagasin	m ³	40.5

Tabell 3 Hydraulisk analyse av tiltak A - næringsbygg uten grønt tak

Ut i fra tabellen ser vi beregnet nødvendig fordrøyningsvolum for rørmagasinet.

Økonomisk analyse

Prisen for en ledningsgrøft er sammensatt av flere kostnadselementer. Selve røret utgjør som regel en liten del av totalkostnaden. En dobling av rørdiameter har svært begrenset betydning for totalkostnaden. Det ekstra volumet man får i ledningsnettet ved å rørdimensjonen kan teoretisk benyttes til fordrøying. I praksis er dette vanskelig å få til på grunn av fallforholdene.

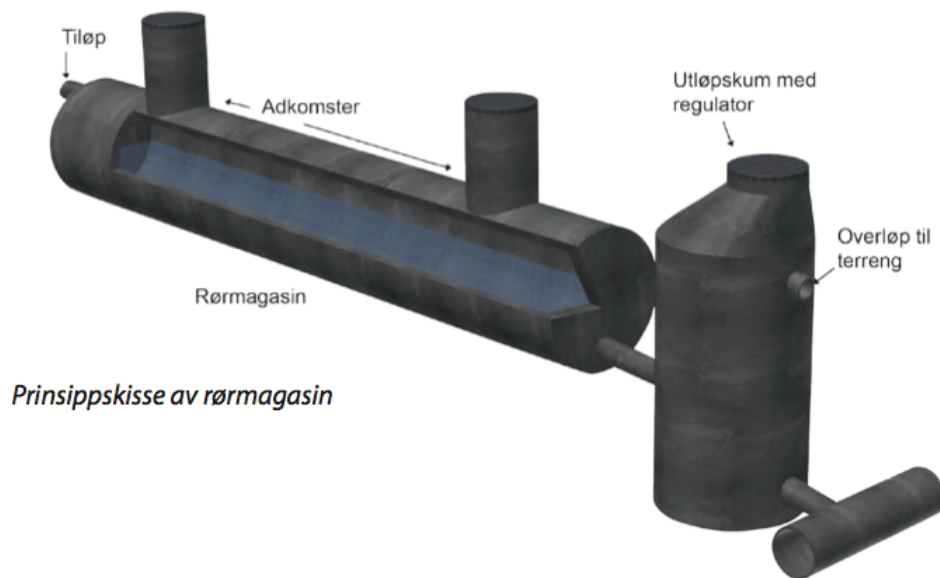


Figure 14: Prinsippskisse av rørmagasin (Brødrene Dahl)

En bedre løsning er å bygge inn et vesentlig større rør på en kort del av ledningsstrengen hvor fallet er lite. Det store røret har da strupet utløp mot nedstrøms ledningsnett. Partikulært materiale som tilføres rørmagasinet, for eksempel ved mangelfull tømning av sandfang, vil bli avsatt i magasinet og kan senere fjernes (COWI 2013). Disse utgiftene tilknyttet vedlikehold av rørmagasinet tas ikke med i denne analysen.

Tabellen under viser etableringskostnaden for et lukket fordrøyningsmagasin som tilfredsstillt krav til utslipp på offentlig overvannsnett. Prisene baseres på erfaringstall utarbeidet av COWI (2012).

Rør per lm	2000
Graving per lm (8,5 m ² og 0,5 m overdekning og bunnforsterkning): 8,5 m ³ x 70 kr/m ³	600
Fundament og omfylling (2,8m ³ per lm rør, 275kr m ³)	800
Fiberduk	100
Fjerning av masser	400
Sum per lm rør	3900
Per m ³ Ø1000 rørmagasin gir det	5000
Innløpskum	10000
Utløpskum inkl. virvelkammer	30000
Investeringskostnad 40 m ³ rørmagasin	242500
Drift og vedlikehold over 40 år	200000
Netto nåverdi	349992

Tabell XX Etableringskostnader for lukket fordrøyningsmagasin

3.2.4 Tiltak B: Næringsbygg med grønt tak

Næringsbygget etableres med et grønt tak tilsvarende 2000 m² (se figur).

Hydraulisk analyse

De hydrauliske forutsetningene er de samme som i tiltak A, bortsett fra at det benyttes en annen avrenningskoeffisient for det grønne taket (se tabell 4).

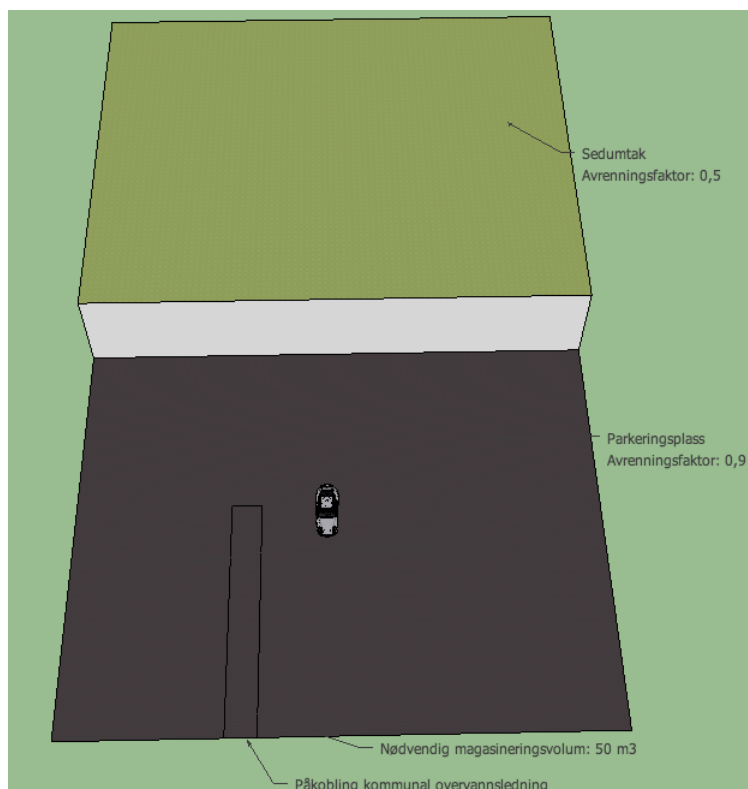


Figure 15: Illustrasjon av et næringsbygg med grønt tak.

Avrenning	l/s	38.1
Tilført magasin (minus påslipp, 5 l/s)	l/s	33.1
Størrelse rørmagasin	m ³	19.9

Tabell 4. Hydraulisk analyse av tiltak

B - næringsbygg med grønt tak

Ut i fra tabellen ser vi en reduksjon i nødvendig volum (m³) hos det lukkede rørmagasinet. Dette skyldes det grønne takets evne til å tilbakeholde og fordrøye vannet fra nedbøren.

Økonomisk analyse

I tillegg til erfaringstallene for etablering av lukket steinmagasin, benyttes de prissatte effektene for grønne tak. Analysen tar for seg etableringskostnaden for grønt tak og rørmagasin, samt driftsutgifter og nytteeffekter over 40 år.

Etableringskostnad grønt tak	800000
Investeringskostnad rørmagasin	140000
Vedlikehold over 40 år	600000
Nytteeffekter over 40 år	732000
Netto nåverdi	893006

Tabell 5 Økonomisk analyse av tiltak B

Del 4 Resultater, diskusjon og konklusjon

4.1 Resultater

Resultater av nytte- kostnadsanalyse og casestudiet presenteres i dette avsnittet. Det er kun de kvantifiserbare nytte- og kostnadseffektene som tas med, hvor de ikke-kvantifiserbare effektene diskuteres i neste avsnitt.

4.1.1 Nytte og kostnadsanalyse

Nytte- og kostnadseffekter for grønne tak ble estimert i nytte- kostnadsanalysen. Den tar med seg de kvantifiserbare nytteeffektene for både samfunnet og byggherren.

I tabell 6 vises en oppsummering av nytte- og kostnader tilknyttet grønne tak. Etableringskostnaden er i år 0 og besparende nytteeffekter blir nytteoverskuddet over 40 år. Som vist er netto nåverdi per m² grønt tak negativ. En negativ netto nåverdi gjør etablering av grønne tak ulønnsom fra et bedriftsøkonomisk perspektiv. Parameteren som betyr mest er den forlengede levetiden hos takmembranen, der den ikke behøver å skiftes ut før i år 20. Det bør merkes at de ikke-kvantifiserbare nytteeffektene som ikke tas med i den økonomiske analysen også bør vektlegges ved etablering av grønne tak. Deriblant fordrøyning av overvann, bedret økologiske levekår og økt boligverdi.

Nåverdi av nytten i analyseperioden	364
Nåverdi av investeringskostnader	400
Nåverdi av drifts og vedlikeholdskostnader	200
Netto nåverdi	-327

Tabell 6: Presentasjon av resultatene

fra naverdiberegningen for grønne tak

4.1.2 Casestudiet

Dersom resultatene fra den hydrauliske analysen sammenlignes for begge tiltakene i casestudiet, viser tiltak B en reduksjon av nødvendig fordrøyningsvolum hos rørmagasinet. Det grønne takets evne til tilbakeholdelse av vann og forsinkelse av avrenning gir en lavere avrenningsintensitet til rørmagasinet. Dette gjør at fordrøyningsmagasinet kan nedskaleres med 49 % av nødvendig fordrøyningsvolum i forhold til tiltak A (se tabell 7).

-	-	Tiltak A	Tiltak B
Avrenning	l/s	72.5	38.1
Tilført magasin (minus påslipp, 5l/s)	l/s	67.5	33.1
Størrelse rørmagasin	m ³	40.5	19.9
Redusert avrenning	%	49	
Redusert størrelse magasin	m ³	21	

Tabell 7: Presentasjon

av resultatene for den hydrauliske analysen i casestudiet

For den økonomiske analysen viser tabell 8 netto nåverdien er vesentlig lavere for tiltak B.

-	Tiltak A	Tiltak B
Etableringskostnad grønt tak	-	800000
Investeringskostnad rørmagasin	240000	140000
Vedlikehold over 40 år	200000	600000
Nytteefekter over 40 år	-	732000
Netto nåverdi	342992	893006

Tabell 8: Presentasjon av resul-

tatene for den økonomiske analysen av casestudiet

4.2 Konklusjon og diskusjon

Varslinger i følge klimafremskrivninger innebærer en framtid med flere og mer intense nedbørhendelser i Norge. Det eksisterende urbane avløpssystemet er ofte ikke dimensjonert for å håndtere en større belastning. Sett ut i fra en bærekraftig blågrønn filosofi er grønne tak et godt LOD-tiltak, da det tillater enkel etablering på eksisterende bygninger og bidrar til forsinkelse av avrenning.

Utgangspunktet for nytte- kostnadsanalysen var å se nærmere på hvilke samfunns- og bedriftsøkonomiske nytte. Etablering av grønne tak etterspørres i stadig større grad og det er dermed viktig å belyse hvilke kostnader og gevinster som er tilknyttet bruk av grønne tak framfor tradisjonelle takløsninger.

Tatt i betraktning til etablerings-, drift og vedlikeholdskostnadene for grønne tak viser den samfunnsøkonomiske analysen en negativ netto nåverdi på kr 327 per m². Nytteeffektene bidrar til en innsparing for noe av etableringskostnaden av grønne tak. Selv om grønne tak gir flere samfunnsmessige fordeler innen overvannshåndtering, forbedret luftkvalitet, økologi og bærekraft vil det fortsatt være vanskelig å forsvare merkostnaden byggherren står ovenfor ved valg av takløsning. Byggherren drar nytte av redusert energiforbruk til avkjøling og oppgarming, estetisk verdi og den mest utslagsgivende nytteeffekten er forlenget levetid hos takmembranen.

En tildelelse av årlige subsidier for bruk av grønne tak på kr 17 per m² vil gi en netto nåverdi lik 0 kr og tiltaket oppnår ”break-even”, hvor investeringen er lik besparelsen.

Resultatene antas kun å være gyldig for de forutsetningene som er satt i denne oppgaven. For fremtidige nytte- kostnadsanalyser av grønne tak vil det være hensiktsmessig å ytterligere kunne prissette noen av de ikke-prissatte effektene. En multikriterieanalyse for de ikke-kvantifiserbare effektene kan også benyttes for å tillegge mer vekt når en anbefaling og beslutning skal tas. Denne analysen gir en indeks basert på subjektiv vurdering av de enkelte nytteeffektene (NVE 2001). Multikriterieanalysen vil kunne synliggjøre hvor stor vekt de ikke-prissatte nytteeffektene skal tillegges for at det skal oppheve den negative prissatte netto nytten ved grønne tak (Barton Dervo 2009).

Litteraturliste

Barton, D.N. B.K. Dervo 2009. Nytt-kostnadsanalyse av flomvern. En metodevurdering med eksempel fra Skarvollene – NINA Rapport 464, 33 s.

Bogren, J., Gustavsson, T. Loman, G. (2006). Klimatförändringar. Naturlige och antropogena orsakar. Danmark: Narayana Press 267 s.

Boeker E. Grondelle R. (2001). Environmental Science. Physical Principles and Applications 362 s.

Busklein, J. O. (2009). Urbanisering - Grønne tak i urbane strøk. SINTEF BYGGFORSK.

CICERO 2012. Lengere vekstsesong. S: <http://www.cicero.uio.no/fulltext/index.aspx?id=9573>

Center for Neighborhood Technology. (2010). The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits. 73 s

CANTOR 2008. Green Roofs in Sustainable Landscape Design. Tilgjengelig fra: <http://www.amazon.com/Green-Roofs-Sustainable-Landscape-Design/dp/0393731685>

DANVA. (2011). En kokebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelser i byer. DANVA F U rapport DANVA.

(Dahl 2013) VA-konsept Overvannshåndtering, Utgave 7. Tilgjengelig fra: http://www.dahl.no/Documents/konsept_utg07_overvannshandtering_final_mall.pdf

DFØ, D. f. ø. (2010). Håndbok for samfunnsøkonomiske analyser Veileder: Direktoratet for økonomistyring. Tilgjengelig fra: <http://www.dfo.no/Documents/FOA/publikasjoner/veiledere/Haandbok>

Environmental Protective Agency (EPA). (2001) Storm Water Technology Fact Sheet: On-site Underground Retention/Detention. Tilgjengelig fra: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/>

Prosjektrapport nr. 104 Grønne tak - Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt Knut Noreng, Marius Kvalvik, Jan Ove Busklein, Ingrid Merete Ødegård, Corinna Susanne Clewing og Helen Kristine French, 2012

FHI (2013). Fakta om svevestøv. Tilgjengelig fra: [http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=239trg=6263 : 0 : 25, 6227MainContent6263 = 6464 : 0 : 25, 6630List6212 = 6218 : 0 : 25, 6631 : 1 : 0 : 0 :: 0 : 0](http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=239trg=6263%3A0%3A25%2C6227MainContent6263%3D6464%3A0%3A25%2C6630List6212%3D6218%3A0%3A25%2C6631%3A1%3A0%3A0%3A0%3A0)

Gribbin, J.E. Introduction to hydraulics and hydrology. New York: Thomson Delmar Learning, 2007. Tilgjengelig fra: <http://www.docin.com/p-130777758.html>

(NOU 2010:10) Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, A., et al. (2009). Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing. Oslo. 148 s.

Holmseth, A. (2011). Kroner og øre eller grønne tanker? Vektlegger Statens Vegvesen ikke-prissatte konsekvenser i sine samfunnsøkonomiske analyser.: 46 s.

Hareland, A. (2009). Grønne tak og fasader som tilskot til den urbane grøntstruktur.: 56 s.

CIENS (2011) Innbjør L. 2011. Klimatilpasning i Norge - Bakgrunn, årsakssammenhenger og forskningsfunn. Tilgjengelig fra: http://www.ciens.no/data/no_NO/file/5426.pdf

IPCC. Organization. Tilgjengelig fra: <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>

IPCC, 2012: Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19. Tilgjengelig fra: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/.Uq5lfvTuIYk>

Jensen T., Haugen S. og Ingrid Magnussen I. NVE. (2003). Samfunnsøkonomisk analyse av energiprojekter Handbok. 72 s. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/Global/Publikasjoner/Publikasjoner/03.pdf>

Kunnskapsforlagets papirleksikon. (2009b). Albedo - mål for refleksjonsevne, Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: [http://snl.no/albedo/mål_for_refleksjonsevne\(lest14.08.2013\)](http://snl.no/albedo/mål_for_refleksjonsevne(lest14.08.2013)).

København Kommune (2010a) Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift – TEK 10). Grønne tage internationalt. C. f. P. o. Natur. København. Tilgjengelig fra: <http://vegetatedroofs.dk/page17.html>

København Kommune (2010b). Retningslinjer for grønne tage. T.-o. Miljøudvalget. København. Tilgjengelig fra: <https://subsite.kk.dk/sitecore/content/Subsites/CityOfCopenhagen/SubsiteFrontpage/Landing/D965701DD0334A4B8A1EE113D996002D.ashx>

København Kommune (2010c). Økonomiske konsekvenser af retningslinjer for grønne tage. Tilgjengelig fra: <https://subsite.kk.dk/sitecore/content/Subsites/CityOfCopenhagen/SubsiteFrontpage/Landing/44BE695EB52546FBB88FC50EC45223B4.ashx>

(NVE 2011 / Lawrence, 2011) Lawrence, D. Hisdal H. (2011). Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. Tilgjengelig fra: <http://webby.nve.no/publikasjoner/report/2011/>

Lindholm (2008), O., Endresen, S., Thorolfsson, S. T., Sægrov, S., Jakobsen, G., Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering Norsk Vann Rapport 162/2008 (pp. 79): Norsk Vann BA.

Lindholm (2007), O., Nie, L., Bjerkholt, J. (2007). Klimaeffektens betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer IMT-Rapport nr. 16 (pp. 79): Universitetet for miljø- og biovitenskap, UMB.

(Lindholm og Bjerkholt 2011) Lindholm, O. og Bjerkholt, J. (2011). Problemstillinger, klimaendringer, virkninger av ekstrem nedbør og resultater av tiltaksanalyser i Fredrikstad, Sandnes og Trondheim. Rapport 42/2011: IMT. 181 s.

Lindholm (2008), O., Endresen, S., Thorolfson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann rapport, b. 162, 2008. Hamar: Norsk Vann BA. 79 s.

Mamen Dyrddal et al. (2012) Rapport 78: Ekstrem korttidsnedbør på Østlandet fra pluviometer og radar data Ødemark K., Førland E., Mamen J., Elo C., Dyrddal A. Myrabø S. (2012). Ekstrem korttidsnedbør på Østlandet fra pluviometer og radar data. NIFS-prosjekt: NVE, Statens Vegvesen, Jernbaneverket. Oslo. 60 s.

Mork (2012) H., Lindholm, O, Myhre Ø., Berg K., Nie L., Aas T., Amlie G. Myhr K.(2012). Veiledning for utforming, bygging og vedlikehold av permeable dekker av betongstein, b. 1 2012 87 s.

NVE (2003) S: svevestøv. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/upload/subnettsteder/framtiden>

NVE (2009). Urbanhydrologi. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/V>

NOU 1997:27 - Nytte-kostnadsanalyser; Prinsipper for lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor. (1997). Oslo: Statens forvaltningstjeneste, Statens trykking. Tilgjengelig fra: <http://www.regjering>

Overeem A. 2009 .Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar. 131 s. Tilgjengelig fra: http://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/2009.12.04_Overeem.pdf

Olsen M. Vann- og avløpsetaten (2013). (Personlig meddelelse 19.03.13).

Oslo Kommune (2012), Handlingsplan: Miljø og klima 2012-2015, 18 s. Tilgjengelig fra: [http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Miljø%C3%B8portalen%20\(PMJ\)/Internett%20\(PMJ\)/D](http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Miljø%C3%B8portalen%20(PMJ)/Internett%20(PMJ)/D)

OsloKommune (2012). Vann- og avløpsetaten. Årsberetning for 2012 Tilgjengelig fra: <http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann->

Prowell E. (2006). An Analysis of Stormwater Retention and Detention of Modular Green Roof Blocks. 82 Tilgjengelig fra: http://athenaeum.libs.uga.edu/bitstream/handle/10724/9063/prowell_e_ri
1

Oberndorfer ,E., Lundholm, J., et al (2007). "Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services." *BioScience* 57(10): 823-833.

(Reiersen 2011) Terje Reiersen: 37 - 50 Fordrøyning i betongrør- dimensjonering, løsninger og erfaringer. Rapport nr. 3: Permeabel betong og overatevann - Muligheter og utfordringer, 2011

RegClim. (2002). Mer variabelt vær om 50 år. Mer viten om usikkerheter: RegClim - Meteorologisk institutt

RIF, R. I. F. (2010). State of the Nation: Rådgivende Ingeniørers Forening. Tilgjengelig fra: <http://www.rif.no/nyhetsarkiv/2451-last-ned-state-of-the-nation-her-.html>

Rowe, B. (2011). "Green Roofs as a Means of Pollution Abatement." *Environmental Pollution* 159(8-9): 2100-2110. Tilgjengelig fra : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21074914>

Befolkningsframskrivninger, 2012-2100, Statistisk Sentralbyrå (2012). S: <http://www.ssb.no/folkfram/>

Spengen, J. (2010). The effects of large-scale green roof implementation on the rainfall-

runoff in a tropical urbanized subcatchment .: 222 s.

Stenberg E. (2011). ETTERMONTERING AV REGNBED I ETABLERT BY - med NVE-kvartalet i Oslo som undersøkelsesområde.: 92 s.

Smith (2003) Moran A., Hunt B. Smith J. (2003). Hydrologic and Water Quality Performance From Greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina

Sæverud, H.P. (2010). Uterom når nye høyder prinsipper for gode uterom på lokk og tak.: 111 s.

Stahre, P. (2006). Sustainability in urban storm drainage: Planning and examples. Stockholm: Svenskt Vatten

Statens vegvesen, V. (2006). Håndbok 140: Konsekvensanalyser Statens vegvesen håndbokserie; Veiledning: Statens vegvesen

Statens vegvesen, V. (2011). Håndbok 018: Vegbygging Statens vegvesen håndbokserie; Normaler.

Tabares-Velasco P.C. (2009). Predictive Heat and Mass Transfer Model of Plant-based Roofing Materials for Assessment of Energy Savings. Tilgjengelig fra: <https://etda.libraries.psu.edu/paper/1021>

UN (2011). Population of urban and rural areas and percentage urban, Tilgjengelig fra: <http://esa.un.org/unup/CD-ROM/Urban-Rural-Population.htm>

US-EPA (2009). "Green Roofs for Stormwater Runoff Control." (PDF) (81 pp, 2.8MB, About PDF) Publication No. EPA/600/R-09/026 — Abstract . Tilgjengelig fra: <http://www.nps.gov/tps/sm.pdf>

US-EPA (2000). Low Impact Development (LID): A Literature Review. Washington: United States Environmental Protection Agency (EPA)

VanWoert N., Rowe B., Andresen J., et al (2005). "Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth." Journal of Environmental Quality 34(3): 1036-1044. Tilgjengelig fra: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15888889>

Winther, L., Linde, J. J., Jensen, H. T., Mathiasen, L. L. Johansen, N. B. (2011). Afløbsteknik. 6 utg. Lyngby: Polyteknisk Forlag. 752 s.

WBDG (2012) National institute of building Sciences, whole building design guide. Tilgjengelig fra: <http://www.wbdg.org/resources/greenroofs.php>

Vedlegg

Figure 16: Vedlegg 1 NKA sedumtak per m2

Sedumtak m2					
År	1	2	3	4	5
Nytte					
<i>Byggherre</i>					
Energisparepotensiale	0	1,743	1,743	1,743	1,743
Forlenget levetid av membran (Subsidier)					
<i>Samfunn</i>					
Reduksjon svevestøv	0	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018
Reduksjon av CO2 (direkte)	0	0,0504	0,0504	0,0504	0,0504
Reduksjon av CO2 (indirekte)	0	1,14125	1,14125	1,14125	1,14125
Kostnad					
Investeringskostnad	400				
Drift og vedlikehold	5	5	5	5	5
Kontantstrøm	-405	-2,06517	-2,06517	-2,06517	-2,06517
Diskonteringsrente	0,04				
Netto nåverdi		-kr 326,78			

Figure 17: Vedlegg 2 NKA tiltak A

Tiltak A					
År	1	2	3	4	5
Kostnad					
40,5 m ³ Fordrøyningsmagasin	240000				
Vedlikehold rørmagasin	5000	5000	5000	5000	5000
Kontantstrøm	-245000	-5000	-5000	-5000	-5000
Diskonteringsrente	4,00 %				
Netto nåverdi		-kr 342 922,42			

Figure 18: Vedlegg 3 NKA tiltak B

Tiltak B					
År	1	2	3	4	5
Nytte					
Byggherre					
Energisparepotensiale	3486	3486	3486	3486	3486
Forlenget levetid av membran (Subsidier)					
Samfunn					
Reduksjon svevestøv	0	0,36	0,36	0,36	0,36
Reduksjon CO2 (direkte)	0	100,8	100,8	100,8	100,8
Reduksjon CO2 (indirekte)	0	2282,5	2282,5	2282,5	2282,5
Kostnad					
<i>Investeringskostnad</i>					
2000 m ² sedumtak	800000				
20 m ³ Fordrøyningsmagasin	140000				
Vedlikehold rørmagasin	5000	5000	5000	5000	5000
Vedlikehold sedumtak	10000	10000	10000	10000	10000
Kontantstrøm	-951514	-9130,34	-9130,34	-9130,34	-9130,34
Diskonteringsrente	4,00 %				
Netto nåverdi	-kr 893 005,79				