



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for Matematiske realfag og Teknologi

Analyse av LOD-tiltak

A study of Sustainable Urban Drainage Systems
SUDS

Meltem Kunduraci
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er en avsluttende del på et 5-årig masterprogram innen Vann- og miljøteknikk. Oppgaven er utført ved Institutt for Matematiske realfag og Teknologi ved NMBU våren 2016 og utgjør 30 studiepoeng.

Jeg vil takke min hovedveileder professor Oddvar G. Lindholm for god faglig hjelp og engasjement. Jeg vil også takke min biveileder Bent Braskerud for sitt bidrag med oppgaven min. Til slutt takker jeg min familie som har bidratt med sosial støtte gjennom hele perioden.

Ås, 11.05.16

Meltem Kunduraci

Sammendrag

Endrede klimatiske forhold og større urbanisering medfører økte oversvømmelseskader i urbane områder. Ekstreme nedbørhendelser opptrer oftere og kraftigere. Utbygging med tette flater hindrer infiltrasjon til grunnen. Den naturlige utjevningen av overvann reduseres. Dette resulterer i økende belastninger på det eksisterende avløpssystemet. Kapasiteten på avløpsnettene er mange steder overbelastet og er ikke i stand til å håndtere overvannsmengder under styrtregn. Lokal overvannsdiskonering eller LOD-tiltak nevnes da ofte som et alternativ til tradisjonell overvannshåndtering slik at skadepotensialet ved overvann reduseres.

Den nye systemtenkningen baserer seg på å håndtere overvannet så nær kilden som mulig. Tiltakene har som mål å hindre overvannet renne raskt og direkte til avløpsnettene eller resipienten.

"Treleddsstrategien" presenteres som et grunnleggende prinsipp innen lokal overvannsdiskonering. Strategien bygger på å fange opp og infiltrere mindre nedbørmengder, forsinke og fordrøye større nedbørmengder og sikre trygge flomveger ved ekstrem nedbør. Infiltrasjon og fordrøynings er hovedelementene i lokal overvannshåndtering.

Aktuelle LOD-tiltak som beskrives mer detaljert i denne oppgaven er: Grønne tak, regnbed, lukkede/åpne fordrøyningsmagasiner og permeable dekker. Det gis en forklaring på hvordan tiltakene håndterer overvannet og virkningen, den flomdempende effekten vurderes. Tilslutt vurderes kost/effekt ved bruk av lokale overvannsløsninger.

Alle publikasjoner som er studert viser at lokale overvannsløsninger påvirker avrenningen. Implementering av LOD-tiltak reduserer det totale avrenningsvolumet, forsinkes avrenningen og reduserer flomtopper som forårsaker skader.

Abstract

Changing climatic conditions and greater urbanization are resulting in increased flood damages in urban areas. Extreme rainfall events have become more frequent and more powerful. Increasing development of impervious surfaces prevent infiltration to the ground. The natural dampening of stormwater flows is reduced. This results in increasing strains on the existing drainage system. The capacity of the sewer system are many places overloaded and are not able to handle stormwater quantities under torrential rains. Sustainable Urban Drainage Systems or SUDS are looked upon as an alternative to traditional stormwater management, so that the potential harm of stormwater may be reduced.

The new system of thinking is based on managing the water as close to the source as possible. They aim is to prevent excessive water to run quickly and directly to the sewer system or the recipient. "Treleddsstrategien" is presented as a basic principle of local stormwater disposal. The strategy is based on capturing and to infiltrate more rainfall, delaying and store greater rainfall and to ensure safe flood ways for heavy precipitation.

Actual SUDS installations are described in more detail in this paper. They are: Green roofs, rain gardens, detention ponds and permeable pavement. It is given an explanation of how measures handles the stormwater and the impact, the flood control effect is considered. Finally, cost/effect of SUDS is described.

All publications that have been studied show that local stormwater solutions are effectively affecting maximum runoff. Implementing of SUDS reduces runoff volume, delay runoff and reduce peak flows that otherwise might be causing damage.

Figur og tabeller uten kildehenvisning er laget selv

Figurliste

Figur 1.1: Det hydrologiske kretsløpet (USGS).....	13
Figur 1.2: Hydrologiske "tapsledd" som ikke bidrar til overflateavrenning.....	14
Figur 1.3: Infiltrasjonsevne som funksjon av tid (Bøyum et al. 1997).....	15
Figur 1.4: Avløpssystemer (Fredrikstad kommune, 2007).....	16
Figur 1.5: Avrenning før og etter utbygning (SINTEF byggforsk, 2012).....	18
Figur 1.6: Kjelleroversvømmelser (Lindholm et al. 2008b).....	19
Figur 1.7: Gate i København etter skybruddet (Vejen, 2012).....	20
Figur 1.8: Gate i Mjøndalen etter ekstremværet "Frida" (Nedre Eiker kommune, 2013).....	20
Figur 1.9: Midlere årsnedbør i mm for referanseperioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al. 2015)....	21
Figur 1.10: Kraftig nedbør. Verdi for ett-døgns nedbør i mm som i gjennomsnitt forekommer 1-2 ganger per år i referanseperioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al. 2015).....	22
Figur 1.11: IVF-kurve for Oslo-Blindern for perioden 1968-2014 (Klimaservice.no).....	23
Figur 1.12: Dimensjonerende gjentakintervall (Lindholm et al. 2008).....	23
Figur 1.13: En-times nedbør i mm med 5-års gjentakinterall for perioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al. 2015).....	24
Figur 1.14: Utvikling av korttidsnedbør for målestasjon Oslo-Blindern i perioden 1968-2014 (Hanssen-Bauer et al. 2015).....	25
Figur 1.15: Forholdet mellom nåværende og fremtidig gjentakintervall for ekstreme regn (Grum et al. 2006).....	27
Figur 1.16: Analyse av endringer i regnintensitet og flom i fire byer i UK (Farrer, 2005).....	28
Figur 1.17: Simulert flomrisiko i en bydel i UK (Farrer, 2005).....	29
Figur 1.18: Omdanning av nedbør til avrenning (Ødegaard, 2014).....	30
Figur 2.1: Treleddsstrategi, en grunnleggende prinsipp for overvannshåndtering (Lindholm et al. 2008).....	33
Figur 2.2: Hydraulisk ledningsevne oppgitt i m/s for noen jordtyper (VA-miljøblad nr.92, 2009).....	37
Figur 2.3: Sammenligning av et tett asfaltdekke og et permeabelt dekke (Interpave, 2010).....	38

Figur 2.4: Ulike prinsipper for oppbygning av permeable dekker av belegningsstein i betong (Myhr & Lippestad, 2016).....	39
Figur 2.5: Oppbygning av regnbed (Skisse laget av E.Steberg og K.Paus).....	40
Figur 2.6: Avrenning med og uten fordrøyning (Myhr, 2013).....	41
Figur 2.7: Bestemmelse av nødvendig magasinivolum (Reiersen, u.å).....	42
Figur 2.8: Prinsippskisse rørmagasiner (VA-miljøblad nr.104, 2012).....	43
Figur 2.9: Fordrøyningsmagasin som kombinerer lukket og åpen fordrøyning. Øvrevoll galoppbane i Bærum (Reiersen, u.å).....	44
Figur 2.10: Prinsippskisse kassetmagasiner (VA-miljøblad nr.104, 2012).....	44
Figur 2.11: Prinsippskisse våt fordrøyningsdam (Cowi, 2013).....	45
Figur 2.12: Prinsippskisse tørr fordrøyningsdam (Cowi, 2013).....	46
Figur 2.13: Tørr damanlegg i Roskilde med formål som både fordrøyningsareal og flomveg (Cowi, 2013).....	46
Figur 2.14: Ekstensive grønne tak (Noreng et al. 2012).....	47
Figur 2.15: Intensive grønne tak (Noreng et al. 2012).....	48
Figur 2.16: Semi-intensive grønne tak (Noreng et al. 2012).....	48
Figur 2.17: Oppbygning av grønne tak (Noreng et al. 2012).....	49
Figur 2.18: Gresskledde vannveger fra Urridaholt, Island (Leland, 2013).....	52
Figur 2.19: Gresskledd vannveg fra Augustenborg, Malmø (Leland, 2013).....	52
Figur 2.20: Utforming av tverrsnittet for gresskledde vannveger (Leland, 2013).....	53
Figur 2.21: Augustenborg botaniske takage (Scandinavian Green Roof Institute).....	55
Figur 2.22: Fordrøyning i åpne kanaler og dammer i Augustenborg (Klimatanpassningsportalen).....	55
Figur 2.23: Åpne renner som fører overvannet til fordrøyningsdammen (Oslo kommune, 2013).....	56
Figur 2.24: Vått fordrøyningsdam (Oslo kommune, 2013).....	56
Figur 2.25: Åpne renner (Oslo kommune, 2013).....	57
Figur 2.26: Sedumtak (Oslo kommune, 2013).....	57
Figur 2.27: Oversikt over løsninger og transportsystemet for overvann i Nansenparken (Kommunalteknikk nr.5, 2010).....	58

Figur 3.1: Flomdempning med LOD-tiltak.....	59
Figur 3.2: Oversikt over LOD-feltet (Hood et al. 2006).....	60
Figur 3.3: Reduksjon og forsinkelse av flomtappen under en regnhendelse på 11,2 mm (Hood et al. 2006).....	62
Figur 3.4: Hydrologiske prosesser på grønne tak (Stovin et al. 2007).....	64
Figur 3.5: Grønne tak holder tilbake nedbør, samtidig som det forsinker og reduserer avrenningstappen (Noreng et al. 2012).....	65
Figur 3.6: Målt tilbakeholdning av nedbør i perioden april 2003-juni 2004 (Hathaway et al. 2008).....	66
Figur 3.7: Reduksjon av avrenningsintensiteten 7.april 2003 (Hathaway et al. 2008).....	67
Figur 3.8: Oppbygning av ekstensive grønne tak med drenering, GT1 og kun filtmatte, GT2 (Braskerud, 2014).....	69
Figur 3.9: De grønne takene ga en betydelig reduksjon i avrenningen etter styrtregnet i 2009. Det intense regnet på 16,3 mm på 10 minutter ble fordrøyd av de grønne takene i 2014 (Braskerud, 2014).....	70
Figur 3.10: Hydrologiske prosesser i regnbed (Saksæther & Kihlgren, 2012. Laget av Kim H. Paus).....	71
Figur 3.11: Oppbygning av pilot-regnbedene i Norge (Braskerud et al. 2013c).....	73
Figur 3.12: Grafisk beskrivelse av forsinkelstid og flomtappreduksjon i regnbed (Braskerud et al. 2012).....	74
Figur 4.1: Fremgangsmåte for beregning av kost/effekt-tall (Magnussen et al. 2015).....	78

Tabelliste

Tabell 1.1: Beregnet endring i antall dager med kraftig nedbør (Hanssen-Bauer et al. 2015).....	26
Tabell 1.2: Beregnet endring i nedbørintensitet for kraftig nedbør (Hanssen-Bauer et al. 2015).....	26
Tabell 1.3: Avrenningskoeffisienter for noen flater (Lindholm et al. 2008c).....	30
Tabel 2.1: Oversikt over noen LOD-tiltak.....	33-36
Tabell 3.1: Avrenning fra LOD-feltet sammenlignet med det tradisjonelle feltet (Hood et al. 2006)...	61
Tabell 3.2: Håndtering av avrenning fra ekstremregn (Lindholm, 2016).....	63
Tabell 3.3: Oversikt over pilot-regnbedene i Norge (Braskerud et al. 2013c).....	73
Tabell 3.4: Avrenning under simulering med kunstig nedbør (Braskerud et al. 2012).....	75
Tabell 4.1: Forventede tiltakskostnader og levetider for LOD-tiltak (Magnussen et al. 2015).....	78
Tabell 4.2: Tiltakenes effekt, håndtert overvannsmengde (Magnussen et al. 2015).....	79
Tabell 4.3: Kost/effekt-tall for LOD-tiltak (Magnussen et al. 2015).....	81
Tabell 5.1: Resultater fra litteraturstudium.....	82

Formelliste

Formel 1.1: Forenklet vannbalanse [$P = Q + E$]

Formel 1.2: Vannbalanse med magasineringsledd [$P = Q + E \pm \Delta M$]

Formel 1.3: Overflateavrenning [$Q = N - F - \text{Int.} - \text{Inf.} - G$]

Formel 1.4: Den rasjonelle formel [$Q = \phi * i * A$]

Formel 2.1: Tilløpsvolum [$V_{\text{inn}} = i_{z,\text{tr}} * t_r * \varphi$]

Formel 2.2: Utløpsvolum [$V_{\text{ut}} = Q_{\text{ut}} * t_r$]

Formel 2.3: Nødvendig fordrøyningsvolum etter regnenvelopemetoden [$V_{\text{fordrøyning}} = V_{\text{inn}} - V_{\text{ut}}$]

Innledning

Bakgrunn og formål

Overvannshåndtering har tradisjoneltvis vært basert på transport i rørsystemer frem til nærmeste resipient. Flom i urbane områder forårsaket av overvann har i de senere årene økt. Urbanisering og klimaendringer nevnes blant viktige argumenter for hyppige oversvømmelseskader. I tillegg til utfordringer med fortetting og endrede klimatiske forhold, tyder mye på et forfallende ledningssystem som ikke klarer å holde tritt med dagens krav. Lokal overvannsdiskonering eller LOD-tiltak er en samlebetegnelse for ulike tiltak som skal kompensere for konvensjonell overvannshåndtering. Tankegangen med lokale overvannsløsninger er å håndtere vannet nær kilden og hindre at overvann ledes raskt og direkte til ledningsnett eller resipient.

Målet med denne oppgaven er å sammenligne aktuelle LOD-tiltak. Funksjon og virkning av ulike tiltak beskrives og analyseres. Funksjonen forklarer hvordan overvannet håndteres. Med virkning menes den flomdempende effekten som utgjør en sentral del i oppgaven.

Metode og avgrensninger

Opgaven baserer seg på litteraturstudium. Da det finnes et bredt spekter av ulike tiltak, ble omfanget avgrenset med å beskrive tiltak som er mest aktuelt. Forurensninger i overvann og renseseffekten i ulike LOD-tiltak er ikke medtatt i denne oppgaven.

Oppbygning

Innholdet er strukturert etter fire deler:

- Kapittel 1 gir en kort forklaring på det hydrologiske kretsløpet og hydrologiske prosesser som involveres ved generering av overvann. Videre diskuteres årsaken til økte oversvømmelseskader. Urbanisering, klimaendringer og status på ledningsnett er sentrale temaer.
- Kapittel 2 omhandler beskrivelse av ulike LOD-tiltak. Treleddsstrategien som er en grunnleggende prinsipp innen lokal overvannsdiskonering defineres. Noen valgte case-studier beskrives.
- Kapittel 3 inneholder analysedelen med hensyn til den flomdempende effekten. Målet med dette kapitlet er å kvantifisere om LOD-tiltak påvirker avrenningen fra urbane områder. Virkningen vurderes ut i fra norske og internasjonale erfaringer. Innholdet i kapitlet er hovedsakelig relatert til grønne tak og regnbed.
- Kapittel 4 diskuterer kost/nytte med LOD-tiltak. Kostnader for å håndtere per mengde overvann identifiseres.

Begrepsforklaring

I denne oppgaven er følgende definisjoner lagt til grunn:

BEGREP	FORKLARING
Avløpssystem	Anlegg som transporterer overvann og spillvann. I et separatsystem ledes overvann og spillvann i hver sine ledninger, mens i et fellessystem fraktes både spillvann og overvann i samme ledning.
Avrenning	Den delen av nedbør som ikke infiltreres til grunnen eller fordamper, men renner av på overflatene til tette flater. Kalles også for overflateavrenning.
Avrenningintensitet	Avrenning per tidsenhet.
Avrenningstopp	Maksimal avrenningintensitet under en regnhendelse.
Flom	Vannføring som overstiger kapasiteten av avløpssystemet (separatsystem eller fellessystem) og fører til oversvømmelse.
Flomtopp	For høy vannføring under en regnhendelse.
LOD-tiltak	Lokal overvannsdiskonponering. Tiltak som har til formål å hindre at overvann ledes raskt og direkte til resipienten.
Nedbørfelt/Nedslagsfelt	Et avgrenset område der all vann som faller innenfor feltet drenerer tilslutt det laveste punktet i terrenget.
Nedbørintensitet	Nedbørmengde per tidsenhet.
Overvann	Vann som oppstår som følge av regn og snøsmelting og renner av på overflaten.
Oversvømmelse	Midlertidig vann på areal som normalt er tørt.
Resipient	Mottaker av overvann. Vannkilder som innsjø, elv eller bekk.
Tette flater	Ugjennomtrengelige/impermeable flater som hindrer infiltrasjon til grunnen.

Innholdsfortegnelse

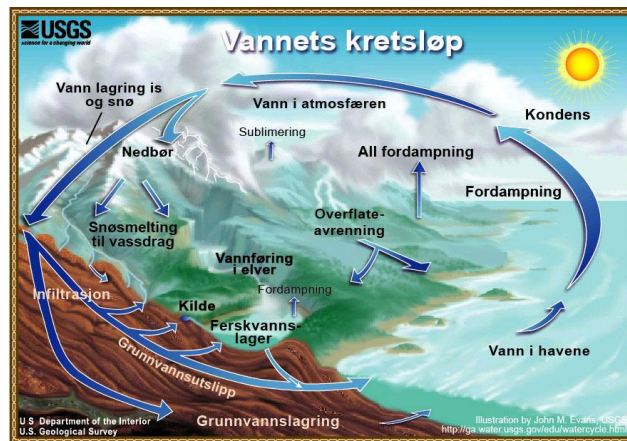
FORORD	1
SAMMENDRAG	3
ABSTRACT	4
FIGURLISTE	5
TABELLISTE	8
FORMELLISTE	8
INNLEDNING	9
BAKGRUNN OG FORMÅL	9
METODE OG AVGRENSNINGER	9
OPPBYGNING	9
BEGREPSFORKLARING	10
1 BAKGRUNN	13
1.1 HYDROLOGI	13
1.1.1 KONVERTERING AV NEDBØR TIL OVERVANN	14
1.2 TRADISJONELL OVERVANNSHÅNDTERING OG LOD(LOKAL OVERVANNSDISPONERING)	16
1.3 URBANISERINGENS VIRKNING PÅ OVERFLATEAVRENNING	17
1.4 KLIMAENDRINGER OG ØKTE OVERSVØMMELSESSKADER	19
1.5 KLIMASCENARIER FOR NORGE	21
1.5.1 NEDBØR I DAGENS NORGE	21
1.5.2 NEDBØR I FRAMTIDENS NORGE	25
1.5.3 FREMTIDIG HAVNIVÅ I NORGE	26
1.6 EFFEKTE AV KLIMAENDRINGER PÅ AVLØPSSYSTEMER	27
1.7 OVERVANNSBREGNINGER I URBANE OMRÅDER	30
2 LOD-TILTAK	32
2.1 TRELEDDSTRATEGI OG TILTAKSLISTE FOR OVERVANNSLØSNINGER	32
2.2 INFILTRASJON	37
2.2.1 INFILTRASJONSFLATER-DEKKER	37
2.2.2 REGNBED	40
2.3 FORDRØYNING	41
2.3.1 LUKKEDE MAGASINER	43
2.3.2 ÅPNE MAGASINER: DAMMER	45
2.3.3 GRØNNE TAK	47
2.4 TRYGGE FLOMVEGER	51
2.4.1 GATELEGEME SOM FLOMVEG	51
2.4.2 ÅPNE BEKKER	52
2.4.3 GRESSKLEDDE VANNVEGER	52
2.5 CASE-STUDIER	54
2.5.1 AUGUSTENBORG, MALMØ	54

2.5.2	BJØLSEN STUDENTBY, OSLO	56
2.5.3	PILESTREDET PARK, OSLO	57
2.5.4	NANSEN PARKEN, FORNEBU	58
3	FLOMDEMPENDE EFFEKTEK AV LOD-TILTAK	59
3.1	LOD GENERELT	60
3.1.1	BOLIGFELT I USA	60
3.1.2	AUGUSTENBORG, MALMØ	63
3.1.3	METODER FOR Å HÅNDTERE AVRENNING FRA EKSTREMREGN OG EFFEKTEK	63
3.2	GRØNNE TAK	64
3.2.1	TYSKE STUDIER	65
3.2.2	AMERIKANSKE STUDIER	66
3.2.3	ENGELSKE STUDIER	68
3.2.4	NORSKE STUDIER	69
3.3	REGNBED	71
3.3.1	AMERIKANSKE STUDIER	72
3.3.2	NORSKE STUDIER	73
4	NYTTE-KOSTNADSANALYSE AV LOD-TILTAK	77
4.1	SAMFUNNSØKONOMISKE ANALYSER	77
4.2	NYTTE-KOSTNADSANALYSE	77
4.3	NYTTE OG KOSTNADER MED LOD-TILTAK	77
5	RESULTATER	82
6	DISKUSJON	83
7	KONKLUSJON	84
8	LITTERATURLISTE	85

1 BAKGRUNN

1.1 Hydrologi

Hydrologi defineres som læren om vann på jorden. I det hydrologiske kretsløpet er vann i en kontinuerlig bevegelse og veksler form mellom å være i flytende-, gass- og fast form. Figur 1.1 viser vannets sirkulasjon i kretsløpet. Oppvarming av havvannet og jordoverflaten fører til fordampning som omdannes til nedbør. En del av nedbøren faller tilbake direkte til havet eller på land, mens noe trenger ned til grunnen via markvannssonen og perkolerer videre til grunnvannssonen. Markvannssonen defineres som umettede delen over grunnvannspeilet, mens med grunnvannssonen menes den mettede sonen under grunnvannsspeilet (Ødegaard, 2014).



Figur 1.1: Det hydrologiske kretsløpet (USGS)

En forenklet modell av vannbalansen forklares med at nedbør (P) som faller enten fordamper (E) eller gir avrenning (Q). Denne formuleringen gjelder for målinger gjort over lang tid [1.1]. I korte perioder tas med endringer i magasinering av vann i nedslagsfeltet [1.2]. Magasineringleddet, ΔM består blant annet av snø-, overflate-, markvanns- og grunnvannsmagasinet. Snømagasinet har en viktig rolle i Norges hydrologi. Snømengder som akkumuleres gjennom vinteren smelter om våren og gir avrenning som kan bidra til vårfloppen.

$$P = Q + E \quad [1.1]$$

$$P = Q + E \pm \Delta M \quad [1.2]$$

Landets gjennomsnittlige vannbalanse for normalperioden 1970-2000 er følgende (Hansens-Bauer et al. 2015):

$$P = \text{Nedbør: } 1600 \text{ mm/år}$$

$$Q = \text{Avrenning: } 1100 \text{ mm/år}$$

$$E = \text{Evapotranspirasjon: } 500 \text{ mm/år}$$

Nedbør defineres som regn, sludd eller snø og er avhengig av lufttemperaturen (Ødegaard, 2014). Nedbørmengden beskrives vanligvis med enheten mm.

Med avrenning menes den totale vannmengden som renner ut av et område. Dette kan skje enten som overflateavrenning eller grunnvannsavrenning (Beldring et al. 2002).

Fordampning beskriver prosessen der vann i fast eller flytende form omformes til gassform. Evapotranspirasjon er et samlebegrep som benyttes for summen av evaporasjon og transpirasjon. Evaporasjon står for fordampning fra jord- og vannoverflate, mens transpirasjon uttrykker fordampning fra planter.

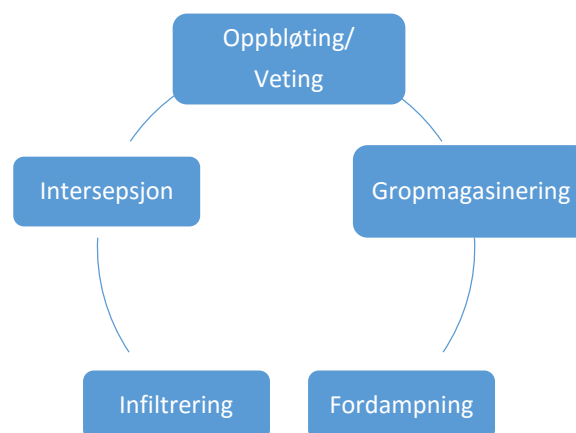
Norge karakteriseres som et land med mye nedbør. Forklaringen ligger i landets geografiske posisjon og globale luftstrømmer (Friborg, 2013). Tallene i vannbalansen viser at en stor del av nedbøren går til avrenning, mens en mindre del fordampes. Det er store regionale variasjoner over landet i alle komponentene. Dette henger sammen med topografi, nedbørforhold og klima. Områder langs kysten i vest-og Nord-Norge får de største nedbørsmengdene, mens det avtar østover og også nordover på Østlandet. Stedlige variasjoner i nedbør gjelder ikke kun mengden, men også fordelingen over året. For Vestlandet og Nord-Norge opptrer store nedbørsmengder om høsten og om tidlig på vinteren, mens største nedbørsmengder faller i juli og august på Østlandet og indre strøk av Finnmark.

Det viser seg at variasjonen i avrenningen i Norge er stort sett som nedbøren. Nedbør eller snøsmelting samt en kombinasjon av de to betyr mest for avrenningen. Det er vanlig å karakterisere flommene i Norge etter tre kategorier. Vårflommen, regnflommen eller kombinasjon av regn-og smelteflom. Vårflommen har sitt opphav i snøsmeltingen og er karakteristisk for indre og høyereliggende områder med stabile snømengder. Rene regnflommer er dominerende utover sommeren og høsten. Områder langs kysten opplever ofte de største flommene om vinteren som kalles for regn- smelteflom. Begrunnelsen ligger i en veksling mellom snø og regn gjennom hele vinteren. Den sist nevnte flomtypen har stor betydning for dimensjonering av avløpssystemer i norske byer da 80 % av landets tettbefolkning bor i disse områdene (Tollan, u.å).

I motsetning til nedbør og avrenning er fordampningen moderat gjennom hele året som følge av lav lufttemperatur. Områder med størst nedbør har lavest fordampning, mens ca. halvparten av regnet på Østlandet fordampes (Beldring et al. 2002).

1.1.1 Konvertering av nedbør til overvann

Overflateavrenningen beskriver vannets bevegelse på jordoverflaten mot en resipient (Ødegaard, 2014). Det er knyttet til prosesser som skjer i det hydrologiske kretsløpet. Ved å studere prosessene nærmere gir det forklaring på hvordan nedbør omformes til overvann (figur 1.2).



Figur 1.2: Hydrologiske "tapsledd" som ikke bidrar til overflateavrenning

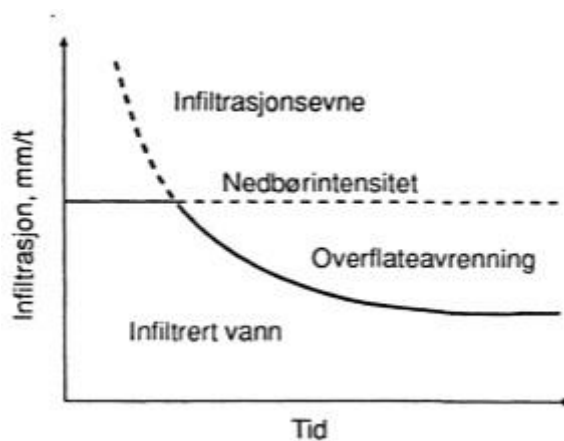
Når det regner vil noe av vannet gå til å fukte opp jordoverflaten. Dette er det samme som oppløting eller veting. Når jorda mettes med vann vil groper på overflaten magasinere noe av nedbøren, mens noe fordampes. En del av regnet vil infiltrere til grunnen og noe når aldri bakken, men blir hengende i gjenstander som hustak og trær. Det siste kalles for intersepsjon. Hvor mye av nedbøren dette magasinleddet kan holde tilbake er avhengig av type og mengde vegetasjon. Typiske tall ligger mellom 0,5-2,5 mm som tilsvarer 0,5-2,5 liter/m². Selvom det høres ut som små mengder vil det bidra til å redusere nedbørsmengden som omformes til avrenning. I felt med kraftig vegetasjon og stor fordampning kan halvparten av den totale nedbørsmengden holdes tilbake av dette tapsleddet (Bøyum et al. 1997).

Det som kalles for gropmagasinerer er vann som samles i små sprekker og groper på overflaten. Vann i dette magasinet bidrar ikke til overflateavrenning, men fordampes eller infiltrerer til grunnen senere i tid. Magasineringsvevnen er avhengig av overflatetypen og helningen. Norsk vann rapport nr.193-2012 oppgir følgende tall for gropmagasinerer under en gitt regnhendelse:

Tette flater: 0,5 - 2 mm Flate tak: 2,5 - 7,5 mm Hager: ca.10 mm
--

Overflatens karakter er en bestemmende faktor på hvor mye av regnet infiltreres ned til grunnen og hvor mye konverteres til overvann. Med andre ord har infiltrasjonsprosessen en stor betydning for generering av overflateavrenning i urbane områder. Når grunnens infiltrasjonsevne reduseres, vil overflateavrenningen øke (Bøyum et al. 1997).

Infiltrasjonskapasiteten er varierende for forskjellige jordarter og henger sammen med blant annet vegetasjon, struktur og sammenpakning, vanninnholdet i markvannsonen og årstider. Vanninnholdet i markvannsonen er en nøkkelparameter med tanke på hvor mye av regnet bidrar til avrenning. Figur 1.3 viser hvordan infiltrasjonen endrer seg med tiden under konstant nedbørintensitet. Infiltrasjonsevnen er størst når jorda er i tørr tilstand. Da har markvannsonen stor kapasitet til å infiltrere mye av nedbøren. Med økende fuktighet av jorda vil infiltrasjonsevnen reduseres. Jordlagets infiltrasjonskapasitet utnyttes for fullt til slutt og infiltrasjonsevnen instiller seg til å være konstant.



Figur 1.3: Infiltrasjonsevne som funksjon av tid (Bøyum et al. 1997)

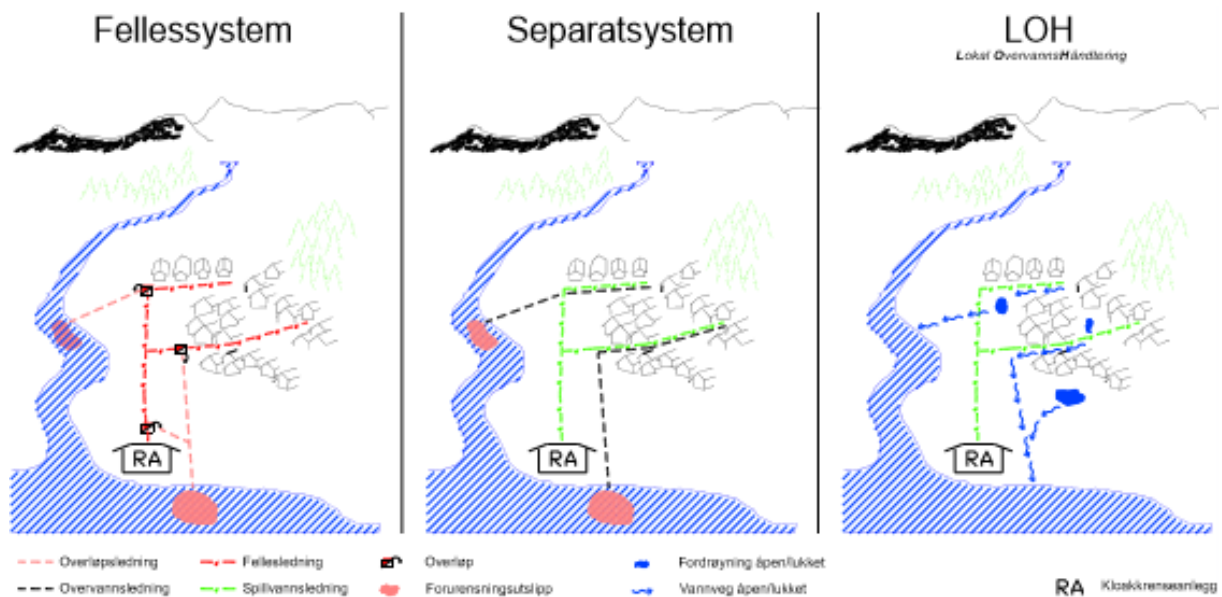
Overvann er den delen av regnet som renner av på overflaten etter at alle nevnte ledd i hydrologiske kretsløpet fratrekkes. Overflateavrenningen, Q blir da (Ødegaard, 2014):

$$Q = N - F - \text{Int.} - \text{Inf.} - G \quad [1.3]$$

$N = \text{Nedbør}$
 $F = \text{Fordampning}$
 $\text{Int.} = \text{Intersepsjon}$
 $\text{Inf.} = \text{Infiltrasjon}$
 $G = \text{Gropmagasinering}$

1.2 Tradisjonell overvannshåndtering og LOD(Lokal OvervannsDisponering)

Den tradisjonelle løsningen for overvannshåndtering har vært å lede overvannet til nærmeste resipient som bekk, elv eller sjø via ledningsnett. Det kommunale transportsystemet for avløp deles vanligvis inn i to hovedgrupper, separatsystem og fellessystem. Fellessystem er det gamle systemet der både spillvann, drensvann fra bygninger og overvann ledes til samme ledning, mens separatsystem frakter spillvann og overvann i hver sine ledninger. Nyeste tall fra Statistikk Sentralbyrå viser at det eksisterer totalt 53 000 km kommunale avløpsledninger i Norge. Av dette er 7500 km fellesledninger og 29 000 km separate spillvannsledninger. Overvannsledninger som tilhører separatsystemet utgjør 16 500 km. Private stikkledninger kommer i tillegg.



Figur 1.4; Avløpssystemer (Fredrikstad kommune, 2007)

Avløpssystemenes oppbygning er illustrert i figur 1.4. Fellessystemet frakter både kloakk, drens-og overvann til renseanlegg i en og samme ledning. Det er vanlig med regnvannsoverløp i dette avløpssystemet. Overløpet trer i kraft under kraftig regnvær og avlaster overvann. Det avlastede vannet renner da ut til resipienten. I figuren markeres det som et forurensningsutslipp da dette vannet er en blanding av urensset kloakk, drens-og overvann.

Separatsystemet er et 2-rørs system der kloakk ledes til spillvannsledninger og drens-og overvann ledes til overvannsledninger. Spillvannet føres til renseanlegg mens drens-og overvann ledes direkte til nærmeste resipient. Med denne løsningen blir renseanlegg mindre belastet.

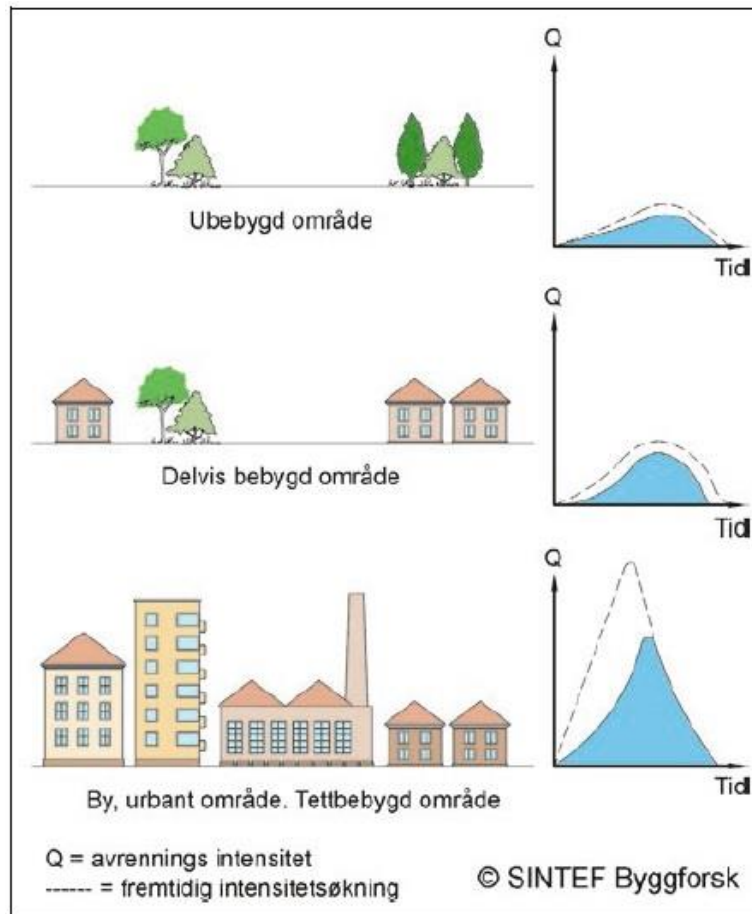
LOH står for lokal overvannshåndtering. I norsk litteratur brukes begrepene LOH og LOD om hverandre og betyr egentlig det samme. Dette er en fellesbetegnelse på tiltak som har til formål å forsinke overvannsmengder som renner til ledningsnett eller resipienter. Fokus på åpne overvannsløsninger har økt i de siste årene både nasjonalt og internasjonalt. Den nye systemtenkningen har sitt opphav i betydelig økning i overflateavrenning som følge av urbanisering og klimaendringer. Samtidig er det idag en økende bevissthet på at overvann bør oppfattes som en ressurs og ikke et problem (Fredrikstad kommune, 2007).

Tilstanden på det kommunale avløpsnettet er blant temaer som er evaluert av Rådgivende Ingeniørenes Forening (RIF, 2015). Rapporten "State of the nation" konkluderer med en tilstandskarakter 2 av 5 som er det beste. Dette indikerer et system som er i dårlig stand. Sammenlignet med den tidligere rapporten som er offentliggjort i 2010 er det ikke noe endring på avløpssystemets karakter. Det er dårlig kapasitet i transportsystemet og kvaliteten på ledninger er varierende. Omtrent en fjerdedel av ledningsnettet er lagt før 1970 og er ikke i stand til å opprettholde dagens krav. Ledningsfornyelsen er lav i henhold til det som kreves for å redusere skadeomfanget som dårlig ledningsnett medfører. Statistikk sentralbyrå oppgir at gjennomsnittlig fornyelstakt av kommunale spillvannsledninger var 0,62 % i 2014. Med dagens tempo vil det ta 160 år å fornye hele spillvannsnettet. Mye tyder på at tradisjonelt avløpshåndtering i Norge er svak til å takle dagens og fremtidens utfordringer med klimaendringer og fortetting av byer.

1.3 Urbaniseringens virkning på overflateavrenning

Det er en økende trend at byene fortettes både i Norge og en stor del av verden. Urbanisering er fellesbetegnelsen for dette fenomenet. I følge Statistikk Sentralbyrå har antall bosatte i tettsteder i Norge økt med 1,4 % i 2014. Det viser seg at veksten i de fem største tettstedene som Oslo, Bergen, Stavanger/Sandnes, Trondheim og Drammen fortsetter og vokse. Samtidig har redusert vekst i tettstedsarealet ført til økt fortetting. I henhold til nyeste tall fra 2015 består 80 % av tetthetstedene av bebygde områder. Halvparten av bebygde områder er brukt til boligarealer mens 15 % er benyttet til vegformål. Befolkningsvekst i byer og tettsteder vil ofte sette press på grønstrukturen. Undersøkelser viser at omkring 20 % av landets grøntarealer er lagt ned i perioden 1994-2006 (NOU 2015: 16).

En negativ effekt av fortetting er at større arealer får faste dekker. Som kjent vil dette medføre økt overflateavrenning. Tette flater som tak og asfalterte arealer er mindre gjennomtrengelige sammenlignet med "urørt natur". Dette hindrer infiltrasjon av nedbør og gir større og raskere overflateavrenning. I motsetning, vil naturlig terreng og grønne lunger som parker og hager redusere avrenningen. Dette er illustrert i figur 1.5.



Figur 1.5: Avrenning før og etter utbygging (SINTEF byggforsk, 2012)

For skogområder kan det regnes med at omkring 20 % av nedbøren genereres til overvann, mens for sterkt urbaniserte områder øker andelen overflateavrenning helt opptil 90 % (Eikenæs et al. 2000). Forskningsprogrammet HYDRA analyserte avrenningsmodeller for 25 tettsteder i Glommavassdraget. I følge studie resulterte økning av andel tette flater med 22 % mere avrenning. Det viste seg også en endring i avrenningsmønsteret da avrenningen ga raskere respons enn før utbygging. For områder med liten urbaniseringsgrad kommer de største avrenningstoppene i "våte sesonger" når grunnen er mettet med vann. Når andelen av tette flater øker fører det til flere flomhendelser selv ved nedbørsmengder i "tørre sesonger".

Andre studier viser også at byutvikling av tettsteder er en faktor som påvirker avrenning fra overflaten. En studie studerte permeabiliteten av overflater i byen Leipzig i perioden 1870-2003. Fra 1940 og utover ble det registrert en betydelig nedgang i gjennomtrengelige flater. Nedgangen gjaldt særlig i arealer med høy permeabilitet. Det ble kommet frem til at så mye som 75 % av nedbøren konverterte til overvann i områder med sterk urbanisering. I disse områdene utgjorde andelen av tette flater mellom 80-100 %. Studie viste også at fordampningen ble redusert med 100-150 mm/år for områder med 20-40 % tette arealer, mens for områder med veldig høy fortettningsgrad reduserte fordampningen med 450 mm/år. Det viste seg også en nedgang på jordas infiltrasjonsevne i områder med mer enn 60 % tette arealer (Haase, 2009).

Da urbanisering og utbygging medfører økning i impermeable flater, vil det endre områdets vannbalanse. Oppsummert vil dette medføre:

- Økt overflateavrenning, både i intensitet og volum.
- Redusert infiltrasjon da vannet klarer ikke å sige ned gjennom tette flater.
- Redusert fordampning som følge av redusert vegetasjon.

1.4 Klimaendringer og økte oversvømmelseskader

I dag er det ingen tvil om at klima er i endring. De siste årene ga oss et pekepinn på hvor store effektene kan bli for samfunnet. Som følge av klimaendringer øker regnintensiteter, antall timer med sterke regnskylt og antall ekstreme regnhendelser. Overbelastning av avløpssystemer vil medføre hyppigere hendelser med oversvømmelser. For ledningsanlegg oppstår oversvømmelse når vannstand stiger til terrengoverflaten eller når det oppstår tilbakeslag i kjellere (Lindholm et al. 2008).

Det norske ledningsnett er ikke dimensjonert i henhold til dagens eller fremtidens utfordringer med klima. Kilder som "State of the nation" samt statistikk viser klart at avløpsektoren er i mindre grad tilpasset dagens behov. Fremtidige prognoser av klimaendringer viser en tendens til økte kapasitetsproblemer i avløpssystem. Ledninger som frakter overvann er dimensjonert ut i fra normale regnmengder. I praksis er det kostbart å dimensjonere ledninger for ekstreme nedbørhendelser. Midlertidig overbelastning av ledningssystemet kan forventes under kraftig regnskylt eller ekstrem snøsmelting (Lindholm et al. 2008b). Allerede i dag oppstår det kjelleroversvømmelser som følge av tilbakeslag av kloakk. Denne typen av overvannsskader er mest aktuelt for fellessystemet der spillvann og overvann avledes til samme ledning.



Figur 1.6: Kjelleroversvømmelser (Lindholm et al. 2008b)

Under kraftig regnvær kan avløpsvannet i fellessystemet trenge inn i kjelleren gjennom sluk, andre avløpsinstallasjoner eller drenerør.

Statistikk fra forsikringselskaper i Norge viser at overvann forårsaker flere skader. Finansnæringens fellesorganisasjon, FNO oppgir at forsikringsselskapene utbetalte totalt 4,6 milliarder kroner i naturskader i perioden 2010-2013 og 3,3 milliarder gikk til overvann- og tilbakeslagsskader. Videre uttaler FNO: "Overvannsskader og tilbakeslagsskader, hvor vann eller kloakk utenifra strømmer inn i hus og kjellere, har økt dramatisk siste årene på grunn av ekstrem nedbør. Disse "værrelaterte" skadene utgjør nå 35 prosent av alle erstatninger knyttet til vannskader på bygninger i Norge". I henhold til Statistisk Sentralbyrå ble det i løpet 2014 registrert 340 erstatningssaker med kjelleroversvømmelser på landsbasis.

Et ekstremt eksempel på klimaeffekter er fra København 2.juni, 2011. Det falt 120-150 mm nedbør i løpet av to timer. Denne nedbørsmengden er tilsvarende det som normalt regner i løpet av to måneder. Avløpssystemet kunne ikke håndtere den ekstreme nedbørsmengden og store deler av byen ble lagt under vann. Hendelsen ble omtalt som "skybruddet i København". Med skybrudd menes nedbør mere enn 15 mm på 30 minutter. Gjentakelsesverdien for oversvømmelsen ble anslått til 100 år, dvs at hendelsen vil sannsynligvis opptre med 100-års mellomrom. Nedbørens mengde og intensitet var den største observerte siden systematiske nedbørsmålinger ble innført i 1955 (Institutt for Beredskapsbevaluering, 2012). Sum erstatningsutbetalinger ble anslått til ca.6 milliarder kroner (FNO).



Figur 1.7: Gate i København etter skybruddet 2.juli 2011 (Vejen, 2012)

Norge opplever også effektene av klimaendringer. Ekstremværet "Frida" rammet Nedre Eiker kommune i august 2012. Uofisielle målinger registrerte helt opp til 170 mm nedbør i løpet av noen timer. Nedbørstasjonen i Hakavik i Øvre Eiker registrerte 99,3 mm i løpet av døgnet. Bioforskstasjonen i Hokksund viste 97,4 mm døgnedbør og 51,8 mm av regnet falt i løpet av bare to timer. Uavhengig av årstid har ikke det Meteorologiske Instituttet tidligere registrert så store nedbørsmengder på et døgn i samme området (Nedre Eiker kommune, 2013). Konsekvensen av ekstremværet ble 1036 meldte skader og erstatningsbeløpet ble anslått til 137 millioner kroner (FNO).



Figur 1.8: Gate i Mjøndalen etter ekstremværet "Frida" (Nedre Eiker kommune, 2013)

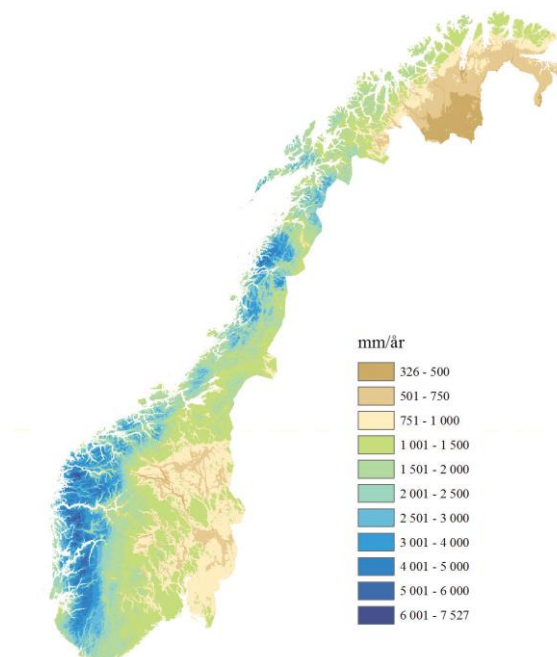
1.5 Klimascenarier for Norge

Klimaforskning indikerer mange ti-år fremover med større og mer intense nedbørsmengder over Norge. Drivkraften bak dette er økt drivhuseffekt. Klimaendringer har lenge hatt fokus både globalt og nasjonalt.

I følge RegClim, 2002 forventes det hyppigere intens nedbør mange steder i perioden 2030-2050. Med intens nedbør menes nedbørsmengder per døgn som i dagens klima overstiges kun en gang hvert år. På Vestlandet, indre deler av Trøndelag og på kysten av Troms og Finnmark forventes det mer enn doblet risiko for intens nedbør. Tilsvarende en doblet risiko beregnes om vinteren for kysten av Vest-Finnmark, Vestlandet og nordlige deler av Østlandet. RegClim, 2005 betegner klima i Norge mot 2100 varmere, våtere og noen ganger tørrere. Videre skrives det at for hele Norge vil ekstreme nedbørsmengder komme oftere. Den årlige nedbørsmengden anslås å øke med 5-20 % avhengig av regioner. Det er om høsten nedbøren øker mest. Høst-nedbøren forventes å øke med over 20 % på Vestlandet, Midt-Norge og Nord-Norge. På Østlandet forventes det en økning med 15-20 % om høst og vinter. Mens det forventes tørrere sommer med opptil 15 % mindre nedbør på Østlandet og Sørlandet. På Vestlandet vil det opptre flere døgn med nedbør over 20 mm. Økningen er tilsvarende over 20 %. I motsetning til Vestlandet vil andre landsdeler oppleve mindre økning.

1.5.1 Nedbør i dagens Norge

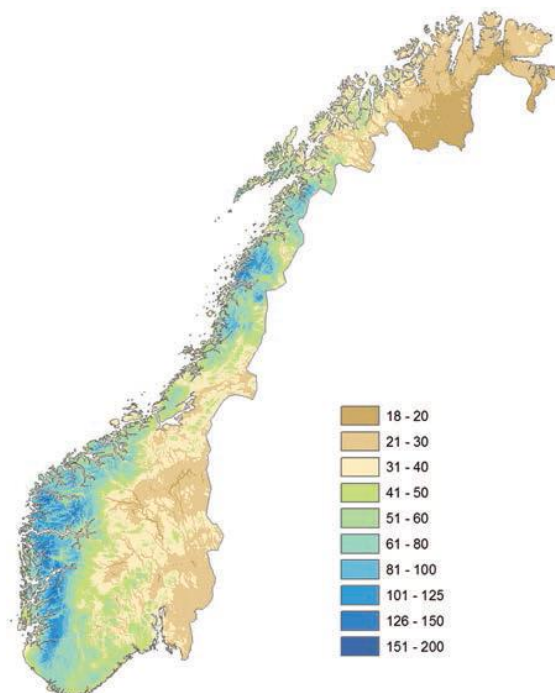
Gjennomsnittlig årlig nedbørsmengde i Norge som kalles for middelnedbøren presenteres i figuren under. Det området som får største middelnedbør er midtre strøk av Vestlandet. Gjennomsnittlig årsnedbør i denne regionen ble registrert til 3500-4000 mm i referanseperioden. Området er blant de mest nedbørrike stedene i Europa. Årsnedbøren er minst i øvre Gudbrandsdal og indre Finnmark. I henhold til perioden 1971-2000 ble årsnedbøren for landet beregnet til omtrent 1600 mm. På landsbasis har middelnedbøren økt med ca.18 % siden 1900-tallet og landsdeler i Østfold og Sør-Vest-landet merket denne økningen mest. Økningen viser seg å være størst om høsten og våren, og minst om sommeren (Hanssen-Bauer et al. 2015).



Figur 1.9: Midlere årsnedbør i mm for referanseperioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al. 2015)

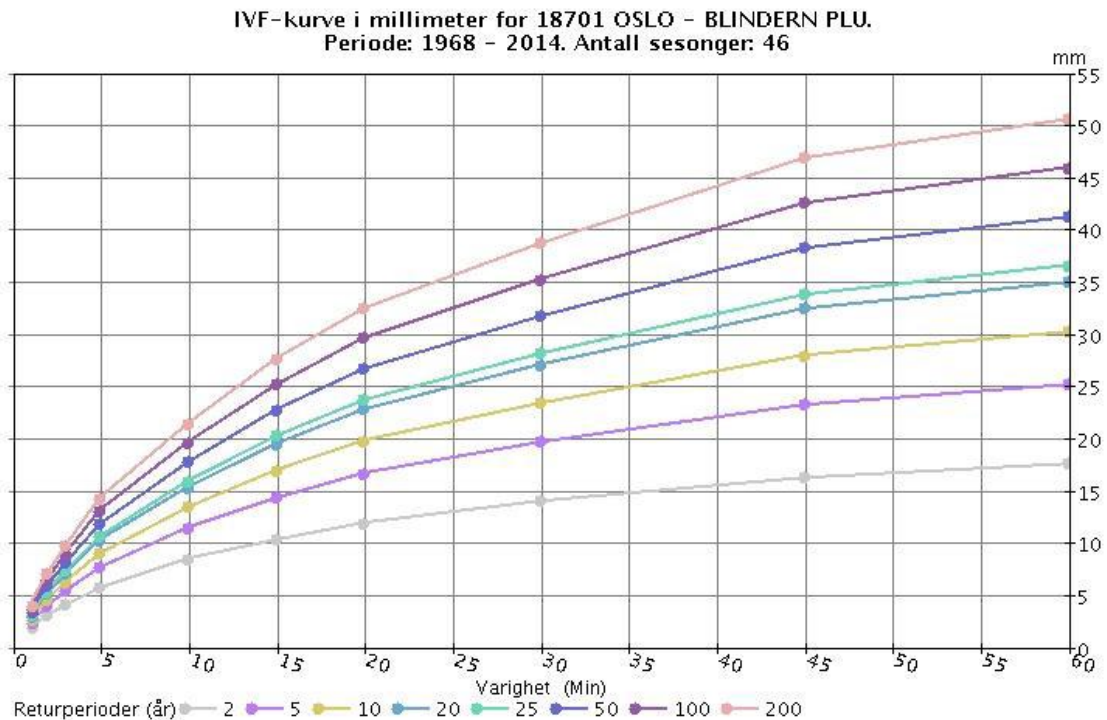
I rapporten "Klima i Norge 2100" utgitt av Miljødirektoratet i 2015, opereres det med ett-døgns nedbørverdier som overskrides i 0,5 % av tilfellene. Dette er det samme som ett-døgnsnedbør som i gjennomsnitt forekommer 1-2 ganger per år. Begrepet benyttes for å få en robust indikator på kraftig regn. I henhold til figur 1.10 registreres denne verdien til under 20 mm på Finnmarksvidda og indre dalstrøk på Østlandet, mens på de mest nedbørrike områdene på Vestlandet kommer denne verdien over 150 mm.

Det er kraftig nedbør i løpet av 1-10 timer som er årsaken til de største regnflommene i store vassdrag, mens for byer og tettbebygde strøk er det intens nedbør i løpet av noen få timer som forårsaker de fleste oversvømmelseskadene. I Norge er det store regionale variasjoner i dimensjonerende nedbørverdier. For indre strøk på Østlandet og på Finnmarksvidda opereres det med ett-døgns nedbørverdi på 40 mm med 5-års returperiode. Denne verdien er over 130 mm på Vestlandet og i Nordland. Dimensjonerende nedbørverdier registreres med såkalte «pluviometre» som er spesielle nedbørmålere og presenteres i IVF-kurver som er forkortelsen for Intensitet-Varighet-Frekvens-kurver. Disse kurvene estimerer hvilke intensiteter (mm eller l/s*ha) for ulike regnvarigheter (1 min-24 t) det kan forventes for ulike gjennomsnittlige gjentaksintervall (2-200 år). Gjentaksintervall eller returperiode som det også kalles for «er et mål på hvor ofte en verdi i gjennomsnitt overskrides i løpet av en lang tidsperiode» (NOU 2015:16).



Figur 1.10: Kraftig nedbør. Verdi for ett-døgns nedbør i mm som i gjennomsnitt forekommer 1-2 ganger per år i referanseperioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al. 2015)

Figur 1.11 er et eksempel på en IVF-kurve for stasjon 18701 Oslo-Blindern basert på perioden 1968-2014. I dette eksempelet vises nedbørverdier for 1-60 minutter. Nedbørverdier fremstilles også for 1-24 timer. Den øverste kurven representerer verdi for 200-års gjentakintervall, mens den nederste kurven er representativ for en returperiode på 2-år. En nedbørintensitet med 2-års gjentakintervall vil i gjennomsnitt forekomme en gang i løpet av en 2-årsperiode, og har 50 % sannsynlighet for å opptre hvert eneste år.



Figur 1.11: IVF-kurve for Oslo-Blindern for perioden 1968-2014 (klimaservice.no)

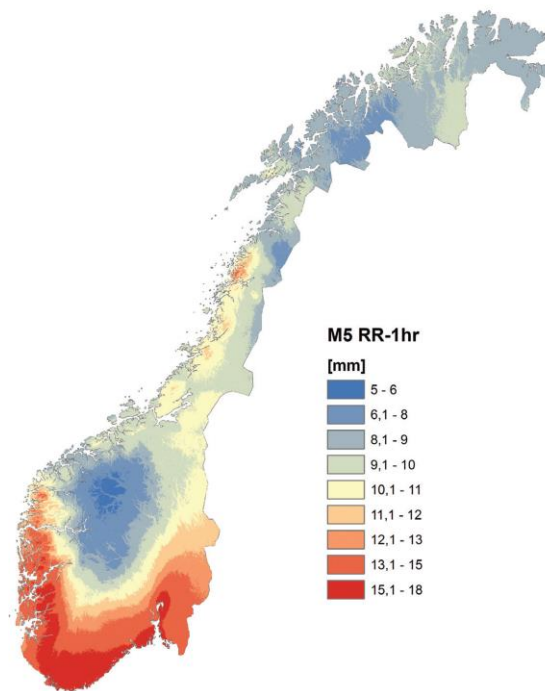
Anbefalte minimum gjentakintervall for avløpssystem vises i figur 1.12. Høyre side av tabellen brukes for å sjekke når oversvømmelseskader forekommer, mens venstre brukes for å dimensjonere systemet slik at kapasiteten blir akkurat fylt.

Dimensjonerende regnskylthypighet * (1 i løpet av "n" år)	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelseshypighet** (1 i løpet av "n" år)
1 i løpet av 5	Områder med lavt skadepotensiale	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysenter/industriområder/ forretningsstrøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 30	Undergrunnsbane/underganger/ underjordiske næringsområder	1 i løpet av 50

Figur 1.12: Dimensjonerende gjentakintervall (Lindholm et al. 2008)

For varigheter fra ett minutt til en time er det hovedsakelig områdene rundt Oslofjorden som har de største nedbørverdiene. Sørlandet har de største verdier summert over 1-6 timer, mens Vestlandet har største verdier for varigheter fra 12-timer og utover.

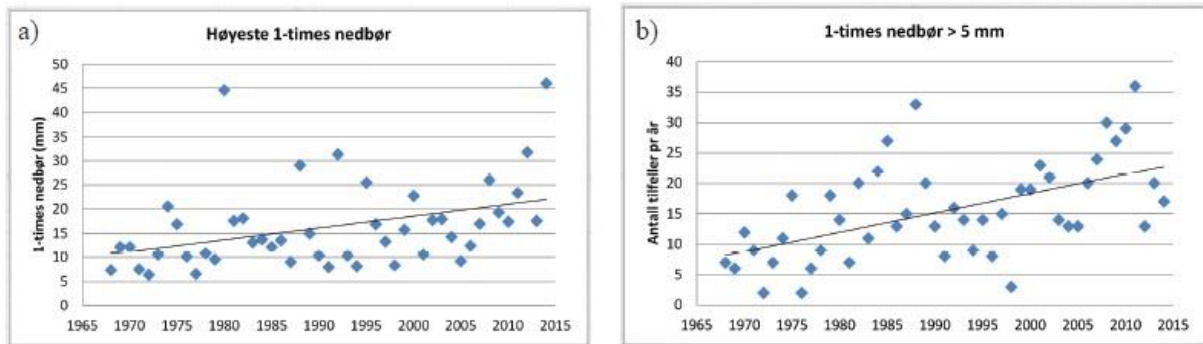
Figur 1.13 viser regionale verdier for en-times nedbør med gjentakintervall på 5 år. Områdene rundt Oslofjorden, Sørlandet og deler av Vestlandet har de høyeste verdiene, mens indre og nordlige områder har lave verdier. Verdiene i figuren er usikre da store deler av landet mangler målestasjoner som er mest representative for områdene som studeres (Hanssen-Bauer et al. 2015).



Figur 1.13: En-times nedbør i mm med 5-års gjentakintervall for perioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al. 2015)

I fleste steder i Norge i løpet av de siste 50-årene ble det registrert en økning i moderate til kraftige regnhendelser med 1, 5 og 10 døgns varighet. Nedbørregionene i vest og sørvest opplevde størst økning med 10-30 %. Det viste seg også en økning i intensiteten på de kraftigste nedbørhendelsene (InfraRisk-prosjektet, 2013).

Det er få lange målesserier for kortidsnedbør i Norge. Med korttidnedbør menes regn med varighet mindre enn eller lik 24 timer. Målestasjonen Oslo-Blindern har den lengste sammenhengende serien for korttidnedbør. Ut i fra figur 1.14 viser det seg en klar økning i årets høyeste verdi og hyppighet for en-times nedbør. Data fra andre målestasjoner støtter også denne tendensen. Historiske trender for 1, 3, 6, 12 og 24-timers nedbør ble analysert. Det ble kommet frem til at de kraftigste regnene som opptrer i løpet av 1-24 timer økte i intensitet i perioden 1961-2010. Den største økningen ble registrert for regionene i vest- og sørvest (InfraRisk-prosjektet, 2013).



Figur 1.14: Utvikling av korttidsnedbør for målestasjonen Oslo-Blindern i perioden 1968-2014 (Hanssen-Bauer et al. 2015)

(a): Årets høyeste registrerte 1-times nedbør

(b): Antall tilfeller per år med 1-times nedbør større enn 5 mm

1.5.2 Nedbør i framtidens Norge

For å kunne få en indikasjon på fremtidig klimautvikling brukes det globale klimamodeller med antakelser om hvordan menneskelig klimagassutslipp vil utvikle seg fremover. Resultater fra de globale klimamodellene er «nedskalert» slik at de kan brukes i klimaframskrivninger for forskjellige deler av Norge. Resultatene som oppgis er hentet fra "klima i Norge 2100" og det baserer seg på hovedrapporten fra FNs klimapanel (IPCC, 2013). Det er hovedsakelig tre utslippsscenarioer som nevnes i rapporten; "RCP8.5", "RCP4.5" og "RCP2.6". Det første oppgitte utslippsscenarioet innebærer at klimagassutslippene fortsetter å øke frem til slutten av 2100. RCP4.5 står for små utslippsendringer fram til 2050 og deretter utslippskutt, mens RCP2.6 representerer en betydelig reduksjon i utslipp allerede fra år 2020.

Klimaframskrivninger er usikre som følge av usikkerhet i forbindelse med fremtidig menneskelig klimagassutslipp, naturlige klimavariasjoner og klimamodellene. Derfor ble datagrunnlaget beregnet både median, høy og lav framskrivning.

Sammenlignet med referanseperioden 1971-2000 vil middelnedbøren i landet øke med omtrent 9 % ved midten av 2050 for et høyt utslippsscenario. Mot slutten av 2100 vil denne økningen nå omtrent 18 %.

Tabell 1.1 viser beregnet endring i prosent i antall dager med kraftig ett-døgns nedbør. Endringen gjelder perioden fra 1971-2000 til 2071-2100. Benyttede utslippsscenarioer er RCP4.5 og RCP8.5. Framskrivningene oppgis som median, lav og høy. En doubling av antall dager med kraftig nedbør uttrykkes med en verdi på 100 %. Med utgangspunkt i en høy utslippsscenario, RCP8.5 viser medianframskrivningen på lands- og årsbasis at antall dager med kraftig døgnsnedbør, ekstremnedbør vil øke med 89 % mot slutten av dette århundre. I henhold til en «mildere» scenarie, RCP4.5 vil denne verdien øke med 49 %. Økningen gjelder generelt alle regioner og årstider, men størst økning viser seg om vinteren. Under utslippsscenario RCP8.5 ligger høyt estimat over 100 % for alle årstider og dette er en indikasjon på mer enn fordobling av antall dager med kraftig nedbør mot slutten av 2100. Nordlige deler av landet vil oppleve de største forandringene.

Tabell 1.1: Beregnet endring i antall dager med kraftig nedbør
(Hanssen-Bauer et al. 2015)

Sesong	RCP 4.5			RCP 8.5		
	Median	Lav	Høy	Median	Lav	Høy
År	49	30	75	89	66	132
Vinter DJF	73	27	89	143	74	168
Vår MAM	65	22	94	91	62	116
Sommer JJA	59	38	90	98	76	164
Høst SON	49	38	111	111	96	155

Intensiteten, mengden til de kraftige nedbørhendelsene vil også øke i takt med hyppigheten. På lands- og årsbasis viser beregninger en intensitetsøkning med 19 % for RCP8.5 og 12 % for RCP4.5. Økningen gjelder alle landsdeler og årstider, men størst økning vil forekomme om sommeren i henhold til tabell 1.2. I Nord-Norge forventes størst forandring midlet over hele året, mens kystnære strøk som Vestlandet vil få mest betydelig forandring i absolutte verdier, altså forandring i antall mm. Østlandet og Nord-Norge vil oppleve de største endringene om vinteren, mens områder fra Trøndelag og nordover forventes største forandringer om sommeren.

Tabell 1.2: Beregnet endring i nedbørintensitet for kraftig nedbør
(Hanssen-Bauer et al. 2015)

Sesong	RCP 4.5			RCP 8.5		
	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
År	12	6	15	19	12	25
Vinter DJF	9	3	15	18	7	23
Vår MAM	13	1	19	16	9	19
Sommer JJA	14	9	20	21	15	32
Høst SON	10	7	20	20	16	25

For tettbebygde strøk er det intens korttidsnedbør som forårsaker de fleste skader. Analyser som er gjort til nå tyder på en økning mot slutten av dette århundre med ca.30 % for 3-timers nedbør med 5-års returperiode for RCP8.5 (Hanssen-Bauer et al. 2015). For å kunne ta hånd om fremtidige nedbørutvikling benyttes ofte begrepet klimafaktor der dagens dimensjonerende nedbørmengder multipliseres med et tall større enn ett. Dette er et tiltak mot klimaeffekter når nye avløpssystemer planlegges eller når eldre systemer oppgraderes.

1.5.3 Fremtidig havnivå i Norge

Klimascenarier fremskriver også en økning i havnivå frem til 2100. For områder langs kysten betyr dette økt risiko for oppstuvning i avløpet da havstigning reduserer den hydrauliske kapasiteten i avløpssystemene. Konsekvensen er igjen flere flomhendelser i byer (Lindholm et al. 2007). Framskrivninger av framtidig havnivå er oppsummert i en ny rapport "Sea Level Change in Norway" (Simpson et al. 2015). Rapporten baserer seg på den femte hovedrapporten til FNs klimapanel og klimamodellprosjektet CMIP5. Det håndteres med tre utslippsscenarier "RCP2.6", "RCP4.5" og "RCP8.5". I henhold til framskrivninger vil det meste av Norge få høyere havnivå mot slutten av 2100. På Sørlandet og Vestlandet kan havnivået langs norskekysten stige med omtrent 55 cm. I Nord-Norge kan stigningen komme opp til 30-40 cm, mens for Oslo-og Trondheimsfjorden kan havnivået øke med 15-30 cm.

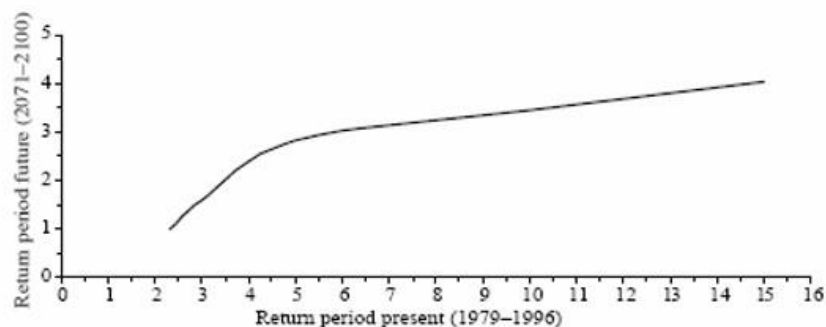
1.6 Effekten av klimaendringer på avløpssystemer

Klimaendringenes innflytelse på norske avløpssystemer er tema i noen masteroppgaver utført ved NMBU. En casestudie fra avløpsnett i Veumdalen i Fredrikstad kommune simulerte økning i antall kjellerskader med dataprogrammet MIKE URBAN. Som beregningsgrunnlag ble det lagt til grunn verst tenkelige klimasecanarier om 100 år. Det presiseres i oppgaven at 50 % økning i nåværende regnintensiteter vil resultere med 68-118 % økning i antall kjellerskader i feltet. Det viste seg at antall kjelleroversvømmelser øker eksponentielt med økt regnintensitet (Myking, 2012).

Masteroppgaven med tittelen "Analyse av klimaendringers virkninger på overvannsnett i Bogafjellfeltet, Sandnes kommune" studerte effekten av økte regnmengder og regnintensiteter. En stor del av oppgaven gikk ut på simuleringer og analyser av historiske og hypotetiske regnhendelser. Dataprogrammet ROSIE ble benyttet til simuleringer sammen med beregningsmodulen MOUSE. Simuleringene viste at det ikke er regnets totale volum som er av betydning for konsekvensene i overvannsnett. Det som var utslagsgivende var utformingen på toppintensiteten, altså intensiteten på maksimum og om denne toppen kommer tidlig eller sent i regnet. Resultater viste også at antall oversvømmelser vil øke som følge av økte regnmengder (Haga, 2011).

Masteroppgaven som tok for seg analyseområdet Charlottenlund og Ranheim fra Trondheim kommune studerte klimaendringenes virkning på avløpssystemet. Simuleringene ble gjort ved hjelp av MIKE URBAN, ROSIE og MOUSE og regnintensiteten ble ganget med en klimafaktor på 1,5 for å modellere hvilke konsekvenser det vil gi i løpet av 100 år. Dette resulterte i en stor økning i oppstuvning i ledningsnett og antall kjelleroversvømmelser. Det gjaldt særlig for de laveste gjentaksintervallene. Beregningene viste 42-168 % økning i antall meter ledning med kritisk oppstuvning og 47-210 % økning i antall kjelleroversvømmelser (Sara, 2012).

Undersøkelser fra Danmark viser at klimaendringer vil påvirke avrenning fra urbane områder betydelig. Uansett mange usikkerheter i klimamodellene er det klart at oversvømmelser i byer vil opptre oftere. Ekstreme regnhendelser forventes dobbelt så mange ganger i forhold til det som ble observert de siste 10-årene (Grum et al. 2006). Figur 1.15 viser hvordan 1-timesregn blir påvirket av klimaeffekter. Gjentaksintervallet til ekstreme regn som ble målt i København i perioden 1979-1996 sammenlignes med forventede gjentaksintervall i perioden 2071-2100. Ut i fra figuren vil tidligere 1-timesregn som opptre med 10-års mellomrom vil i fremtiden forekomme omkring hvert 3-4.år. Sagt med andre ord forkortes gjentaksintervallet.

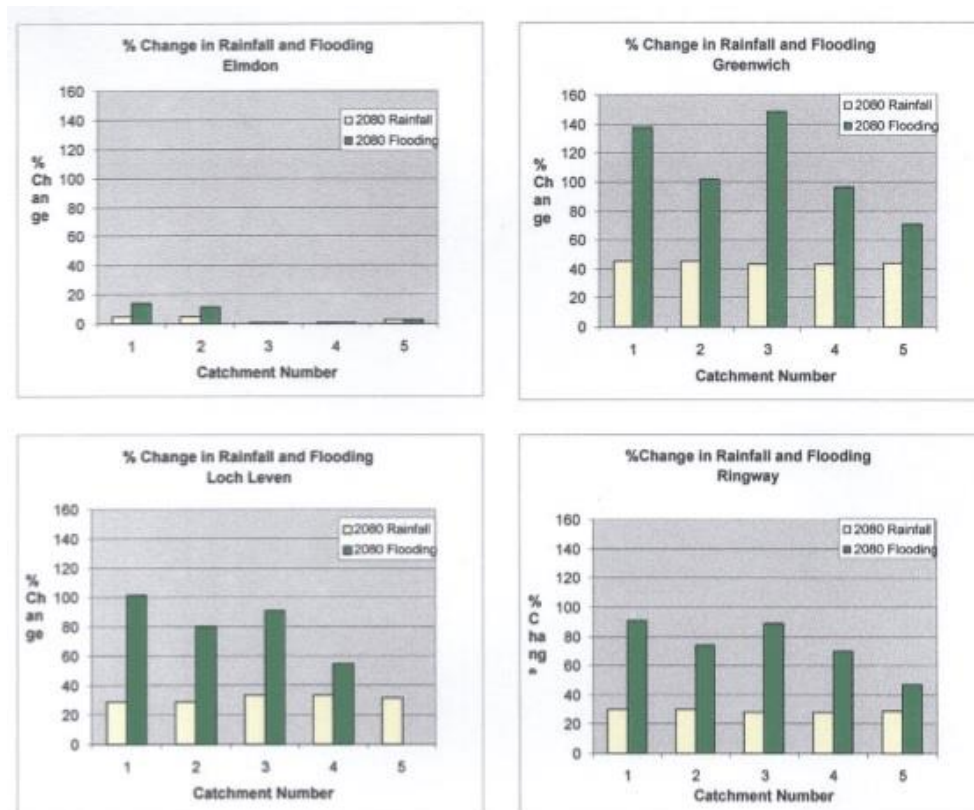


Figur 1.15: Forholdet mellom nåværende og fremtidig gjentaksintervall for ekstreme regn (Grum et al. 2006)

Et felt i byen Odense i Danmark ble analysert med tanke på økning i oppstuvning i avløpssystemet som følge av klimaendringer. Avløpssystemet for feltet bestod av 273 ha med separatsystem og 178 ha med fellessystem. Området er allerede utsatt for oppstuvningsproblemer med dagens nedbør. Fremtidige oppstuvningsforhold ble simulert med datamodellene MOUSE og MIKE21. Resultater viste at en økning i nedbørintensiteten med 20 % medførte økning i oversvømmede arealer fra 10 300 m² til 14 400 m². Ved å øke nedbørintensiteten med en sikkerhetsfaktor på 20 % i tillegg, resulterte det med 21 500 m² oversvømmede arealer (DHI og PH-Consult, 2005).

En svensk undersøkelse fra byen Kalmar brukte en klimamodell for å lage nedbørscenarier for 30-minutters regn. Ved å benytte den såkalte "Delta change method" ble nedbørintensitetene beregnet for perioden 2071-2100. Resultater fra studie viste at de høye regnintensitetene økte med 20-30 % for sommerregn og 50-60 % for høstregn. Denne type regn har særlig betydning for flomberegninger. Videre ble det beregnet en dobling av antall ekstremregn og varighet av oversvømmelser. Beregnede klimaprognoser ble brukt til å analysere avløpsnett til et boligfelt i byen med tanke på oversvømmelser. Sammenlignet med dagens klima vil antall kummer som oversvømmes øke med 45 % (Olsson et al. 2007).

Forskning fra andre land indikerer også at nedbør av betydning vil øke for tettbebyggelser. I UK ble det forsket på effekter av klimaendringer på avløpssystemer der fire byer ble analysert. Prosjektet med tittelen "Climate change and the hydraulic design of sewerage systems" ble utført i samarbeid mellom konsulentfirmaet MWH, HR Wallingford, the Meteorological Office og Imperial College i UK. Resultater viste at det forventes tørrere sommer, mens regn som opptrer sjeldent vil komme med større regnintensitet. Prosjektet ble konkludert med at tre av de fire byene som ble analysert vil få ekstremregn med regnintensitet 1,3 til 1,4 ganger dagens regn (Farrer, 2005).



Figur 1.16: Analyse av endringer i regnintensitet og flom i fire byer i UK (Farrer, 2005)

Figur 1.16 gjengir beregnede endringer i regnintensitet og flom i fire byer som ble analysert. I hver by presenteres det fem avrenningsområder. Det viser seg at virkning av klimaeffekter varierer regionalt og flomstørrelsen øker mye kraftigere sammenlignet med økning i regn. Dette har sin forklaring i at avrenningsintensiteten øker som følge av kraftig regn. Med andre ord vil større andel av regnet renne av fra feltet som overflateavrenning.



Prosjektet analyserte også bygninger i byer som utsettes for vannskader. Det ble kommet frem til at innen år 2080 vil skader for en 10-års flom øke med opptil fire ganger. Dette inkluderer både flommer fra avløpssystemet og flommer fra byvassdrag. Flomskader som følge av tilbakeslag fra avløpsnettets vil øke med 50 %. Simulert flomrisiko i en bydel på grunn av klimaeffekter vises i figur 1.17. Bygninger som er markert med rødt vil utsettes for flomskader.

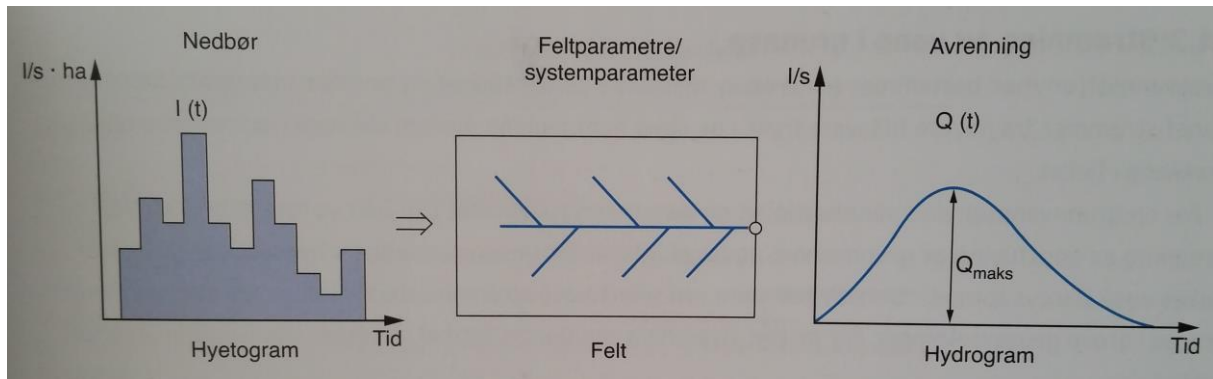
Figur 1.17: Simulert flomrisiko i en bydel i UK (Farrer, 2005)

En studie fra Canada studerte også effekten av klimaendringer på avløpssystemer. I følge prosjektet har regnmengden som faller under ekstreme nedbørhendelser økt med 20 % i perioden 1911-1992. Videre resonneres det fram til at gjentakintervallet for ekstreme regnhendelser vil halveres i fremtiden. Dagens regn som opptre med 20-års mellomrom vil i fremtiden opptre i gjennomsnitt hvert 10.år. Studie foreslår å øke dagens dimensjonerende regn med 15 % slik at urbane avløpssystemer kan takle effektene av klimaendringer (Watt et al. 2003).

1.7 Overvannsberegninger i urbane områder

Ved dimensjonering av overvannssystemer er det nødvendig å finne ut maksimal avrenning som blir dimensjonerende. Figur 1.18 illustrerer hvordan regn som faller over et nedbørfelt omdannes til avrenning. Nedbørintensiteten presentert som funksjon av tiden kalles for hyetogram, mens avrenning presentert som funksjon av tiden kalles for hydrogram.

Overvannsberegninger går ut på å gjøre om nedbøren til avrenning. Den rasjonelle formelen [1.4] er blant hydrologiske modeller som er mest brukt. Metoden betraktes som en overslagsberegning og er best egnet for små urbane felt med areal mindre enn 20-50 ha. For større og kompliserte felt brukes det EDB baserte avrenningsmodeller som blant annet SWMM og MOUSE.



Figur 1.18: Omdanning av nedbør til avrenning (Ødegaard, 2014)

$Q = \phi * i * A \quad [1.4]$
$Q = \text{Avrenning} [l/s]$
$\phi = \text{Avrenningskoeffisient} [Ubenevnt]$
$i = \text{Nedbørintensitet} \left[\frac{l}{s * ha} \right]$
$A = \text{Areal av nedbørfelt} [ha]$

Det er arealbruken som bestemmer avrenningskoeffisienten, ϕ . I tillegg vil fallforhold, nedbørintensitet og nedbørvarighet ha betydning. Dette er et uttrykk som beskriver forholdet mellom avrenning og nedbør. Koeffisienten oppgis som et tall mellom 0 og 1. Høye verdier representerer mye tette flater. Tabell 1.3 viser verdier for noen flater. ϕ_{spiss} beskriver forholdet mellom maksimal avrenning fra et område og midlere regnintensitet som faller i området.

Tabell 1.3: Avrenningskoeffisienter for noen flater (Lindholm et al. 2008c)

Type flater	ϕ_{spiss}
Tak	0,8-0,9
Asfalterte veger og gater	0,7-0,8
Grusveger	0,4-0,6
Plen	0,05-0,1
Sammensatte flater:	
Bysentrum	0,7-0,9
Blokkbebyggelse	0,4-0,6
Rekkehusområder	0,3-0,4
Åpne eneboligstrøk	0,2-0,3

Ved dimensjonering settes regnvarigheten lik konsentrasjonstiden i IVF-kurver. Konsentrasjonstiden står for *“den tiden en regndråpe bruker fra den faller ned helt i ytterkant av feltet til den når fram til utløpet av feltet”* (Ødegaard, 2014). Konsentrasjonstiden, t_k er summen av strømningsstid på overflaten fram til et sluk og strømningsstiden i rørene.

For å kunne estimere overvannsavrenningen trengs det målinger av nedbøren med høy tidsoppløsning som kan være på minuttbasis over en lang periode som 30 år. Målingene gjøres i dag med korttidsmålere som benytter vippekarmetoden. I Norge finnes det mellom 40-50 korttidsmålere som er spredt utover landet. Da det er regionale variasjoner i nedbørsmengder er det viktig å vurdere hvilken målestasjon som er mest representativ for området som studeres. Målingene gjøres om til et fiktivt regn som kalles for kasseregn. Denne regntypen gir en konstant regnintensitet over måleperioden. Bearbejdede data presenteres i IVF-kurver (Brattebø, 2013).

2 LOD-tiltak

2.1 Treleddsstrategi og tiltaksliste for overvannsløsninger

LOD-tiltak som står for Lokal OvervannsDisponering er en samlebetegnelse på teknikker som hindrer overvannet å renne raskt og direkte til ledningsnett eller vassdrag. I motsetning til tidligere tradisjonelle løsninger som fellessystem og separatsystem i urbane områder der hensikten var å lede overvannet raskest mulig til lukkede systemer, opereres det i dag med moderne tiltak. Dette er en ny tenkemåte for overvannshåndtering. Den nye tankegangen for løsninger består av anlegg eller terrengformasjoner som baserer seg på å la vannet finne naturlige veier til grunnen via infiltrasjon, fordrøyning av vannet i anlegg og trygg avledning av vannet via flomveger.

Bruk av uttrykket "lokal" i sammenheng med overvannstiltak innebærer å håndtere overvannet så nær som mulig til tette flater som anlegges (Nordeide, 1996). Visjonen med implementering av slike lokale løsninger er å etterligne naturens egen måte å ta hånd om overvannet, slik at vannets naturlige kretsløp opprettholdes (Cowi, 2013). Disse løsningene kan være synlige over bakkenivå eller lukket i infrastrukturen. En kombinasjon av åpne og lukkede systemer er også vanlige. Når overvannsløsninger integreres i den overordnede grønnsukturen benyttes betegnelsen blå-grønne løsninger (Magnussen et al. 2015).

I internasjonal litteratur omtales LOD-tiltak med ulike begreper. Best Management Practices (BMPs), Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) og Low Impact Development (LID) er noen av begrepene som benyttes.

Rapporten "Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering" publisert av Norsk Vann i 2008 oppsummerer tre hovedmål for overvannshåndtering:

1. Forebygge skader:

Overvannet skal håndteres slik at tilfredsstillende sikkerhet for liv, helse og miljø oppnås.

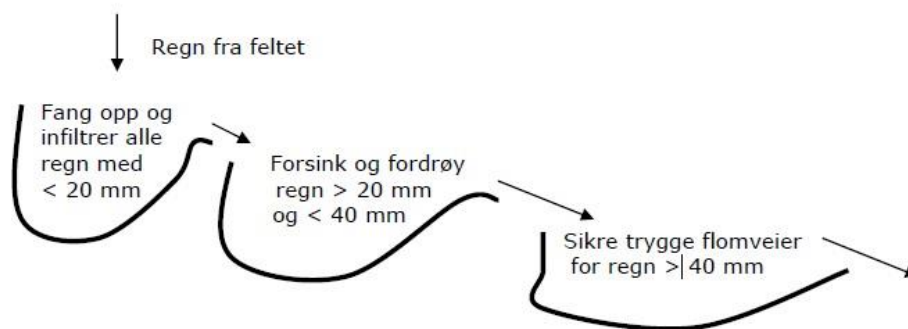
2. Utnytte overvann som ressurs:

Overvannet bør utnyttes som positivt landskapselement i bymiljøet og for bruk til rekreasjonsformål.

3. Styrke biologisk mangfold:

Gjennom infiltrasjon, bruk av åpne vannveier og dammer skal det biologiske mangfoldet fremmes.

"Treleddsstrategien" (figur 2.1) som er en grunnleggende prinsipp for overvannshåndtering ble først lansert i denne rapporten og er et ledd i arbeidet med å oppnå målene som er beskrevet over. Med denne tankegangen kan vi avlaste avløpssystemer slik at overbelastning unngås. Prinsippet går ut på at overvannet skal infiltreres, fordrøyes og det skal sikres trygge flomveger. Det første leddet presenterer infiltrasjon eller tilbakeholdning av små regnmengder på lokalt nivå hvis det er mulighet for det. Private overvannstiltak på egen hage som infiltrasjon på gressklede flater er blant tiltak som kategoriseres under dette leddet. Ved større regnmengder som ikke kan tas hånd om ved hjelp av infiltrasjon, vil overskuddsvannet renne videre til anlegg som forsinker og fordrøyer avrenningen. Åpent fordrøyningsmagasin eller retensjonsmagasin som det også kalles for er et eksempel på det. For store, sjeldent opptredende regnmengder som ikke kan håndteres alene av infiltrasjons- og fordrøyningsanlegg, planlegges det flomveger som kan avlede overvannet til resipient på en trygg måte. Regnmengdene som er oppgitt under hvert ledd betraktes som eksempler og kapasiteten av leddene bør tilpasses lokalt.











Figur 2.1: Treleddsstrategi, grunnleggende prinsipp for overvannshåndtering (Lindholm et al. 2008)


Det er mange eksempler på ulike overvannstiltak i norsk og internasjonal litteratur. I tabell 2.1 oppgis noen aktuelle tiltak. Tabellen tar utgangspunkt i en mer fullstendig "Norsk tiltaksliste" (Braskerud B. C og Hauge, A. 2014). Listen er utviklet i sammenheng med SAWA prosjektet og forskningsrådprosjektet ExFlood. Ulike LOD-tiltak er framstilt med hensyn til arealbruk. Grønne tak, grønne vegger og frakobling av takrenner er aktuelt for bygninger, mens resten av tiltakene som presenteres i tabellen kategoriseres under urbane områder.

Avhengig av utformingen kan LOD-tiltak bestå av både infiltrasjon, fordrøyning og flomveger. Et tiltak kan derfor plasseres under ledd 1, ledd 2 og ledd 3 samtidig i treleddsstrategien. Med andre ord kan et tiltak ivareta flere funksjoner. Retensjonsprosesser uttrykkes med bokstaver i tabellen der I=Infiltrasjon, O=Overflatefordrøyning, E=Evapotranspirasjon, U=Undergrunnsfordrøyning og R=Ruhet (Overflatemotstand). Prosessene gir en forklaring på hvordan vannet holdes tilbake av ulike LOD-tiltak.

Tabell 2.1: Oversikt over noen LOD-tiltak

LOD-tiltak	Underkategori	Ledd	Retensjon	Beskrivelse
PÅ BYGNINGER				
<p>Grønne tak</p> 	Ekstensive Intensive Semi-intensive	1,2	I, E	Vegetasjonsdekkede tak som kan redusere avrenningsvolum og avrenningsintensitet.
<p>Grønne vegger</p> 	Klatreplanter Plantevegg, levende vegg	1 1	E I, E	Vegetasjonsdekkede vegger. Plantet i bakken, vokser fra jorda. Planter i beholdere med egen vegg. Ofte med egne vannings- og næringssystemer.

<p>Frakobling av takrenner</p> 		1,2	I	Takrenner kobles fra det kommunale ledningsnett. Takvann ledes ut på plen, grusplass eller lokale overvannsløninger som infiltrasjon- og fordrøyningsanlegg.
PÅ URBANE OMRÅDER				
Infiltrasjonsflater				
	Gress	1	I	Gress, dekke av vegetasjonsflate har god evne til å infiltrere overvann.
	Permeabel asfalt	1	I	En type asfalt med stor infiltrasjonsevne.
	Permeabel belegningsstein	1	I	Infiltrasjon gjennom fuger til permeabel undergrunn.
	Infiltrasjonssone/ grøft	1, 2 (3)	I	Kunstig bygget løsning for infiltrasjon og magasinering av overvann fra tette flater i områder med impermeable masser. Kan også benyttes som flomveger.
Infiltrasjonsbasseng				
	Regnbed	1, 2	O, I, E	Vegetert, grunn forsenkning i terrenget der overflaten til bedet magasinerer/fordrøyer vannet før det infiltreres til grunnen eller ledes til overvannsnett.
	Filterbasseng	1, 2		Filterbasseng er i prinsippet det samme som en infiltrasjonsgrøft eller et regnbed.

Konstruerte Våtmarker				
	Lommevåtmark	1, 2	O, E	Grunn dam med permanent vannspeil og våtmarkvegetasjon.
Fordrøyningsmagasiner				Generelt: Overvannet lagres midlertidig i anlegg som magasiner eller dammer ved stor avrenning slik at avrenningstoppene/ flomtoppene til nedenforliggende ledning eller vassdrag reduseres. Videreførte vannmengder reguleres med strupet utløp.
Lukket fordrøyningsmagasin				
	Rørmagasin	2	U	Vannlagring i lukkede magasiner under bakken. Fordrøyning i betongrør.
	Steinmagasin	2	U	Vannlagring i lukkede magasiner under bakken. Fordrøyning i porevolumet til steinmasser.
	Kassetmagasin	2	U	Vannlagring i lukkede magasiner under bakken. Fordrøyning i porevolumet til plastkassetter.
Åpent fordrøyningsmagasin				
	Våte dammer	1,2	O	Dammer med permanent vannspeil, tørrværsvolum og et ledig volum til fordrøyning av avrenning.
	Tørre dammer	1,2	O, I	Grasareal med tørr fordrøyningsvolum.

	Oversvømmelses-arealer	2,3	O	Arealer tilrettelagt for midlertidig oversvømmning ved store nedbørsmengder. Ofte med multifunksjoner som parker og idrettsbaner.
Flomveger				
	Tørr renne / tørr bekk	3	O	Konstruert fast grøft uten vegetasjon. Kan være gatelegeme.
	Gresskledd vannveg/ Vadi/Swales (Åpen renne/ grøft)	1, 2, 3	O, I, E, R	Grunn, gresskledd forsenkning i terrenget med lav helning i strømningsretningen. Transporterer overvannet på en langsam og trygg måte.
	Åpne bekker	1, 2, 3	O	Gjenåpning av bekker som tidligere ble lagt i rør.

2.2 Infiltrasjon

Infiltrasjon baserer seg på inntrengning av vann i løsmasser eller oppsprukket fjell (NOU 2015; 16). Løsningen representerer det første leddet i treleddsstrategien og går ut på å infiltrere vannet direkte til grunnen enten via terrengoverflaten eller ved hjelp av ulike magasin/grøfter i grunnen (Bergen kommune, 2005). Dette er den vanligste og eldste utgaven av lokale overvannstiltak da det baserer seg på naturens egen måte å håndtere vann på.

Grunnens permeabilitet eller vanngjennomtrengelighet er en forutsetning for å kunne benytte seg av denne løsningen. Jordens evne til å motta vann uttrykkes som den hydrauliske ledningsevnen. Dette er et mål på hvor raskt infiltrasjonen skjer og oppgis i enheter som m/s eller mm/t. Grunnens infiltrasjonsevne synker med økende finstoffinnhold. Jord med permeabilitet lavere enn 12-14 mm/time regnes i praksis som uegnet for infiltrasjon. Liten dybde til fjell, underliggende leirlag og grunnvannsspeil er også blant faktorer som begrenser løsningen. Det anbefales at avstanden mellom infiltrasjonsnivå og grunnvannstand bør være minst 0,75 m og helst over en meter for å sikre hydraulisk kapasitet (VA-miljøblad nr.92, 2009).

Jordart	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}
Grov grus					+
Grus					+
Grov Sand					+
Finsand				+	
Silt		+	+		
Leire	+				

Figur 2.2: Hydraulisk ledningsevne oppgitt i m/s for noen jordtyper (VA-Miljøblad nr.92, 2009)

Figur 2.2 presenterer jordtyper med forskjellige grad av hydraulisk ledningsevne. Finkornede materialer som leire og silt er lite egnet for infiltrasjon. Grus- og sandmaterialer som er grovere har bedre infiltrasjonsegenskaper. For å bestemme om et område er egnet for infiltrasjon er det nødvendig med forsøk på stedet for å bestemme grunnens permeabilitet.

Infiltrasjonsanlegg kan gå tette og miste sin funksjon hvis det tilføres finstoff. Denne ulempen kan elimineres ved å benytte sandfang før vannet går til infiltrasjon. Drift av sandfang er derfor en viktig del av levetiden for infiltrasjonsanlegg. Dårlig drift vil ende opp med kort funksjonstid helt ned til 2-5 år. Disse anleggene kan ikke repareres når de først har gått tette (Lindholm et al. 2008).

2.2.1 Infiltrasjonsflater-dekker

Bruk av permeable dekker er en form for infiltrasjon knyttet til det første leddet i treleddsstrategien. Prinsippet med systemet bygger på gjennomtrengelige overflater som sørger for inntrengning av vann til grunnen slik at overflateavrenningen reduseres. Bruk av drenerende masser som undergrunn er en del av prinsippet med permeable dekker da det viderefører det infiltrerte vannet. Den enkleste måten å benytte seg av denne løsningen er å la være å bygge tette flater som f.eks asfalt (Lindholm et al. 2008).

LOD-tiltak med permeable dekker ansees blant mest arealeffektive løsninger da det ikke krever mer tomtegrunn. Arealer som tradisjoneltvis dekkes med tette flater kan bygges som vanngjennomtrengelige arealer uten å ta opp ekstra plass i urbane områder (Interpave, 2010).

Aktuelle områder som løsningen er velegnet til er parkeringsplasser, veger med liten trafikk i boligområder og fortauer (Lindholm et al. 2008a).

Vanligste former for permeable dekker er (VA-miljøblad nr.92, 2009);

- Permeabel asfalt
- Brolegning med belegningsstein av betong
- Brolegning med andre typer permeabel belegningsstein

Det finnes også andre dekketyper som nevnes i litteratur slik at bruken av tette flater minimaliseres (Nordeide, 1996). Dekke av **vegetasjonsflater som gress** har gode infiltrasjonsevner.

Gressarmeringsdekker er en løsning som kombinerer gressarmering med betongbelegning eller brostein. Gresset etableres i hulrommene mellom dekkene. **Brosteinsdekker eller gatestein** er også et alternativ til tette flater. Den ujevne overflaten i brosteinsdekker gir mulighet til stort overflatemagasin. Sammenlignet med et tett asfaltdekke kan belegning med brostein redusere avrenningen med 70 - 80 % (Nordeide, 1996).

Ved tradisjonelle tette overflater vil den første delen av regnet bidra til å væte overflaten. Etterhvert som regnet øker vil pytter i fordypninger på overflaten fylles opp og det genereres overflateavrenning. I motsetning, lar permeable dekker renne vannet rett ned til grunnen slik at overvann fjernes på en effektiv måte. Stående vann og dannelse av pytter på overflaten elimineres ved bruk av permeable overflater. Dette illustreres i figuren under.



*Figur 2.3: Sammenligning av et tett asfaltdekke (t.h) og et permabelt dekke (t.v)
(Interpave, 2010)*

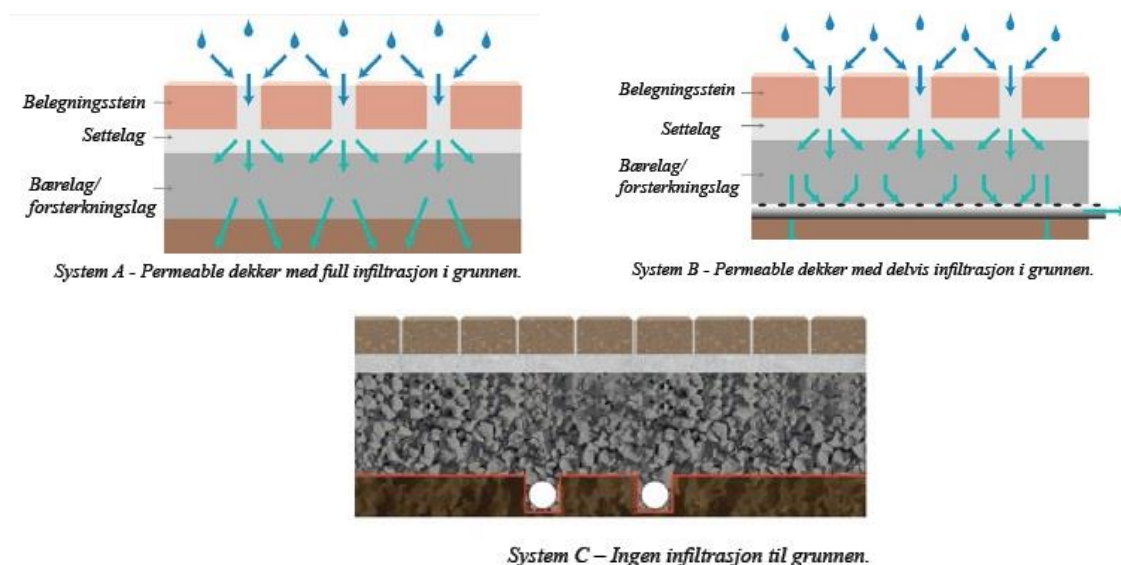
En utfordring med systemet er gjentetting. Ved etablering av permeable overflater må tilføring av finstoff hindres både under anleggs- og driftsfasen. Det å benytte løsningen på arealer som skal strøs om vinteren bør vurderes spesielt da strøing fører til gjentetting. For å holde anleggene åpne er det nødvendig med vakuumpfeing og høytrykkspyling minst fire ganger hvert år (Lindholm et al. 2008a).

Konseptet med permeabel belegning har lenge blitt benyttet i utlandet. I Europa og USA har anlegging av slike dekketyper eksistert i over 20 år. Eksempelvis har tyskland mer enn 20 000 000 m² arealer med denne løsningen. Teknologien er nyere i Norge sammenlignet med utenlandske erfaringer (Myhr, 2013).

Det er i dag etablert et forskningsfelt utenfor Sandnes for å studere infiltrasjonsevnen av permeable dekker. Testfeltet som skal utforske og dokumentere effekten av overvannsløsningen er et samarbeid mellom Skjæveland og Multiblokk. Resultater som er registrert hittil viser en positiv trend med infiltrasjonskapasiteten til det permeable dekket (STORM AQUA).

Bruk av **belegningsstein** kategorisert under permeable dekker bidrar med infiltrasjon og fordrøyning av overvann. Det finnes flere typer belegningsstein og betong er et av alternativene. Prinsippet med belegningsstein i betong består av tette betongenheter og åpninger som kalles for fuger. Infiltrasjon oppnås gjennom disse åpningene som fylles med steinmaterialer uten finstoff. Fordrøyning skjer i underliggende pukkmasser. Overvannet ledes via åpne masser i oppbygningen, magasineres i underliggende lag og tilslutt infiltreres det til grunnen. Med løsningen kan det lagres mye vann og flomtopper kan dempes (Myhr & Lippestad, 2016).

Figur 2.4 illustrerer 3 ulike prinsipper for oppbygning av permeable dekker av belegningsstein i betong. Oppbygningen av systemene bygger på internasjonal litteratur. System A står for full infiltrasjon til grunnen. Det vil si at grunnen har så god vannledningsevne slik at det ikke er nødvendig med å beregne magasinerings i underliggende lag. System B uttrykker delvis infiltrasjon til grunnen. Systemet er egnet for områder med tette masser i grunnen eller områder med høy grunnvannstand. I slike tilfeller benyttes det åpne løsmasser under dekke for å kunne fordrøye overvannet. Det kan benyttes drenerør for å transportere vannet ut. System C står for ingen infiltrasjon. I dette systemet kan ikke overvannet dreneres til grunnen på grunn av tette masser i grunnen, høy grunnvannstand, forurensninger eller dårlig grunnforhold. Det opprettes en dreneringsløsning for overvannet og det legges en membran for å skille overvann fra grunnvann.



Figur 2.4: Ulike prinsipper for oppbygning av permeable dekker av belegningsstein i betong (Myhr & Lippestad, 2016)

Kapasiteten til permeable dekker av belegningsstein vil avhenge av (Myhr & Lippestad, 2016):

- Arealet av åpninger som sørger for infiltrasjon.
- Materiale som brukes i åpningene. Høy permeable materialer er nødvendig.
- Gjentetting av finstoff.
- Vedlikehold. Rengjøring av åpningene er nødvendig for å opprettholde permeabilitet.

2.2.2 Regnbed

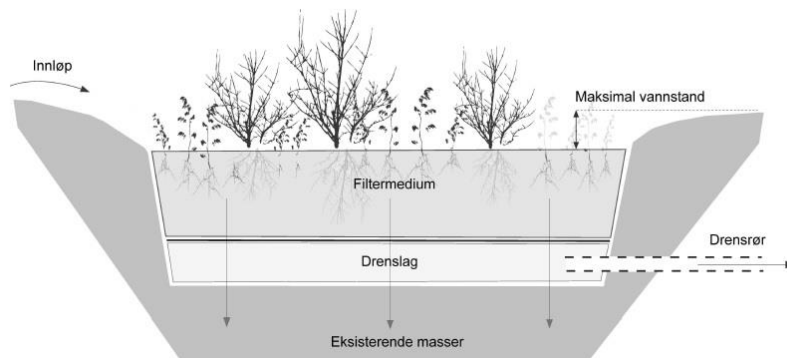
Hovedtankegangen med regnbed er å holde overvann helt eller midlertidig tilbake. Overvannet som håndteres i dette LOD-tiltaket kan komme fra tette flater som hustak, gårdsplasser, parkeringsarealer og veier. I tillegg kan regnbed håndtere det overfløydige vannet fra grønne tak (VA-miljøblad nr.106, 2013). Regnbed utformes som en vegetert forsenkning i terrenget der overflaten til bedet lagrer vannet før det infiltreres til grunnen eller overvannsnettet via et filtermedium (Braskerud & Paus, 2013a). I henhold til treleddsstrategien bidrar tiltaket til ledd 1 og ledd 2. Med løsningen kan det oppnås både fordrøyning og reduksjon av mengde avrenning slik at skadeflommer reduseres. I tillegg vil regnvannet fanges opp og omdannes til grunnvann. Dette vil igjen minimalisere mengden av overvann som tar plass i avløpssystemer og bidra til å unngå oversvømmelser. Internasjonale erfaringer støtter tiltakets evne til å redusere flomtoppbelastningen i avløpssystemer (Braskerud & Paus, 2013b)

Begrepet regnbed, såkalte "Rain gardens" eller "Bioretention" oppstod først i Maryland i USA i begynnelsen av 90-tallet (Roy-Poirier et al. 2010). I dag er det en meget populært LOD-tiltak i Nord Amerika og Australia (Hunt et al. 2012). En viktig drivkraft bak denne populariteten er mindre kostnader i forhold til konvensjonelle overvannsløsninger. Muligheten for ettermontering av regnbed i områder som opplever overvannsutfordringer er også blant viktige momenter for valg av tiltaket. I tillegg til sine fordeler har anlegging av regnbed noen utfordringer (Braskerud & Paus, 2013b):

- Anlegget krever overflatearealer (5 % av aktuelt nedbørfelt er vanlig)
- Tette masser som leirgrunn må skiftes ut og regnbedet må dreneres
- Det er få erfaringer med regnbed i norsk klima
- Vedlikehold er nødvendig

En vanlig oppbygning av regnbed presenteres i figur 2.5. Overflaten av anlegget sørger for lagring av overvann og på denne måten fordrøyes avrenningen. Neste ledd er infiltrering av vannet til grunnen gjennom filtermediet. Drensrøret som vises i figuren er nødvendig når massene som ligger omkring har lav permeabilitet/gjennomtrengelighet. Vannet som ledes fra drensrøret føres videre til overvannsnettet. Når vannstanden på overflaten kommer over et viss nivå, vil vannet gå til overløp og eventuelt videre til flomveier.

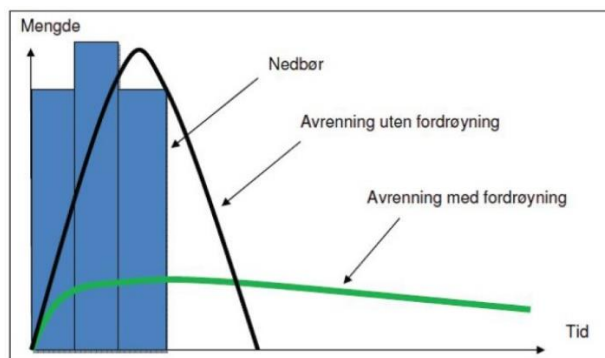
Funksjonen til plantene som benyttes til vegetasjon er estetisk samtidig som det ivaretar infiltrasjonsevnen i jorden. Hovedformålet med filtermediet er å gi gode vekstvilkår for beplantning. Ved å plassere et pukklag med høy porøsitet under filtermediet kan fordrøyningsevnen til regnbedet økes (Dalen et al. 2012).



Figur 2.5: Oppbygning av regnbed (Skisse laget av E.Steberg og K.Paus)

2.3 Fordrøyning

Fordrøyning er samlebetegnelsen på tiltak som går ut på å forsinke avrenningen gjennom oppsamling (NOU 2015; 16). Hovedformålet med løsningen er å utjevne varierende vannføring. Overvannet lagres midlertidig i anlegg som magasiner eller dammer ved stor avrenning slik at avrenningstoppene til nedenforliggende ledning eller vassdrag reduseres (Lindholm et al. 2008).



Figur 2.6: Avrenning med og uten fordrøyning (Myhr, 2013)

Illustrasjon 2.6 viser størrelsen av avrenningsintensiteten med og uten fordrøyning. Uten fordrøyningstiltak vil avrenningstoppen som er markert med sort gi stort utslag. Den grønne linjen som representerer lokal overvannstiltak med fordrøyning viser hvordan avrenningen dempes og jevnes ut over tiden. Q_{\max} , maksimal avrenning under en bestemt regnskyll reduseres ved å fordrøye overvannet før det slippes ut til overvannsnett på separatsystemet, fellessystemet eller resipienten. Med dette forebygges flomskader ved å mellomlagre vannet i fordrøyningsanlegg.

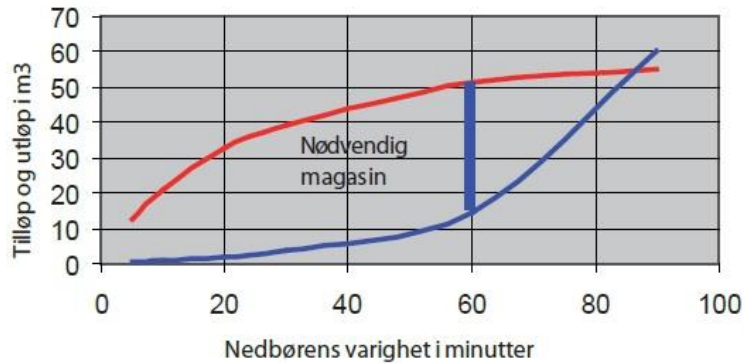
Fordrøyning skjer vanligvis etter to hovedprinsipper:

- **Lukkede magasiner:** Rørmagasiner, steinmagasiner og kassetmagasiner
- **Åpne magasiner:** Dammer

Mengderegulering ved bruk av strupeorganer er den viktigste funksjonen for fordrøyningsanlegg som har primært formål som utjevningsmagasiner. Vannføringsregulatorens utforming og instilling bestemmer hele utjevningsforløpet. Vannmengder ut fra magasinet reguleres slik at en gitt maksimal utløpsverdi ikke overskrides. På denne måten slippes overvannet i kontrollert tempo og mengder. Prinsippet går under betegnelsen «utløpskontroll» og bestemmes blant annet av kommunale utslippskrav og kapasiteten på etterfølgende ledningsanlegg. Regulering av videreført vannmengde baserer seg på ulike teknikker i forskjellige land. Alle former innen avløpsteknikken benyttes for utløpskontroll. Virvelkammerprinsippet som klarer en presis regulering er blant regulatorer som foretrekkes i Norge (VA-miljøblad nr.70, 2006).

Virvelkammeret har en sirkulær utforming med tangentielt innløp. Prinsippet baserer seg på akselerasjon av vannhastigheten slik at trykenergien omformes til hastighetsenergi. Det oppnås en stor strømningsmotstand ved at innkommende vannstrøm bremses opp av vannmassene som er i bevegelse. Mekanismen til et virvelkammer utøver nesten ingen motstand på vannet når det er liten tilrenning, men ved store tilrenninger etableres en betydelig strømningsmotstand som sørger for lite vannmengder som videreføres. Sammenhengen mellom trykkhøyde og videreført vannmengde som kalles for den hydrauliske karakteristikken varierer med type kammer og utløpsdyse (Lindholm et al. 2008a).

Dimensjonering av magasinvolumet kan gjøres etter den såkalte *regnvelopemetoden*. Prinsippet illustreres i figur 2.7. Den røde linjen viser tilløpskurven som bestemmes ved hjelp av IVF-kurven for det aktuelle området. Det beregnes tilrenningsvolumer for ulike nedbørvarigheter og valgte gjentaksintervall. Den blå utløpskurven bestemmes av type utløpskontroll. Største avstand mellom de to kurvene gir nødvendig fordrøyningsvolum.



Figur 2.7: Bestemmelse av nødvendig magasinvolum (Reiersen, u.å!)

Formelverket som benyttes for å beregne nødvendig fordrøyningsvolum etter regnvelopemetoden gjengis under (VA-miljøblad nr.69, 2015):

$V_{inn} = i_{z,tr} * t_r * A * \varphi$	[2.1]
$V_{ut} = Q_{ut} * t_r$	[2.2]
$V_{fordrøyning} = V_{inn} - V_{ut}$	[2.3]

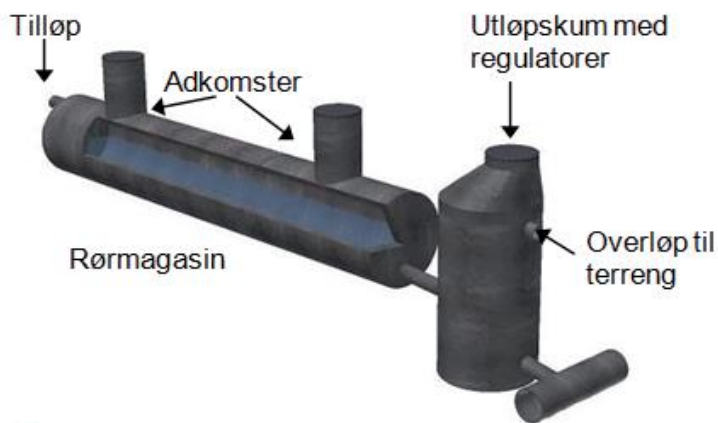
$V_{inn} = \text{Tilløpsvolum}$
$i_{z,tr}$ = Regnintensiteten for et kasseregn der z er gjentaksintervallet og t_r er regnvarigheten
$A = \text{Arealet av nedslagsfeltet}$
$\varphi = \text{Avrenningskoeffisienten}$
$V_{ut} = \text{Utløpsvolum}$
$Q_{ut} = \text{Konstant utløp. Kan velges ut fra maksimal tillatt utløpsverdi}$

2.3.1 Lukkede magasiner

Lukkede fordrøyningsmagasiner har primært formål om å fordrøye overvann. Løsningen som etableres under bakken kan være spesielt aktuelt i urbane områder med høy fortetningsgrad. Vanligvis benyttes det for fordrøying av overvann fra mindre tomteområder.

Gjentetting eller fylling med slam er en utfordring for løsningen. Sandfang eller filtere som sørger for avskilling av partikulært materiale før magasinering er derfor meget viktig å ha for LOD-anleggene. Dette gjelder spesielt steinmagasiner. Manglende driftsopplegg kan resultere i veldig kort levetid.

I **rørmagasiner** overdimensjoneres rørene for å innebære et fordrøyningsvolum. Betongrør med diameter mellom 1000-2400 mm benyttes vanligvis til dette formålet (figur 2.8). Fordrøying i betongrør skjer i kombinasjon med kummer for inspeksjon og sandfang. Utløpet anlegges med en mengderegulator slik at det oppnås nødvendig fordrøying av overvann. Overløpet som har til formål å tre i funksjon når utløpet svikter eller ikke har tilskrekkelig kapasitet tillates vanligvis ikke å ledes til det kommunale nettet. Normalt føres overløpet til terreng. Behov for tilsyn er lite for rørmagasiner. Driftsoppgavene begrenser seg til tømning av sandfang og kontroll av mengderegulator.

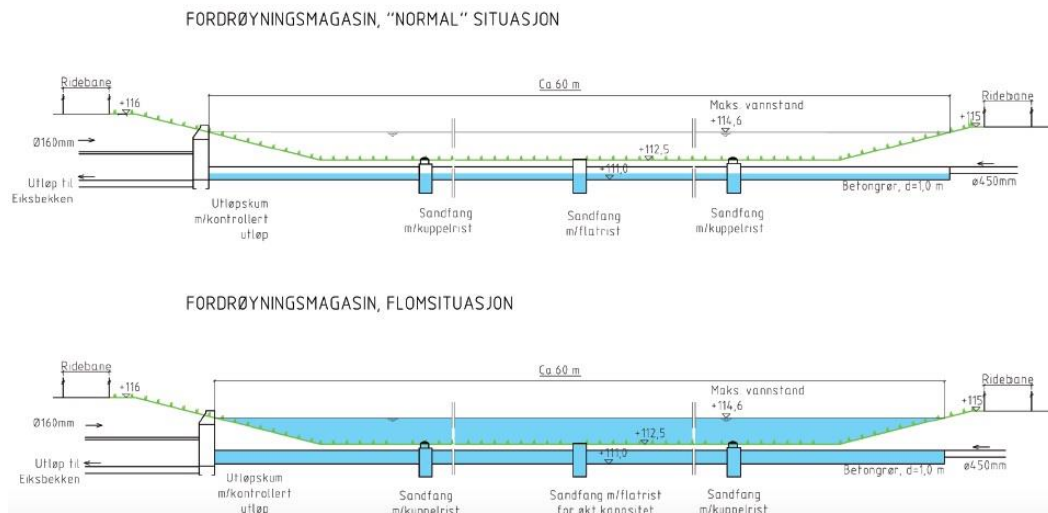


En av fordelene er at anleggene opptar lite areal i terrenget, men samtidig sørger for stort fordrøyningsvolum. Ved anlegg av rørmagasiner bør det tilrettelegges for lite fall. Dette er nødvendig for å kunne utnytte hele magasinvolumet. Løsningen er ikke avhengig av grunnforholdene.

Figur 2.8: Prinsippkisse rørmagasiner (VA-miljøblad nr.104, 2012)

Et eksempel på utførte anlegg basert på fordrøying i betongrør er fra Gulsbogen kjøpesenter i Drammen kommune. Senteret ble bygget i et område som for 20-års siden bestod av urørt natur. Det naturlige terrenget ble erstattet av store arealer med tette flater som butikkarealer og parkeringsplasser. Dette gir stor oppsamling av overvann. Kommunen ga ikke tillatelse for påslipp mer enn 250 l/s til det offentlige overvannsnettet. Dimensjonerende nedbørsmengder baserte seg på 10-års gjentakintervall og ga et nødvendig magasinivolum på 310 m³. Fordrøyningsanlegget ble i henhold til beregninger bygget med 220 m DN1200 betongrør lagt i to rørstrenger (Reiersen, u.å).

Et annet eksempel på fordrøyningsanlegg bygd med betongrør er fra Øvrevoll galoppbane i Bærum. Fordrøying av overvannsavrenningen skjer i et system som kombinerer betongrør med et tørt magasin. Tørre magasiner representerer arealer som normalt er tørre, men som settes under vann ved ekstremnedbør. I dette prosjektet ble det benyttet betongrør med diameter på 1000 mm. Dimensjoneringen av betongrøret baserer seg på moderate regnmengder som røret skal være i stand til å fordrøye under normale forhold. Ved nedbør som er så sterke at kapasiteten til betongledningen overskrives, vil vannet stige opp gjennom sluk i betongrøret og det tørre magasinet settes under vann. Når det slutter å regne ledes det oppsamlede vannet tilbake til betongledningen. Figur 2.9 illustrerer hvordan fordrøyningsanlegget håndterer overvann ved normal-og flomsituasjon.

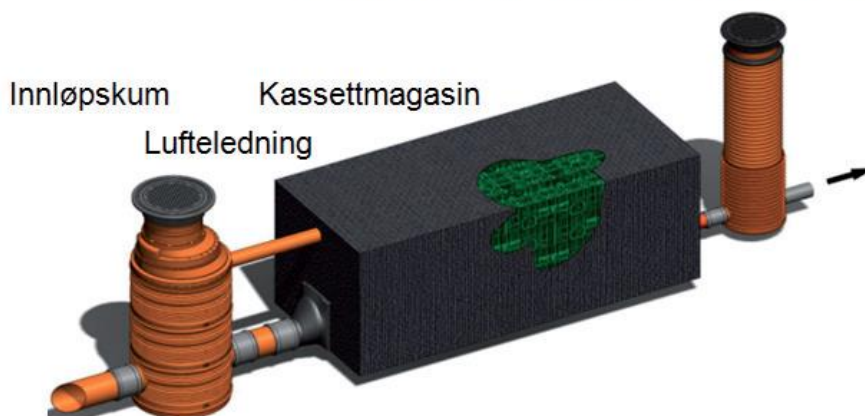


Figur 2.9: Fordrøyningsmagasin som kombinerer lukket og åpen fordrøyning.
Øvrevoll galoppbane i Bærum (Reiersen, u.å)

Steinmagasiner og **kassettmagasiner** benytter seg av det samme prinsippet; fordrøyning i porevolumet til steinmasser eller plastkassetter. For steinmagasiner forefinnes stor variasjon i løsningsalternativer. Typisk hulromsprosent som benyttes ligger mellom 30-40 %. Vanligvis brukes det masser med fraksjoner mellom 60-120 mm. I kassettmagasiner er steinmaterialene erstattet med plastkassetter som har betydelig større porevolum. Typisk hulromsandel kan settes helt opp til 95 %. Leverandører leverer kassettenes som elementer slik at de settes sammen i forhold til nødvendig fordrøyningsvolum. Med kassettmagasiner utnyttes arealet og byggegroppen i bakken bedre i forhold til steinmagasiner (VA-miljøblad nr.104, 2012).

Oppgaver knyttet til drift og vedlikehold er spesielt viktig for steinmagasiner for å oppnå forventet levetid. Når steinmagasiner gjenettes settes det ute av drift permanent, mens ved bruk av rør som fordrøyningsmagasin kan avsetninger fjernes senere. Plastkassetter blir heller ikke så lett tette sammenlignet med steinmagasiner.

Utløpskum med vannføringsregulator og overløp



Figur 2.10: Prinsippskisse kassettmagasiner (VA-miljøblad nr.104, 2012)

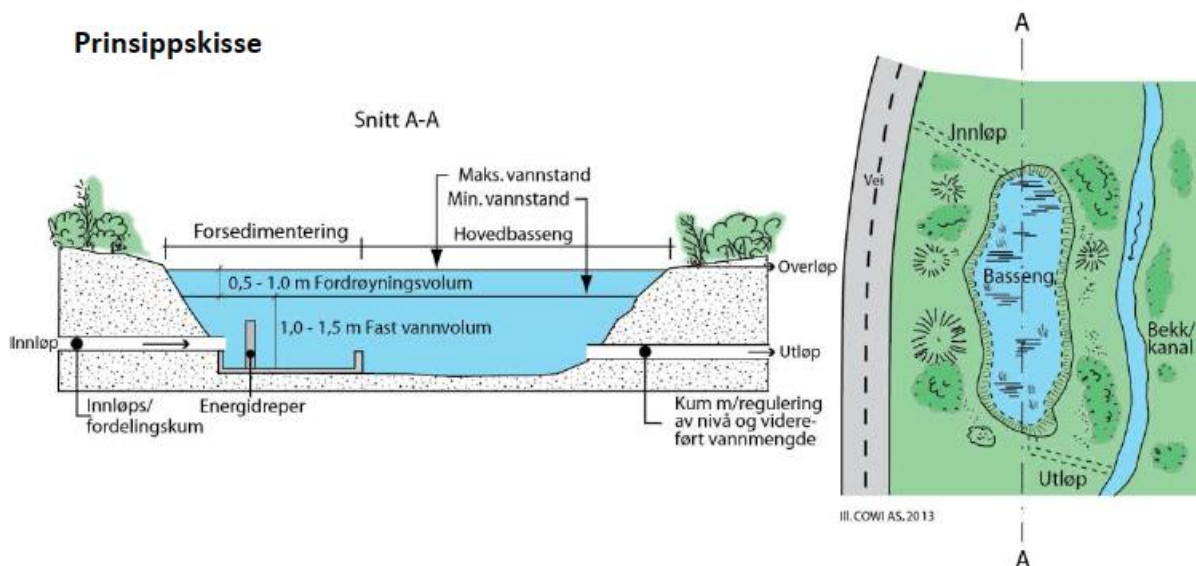
2.3.2 Åpne magasiner: Dammer

Åpne dammer som benyttes til LOD-tiltak bidrar til fordrøyning samtidig som det utnyttes som en ressurs i lokalmiljøet. Fordrøyning i dammer skjer i prinsippet "tørt" eller "vått". Med tørt fordrøyning menes arealer som periodevis oversvømmes, mens våte dammer har et permanent vannspeil. Tørre dammer blir tørre ved at de siste vannmengdene infiltrerer ned i grunnen under. Løsningen benyttes vanligvis for nedbørfelt mellom 20-30 ha med tette flater. Det ansees mer relevant med våte dammer for overvannshåndtering fra større arealer.

I våte dammer avsettes det reservekapasitet over det faste volumet slik at det ledige volumet kan magasinere overvann. Det permanente vannspeilet omtales som tørrvæsvolumet. Over det faste volumet eksisterer fordrøyningsvolumet som har til formål å fordrøye avrenningen. Under regnhendelser fylles opp det disponible volumet som er avsatt til overvann og avrenningen fra en tidligere episode slippes ut i tilsvarende mengder via utløpskontroll (Cowi, 2013).

En avlanget utforming av dammer er mest vanlig med tanke på å sikre god gjennomstrømning. Vanddybde for permanent vannspeil er varierende avhengig av anleggstype og størrelse. Vekstsonen som etableres langs kantene opptar vanligvis 25-50 % av overflaten. Sideskråningene bør helst utformes som slake av drift-og sikkerhetsmessige årsaker. For å opprettholde et permanent vannspeil må bunnen av dammen være tett (Lindholm et al. 2008a).

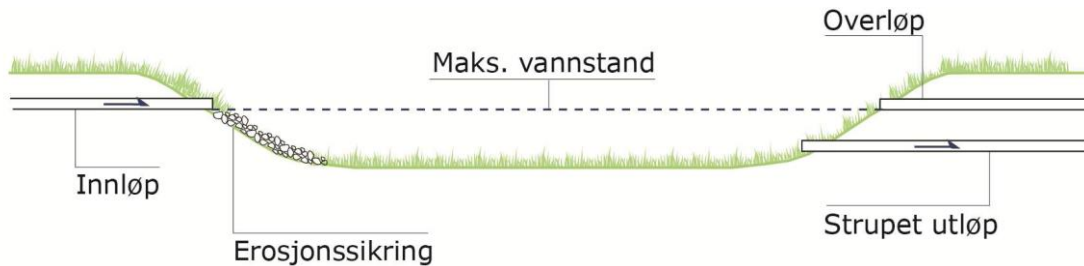
Figur 2.11 viser prinsippskisse av anlegget. Utformingen av forsedimenteringsdelen ved innløpet er for slamfjerning. Omtrentlig 1/3 av totalarealet opptas av denne slamsonen. Innløpet og utløpet dykkes for å hindre frysing om vinteren samtidig unngås oljeutslipp til dammen. Funksjonen med en energidreper foran innløpet er å hindre oppvirvling av avsatt slam. Til dette formålet kan det benyttes betongblokker eller store steiner. Utløpet arrangeres med en mengderegulator som sørger for tilskrekkelig oppholdstid og fordrøyning av vannet. Et nødoverløp trer i kraft når utløpet svikter eller ikke har tilskrekkelig kapasitet.



Figur 2.11: Prinsippskisse våt fordrøyningsdam (Cowi, 2013)

Tømming av slamsonen i forsedimenteringsdelen er en nødvendig driftsoppgave ca. hvert andre år. Behovet for slamfjerning i hovedbassenget er langt mindre, da hvert 10.-20. år er vanlig som tømme frekvens. Dette er aktuelt for dammer som mottar overvann fra trafikkerte arealer. Skjøtsel av vegetasjonen er nødvendig med noen års mellomrom. Innløpet og utløpet bør kontrolleres (Cowi, 2013).

Dammer utformet med tørr fordrøyningsvolum fylles med vann kun når det regner. De holdes tørre unntatt episoder med regn og tømmes helt etter regnet ved hjelp av strupet utløp (figur 2.12). Overvannet som da samles i damarealet under regnhendelser ledes til ledningssystemet når overvannsavrenningen avtar. Formålet med denne damtypen er primært rettet mot å begrense oversvømmelser og beregningene for tørre dammer baserer seg stort sett på å håndtere store regnmengder som opptrer sjeldent. Tømmetiden eller oppholdstiden settes vanligvis til 24 timer. Dimensjoneringen gjøres i henhold til tillatt utslippsmengde til nedstrøms ledningnett eller vassdrag.



Figur 2.12: Prinsippkisse tørr fordrøyningsdam (Cowi, 2013)

Oversvømmelsesarealer, arealer tilrettelagt for midlertidig oversvømming ved store nedbørsmengder er også en type LOD-tiltak under åpne dammer. Disse arealene har ofte multifunksjoner som parker og idrettsbaner og kan benyttes til rekreasjonsformål når det er i tørr tilstand. Et eksempel på det vises i bildet under (Cowi, 2013).



Figur 2.13: Tørr damanlegg i Roskilde med formål både som fordrøyningsareal (t.v) og flomveg (t.h) (Cowi, 2013)

2.3.3 Grønne tak

Grønne tak kategoriseres ikke under infiltrasjonsløsninger da infiltrasjon defineres som vann som trenger ned i grunnen og blir borte der. Løsningen har ikke infiltrasjon, men bare forsinkelse/ fordrøyning. Prinsippet med grønne tak baserer seg på bruk av vegetasjon på takarealer slik at nedbøren holdes tilbake, avrenningen forsinkes og avrenningsintensiteten reduseres (Magnussen et al. 2015). I tillegg til sin flomdempende effekt vil grønne tak bidra til å styrke grønnstruktur, øke kvaliteten og den estetiske opplevelsen av byområder (Braskerud, 2016). Løsningen innebærer også noen ulemper som (Braskerud, 2014);

- Økte anleggskostnader sammenlignet med bruk av takpapp/shingel
- Behov for oppfølging og skjøtsel. Sluk på tak må holdes åpne
- Problemer med å finne lekkasjer hvis det oppstår
- Svikt ved dreneringssystemet på taket kan ende opp med at vegetasjonen "drukker".

Et klart skille mellom grønne tak og andre LOD-tiltak er å kunne benytte seg av eksisterende takarealer uten å ta opp ekstra plass. Dette er en stor fordel da andelen av ubrukte takarealer kan utgjøre så mye som 50 % av den totale andelen av tette flater i urbane områder (Sture, 2012). Da tak kan utgjøre store flater i byer og bygging av grønne tak ikke krever verdifull byggegrunn, vil det redusere behovet for andre overvannsløsninger.

Grønne, vegetasjonsdekkede tak som omtales som "green roofs" i engelsk litteratur er en eldgammel tradisjon i norsk byggeskikk der takteking med torv og gress ble benyttet. Torvtak som ble brukt i Norge i århundrer bestod av organisk jord som vekstmedium. Denne teknologien ble modernisert med tiden og nyere løsninger med mineralsk materiale og andre arter er utviklet særlig i løpet av de siste 10-årene. I følge Braskerud, 2014 er det nå få grenser for hvilke arter som kan etableres på tak hvis taket er tilrettelagt for vegetasjon.

I dag deles vegetasjonsdekkede tak vanligvis under tre hovedkategorier (Braskerud, 2016);

- **Ekstensive tak** er den letteste taktypen med tynt vekstmedium. Sedum fra bergknappfamilien er den dominerende arttypen som brukes til ekstensive tak. I tillegg til å kunne tåle mye tørke kan sedumarter tåle næringsfattig jord/vekstmedium. I vannmettet tilstand kan vekten til ekstensive tak ligge mellom 40-100 kg/m³. Vekstmediet eller substratet som det også kalles for, anlegges vanligvis med tykkelse opptil 10 cm. Behovet for vedlikehold er lite for denne takgruppen der det holder med 1-2 ganger oppfølging årlig.



Figur 2.14: Ekstensive tak (Noreng et al. 2012)

- **Intensive tak** kalles også for takhager. Vekstmediumet er tykkere sammenlignet med ekstensive tak. Det kan bestå av de fleste arter og krever mye vedlikehold i likhet med park-og hageanlegg på bakkenivå. Avhengig om busker og trær benyttes kan vekten til denne taktypen variere mellom 240-900 kg/m³. Intensive tak er i praksis kun aktuelt for nybygg der det tilrettelegges for bruken og vekten.



*Figur 2.15: Intensive tak
(Noreng et al. 2012)*

- **Semi-intensive tak** er en versjon i en mellomstilling i forhold til de to taktypene som er beskrevet ovenfor. Vanlig tykkelse på vekstmediet varierer mellom 10-20 cm. Sammenlignet med ekstensive tak er det stor variasjon i benyttede arttyper. Torvtak hører til denne taktypen.



*Figur 2.16: Semi-intensive tak
(Noreng et al. 2012)*

En vanlig oppbygning av grønne tak vises i figur 2.17 der oppbygningen sammenlignes med naturen. Som regel består det av 4 lag fra toppen og nedover;

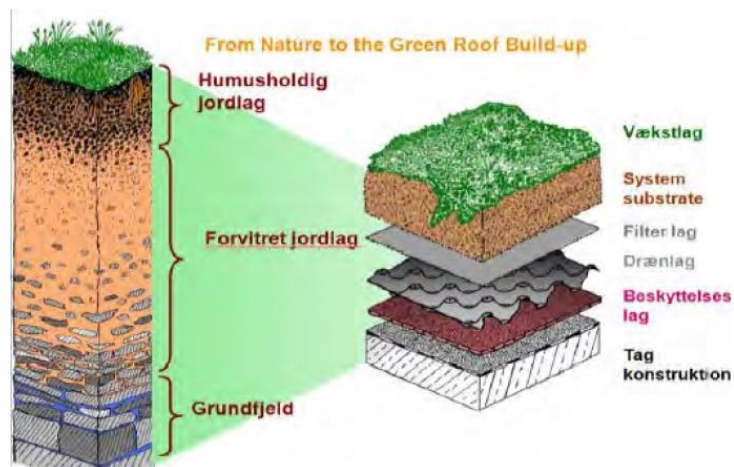
- Vegetasjonslag
- Vekstmedium/Substrat
- Filterlag
- Drenslag

Valg av planter som vegetasjonslag kan påvirke mengden vann som tilbakeholdes. Planter på grønne tak bidrar til tilbakeholdning gjennom evapotranspirasjon. Prosessen uttrykker den totale fordampningen fra vegetasjon og jord. Vegetasjonen tar opp vann fra vekstmedie gjennom sine røtter og slipper det til atmosfæren som vanndamp. Avhengig av arter og miljøforhold varierer størrelsen av evapotranspirasjon (GSA, 2011).

Vekstmediumet skal ha høy kapasitet for å holde tilbake vann samtidig som det skal gi god drenering. Vekstmediets sammensetning består av grove materialer uten finstoff. Naturgrus og knust stein er blant materialer som benyttes til dette laget. De egnede materialene til vekstmedie med liten andel eller helt uten finstoff gir porevolum med plass til oksygen og vann (Noreng et al. 2012).

Formålet med filterlaget er å hindre blanding av jordmasser med dreneringslaget i bunnen slik at gjentetting hindres. Dreneringslaget består av åpne, permeable materialer som er ment for å avlede overflødig vann ned fra taket på en effektiv måte (U.S EPA, 2008). Dette er viktig med tanke på plantenes røtter trives generelt ikke med å stå i vann over lengre tid (Noreng et al. 2012).

Beskyttelseslaget som er plassert over takkonstruksjonen er aktuelt ved intensive røtter ved sterk vekst (Sture, 2012).



Figur 2.17: Oppbygning av grønne tak (Noreng et al. 2012)

I prinsippet er det ikke noen begrensninger med når grønne tak kan anlegges. Det er aktuelt for alle takvinkler, men når takvinkelen overstiger 30 grader vil kostnadene øke mye. På grunn av økende anleggskostnader påbyr København kommune grønne tak i sine fleste planer ved anlegg av takvinkler mindre enn 30 grader (Circle-2, 2013).

Med bakgrunn i sin lette vekt kan ekstensive tak ettermonteres på eksisterende bygninger. Dette kalles for "retrofitting" i internasjonal litteratur. Når taket skal fornyes er grønne tak en mulighet som kan dras nytte av i arbeidet med klimatilpasningen.

Bruk av grønne tak er en nyere løsning under LOD-tiltak som implementeres i norsk overvannshåndtering. Andre land har kommet lengre med å høste erfaringene med tiltaket. Nedenfor listes opp noen utenlandske arbeider med vegetasjonsdekkede takarealer; (Braskerud, 2014-Vedlegg 7)

- Tyskland anerkjennes som verdens fremste land når det gjelder etablering av grønne tak. Det bygges omkring 8 000 000 m² grønne tak hvert år. Drivkraften bak dette er krav gjennom lovgivning og reduserte overvannavgifter. Etablering av grønne tak "belønnes" med reduserte avgifter i det generering av overvann dempes. Det er også vanlig at kommuner støtter anlegging av grønne tak med 10-20 Euro/m². Med utgangspunkt i mange års erfaring og kunnskap ble det utarbeidet en offentlig veileder/standard som ble benyttet som mal i mange andre land (FLL, 2008).
- Byen Linz i Østerrike har lagt fokus på anlegging av grønne i løpet av flere 10-år. Alle bygg større enn 500 m² pålegges grønne tak i denne byen. Totalt andel av vegetasjonsdekkede takarealer anslås i dag til mer enn 500 000 m².
- I byen Portland i Oregon, USA ble det bygget over 550 grønne tak som utgjør ca. 140 000 m² grønne takarealer. Inbyggertallet til byen er 500 000 og årsnedbøren ligger rundt 1000 mm. I løpet av en 5-8-års periode ble det utført flere undersøkelser som målte avrenning fra grønne tak. Resultater viser en positiv effekt på takenes flomdempende evne.

- I England ble det anlagt 800 000 m² med grønne tak siden 2004. Landets nasjonale lov om at alt regnvann skal håndteres ved kilden er drivkraften bak arbeidene. London målsetter å anlegge 32 % av byens tak som grønne. Med utgangspunkt i bæreevne og helling ble byens potensielle tak kartlagt.
- København har klart å få det formelle regelverket på plass. Kommunen påbyr anlegging av grønne tak for takvinkler mindre enn 30 grader hvis det er mulighet for det. Byen har i dag 40 000 m² med grønne tak og mer enn 200 000 m² er på planene i løpet av kommende år. Det gis utbetaling til utbyggere for hver m² avrenning som hindres å nå avløpssystemet. Målet er å hindre 30 % av nedbøren unna avløpsnett.

Københavns satsing på grønne tok fart med «København Kommunes Spildevandsplan» som ble publisert i 2008. Her ble det satt fokus på grønne tak som et ledd i arbeidet med overvannshåndtering. Retningslinjer om grønne tak ble først utgitt i Teknisk og Miljøutvalget i 2010. Endelige retningslinjer ble publisert i kommuneplanen i 2012 (Noreng et al. 2012).

Malmø i Lund kommune har kommet langt med bruk av grønne tak i likhet med København. Verdenst første botaniske takhage som rommer ca. 10 000 m² ble etablert i Augustenborg i 2001 og er blant fremste eksempler som fremmer inspirasjon til andre Skandinaviske land.

Lund kommune opprettet et program under navnet "Miljöbyggprogram Syd" som er et samarbeid mellom Lunds kommune, Lunds universitet og Malmö by. All nybygging i kommunens mark skal forholde seg til dette programmet som opererer med en grønn overflatefaktor, såkalte grønnytefaktor på svensk. Med grønn overflatefaktor gis det er verdi på tomtens grøntområde. Målet med modellen er å oppnå en høyere andel grønne tak på kommunens arealer. Med utgangspunkt i blant annet hvor mye vann overflaten kan infiltrere og fordrøye verdissetes ulike typer vegetasjon i modellen. Faktoren varierer mellom 0 og 1 der 0 står for impermeabilitet, mens 1 uttrykker at all overflatevann absorberes (Noreng et al. 2012).

Bjørvika i Oslo er et norsk eksempel på kommunens implementering av grønne tak på reguleringsplannivå. Det ble satt krav om at 50 % av Barcode-utbyggingen skal bygges med grønne tak. I Norge er det første gang at grønne tak som overvannstiltak nedfelles i en reguleringsplan. Slik lyder det i reguleringsbestemmelsene fra 2007; "Det skal minimum være 50 % grønne tak på alle bebygde tomtestriper, i form av sedummatter og/eller gress samt innslag av busker og trær, for blant annet midlertidig absorpsjon av overvann".

En ny norsk standard, "NS 3840 Grønne tak – planlegging, prosjektering, utførelse, skjøtsel og drift – Ekstensive tak" ble lansert i 2015. Standarden skal sikre kvalitet. Dette er et annet eksempel på norske arbeider for å implementere bruken av grønne tak.

2.4 Trygge flomveger

I treleddsstrategien presenteres trygge flomveger som det siste leddet. Tiltaket skal ta hånd om store regnmengder når den hydrauliske kapasiteten til infiltrasjons- og fordrøyningsanlegg overskrides. Flomveger kan defineres som en "trase der overvann avledes til en resipient". Det kan være naturlig eller planlagt (NOU 2015;16). Norsk vann rapport nr.204 "Åpne flomveger i bebygde områder, 2014" beskriver en flomveg som "lavpunkt/-strekninger i terreng eller bebygde områder hvor vannet kan avledes ved flom" (Røstum et al. 2014).

Bakgrunnen for anlegging av flomveger er ekstreme værhendelser samt økning i andel tette flater. Flomsituasjoner i byer og tettsteder opptrer stadig i de senere årene og forårsaker skader på bygninger og infrastruktur. Alternative flomveger er nødvendig for å få til en kontrollert bortføring av overvann. Tiltaket kan minimalisere oversvømmelsesskader ved å fungere som et avrenningssystem på overflaten for overvann når det konvensjonelle systemet svikter ved sterkere nedbør enn dimensjoneringsgrunnlaget.

Flomveger kan være aktuelt for områder som (NOU 2015; 16):

- Veigrøfter
- Parkeringsplasser
- Ubebygde traseer i terrenget
- Gater med saktegående biltrafikk. Vannhastigheten blir dermed lav

I de senere årene har flere norske kommuner satt overvann høyere på agendaen. Trondheim kommune har kartlagt flomveger. Analysene av flomveger og forsengkninger ble gjort ved hjelp av GIS-programvare og terrengeanalyser. Veger vannet vil ta under ekstreme avrenningshendelser presenteres i såkalte aktsomhetskart.

Porsgrunn kommune vurderte flomveger i sentrum sør. Arbeidet baserer seg på lokal kunnskap med hydrologiske beregninger.

2.4.1 Gatelegeme som flomveg

Som et eksempel på kommunenes arbeid med flomveger har Skien kommune brukt **boliggater** for dette formålet. Torggata midt i sentrum er Skiens viktigste flomveg. Når kraftig regn opptrer er ikke kommunens tradisjonelle rørsystem i stand til å håndtere de store overvannsmengdene. Da trer i kraft flomvegen der overflatevannet renner som en elv gjennom byen med noen cm dybde. Fortauskantene er så høye at vannet skader ikke bygningene langs gaten. Gater og veger med stillegående biltrafikk kan være en aktuell løsning for avledning av store vannmengder så lenge utformingen av gaten er slik at den høye vannføringen ikke skader vegen og danner dammer. Funksjonen av vegen spiller en vesentlig rolle ved planlegging av flomveger. Faktorer som fremkommelighet av utrykningskjøretøy og om flomvegen vil utgjøre en fare for mennesker som bruker de vanligvis tørre områdene er viktige momenter som må vurderes spesielt (Røstum et al. 2014).

I Sandnes kommune pågår det arbeidet med å utforme byens gågate som en flomveg. Prosjektet går ut på benytte hele vegkroppen til fordrøynings og infiltrasjon der utformingen av vegtverrsnittet spiller en vesentlig rolle. Vegen planlegges med tverrfall mot midten for å kunne samle opp vannet i det laveste punktet. Det nye overvannssystemet baserer seg på eggformede rør som er en del av det tradisjonelle overvannsnett. Ved normalnedbør vil det nye rørsystemet ha nok kapasitet til å magasinere og lede vekk regnvannet. Når det opptrer ekstremnedbør vil flomvegen tre i kraft der vannet blir stående midt i gågata (VA-forum nr.1, 2016).

2.4.2 Åpne bekker

Åpne bekker er naturlige flomveger. Gjenåpning av bekker beskrives derfor som gjenoppdagede flomveger. Det er viktig at bekkene ikke lukkes og dype søkk i terrenget ikke bygges igjen. Sammenlignet med lukket rørsystem vil en åpen bekk være en robust løsning med hensyn på hydraulisk kapasitet. Bekker som ble lagt i rør har i de senere årene blitt åpnet igjen i sammenheng med arbeidene om å redusere skadeflommer. Listen som gir forslag til flomdempende tiltak i Norge presenterer gjenåpning av bekker og elver under ledd 1, 2 og 3 i treleddsstrategien (Braskerud & Hauge, 2014). Tiltaket ivaretar flere funksjoner.

2.4.3 Gresskledd vannveger

Gresskledd vannveger, en grunn forsenkning i terrenget med lav helning i strømningsretningen gjør jobben til en flomveg (Leland, 2013). Hovedhensikten med overvannstiltaket er å transportere overvannet på en langsom og trygg måte, fordrøye og infiltrere overvann. Derfor inngår tiltaket under både ledd 1, ledd 2 og ledd 3 i treleddsstrategien. Mindre regn infiltreres, større regn fordrøyes og ekstreme regn avledes trygt på overflaten. Løsningen bidrar til å redusere belastningen på nedstrøms overvannssystem da det jevner ut vannføringen og deler av overvannet infiltreres.

I tillegg til å fungere som en flomveg og ivareta flere funksjoner, kan tiltaket inngå som element i parker og rekreasjonsarealer. Dette er et populært tiltak i utlandet som betegnes med forskjellige navn i ulike land. I England og USA kalles tiltaket for "Swales". Danmark bruker betegnelsen "Vadi" eller "V". Svensk litteratur bruker navnet "Svackdiken" mens Tyskland opererer med navnet "Mulden-Rigolen". Bildet under til venstre viser et eksempel på tiltaket fra Urridaholt i Island. Området ligger ved Reykjavik der gresskledd vannveger er en sentral del av overvannshåndteringen. Parkeringsplasser og områder langs veger brukes til dette formålet. Bildet til høyre er et annet eksempel på tiltaket fra Augustenborg, Malmö i Sverige. Valg av denne løsningen er et resultat av kommunens arbeid med oppgradering av avløpssystemet. Kommunen tok beslutningen med å beholde fellesledningen til spillvann og la overvannet slippe ut til LOD-tiltak som består av blant annet gressdekkede vannveger.

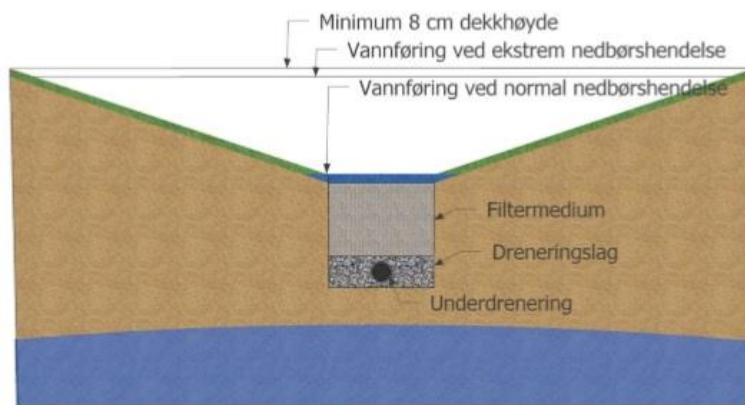


*Figur 2.18:
Gresskledd vannveger fra Urridaholt, Island
(Leland, 2013)*



*Figur 2.19
Gresskledd vannveg fra Augustenborg,
Malmö (Leland, 2013)*

I følge VA-Miljøblad nr.93 "Åpne Flomveger, 2009" skal flomveger dimensjoneres for minst 100-års gjentaksintervall. Ved flomberegninger anbefales det at nåværende IVF-kurver multipliseres med en klimafaktor mellom 1,2-1,4. Dette for å kompensere for fremtidige økninger i regnintensiteter. Tverrsnittet til vannveger utformes som brede og grunne for at normal vannføring ikke overstiger vegetasjonshøyden. Dette er nødvendig fordi vegetasjon bremser opp vannstømmen. Ved å erstatte grunnen med et filtermedium og dreneringsrør kan infiltrasjonskapasiteten økes (figur 2.20).



Figur 2.20: Utforming av tverrsnittet for glesskledde vannveger (Leland, 2013)

2.5 Case-studier

2.5.1 Augustenborg, Malmø

Bydelen Augustenborg i Malmø i Sverige er et godt eksempel på hvordan et forfallende boligområde med oversvømmelsesproblemer ble transformert til et fremragende ekostad. I dag gir området inspirasjon og ideer til forskning og utvikling i mange andre land.

Da området ble etablert i 1950 var det et moderne bosted bestående av 3-6 etasjers boligblokker med et totalt areal på ca. 20 hektar. Etter 70-tallet mistet bydelen sin populæritet som følge av manglende vedlikehold og sosiale utfordringer.

Forhold knyttet til overvannsproblematikken var (Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter, 2013);

- Fellessystem: Overvann og spillvann ble ledet til samme ledning.
- Underdimensjonert avløpssystem: Det konvensjonelle avløpssystemet var planlagt i henhold til 50-tallets dimensjoneringsgrunnlag.
- Omfanget av tette flater.

Prosjektet med omvandling av bydelen til en ekostad startet i 1998 og er et samarbeid mellom Malmø Kommunale Bostäder (MKB), Malmö Stad og flere andre aktører. Et av delmålene med ekostaden var etablering av åpne overvannsløsninger. I stedet for å oppgradere det gamle avløpssystemet ble det valgt å utforme og teste nye tenkemåter. Det åpne systemet skulle håndtere overvannet som et synlig element i boligområdet og samtidig redusere problemer relatert til kjelleroversvømmelser. Prinsippet var primært rettet mot å redusere og fordrøye overvannet slik at belastningen på avløpsnettet skulle reduseres. Målsetningen med den nye tankegangen for overvannshåndteringen var å ta hånd om eller fordrøye så mye som 70 % av nedbøren i Augustenborg (VASYD).

Overvannssystemet i bydelen preges av åpne dammer, kanaler og grønne tak. Totalt ble det anlagt et 6 km lang kanalsystem som er dimensjonert i henhold til 15-års gjentaksintervall. Det ble valgt å skape fordrøyningsarealer for overvann. Utearealene i bydelen er i prinsippet utformet som fordrøyningsmagasiner (Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter, 2013).

Augustenborg har en botanisk takhage bestående av ca. 10 000 m² med grønne takarealer som utgjør et viktig forskningsanlegg (figur 2.21). Flere svenske universiteter anvender takhagen for forskning innen teknologien for grønne tak. I tillegg til den botaniske takhagen finnes det ca. 30 grønne tak i området.

Det estimeres at 90 % av overvannet fra tak og andre impermeable flater føres til det åpne overvannssystemet. Det nye systemet er i dag istand til å håndtere overflateavrenningen lokalt. Mengden av overvann som ledes til fellessystemet er betydelig redusert nå, slik at det tradisjonelle avløpssystemet håndterer stortsett kun spillvann (Villarreal et al. 2004).

I løpet av sommeren 2007 opptredde det en regnhendelse tilsvarende en 50-års regn. Nedbør over 75 mm medførte til blant annet oversvømte vegforbindelser i Malmö. Selvom bydelen er dimensjonert for å motta regn med 15-års gjentaksintervall, taklet systemet denne episoden uten oversvømmelser. Dette tyder på at Augustenborg er godt forberedt på intense nedbørshendelser i fremtiden (Klimatanpassningsportalen).



Figur 2.21: Augustenborg botaniske takhage (Scandinavian Green Roof Institute)



Figur 2.22: Fordrøyning i åpne kanaler (t.v) og dammer (t.h) i Augustenborg (Klimatanpassingsportalen)

2.5.2 Bjølsen studentby, Oslo

Bjølsen studentby som ble ombygget i 2003 består av 1064 boliger. Området som tidligere ble disponert av Oslo Sporveger var dekket av en bussgarasje og verksteder. En gammel verkstedhall fra 1929 ble innredet til 77 studentboliger og resten av boligene er etablert som nybygg. Området har et totalt areal på 61 000 m² der 52 000 m² omfatter nybygg mens 9 000 m² dekker arealer som er ombygget.

Overvannshåndtering i studentbyen baserer seg på fordrøyning. Bakgrunnen for denne løsningen er kommunens krav om LOD-tiltak da avløpssystemet var ikke istand til å ta unna store belastninger. Valg av en åpen fordrøyningsdam som LOD-tiltak har estetiske og ekologiske årsaker i dette tilfelle. Overvannet fra tette flater samles og ledes via åpne renner til en våtoppstilt fordrøyningsdam (figur 2.23 og figur 2.24). Betydelige vannmengder fra harde flater utjevnes og dermed unngås belastning på avløpsnett.

Den våtoppstilte dammen som rommer 30-40 cm konstant vannspeil er utformet som en langstrakt kanal med 3,5 m bredde og 55 m lengde og er plassert sentralt i boligområdet. Dimensjoneringen av dammen er gjort i henhold til å fordrøye 110 m³ vann og skal klare å håndtere store regnskyll. Etter at dammen gjør jobben sin med å holde tilbake overvannet og når vannivået stiger over et gitt nivå, vil vannet renne over i to oppholdskummer før det ledes videre til det kommunale nettet. I enden av kanalen eksisterer det også et nødoverløp som aldri har vært i drift siden etableringen av anlegget.



Figur 2.23: Åpen renner som fører overvannet til fordrøyningsdammen (Oslo kommune, 2013)



Figur 2.24: Vått fordrøyningsdam (Oslo kommune, 2013)

2.5.3 Pilestredet park, Oslo

Pilestredet park som ble ferdigstilt i 2008 er et nytt område utviklet på den gamle Rikshospitaltomten. Området karakteriseres som en blanding av nye bygninger og transformerte hospitalbygg. Det ble bygget over 1500 nye boliger, parker, plasser samt lokaler for næring og utvikling (Oslo kommune, 2013).

Overvannshåndteringen baserer seg på en kombinasjon av grønne tak, åpne overvannsrenner og fordrøyningsmagasiner. Funksjonen til rennene er å lede overvannet først til sandfang og videre til fordrøyningsmagasiner før det slippes ut til det kommunale ledningsnettet.

Takflatene i området består av tradisjonelle tette flater samt grønne flater. Som vegetasjon ble det benyttet sedum og busker til grønne tak. Målet med etablering av vegetasjonsdekkede tak er å redusere overflateavrenningen samt holde tilbake den første delen av regnet. Magasineringsvevnen til det grønne takarealet oppgis som 5 mm.



Figur 2.25: Åpne renner (Oslo kommune, 2013)



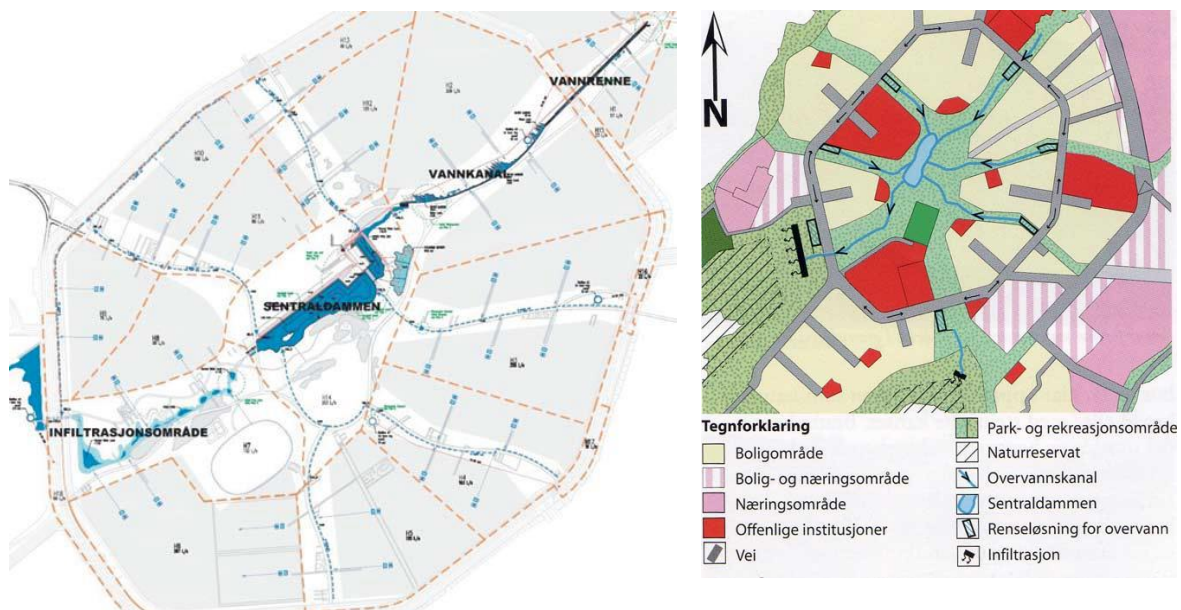
Figur 2.26: Sedumtak (Oslo kommune, 2013)

2.5.4 Nansenparken, Fornebu

Nansenparken i Bærum kommune omtales som landets største transformasjonsprosjekt der grunnlaget begynte med nedleggelse av flyplassen i Fornebu. Et gammelt flyplassområde ble planlagt som en ny bydel som totalt skal dekke et areal på 40 hektar når hele området blir ferdig utbygget. Konseptet med åpne overvannsløsninger integrert i grønstrukturen spiller en sentral rolle for utforming av områdets terreng, utomhusanlegg og bygninger. Dette med tanke på å følge forløpet til vannet.

Terrenget ble utformet som et skål med en svak helning mot midten for å samle overvannet i sentraldammen som utgjør midtpunktet i Nansenparken. Transportsystemet for de åpne overvannsløsningene tar utgangspunkt i å lede overvannet fra tette flater til sentraldammen via renner/kanaler og grønne korridorer i parken (figur 2.27). De grønne korridorene er utformet som forsengkninger mellom utbygningsområder med formål som glesskledde vannveger for transport av overvann til sentraldammen. Denne løsningen ivaretar flere funksjoner under treleddsstrategien. Blant annet evnen til å holde igjen vannmengder i tillegg til å virke som transportårer i overvannssystemet. I fremtidige utbygningsområder som omfatter boliger, offentlige bygninger og veger etableres det fordrøyningsanlegg som sørger for mindre belastning på renner og kanaler samt variasjonen i vannstanden i sentraldammen blir mindre. Overvannet som til slutt samles i sentraldammen føres videre til et naturreservatet, Storøykilen via en grønn korridor. Infiltrasjonsområder sydvest for dammen skal håndtere overvann fra arealer som ikke tas hånd om sentraldammen (Statsbygg, 2004).

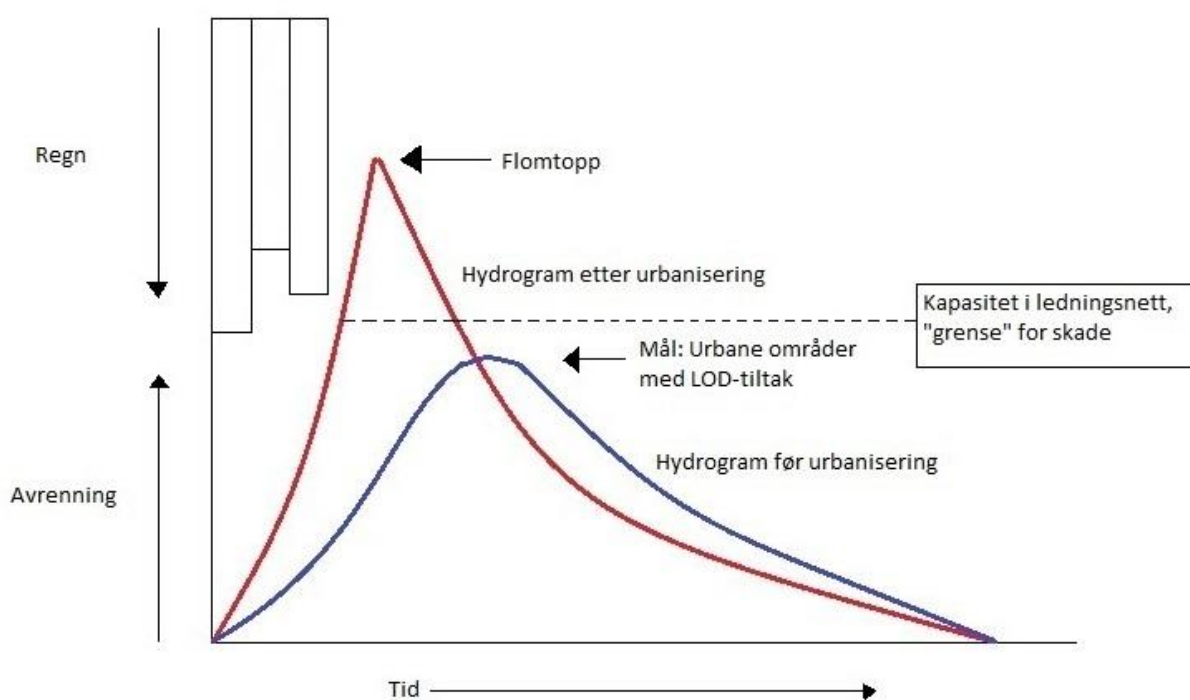
Sentraldammen er delt inn i to deler, en innløpssone med 1500 m² som ligger 25 cm høyere og en hoveddel med 5000 m². Snittdybden eller det permanente vannspeilet i den våtoppstilte dammen oppgis som 1,5 m og maksdybden er 2,2 m. Ved kraftig regnvær kan det tillates at vannstanden øker med 20 cm under en kort periode. Dette innebærer et fordrøyningsvolum på 1200 m³ (Kommunalteknikk nr.5, 2010).



Figur 2.27: Oversikt over løsninger (t.h) og transportsystemet for overvann (t.v)
(Kommunalteknikk nr.5, 2010)

3 Flomdempende effekten av LOD-tiltak

Hvordan urbanisering sammen med klimaendringer påvirker avrenningen fra urbane områder ble diskutert i kapittel 1. Hydrogrammet i figur 3.1 illustrerer virkningen av urbanisering og filosofien med flomdempning ved bruk av lokale overvannsløsninger. Den blå linjen representerer avrenningsforløpet før urbanisering, mens den røde linjen viser utslaget urbaniseringen gir. Større andel av tette flater vil resultere i raskere og større avrenning. Avrenningstoppen uttrykker maksimal vannføring/intensitet ved en nedbørhendelse og ved høy vannføring kan dette uttrykkes som flomtopp. Det er flomtoppen som gir skader og målet er få toppen ned så mye som mulig. Ved implementering av LOD-tiltak forsøker en å forsinke og redusere flomtoppen, slik som det vises i avrenningsforløpet før urbanisering. Ved å dempe flomtoppen til et nivå som det eksisterende ledningsnett kan håndtere, vil kapasiteten i ledningsnett ikke overskrides og skader unngås.



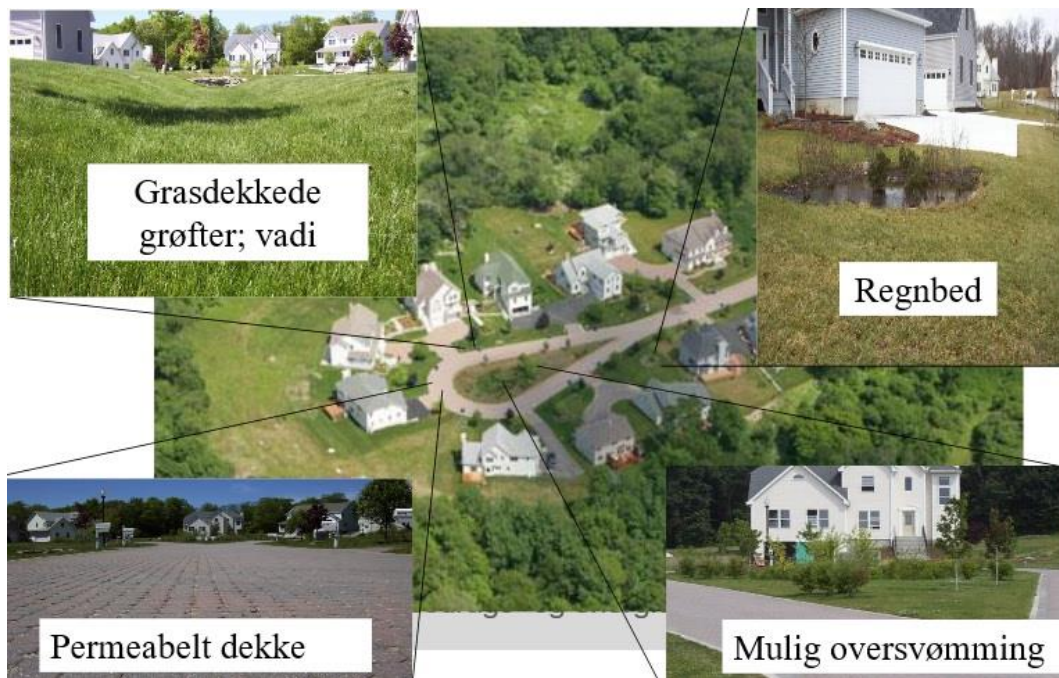
Figur 3.1: Flomdempning med LOD-tiltak

Dempning av flomtoppen kan skje ved fordrøyning eller infiltrasjon. Ved infiltrasjon blir vannet "borte" og går ned i grunnen. Ved fordrøyning forsinke det bare ut i en lengre tid, med langvarig avrenning. Målet med dette kapittelet er å utrede i hvilken grad ulike LOD-tiltak påvirker avrenningen. Dette gjøres ved å gjennomgå utenlandsk og norsk litteratur. I tillegg til "reduksjon og forsinkelse av flomtoppen" diskuteres begrepet "tilbakeholdt nedbør" da det beskriver den delen av nedbøren som ikke omdannes til overvann. Med dette reduseres mengde avrenning som belaster avløpssystem. Volumreduksjon er viktig hvis overvannet ledes til et fellessystem og videre til renseanlegg. Dempning av flomtoppen vil være aktuelt for både fellessystem og separatsystem.

3.1 LOD generelt

3.1.1 Boligfelt i USA

I et boligfelt i USA ble avrenningen fra to små nedbørfelt med eneboliger sammenlignet (Hood et al. 2006). Overvannshåndtering i det ene boligfeltet baserte seg på tradisjonelle måter der overvannet ble raskt bortledet via nedløpskummer. Det andre feltet bestod av LOD-tiltak (figur 3.2). Felt A, det tradisjonelle feltet bestod av 20 dekar bebygde områder, mens felt B der LOD ble implementert bestod av 17 dekar. Det tradisjonelle feltet ble utbygget med større andel tette flater sammenlignet med LOD-feltet. I og med felt B var mindre i areal og brattere sammenlignet med felt A, ble det regnet med at avrenningen på begge felt skulle være tilnærmet lik. Området hadde en nedbørmengde ca.1300 mm/år.



Figur 3.2: Oversikt over LOD-feltet (Hood et al. 2006)

Som det vises i figur 3.2, bestod konseptet med lokale overvannsløsninger av flere anlegg. Det ble benyttet gresskledd vannveger/vadi. I stedet for å dekke arealer med tette flater som asfalt, ble det benyttet permeable dekker. Regnbed ble etablert for å tilbakeholde vann fra tak og andre tette flater. Sentrum av rundkjøringen ble utformet slik at det kunne disponeres til midlertidig oversvømming under store nedbørmengder.

Avrenningsepisoder ble registrert i løpet av en to års periode ved hjelp av målerenner i overvannsledninger i felt A og gresskledd vannveger i felt B. Hendelser med snøsmelting er ikke tatt med måledataene som presenteres i artikkelen.

Den amerikanske undersøkelsen viser at avrenningen begynte etter 3 mm nedbør i det tradisjonelle feltet, mens 6 mm nedbør var nødvendig i LOD-feltet for å sette i gang avrenningen. Dette kalles for initialtap eller nedbørmengde før avrenning og forteller oss hvor mye av nedbøren holdes tilbake av hydrologiske prosesser før det genereres avrenning. Det kommenteres at verdien for initialtap er høy da det er vanlig å operere med 1 mm i svenske og norske undersøkelser. Undergrunnen i området som består av stortsett siltig sand som har gode infiltrasjonsevner kan være forklaringen på den store forsinkelsen i avrenningen.

Tabell 3.1: Avrenning fra LOD-feltet sammenlignet med det tradisjonelle feltet (Hood et al. 2006)

	< 25 mm (liten)			> 25 mm (stor)		
	n	LOD	Tradisjonell	n	LOD	Tradisjonell
A: Regnets tyngdepkt. - flomtopp (min)	62	39 a	6 b	21	42 a	24 a
B: Regnets tyngdepkt. - avr. tyngdepkt. (min)	47	54 a	15 b	19	81 a	34 b
C: Start regn - flomtopp (min)	62	129 a	92 b	15	249 a	192 a
D: Max regn - flomtopp (min)	57	36 a	7 b	19	58 a	36 a
E: Avrenning (mm)	76	0,1 a	1,1 b	21	1,7 a	10,0 b
F: Flomtopp (l/s/ha)	60	0,7 a	9,2 b	21	3,7 a	18,0 b

Effekten av LOD-tiltakenes virkning på avrenning i henhold til det tradisjonelle feltet presenteres i tabell 3.1. Nedbørmengder under 25 mm grupperes som liten, mens nedbørmengder større enn 25 mm kalles for stor. Antall observasjoner med regnepisoder uttrykkes med n.

Gjennomsnittlig tidsforsinkelse etter regn kategoriseres med bokstaver fra A-D;

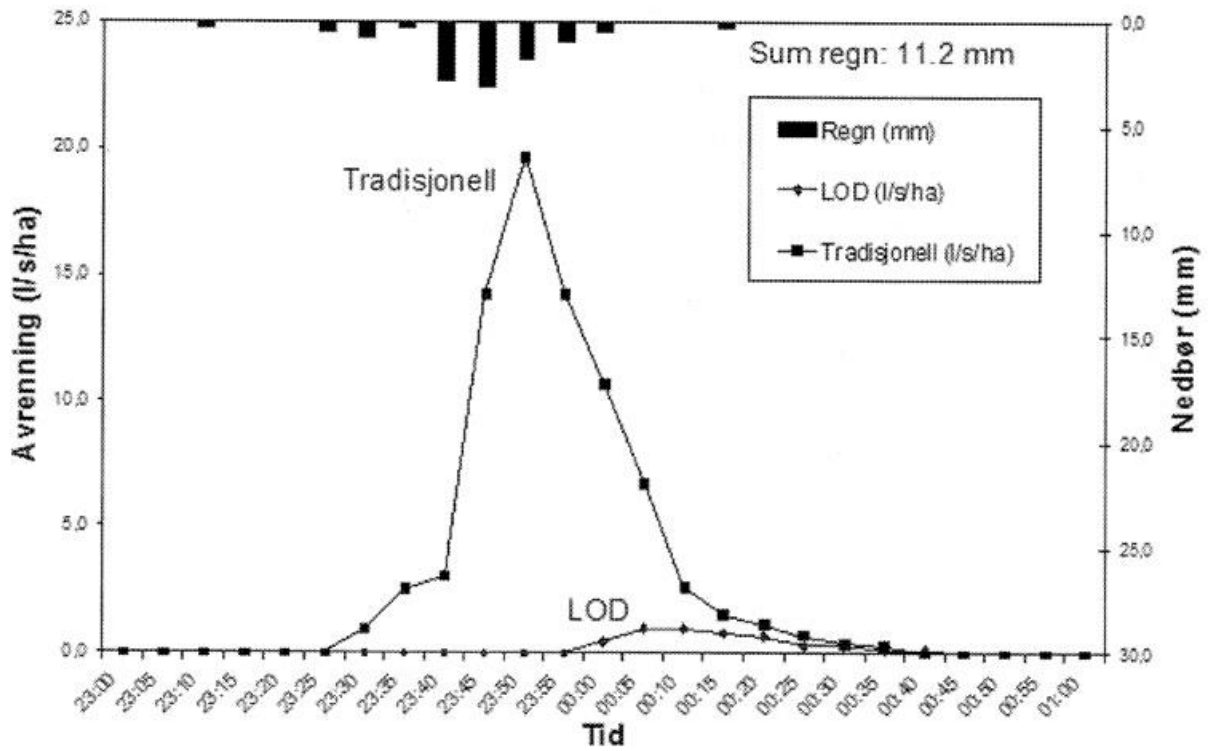
- A står for forsinkelsen fra regnets tyngdepunkt, t_{rt} sammenlignet med hydrogrammets høyeste intensitet t_{hm}
- B sammenligner t_{rt} med hydrogrammets tyngdepunkt, t_{ht}
- C uttrykker tidsforsinkelsen fra regnets start, t_{r0} sammenlignet med hydrogrammets høyeste intensitet t_{hm}
- D sammenligner forsinkelsen fra regnets max intensitet, t_{rm} med hydrogrammets høyeste intensitet t_{hm}
- E representerer gjennomsnittlig avrenningsvolum
- F viser gjennomsnittlig avrenningstopp

Resultater presentert i tabellen viser at lokal overvannsdiskonering påvirker avrenningen. For regnmengder mindre enn 25 mm ble avrenningen i LOD-feltet alltid betydelig forsinket sammenlignet med det tradisjonelle feltet. Denne forsinkelsen gjaldt også for store regnmengder, men det var ikke statistisk sikkert. For små regnmengder viser punkt A i tabell at tiden fra regnets tyngdepunkt til flomtoppen (Q_{max}) ble i gjennomsnitt forsinket 39 minutter i feltet med LOD-tiltak, mens tilsvarende forsinkelse var 6 minutter i boligfeltet med tradisjonell overvannshåndtering.

Gjennomsnittlig avrenningsvolum fra LOD-feltet ble vesentlig dempet. For store regn større enn 25 mm viser tabell en gjennomsnittlig avrenningsvolum på 10 mm fra det tradisjonelle-feltet, mens gjennomsnittlig avrenningsvolum fra LOD-feltet oppgis som 1,7 mm. Dette tilsvarer kun 17 % av det vannet som renner av fra det tradisjonelle feltet.

Flomtoppen, Q_{max} ble betydelig redusert ved bruk av LOD-tiltak uavhengig av størrelsen på regnmengder. For store regn oppgis hydrogrammets gjennomsnittlig største vannføring 18 l/s*ha for det tradisjonelle feltet og 3,7 l/s*ha for LOD- feltet.

Studiet konkluderer med at "avrenningsvolumet og flomtoppene fra LOD-feltet ble redusert merkbart samtidig som det ofte ble forsinket". Dette illustreres ved hjelp av figur 3.3. Under nedbørepisoden den 15. September i 2003 ble det registrert 11,2 mm nedbør. Flomtoppen ble målt til ca. 20 l/s*ha for det tradisjonelle feltet, mens flomtoppen i LOD-feltet tilsvarte kun ca. 2 l/s*ha. Flomtoppen i LOD-feltet ble forsinket med ca. 15 minutter. Avrenningsvolumet ble også betydelig redusert.



Figur 3.3: Reduksjon og forsinkelse av flomtappen under en regnhendelse på 11,2 mm (Hood et al. 2006)

3.1.2 Augustenborg, Malmø

Etablering av åpne overvannsløsninger i Ekostaden Augustenborg i Malmø er omtalt under case-studier. Bydelen er et eksempel på implementering av LOD-tiltak i et eksisterende boligområdet som ble renoveret, noe som er begrenset sammenlignet med bruk av lokale overvannsløsninger i ny etablerte urbane områder. Virkningen av frakobling av tette flater fra felles avløpssystemet i Augustenborg ble undersøkt i en svensk undersøkelse (Villarreal et al. 2004).

Modellering med feltet viser at total årlig avrenningsvolum er redusert med omtrent 20 % sammenlignet med det konvensjonelle systemet. Dette henger sammen med evapotranspirasjon fra fordrøyningsdammer, kanaler og grønne tak mellom regnhendelser.

Det svenske studiet konkluderer med at grønne tak er en effektiv løsning for å redusere avrenningsvolum mens fordrøyningsdammer spiller en sentral rolle når det gjelder forsinking og demping av avrenningsintensiteten. Simuleringer med feltet viste at dammer kan dempe avrenningstoppen generert av en 10-års regn selv under våte initialtilstand. Et viktig poeng fra undersøkelsen er at de etterinstallerte LOD-tiltakene alene klarer å holde tilbake et 10-års regn.

Avrenning fra ekstensive grønne tak i Augustenborg ble målt i løpet av mer enn ett-års periode (Bengtsson et al. 2005). Det vegetasjonsdekkede takarealet som ble undersøkt bestod av sedum som vegetasjonslag, en 3 cm tykk vekstmedie eller substrat, takvinkelen var 2,5 % og tverrsnittet av takarealet var 4 m*1,25 m. Undersøkelsen viser at det grønne taket kunne holde tilbake omtrent 10 mm nedbør før det ble generert avrenning. Det presiseres at den månedlige og årlige vannbalansen for grønne tak skiller seg fra tradisjonelle takflater. Dette henger sammen med at regn som faller på et vannmettet tak genererer avrenning nesten like stor som regnmengden. Om våren og sommeren kunne den månedlige avrenningen være 50 mm mindre enn nedbøren, mens på årsbasis kunne avrenningen være mindre enn halvparten av nedbøren. Med andre ord ble det årlige avrenningsvolumet redusert med mer enn 50 %.

3.1.3 Metoder for å håndtere avrenning fra ekstremregn og effekten

Tabell 3.2 viser tre metoder for å håndtere avrenning fra ekstremregn på (Lindholm, 2016). Det er tatt utgangspunkt i regnmengder som falt under skybruddet i København i juli 2012. Monsterregnet kan håndteres ved å kombinere LOD-tiltak som dimensjoneres for 10-års regn, avløpsnett som dimensjoneres for 20-års regn og trygge flomveier som har til funksjon å avlede store regnmengder frem til resipient på en trygg måte. Bakgrunnen for at lokal overvannsdiskonering kan håndtere 10-års regn er hentet fra studiet som undersøkte effekten av LOD-tiltak i Augustenborg (Villarreal et al. 2004).

Tabell 3.2: Håndtering av avrenning fra ekstremregn (Lindholm, 2016)

	Monsterregn i København som falt andre juli 2012	
	Regnvarighet 30 minutter	Regnvarighet 2 timer
Monsterregn	338 l/s ha	166 l/s ha
LOD 10 års regn	120 l/s ha	42 l/s ha
Avløpsnett 20 års regn	150 l/s ha	50 l/s ha
Trygge flomveier	68 l/s ha (ca 2 års regn)	74 l/s ha (ca 200 års regn)
Aktuell områdestørrelse	Ca 6 km ²	mer enn 50 km ²

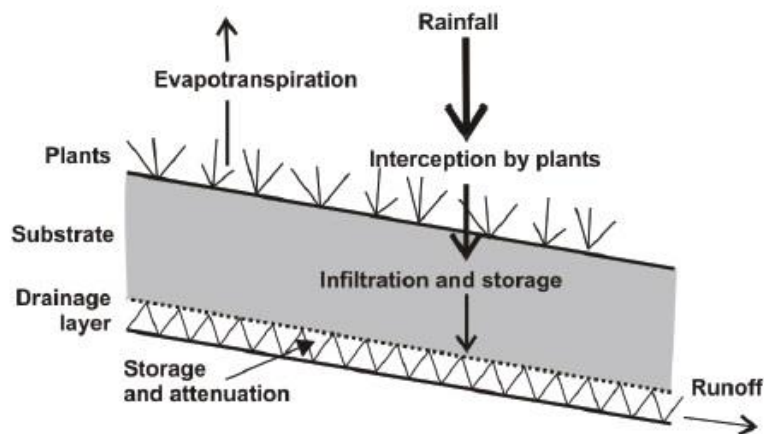
3.2 Grønne tak

Hvordan et grønt tak fordrøyer avrenningen kan deles inn i tre deler (Noreng et al. 2012):

- Tilbakeholder nedbør
- Forsinker avrenning
- Reduserer avrenningsintensiteten

Når nedbør faller på grønne tak, vil det først fanges opp av beplantningen i vekstlaget. Videre vil vannet infiltreres ned i vekstmediet. Nedbøren magasineres i dette laget inntil metningspunktet nås og avrenningen starter. Vannet som er til overs ledes til taknedløpet via dreinslaget.

Evnen til å holde tilbake vann reduserer avrenningen fra grønne tak da store deler av regnvannet benyttes av planter og noe fordampes. Vegetasjonen spiller en vesentlig rolle for å begrense overvann. Planter oppholder vann ved hjelp av intersepsjon, samtidig forbrukes vannet ved evaporasjon fra jordoverflaten og transpirasjon fra planter (figur 3.4).

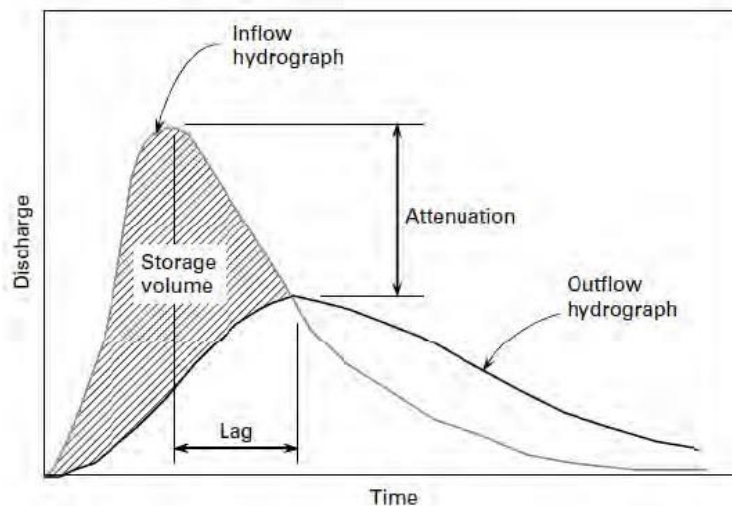


Figur 3.4: Hydrologiske prosesser på grønne tak (Stovin et al. 2007)

Forsinkelse av avrenning står for den tiden det tar fra regnet starter til avrenning fra taket begynner. Denne tidsforsinkelsen henger sammen tiden det tar før vekstmediet mettes med vann og tiden vannet dreneres gjennom dette laget til avløpet (Getter et al. 2006).

Med en reduksjon i avrenningsintensiteten menes at mengde avrent vann per tidsenhet er mindre sammenlignet med et vanlig tak. Avrenningsintensiteten kan både forsinkes i tid og reduseres i størrelse av grønne tak.

Fordrøynings-effekten til grønne tak er oppsummert i figuren under. Forløpet av nedbørintensiteten kalles for Inflow hydrograph og forløpet av avrenningintensiteten vises som Outflow hydrograph. Mengde tilbakeholdt vann vises som storage volume. Dempning av avrenningstoppen uttrykkes med Attenuation, mens Lag viser tiden avrenningstoppen forsinkes med.



Figur 3.5: Grønne tak holder tilbake nedbør, samtidig som det forsinker og reduserer avrenningstoppen (Noreng et al. 2012)

3.2.1 Tyske studier

Tyskland anerkjennes som verdensledende når det gjelder utvikling av moderne grønne tak (Getter et al. 2006). For første gang tysk litteratur nevner grønne takenes evne til å tilbakeholde vann refereres helt tilbake til 1985. I de senere årene ble det utgitt flere tyske artikler som forsket avrenning fra forskjellige typer vegetasjonsdekkede tak der kjente forfattere var Kolb, Lieseke eller Mann.

I følge den tyske studien (Kolb, 2004) kan grønne tak fordampe mellom 45-70 % av den årlige nedbøren. Intensive og ekstensive tak ble undersøkt. Den førstevnte taktypen har i utgangspunktet bedre potensiale til fordampning sammenlignet med ekstensive tak. Under vinterperioden er fordampningen lav for begge taktyper. Ved valg av ideelt substratlag ble det oppnådd en vesentlig reduksjon av avrenningstoppen. Avhengig av regnintensiteten som ble registrert til 100, 200 og 300 l/s*ha ble avrenningstoppene redusert med så mye som 52 %, 29 % og 17 %.

En studie analyserte 18 publikasjoner om effekten av grønne tak der de fleste baserer seg på tyske erfaringer (Mentens et al. 2005). Litteraturstudien konkluderer med at tilbakeholdningen av årlige regnmengder kan variere fra 75 % for intensive grønne tak med gjennomsnittlig substrattykkelse på 150 mm og 45 % for ekstensive grønne tak med gjennomsnittlig substrattykkelse på 100 mm. Det presiseres at denne effekten avhenger av tykkelsen på substratet, klimatiske forhold og regnmengder. Videre resonneres det fram til at tilbakeholdningen er betydelig større om sommeren sammenlignet med vinteren. Det diskuteres også hvordan avrenningen påvirkes hvis 10 % av Brussels tak ombygges som ekstensive grønne tak med 100 mm substrattykkelse. Simuleringer viser at det tiltenkte scenarie kan redusere den årlige avrenningen med 2,7 %.

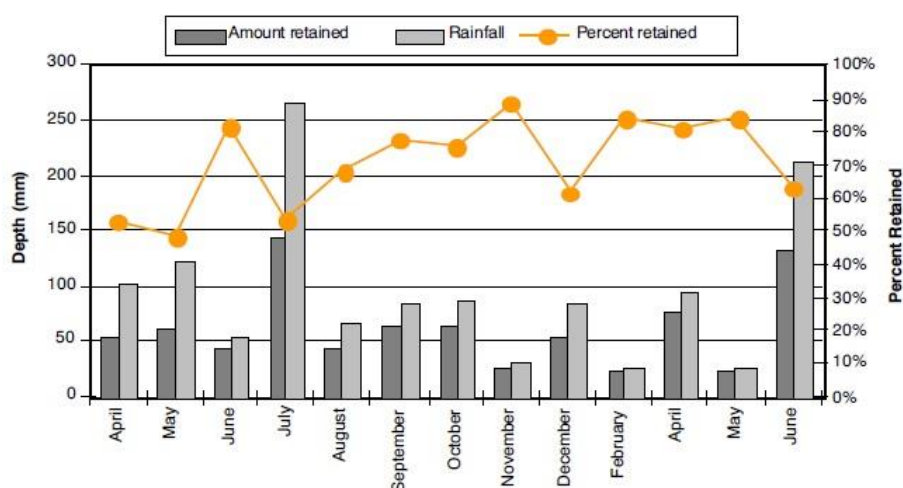
“Green roof storm water retention-Monitoring results” er igjen en tysk undersøkelse som forsket nedbør-avrenningprosessen (Uhl and Schiedt, 2008). Forsøket omfattet overvåking av 18 forskjellige vegetasjonsdekkede takkonstruksjoner med ulike takhellinger og lagtykkelser. Undersøkelsen foregikk over en to-års periode. Resultater viste at de grønne takene reduserte den årlige og sesongmessige avrenningen betydelig. Lagtykkelsen dominerte tilbakeholdningseffekten sammenlignet med andre konstruksjonsdetaljer. Tilbakeholdningsevnen var hovedsakelig basert på evapotranspirasjon og om det var våt eller tørr initialtilstand. Bratte takvinkler viste en tendens til å øke avrenningen. En vesentlig reduksjon i avrenningstoppen ble registrert uansett taktype.

3.2.2 Amerikanske studier

En undersøkelse i North Carolina i USA studerte effekten av to ekstensive grønne tak, et flatt tak med gjennomsnittlig substrattykkelse på 75 mm og et med 3 % takvinkel og 100 mm substrattykkelse (Hathaway et al. 2008). Tilbakeholdningen ble målt til 64 % av den totale regnmengden for begge taktyper. Avrenningstoppen ble betydelig redusert og forsinket. Det ble observert en gjennomsnittlig reduksjon av avrenningstoppen med mer 75 % for begge takene.

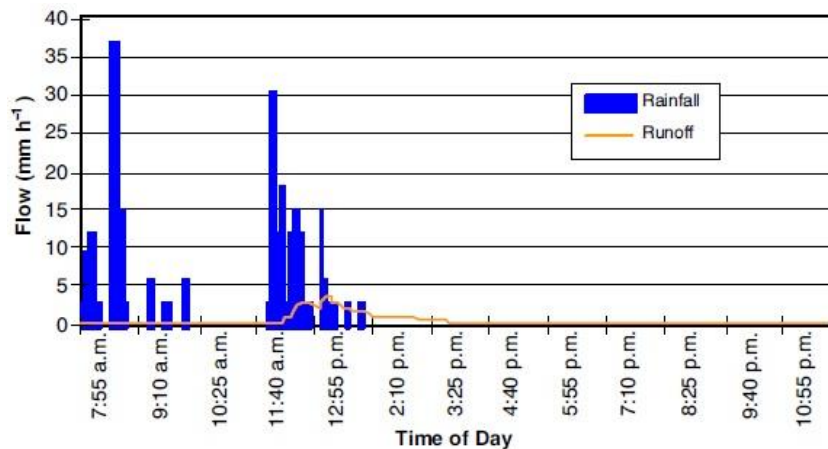
Variasjonen i den månedlige tilbakeholdningen av nedbør vises i figur 3.6. I følge studiet er denne variasjonen avhengig av nedbørmengde og nedbørmønsteret. Tørre initialtilstand kan påvirke mengden av nedbør som holdes tilbake. Under en periode med hyppige regnskyll vil kapasiteten til vekstmediet reduseres da det ikke er tilskrekkelig tid til uttørkning. Høy fordampning og lengre perioder med tørr initialtilstand vil øke mediets potensiale for å tørke ut. I henhold til figur 3.6 var tilbakeholdningen av nedbør lavere i april og mai i 2003 sammenlignet med september og oktober samme år. Dette skyldes hyppige regnhendelser i løpet av våren. Juli i 2003 ble meget vått med en total nedbørmengde på 266 mm. 142 mm av denne nedbørmengden ble holdt tilbake, noe som tilsvarer 53 %.

Det påpekes evapotranspirasjonens rolle når det gjelder tilbakeholdning av nedbør. Ut i fra figur 3.6 oppgis nedbørmengden som falt i desember i 2003 omtrent det samme som september og oktober samme år. Gjennomsnittlig tilbakeholdning i september og oktober oppgis som 78 %, mens det reduseres til 62 % i desember. I henhold til månedlige målinger av evapotranspirasjonen viste det seg at reduksjon i evapotranspirasjon i desember, resulterte i mindre vannmengder som ble tilbakeholdt.



Figur 3.6: Målt tilbakeholdning av nedbør i perioden april 2003-juni 2004 (Hathaway et al. 2008)

Figur 3.7 viser et eksempel på reduksjon av avrenningstoppen under regnhendelsen 7.april 2003. Det grønne taket dempet avrenningstoppen med 90 %. Den store reduksjonen henger sammen med en lang periode med tørr initialtilstand. Observert avrenning for denne regnhendelsen ble forsinket med 3,5 timer.



Figur 3.7: Reduksjon av avrenningsintensiteten 7. april 2003 (Hathaway et al. 2008)

“Green roofs for stormwater runoff controll” utgitt av US EPA i 2009 evaluerte bruken av grønne tak for overvannshåndtering. Avrenning fra ekstensive grønne tak med 9-10 cm tykk vekstmedie ble sammenlignet med vanlige tak dekket med asfaltapp. Undersøkelsen tok for seg blant annet innflytelsen av type og tykkelse av substratet. Resultater fra studiet viser at grønne tak er i stand til å fjerne mere enn 50 % av årlig nedbørsvolum. I løpet av sommeren oppgis det tilbakeholdning med 95 %, mens denne verdien reduseres til under 20 % i løpet av vinteren. Det nevnes at det ble registrert forsinkelse i avrenningstopper og størrelsen ble dempet i de fleste tilfeller. De grønne takene som ble testet var mest effektive med å forsinke og redusere flomtopper når de ikke var fullstendig mettet med vann. Avrenningstopper som ble generert av regnhendelser med høy intensitet og kort varighet viste seg å bli mere tidsforsinket sammenlignet med lavere regnintensiteter. Studiet legger fram at disse dataene støtter bruken av grønne tak som et verktøy i arbeidet med å tilpasse overvannshåndteringen til klimautfordringer.

Artikkelen med tittelen “Green roof stormwater retention” diskuterer tilbakeholdningen av nedbør relatert til vegetasjon, takhelling og tykkelsen på vekstmediet (VanWoert et al. 2005). To studier ble utført. Det første tok for seg sammenligning av tre taktyper; et tak med grus, et ekstensiv grønt tak uten vegetasjon og et vanlig ekstensiv grønt tak med vegetasjon. Det ble observert en gjennomsnittlig tilbakeholdning av regn fra 48,7 % for grustak, mens verdien ble målt til 82,8 % for tak med vegetasjon. Tak med vegetasjon ga betydelig bedre effekt sammenlignet med de to andre taktypene. Det andre studiet testet i hvilken grad takhellingen (2 % og 6.5 %) og tykkelsen av vekstmediet (2.5, 4.0 og 6.0 cm) påvirket tilbakeholdningen av vann. Resultater av takhelling med 2 % og 4 cm dyp vekstmedie viste største gjennomsnittlig tilbakeholdning med 87 %.

For å kvantifisere takhellingens effekt på avrenning analyserte en studie 12 ekstensive grønne tak med fire forskjellige takvinkler; 2 %, 7 %, 15 % og 25 % (Getter et al. 2007). Resultater viste en gjennomsnittlig tilbakeholdning med 80,8 %. Minste gjennomsnittlig tilbakeholdning ble registrert for den største takvinkelen og største tilbakeholdning viste seg for minste takvinkel. I tillegg påpeker studiet at avrenningen ble forsinket over lange perioder for alle takvinkler.

Det er ulike oppfatninger av takhellingens betydning for tilbakeholdning av nedbør. I tysk litteratur ble det ikke funnet en klar sammenheng mellom takhelling og mengde tilbakeholdt vann (Schade, 2000) og (Liesecke, 1998). En svensk undersøkelse støtter at en økning i takvinkelen vil resultere i større avrenning (Villarreal & Bengtsson, 2005).

3.2.3 Engelske studier

Det ble etablert et test tak i universitetet i Sheffield, UK i en liten skala (Stovin et al. 2007). Takkonstruksjonen ble bygget som et ekstensiv grønt tak med et areal på 3 m². Dybden av substratet var 80 mm. Som et eksempel vises det til målte verdier 14-15 februar i 2006. Under denne regnhendelsen falt det 9,2 mm nedbør. Det resulterte i kun 3,55 mm avrenning. Med andre ord tilsvarte avrenningen 61 % av nedbørmengden. Under resten av våren som karakteriseres som en våt sesong ble det registrert totalt 11 regnhendelser. Det ble målt en gjennomsnittlig tilbakeholdning av regnmengder med 34 %. Gjennomsnittlig reduksjon av avrenningstoppen oppgis til 57 %. Studiet oppgir hydrologiske nøkkelparametere som initialtilstand, gjennomsnittlig regnintensitet og regnmengde.

I hvilken grad hydrologiske ytelsen til grønne tak påvirkes av substratet og vegetasjonen diskuteres i en nyere engelsk publikasjon (Stovin et al. 2015). Nedbør og avrenning fra 9 ulike ekstensive grønne tak med 80 mm substratdybde ble analysert i løpet av en 4-års periode. Testtakene bestod av tre forskjellige substratsammensetninger med forskjellige porøsitet og tilbakeholdningskarakteristikk. Det ble også benyttet tre forskjellige vegetasjonstyper; sedum, eng og uten vegetasjon. Det ble observert at tak med vegetasjon viste bedre effekt til å holde tilbake nedbør og forsinke avrenningen. Vegetasjonslag av eng-blomster viste lignende hydrologisk ytelse som sedumvegetasjon. Takene med mest porøse substratsammensetninger viste de laveste verdiene for både tilbakeholdning av nedbør og fordrøyning av avrenning sammenlignet med substratsammensetninger som var velgradert og mindre permeabel. Denne observasjonen reflekteres med at vegetasjon vil på lang sikt ha en tendens til å øke fordampning av vann på grunn av evapotranspirasjon og store porer i substratet har også en lavere maksimal kapasitet for å holde på vann.

Effektiviteten av tilbakeholdningen for alle testtak viste seg å være sterk avhengig av nedbørmengden. For regn under 10 mm ble det registrert tilbakeholdning med mer enn 80 %. Når regnmengden overgikk 10 mm ble tilbakeholdningen registrert mye lavere. Effekten av vegetasjon og substrat var mest tydelig for nedbørhendelser større enn 10 mm der gjennomsnittlig tilbakeholdning varierte mellom 26,8 % - 61,8 %.

Hvordan forskjellige typer vegetasjon påvirker avrenningsmengden fra grønne tak ble forsket (Nagase & Dunnett, 2012). Tolv arter under plantegrupper som er mest brukt for ekstensive grønne tak ble undersøkt; urter, sedum og gress. Det viste at seg en betydelig forskjell på avrenningsmengder fra forskjellige vegetasjonstyper. Gress var den mest effektive vegetasjonen som reduserte avrenningen, fulgt av urter og sedum. I tillegg viste studiet at størrelsen og strukturen av plantene spilte en vesentlig rolle for mengde avrenning. Planter som var høye, store i diameter og med stort rotvolum var mest effektive for å redusere avrenningen.

3.2.4 Norske studier

Selv om det er en kjent egenskap at grønne tak fordrøyer avrenningen, er det fortsatt blant teknikker som er lite forsket i Norge. Et garasjetak i Oslo ble anlagt i 2009 med to ekstensive grønne tak og et referansetak uten vegetasjon for å kunne sammenligne effekten under norske forhold. Nedbør og avrenning fra forskningsfeltet ble målt i løpet av en 5-års periode. På grunn av den klimatiske beliggenheten og tynne substrattykkelsen av testtaket regnes det som et "worst case" tak. Med utgangspunkt i slike forhold vil resultater fra anlegget være gjeldende for en stor del av Østlandet (Braskerud, 2014).

Forsøktakene som rommet et totalt areal på 24 m² hadde et fall på 5,5 %. Takarealet ble delt inn i tre like soner og ble kalt grønt tak 1, referanse tak som var et vanlig tak med asfaltbelegg og grønt tak 2. De grønne takarealene bestod av et vekstmedium på 3 cm. Det som skilte de to ekstensive takene fra hverandre var oppbygningen (figur 3.8). For grønt tak 1 ble det benyttet en 2,5 cm høy drensplate med hulrom der sedummattene lå rett på. Dette taket ble senere ombygget ved å legge 1 cm VT-filt mellom drensplate og jord. Grønt tak 2 bestod av sedummatter lagt rett på 1 cm VT-filt.

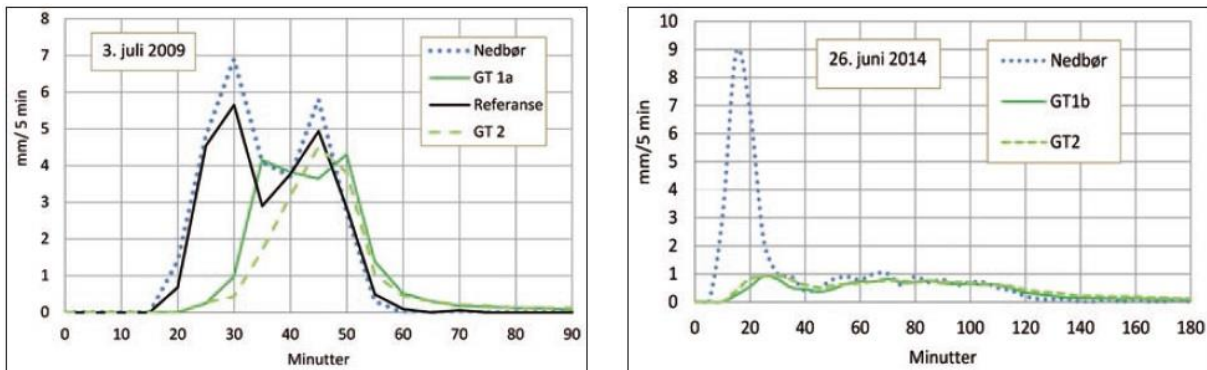


Figur 3.8: Oppbygning av ekstensive tak med drenering, GT1 (t.v) og kun filtmatte, GT2 (t.h) (Braskerud, 2014)

Under forskningsperioden falt det årlig omtrent 1000 mm nedbør. Resultater viser at all nedbør som falt på referansetak uten vegetasjon rant av, mens de grønne takene holdte tilbake 25 % av den årlige nedbøren. De grønne takenes evne til å holde tilbake nedbør varierte over året. Om vinteren, under stabile snønedbør var det ikke et klart forskjell mellom tilbakeholdningen av vegeterte tak og den impermeable takflaten. Om våren der snøsmelting og regn skjer kombinert, kunne avrenningen være større enn nedbøren. Sommeren karakteriseres som den årstiden med mest intens nedbør. Tilbakeholdningsevnen viser seg å være høy under denne sesongen da vegetasjonen er i funksjon og kan fjerne vannet ved hjelp av transpirasjon. Tilbakeholdningen var på sitt laveste under våte og kalde høster. Generelt sett holder de grønne takene tilbake en vesentlig del mer vann i henhold til vanlige takflater, uansett om oppbygningen av grønne takene er for tynne.

Artikkelen understreker to ekstreme nedbørhendelser og hvordan de vegeterte takene håndterte det (figur 3.9). Den første regnepisoden som opptredde den 3.juni 2009 hadde en størrelse på 29 mm og varighet på 30 minutter. Regnmengden som falt tilsvarte et 40-års regn for Blindern i Oslo. Da taket var helt tørt klarte GT1, det grønne taket med drenering å holde tilbake de første 12 mm, mens GT2, det grønne taket med filt holdte tilbake 14 mm. Avrenningstoppen, Q_{max} ble forsinket med 5 minutter i GT1 og 15 minutter i GT2 i forhold til nedbørens maksimal verdi. Intensiteten ble også dempet med 40 % (GT1) og 35 % (GT2). Juli måned samme år ble meget vått, men de grønne takene klarte å dempe avrenningsintensiteten likevel med 40 %-50 %. Tilbakeholdningen av nedbøren ble lite.

26.juni 2014 opptrådte den andre intense regnhendelsen. Dette var et styrtregn tilsvarende et 50-års regn på Blindern med en varighet på 10 minutter. Avrenningen begynte etter noen minutter og avrenningstoppen ble forsinket ca. 15 minutter sammenlignet med nedbøren. Det ble oppnådd en meget stor demping av avrenningsintensiteten. GT1 dempet med 90% og GT2 med 89 %.



Figur 3.9: De grønne takene ga en betydelig reduksjon i avrenningen etter styrtregnet i 2009 (t.v). Det intense regnet på 16,3 mm på 10 minutter ble fordrøyd av de grønne takene i 2014 (t.h) (Braskerud, 2014)

Generelt sett viste undersøkelsen at korte og intense regn holdes bedre tilbake sammenlignet med regn med lengre varighet. For regnvarigheter opptil 30 minutter var tilbakeholdningen vanligvis over 50 %. Det grønne taket uten drenering viste stort sett bedre tilbakeholdende evne. I følge studiet er det mest vanlig at tørre tak har bedre evne til å fordrøye, men det viste seg at selv våte tak kunne dempe avrenningen vesentlig. Ut i fra resultater kan en konkludere med at grønne tak bidrar til flomdemping. Små nedbørmengder holdes helt tilbake, mens større nedbør dempes.

I sammenheng med prosjektet “Fremtidens Byer” ble det i 2014 anlagt grønne tak i syv norske byer. Formålet med prosjektet var å identifisere i hvilken grad grønne tak klarer å holde igjen nedbør under ulike klimatiske forhold og med ulike vegetasjonstyper på takene. For tre av forsøktakene som ligger i Trondheim, Bergen og Sandnes måles det avrenning. Det presiseres at alle de tre takene viser god tilbakeholdende evne. Foreløpige estimer viser at forsøktaket i Trondheim er i stand til holde tilbake 15-30 % av den årlige nedbørmengden (Hanslin & Johannessen, 2015).

3.3 Regnbed

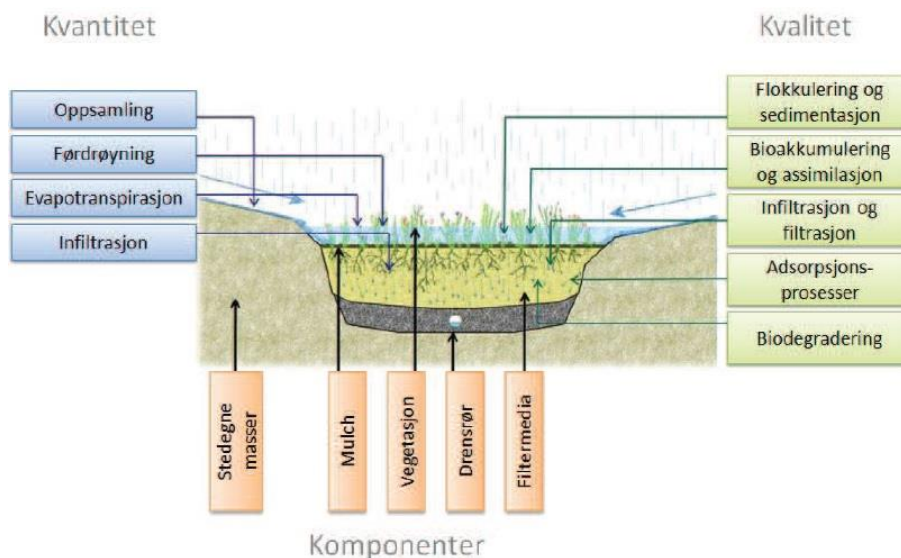
Regnbed er blant LOD-tiltak som benyttes for flomdempning slik at avrenningstopper dempes og avrenningsvolum reduseres. I følge FAWB, 2009 oppnås det flomdempning med regnbed av to grunner i henhold til hydrologiske funksjoner;

- Avhengig av regnbedets størrelse i forhold til nedbørfeltet og avhengig av infiltrasjonsevnen, kan flomtopper generert av ett-års regn dempes med omtrent 80 %. I motsetning til konvensjonelle overvannsystemer som baserer seg på å lede avrenning direkte til ledningsnett eller resipient, vil vannet først oppsamles på overflaten av regnbedet og ledes langsamt gjennom filtermediet.
- Det er vanlig at regnbed reduserer gjennomsnittlig avrenningsvolum med ca. 30 %. En del av hver hendelse med overflateavrenning holdes tilbake av filtermedia. Dette vil gå tapt via fordampning. Små avrenningshendelser kan holdes helt tilbake av systemet. Det vil si at det ikke kommer ut vannmengder fra dreneringen.

Figur 3.10 gir en mer klarere forklaring på hydrologiske prosesser som skjer i et regnbed. Kvantitet uttrykker flere prosesser som påvirker mengde videreført vann;

- Oppsamlingsprosessen; Vannmengden som tilføres regnbed
- Fordrøyning; Evnen til tilbakeholdelse av vann og demping av flomtopper
- Evapotranspirasjon: Fordampning gjennom jordoverflaten og planter
- Infiltrasjon; Vannet infiltreres til grunnen via filtermediet

Kvalitet står for prosesser som forbedrer kvaliteten på overvannet. Da rensing av overvann omtales ikke i denne oppgaven, gis det ikke en nærmere forklaring på kvalitetsprosessen.



Figur 3.10: Hydrologiske prosesser i regnbed (Saksæther & Kihlgren, 2012)

Komponenter som kjennetegner et regnbed er vegetasjon og filtermedia som er anlagt i en grunn forsenkhet terrengformasjon. Mulch som vises blant komponenter i figur 3.10, er et lag på toppen av filtermediet. Systemet kan virke som et rent overvannssystem med drenering i bunnen av filterlaget, mens et system uten drenering etterfyller grunnvannet.

3.3.1 Amerikanske studier

Det ble anlagt to regnbed for forskning i universitetet i Maryland, USA (Davis, 2008). Anleggene ble overvåket i løpet av en 2-års periode. De to parallelle regbedene håndterte avrenning fra et nedbørfelt bestående av asfaldekket parkeringsplass med et areal på 0,24 ha. Hovedhensikten med dette arbeidet var å kvantifisere reduksjon av avrenningsvolum og avrenningstopper, samt forsinkelse i avrenningstopper ved hjelp av regnbed.

Begge regnbedene ble bygget med et overflateareal på 28 m². Filtermediene ble bygget med en jordblanding bestående av sand (50 %), matjord (30 %) og kompost (20 %) med innhold av leire mindre enn 10 %. Regnbed A hadde 1,2 m dyp filtermedie og dybden av filtermedia i regnbed B var 0,9 m. På toppen av filtermedia ble det lagt et 8 cm lag med mulch. Ved bruk av drenerør ble det infiltrerte vannet samlet og ledet til en liten bekk som renner gjennom campus på universitetet i Maryland.

Totalt ble det registrert 49 episoder med regn og 18 % av disse regnhendelsene kalles for små der filtermediet i regnbedet fanget hele vannvolumet og det ble ikke registrert vann fra utløpet. Tilfellene der utløpet tredde i kraft, fortsatte i flere timer og ofte i flere dager med meget lave hastigheter. Avrenningstoppene ble redusert med 44 % - 63 %. Det ble også registrert en betydelig forsinkelse av avrenningstopper, vanligvis med en faktor på 2 eller mere.

En undersøkelse fra Maryland og Nord-Carolina presenterer resultater fra 6 forskningsfelt der hydrologiske ytelsen av regnbed dokumenteres (Li et al. 2009). Forholdet mellom overflatearealet av regnbedene og nedbørfeltene varierte mellom 2-6 %. Regbedene håndterte avrenning hovedsakelig fra tette flater som parkeringsplasser og tak. Dybden av filtermediene varierte mellom 0,5-1,2 m og sammensetningen av mediene samt vegetasjonstype var lik for alle anlegg. Det ble benyttet vanlig dreneringssystem for 5 av regnbedene, mens det ene anlegget ble dekket med en ugjennomtrengelig membran for å hindre infiltrasjon til grunnen.

Resultater fra studiet påpeker flere punkter under konklusjoner;

- Regnbed er i stand til å redusere og forsinke avrenningstopper, redusere avrenningsvolum og fremme infiltrasjon til grunnen. Disse hydrologiske bidragene kan bistå i flomkontroll, samt øke tilsiget til grunnvannet.
- I følge studiet viste regnbedene utmerket hydrologisk ytelse ved små regnepisoder, mens ytelsen ble redusert under flere ekstreme regnhendelser. Under dette punktet fremheves betydningen av filtermediets volum. Større overflateareal i forhold til nedbørfeltet og større dybde av filtermedie kan forbedre ytelsen av regnbed under store nedbørhendelser.
- Dypere filtermedier viste bedre evne til å infiltrere og fordampe vann sammenlignet med regnbed som ble anlagt med grunne filtermedier. Dybden av filtermediet kalles for en kontrollerende design parameter som bestemmer den hydrologiske ytelsen.
- Regnbedet som ble dekket med en ugjennomtrengelig membran viste den dårligste hydrologiske ytelsen.

3.3.2 Norske studier

Det er få norske studier med regnbed. Denne teknologien er en nyere løsning i Norge innen LOD-tiltak som er lite utprøvd. I litteraturen vises det til fire anlegg som ble bygget for forskning og utvikling. To av testanleggene ligger i Oslo (L34b og NB21), ett ligger i Melhus (H8) og det siste regnbedet som ble anlagt for forskning ligger i Trondheim (RIS). Hovedformålet med testanleggene var å undersøke den hydrologiske ytelsen av regnbed under norske forhold. Tankegangen bak arbeidene er å fremme bruken av teknologien i likhet med Nord-Amerika og Australia (Braskerud et al. 2013c).

Tabell 3.3 viser karakteristikk ved de fire pilot-regnbedene som ble testet. Overflate ved avrenning, overflate volum, volum i filtermedie, type nedbørfelt, andel av regnbed i forhold til nedbørfelt og drenering oppgis. Overflate ved avrenning står for fylt regnbed. Kun forskningsfeltet L34b mangler drenering da stedlige masser har god nok infiltrasjonsevne. For alle regnbed med drenering ble stedlige masser helt eller delvis erstattet med sandig "matjord" som filtermedium. Sammensetningen og oppbygningen av filtermedium er varierende for pilot-regnbedene (figur 3.11).

Tabell 3.3: Oversikt over pilot-regnbedene i Norge (Braskerud et al. 2013c)

Regnbed	Overflate ved avrenning (m ²)	Overflatevolum (m ³)	Volum i filter (m ³)	Type nedbørfelt	Andel av nedbørfelt (%)	Drenert
L34b	5,9	0,41	> 0,6	Gårdsplass	2,0	nei
NB21	10,3	1,68	0,92	Tak	7,4	ja
H8	5,1	0,86	0,45	Tak	4,8	ja
RIS	39,8	5,2	ca 7,8	Asfalt og plen	0,5	ja



Figur 3.11: Oppbygning av pilot-regnbedene i Norge (t.v). Bilder av anleggene (t.h). Fra venstre til høyre, øverst L34b og NB21, nederst H8 og RIS (Braskerud et al. 2013c).

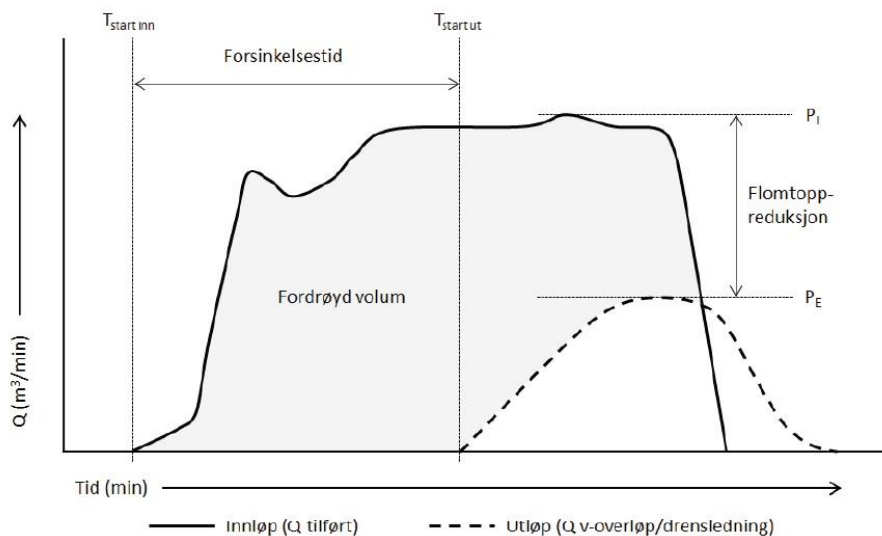
Flomdempende evnen til de to regnbedene i Oslo kommune og regnbedet i Melhus kommune ble undersøkt i en masteroppgave ved NMBU (Saksæther & Kihlgren, 2012). Oppgaven gikk ut på å teste hydrologiske ytelsen av de tre små regnbedene for bruk som LOD-tiltak i småhusbebyggelse. Arbeidet er ment for å gi svar på om regnbed vil håndtere store avrenninger fra hustak og om det kan utgjøre en forskjell for tilførselen av vann til avløpssystemet.

Grunnen i feltet L34b bestod av morenemasser av siltig sand og dermed var ikke kunstig drenering nødvendig da regnbedet anses som selvdrenerende. Vannlagringskapasiteten i filtermediet er ikke tydelig avgrenset. Med andre ord vil vannet infiltrere også grunnen rundt regnbedet. Det oppgis at nedbørfeltet som drenerer til anlegget består av asfalt, grus og gress. Dybden av filtermediet anslås til 0,55 m.

Området rundt NB21 består av marin leire som undergrunn, noe som gjør det nødvendig med tilføring av filtermateriale med gode infiltrasjonsevner og etablering av kunstig drenering. I bunnen av regnbedet ble det montert en 100 mm drensledning slik at det sørger for tilskrekkelig drenering. For å redusere avrenningen til det kommunale nettet, ble det gått ned i dimensjon for det siste strekket av drensledningen. Som det vises i figur 3.9 består dette regnbedet av to skråstilte lag; et øvre lag bestående av en blanding av sand med kompostert hageavfall og ca. 5 % stedegen leirjord, og et nedre lag bestående av sand. Dybden av filtermediet i dette anlegget oppgis som 0,8 m.

Regnbedet H8 i Melhus kommune bestod også av leire som undergrunn og derfor ble stedlige masser utskiftet og kunstig drenering ble etablert. Det øverste laget, filtermediet bestod av sandig "matjord", laget under bestod av stedlige masser av siltig leire og det nederste laget, drenslaget ble bygget av sand/gruslag med drensrør. Dybden av filtermediet oppgis ca. 0,8 m.

Evaluering av den flomdempende effekten av regnbedene ble gjort ved å utsette anleggene for simulert styrtregn, altså kunstig regn med intensiteter opp mot 50-års gjentakintervall for Oslo-Blindern. Valg av nedbørsdata baserte seg på normalperioden 1961-90 og det ble tilført vannmengder med varighet på 10-30 minutter. For å kunne sammenligne de ulike regnbedene ble det forutsatt at størrelsen av regnbedene utgjorde 7 % av nedbørfeltet og hele nedbørfeltet bestod av tette takflater. Det ble målt videreførte vannmengder og dreneringstid for å kunne beregne reduksjon og forsinkelsestid av avrenningstopper. I tillegg ble observasjoner fra feltarbeidene benyttet som grunnlag i hydrologiske modeller for å simulere andre nedbørhendelser.



Figur 3.12: Grafisk beskrivelse av forsinkelsestid og flomtoppreduksjon i regnbed (Braskerud et al. 2012)

Figur 3.12 fremstiller forsinkelsestid og flomtoppreduksjon grafisk i et hydrogram og beskriver fordrøyning av avrenning i regnbed (Saksæther & Kihlgren, 2012). I masteroppgaven defineres forsinkelsestiden som “den tiden det tar fra vann registreres i innløpet, til avrenning i drensløp eller overløp trer i kraft”. Flomtoppreduksjonen defineres som “det prosentvise avviket mellom inngående og utgående flomtopp”.

Tabell 3.4 viser forsinkelsestid, flomtoppreduksjon og totalt tilbakeholdt nedbør under simuleringer med kunstig nedbør. I henhold til resultater viser det seg en vesentlig dempning av intense nedbørhendelser opp til 50-års gjentaksintervall.

Evnen til å holde tilbake nedbør var omtrent 10 mm for NB21 og H8 da begge regnbedene lå i leirgrunn. Sammenlignet med de to regnbedene, viste L34b bedre tilbakeholdende evne.

For nedbør med samme gjentaksintervall viste det seg at regnbedene håndterte lengre regnvarigheter bedre enn korte nedbørhendelser. I tabellen vises det til målinger under L34b for å klargjøre dette poenget. Tilbakeholdningen er større ved 30 minutters regnet enn ved 10 minutters regnet. Dette forklares med at større andel av det innkommende vannet blir infiltrert. Volumet av regnbedoverflaten er den begrensende faktor ved korte intense regn, mens for regn med lengre varigheter vil infiltrasjonsevnen i filtermediet få større betydning. Dette henger sammen med at infiltrasjonen får pågå over lengre tid og regnbedets totale areal utnyttes bedre.

I tillegg til suksesskriteriene høy infiltrasjonsevne i filtermediet og tilskrekkelig volum av regnbedoverflaten, påpekes det også viktigheten av regnbedenes geometri for god hydrologisk ytelse. Overflatearealet av regnbedene har betydning. Hydrologisk modellering ved hjelp av RECARGA viste at en halvering av størrelsen av regnbedene reduserer flomtoppreduksjon og tilbakeholdt vannvolum.

Tabell 3.4: Avrenning under simulering med kunstig nedbør (Braskerud et al. 2012)

Sted	Dato	"Tak-areal" (m ²)	Nedbør (mm)	Varighet (min)	Gjentaksintervall (år)	Forsinkelse (min)		Flomtoppreduksjon (%)	Totalt tilbakeholdt nedbør (mm)
						Drenering	Overløp		
L34b	31.08.11	84	27,3	30	25	-	-	100	27,3
	31.08.11	84	15,8	10	25 - 50	-	5	53	12,1
NB21	31.08.11	147	20,4	30	5 - 10	12	-	82	9,0
	01.09.11	147	24,1	20	40 - 50	11	18	77	10,4
	17.12.11	147	23,8	26	20 - 30	13	26	78	13,3
	21.02.12	147	12,8	12	5 - 10	-	10	79	10,1
H8	02.09.11	73	31,5	30	50 - 70	5	16	8	10,1

Det hydrologiske programmet Mike Urban ble benyttet for å modellere virkningen av mange små regnbed i et større nedbørfelt i Veumdalen i Fredrikstad kommune. Resultater viste at regnbedene holdte tilbake 20-års regnet. I følge studiet bør det i tillegg til regnbed vurderes ytterligere overvannstiltak for nedbørfelt med stor andel av tette flater.

Flomdempende effekten av regnbedet i Trondheim (RIS) ble undersøkt i masteroppgaven utført ved NTNU (Dalen, 2012). Hydrologiske ytelsen til regnbedet ble dokumentert med målinger, samtidig som det ble simulert ved bruk av modellen RECARGA.

Nedbørfeltet som drenerer til regnbedet har et areal på 0,83 ha der ca. 13 % utgjøres av tette flater. Resten av feltet består av gress på leirjord. Den impermeable undergrunnen ble utskiftet med sandholdig matjord med kompost. Det ble lagt drenerør på bunnen av filtermediet. Ved maksimal vannstand på 16 cm, oppgis arealet av regnbedet til 40 m². Overflatearealet av regnbedet utgjør ca. 0,5 % av nedbørfeltet. Dybden av filtermediet angis til 0,75 m.

Begrepet spissvannføringsreduksjon benyttes for å beskrive reduksjon av flomtoppen. Dette bestemmer faktiske avlastningen av nedstrøms overvannssystem. Forsinkelsestiden av flomtoppen beskriver fordrøyningseffekten i regnbedet.

Masteroppgaven konkluderer med at Risvollan regnbed har vist en god reduserende effekt på avrenningen fra området til tross for lav infiltrasjonsevne. Det oppgis at ca. 52 % av vannmengdene inn i regnbedet ble infiltrert. For 12 av nedbørhendelsene som ble registrert i løpet av høsten 2011, viste det seg en spissvannføringsreduksjon større enn 70 %. Forsinkelsestiden varierte mellom 2-400 minutter. Simuleringer med RECARGA viste at store regnbed med overflateareal 10 % av nedbørfeltet kan flomtoppen fra 15-års regn reduseres med opptil 90 %. For mindre regnbed som tilsvarer 4% av nedbørfeltet reduseres demping av flomtoppen til 22 %.

Masteroppgaven (Dalen, 2012) nevner valg av strategi for bruk av regnbed som flomreduserende tiltak. I følge studiet vil et regnbed ikke gi noen spissvannføringsreduksjon når fordrøyningsvolumet er fylt opp. Overflatevolumet, forsenkningen i regnbedet som sørger for fordrøyning er i følge studiet en bestemmende faktor for den flomreduserende effekten. Det anbefales å utnytte eksisterende rørsystem sammen med regnbedets fordrøyningsvolum da underdimensjonering av regnbedets fordrøyningsvolum vil gi ingen spissvannføringsreduksjon.

4 Nytte-kostnadsanalyse av LOD-tiltak

4.1 Samfunnsøkonomiske analyser

Samfunnsøkonomiske analyser benyttes for å vurdere konsekvensene av offentlige tiltak. Dette er et viktig verktøy for å få til gode tiltak for samfunnet som helhet. En samfunnsøkonomisk analyse har som formål å finne ut om et tiltak er samfunnsøkonomisk lønnsomt eller ikke, samt prioritere mellom ulike tiltak. Samfunnsøkonomisk lønnsomhet betyr at samfunnet er villig til å betale minst så mye som tiltaket koster (DFØ, 2014).

4.2 Nytte-kostnadsanalyse

Nytte-kostnadsanalyse er en samfunnsøkonomisk analyse som tar for seg “systematisk kartlegging av fordeler og ulemper ved et bestemt tiltak. Nyttevirkninger og kostnader verdsettes i kroner så langt det er mulig” (DFØ, 2014). Med nyttevirkninger, fordeler menes positive effekter for samfunnet. Kostnader som betegnes som ulemper, står for all bruk av ressurser som følger av tiltaket.

Fordelene av LOD-tiltak er hovedsakelig relatert til unngåtte skader som følge av overvannsflo. Det å unngå overvannshendelser kan grupperes etter nyttevirkninger knyttet til direkte og indirekte skader. Som et eksempel på andre nyttevirkninger ved etablering av lokale overvannsløsninger, kan det nevnes blågrønne tiltak som gir positive virkninger for bymiljø. Ved fulstendige nytte-kostnadsanalyser av lokale overvannsløsninger vurderes også disse nyttevirkningene (Magnussen et al. 2015).

Etablering av LOD-tiltak har kostnader for samfunnet. Gjennomføring av tiltak innebærer investeringskostnader og drift-og vedlikeholdskostnader. Disse kostnadene kalles for direkte tiltakskostnader. I tilfeller der overvann ledes til fellessystem, har det også en kostnad på renseanlegg. Areal-kostnader er en viktig kostnadspost for lokale overvannsløsninger da det opptar plass over bakken. Denne tiltakskostnaden vil variere mye for ulike områder. I sentrumsområder vil denne kostnaden være betydelig større. Krav til overflateareal av LOD-tiltak i forhold til nedbørfeltet er også en faktor som påfører arealkostnaden (Magnussen et al. 2015).

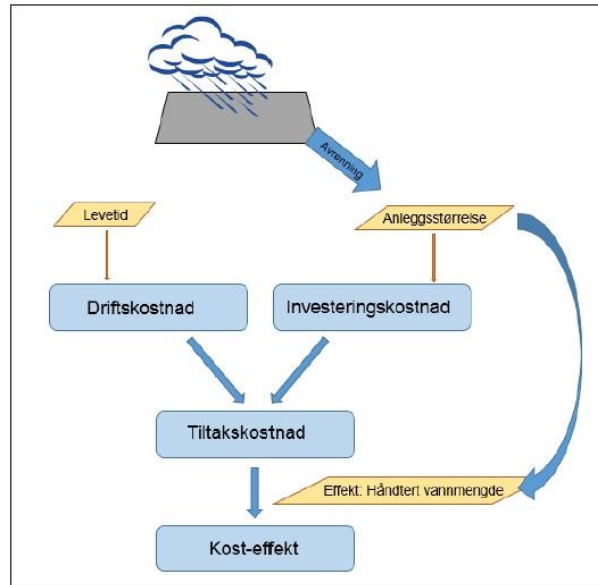
4.3 Nytte og kostnader med LOD-tiltak

Nytte og kostnader med LOD-tiltak som gjengis her er hentet fra rapporten “Kostnader og nytte ved overvannstiltak” utgitt av Vista Analyse & Cowi (Magnussen et al. 2015). Rapporten inneholder ikke en full samfunnsøkonomisk analyse, men identifiserer antatt viktigste nytte- og kostnadsvirkninger knyttet til overvannstiltak. Da resultater baserer seg på noen få, valgte nytte- og kostnadskomponenter er ikke arealkostnader medtatt i denne rapporten. Dette vil medføre en undervurdering av kostnader knyttet til LOD-tiltak.

I rapporten til Vista Analyse & Cowi ble det beregnet “kost/effekt-tall” for hvert tiltak. Med kost/effekt-tall uttrykkes tiltakskostnad delt på effekten av tiltaket. Dette oppgir samfunnsøkonomisk tiltakskostnad i kr per håndtert overvannsmengde i m³.

$$\text{Kost/effekt – tall} = \frac{\text{Tiltakskostnad [kr]}}{\text{Håndtert overvannsmengde [m}^3\text{]}}$$

Tiltakskostnaden som ble beregnet baserer seg på investeringskostnad og drift-og vedlikeholdskostnader. Investeringskostnad regnes som en engangskostnad, mens drift-og vedlikeholdskostnader påløper i hele tiltakets levetid. Investeringskostnaden vil avhenge av blant annet anleggsstørrelse. Driftskostnader påvirkes av levetiden av tiltaket. Fremgangsmåten for å beregne kost/effekt-tall oppsummeres i rapporten med figur 4.1.



Figur 4.1: Fremgangsmåte for beregning av kost/effekt-tall (Magnussen et al. 2015)

Tiltakskostnaden som i dette tilfelle består av gjennomsnittlige investerings-og driftskostnader, ble beregnet til nåverdien. I følge DFØ, 2014 kan nåverdien defineres som “kroneverdien i dag av samlede nytte- og kostnadsvirkninger som påløper på ulike tidspunkter”. Kostnader er oppgitt uten merverdiavgift og inkluderer både kostnader til utstyr og arbeidskostnader. Tabell 4.1 viser forventede investeringskostnader, driftskostnader og levetider for LOD-tiltak. Tallene som presenteres i tabellen baserer seg på gjennomgått litteratur og erfaringstall fra tidligere arbeider.

Tabell 4.1: Forventede tiltakskostnader og levetider for LOD-tiltak (Magnussen et al. 2015)

Overvannstiltak	Investeringskostnad	Driftskostnader	Levetid
Frakobling av takrenner	Lav	Lav	100 år
Grønne tak*			
- Ekstensive tak (ekstrakostnader sammenlignet med et vanlig tak)	400-600 kr/m ² ¹	2-10 kr/m ² og 50 år år ²	
Grønne vegger	4000 kr/m ² ³	200 kr/m ² ⁴	50 år
Infiltrasjonstiltak:			40 år
- Infiltrasjonsgrøft	900 kr/m ²	10kr/m ²	
- Regnbed	1400 kr/m ²	15kr/m ²	
- Infiltrasjonsbasseng	500 kr/m ²	5 kr/m ²	
- Filterbasseng	90 kr/m ²	10 kr/m ²	
Fordrøyningsstiltak:			40 år
- Åpent, tørt fordrøyningsbasseng	2100 kr/m ²	20 kr/m ³	
- Overvannsdam	1300 kr/m ²	35 kr/m ²	
- Våtmark	1400 kr/m ²	35 kr/m ²	
Permeable flater*		10-20 kr/m ²	40 år
-Gress	50 kr/m ²		
-Grus-	80-100 kr/m ²		
-Betongheller	350-600 kr/m ²		
-Armert gress med betongheller	350-500 kr/m ²		
-Armert gress med gatesten	800-1000 kr/m ²		
-Gatesten	800-1000 kr/m ²		

*I videre beregninger har vi regnet på gjennomsnittlige investerings- og driftskostnader.

Tabell 4.1 viser en del variasjon i estimerte kostnader for ulike tiltak. Grønne vegger er det tiltaket som krever den største investeringskostnaden og driftskostnaden. Blant infiltrasjonstiltak er filterbasseng og noen av permeable flatetyper det rimeligste. Kostnadstallene er i stor grad avhengig av hvor avansert tiltaket er og om eksisterende grunnforhold er tilrettelagt for løsningen. Oppgitte driftskostnader er mye lavere sammenlignet med investeringskostnader. Denne kostnadstypen er avhengig av hvilke løsninger som er valgt. Det presiseres i rapporten at kostnadsanslagene er usikre da det eksisterer for få erfaringstall med LOD-tiltak.

Tiltakenes effekt i form av hvor mye overvann de kan håndtere vises i tabell 4.2. Beregning av dimensjonerende avrenningsmengder baserer seg på nedbørdata fra Sandnes kommune (20-års regn med 10 minutters varighet). Det ble antatt at hele nedbørfeltet består av tette flater og avrenningsfaktoren ble satt til 1. Beregningene tar utgangspunkt i nedbørfelt med størrelse på 10 000 m² og 500 m². Dette for å vurdere betydningen av størrelsen av nedbørfeltet i henhold til kost/effekt-tall. Effekten av infiltrasjonsanlegg angis med enheten innfiltrert vannmengde målt i m³. Fordrøyningsanlegg viser effekten av tilbakeholdt overvann i m³. I tabell 4.2 kategoriseres grønne tak som en infiltrasjonsløsning. Dette samsvarer ikke med hovedfunksjonen til grønne tak som er beskrevet i denne masteroppgaven, men brukes likevel.

Ut i fra tabell 4.2 vises effekten av grønne tak og noen permeable flater langt mindre enn andre tiltak. For grønne tak ble størrelsen av nedbørfeltene satt til 1 000 og 100 m². Dette valget begrunnes med tiltakets behov for svært store arealer for å kunne håndtere dimensjonerende overvannsmengder alene. Det samme gjelder også for permeable flater. Arealet til permeable flater ble derfor satt lik arealet til nedbørfeltet. Avrenningsfaktor for gress og grus ble satt til 0,2, mens avrenningsfaktor for betongheller, gatestein og armert gress ble satt til 0,8.

Tabell 4.2: Tiltakenes effekt, håndtert overvannsmengde (Magnussen et al. 2015)

Overvannstiltak	Effekt [m ³] per 10.000 m ²	Effekt [m ³] per 500 m ²	Funksjon
Lokale overvannstiltak			
Frakobling av takrenner	138	7	Reduksjon transportmengde
Grønne tak			
- Ekstensive tak	5	1	Infiltrasjon
Infiltrasjonstiltak:			
- Infiltrasjonsgrøft	138	7	Infiltrasjon
- Regnbed	138	7	Infiltrasjon
- Infiltrasjonsbasseng	138	7	Infiltrasjon
- Filterbasseng	138	7	Infiltrasjon
Fordrøyningsiltak:			
- Åpent, tørt fordrøyningsbasseng	138	7	Fordrøying
- Overvannsdam	138	7	Fordrøying
- Våtmark	138	7	Fordrøying
Permeable flater			
-Gress	110	6	Infiltrasjon
-Grus	110	6	Infiltrasjon
-Betongheller	28	1	Infiltrasjon
-Armert gress med betongheller	28	1	Infiltrasjon
-Armert gress med gatesten	28	1	Infiltrasjon
-Gatesten	28	1	Infiltrasjon

Beregnete kost/effekt-tall beskriver kostnader per m³ håndtert overvann og gjør det mulig å sammenligne ulike tiltak med hverandre. Oversikt over anslagene vises i tabell 4.3. Kost/effekt-tall for infiltrasjonsløsninger beskriver kostaden per infiltrert overvann, mens kost/effekt-tall for fordrøyningsanlegg beskriver kostnaden per mengde fordrøyd overvann. Ved sammenligning av tiltak bør det derfor tas hensyn til at ulike tiltak har ulike funksjoner. Ut i fra beregninger vises det at LOD-tiltak er uavhengig av om nedbørfeltet er stort eller lite. Det oppgis omtrent samme tiltakskostnad per m³ håndtert overvann ved de to nedbørfeltene.

Det viser seg at grønne tak har veldig høy kostnad for per m³ håndtert overvann. Dette har med forutsetninger om dimensjonering av tak å gjøre. Sammenlignet med andre tiltak, vil løsningen rangeres langt nede på listen. I følge rapporten kan det ansees som et spesialtiltak i norsk sammenheng. Tiltaket kan være aktuelt for urbane områder med mye tak-areal og lite bakkeareal. Samtidig kan det forsvares økonomisk hvis tiltaket kan avlaste et overvannssystem som er i grensen for å håndtere vannmengder. I tillegg til overvannshåndtering, har grønne tak andre nyttevirkninger som blant annet å styrke grønnstrukturen i byer.

Blant infiltrasjonsløsninger er infiltrasjonsbasseng det billigste. Infiltrasjonstiltak er ikke så dyrt i forhold til andre løsninger, men disse løsningene er avhengig av grunnforhold. Som det er beskrevet tidligere under kapittelet med regnbed, må stedligere masser skiftes ut hvis det ikke er egnet for infiltrasjon. Dette er en faktor som kan gjøre tiltaket dyrere.

Blant fordrøynings tiltak vises at åpent, tørt fordrøyningsbasseng er ganske rimelig. Denne løsningen er beskrevet som "tørre dammer" i denne oppgaven. Etablering av overvannsdam og våtmark er mer kostbart. Med overvannsdam menes "våte dammer". Fordrøyning i lukkede magasiner er ikke med i tabell 4.3, da det grupperes etter tradisjonelle overvannstiltak i rapporten til Vista Analyse & COWI. Kost/effekt-tall for fordrøyning i betongrør oppgis til 5 500-12 500 kr/m³. Variasjon i kostnader relateres til utforming og grunnforhold. Betongrør har lavest pris ved stor diameter og gravbare grunnforhold, mens kostnaden øker ved mindre diameter og fjell i bakken. Beregninger viser at fordrøyning i tørre dammer sammen med fordrøyning i betongrør er rimeligst blant fordrøyningsanlegg.

Under permeable flater er gress og grus billigst. Øvrige permeable flater har veldig høye kost/effekt-tall. Dette henger sammen med lav permeabilitet, dermed blir kostnaden høy for per m³ håndtert overvann.

Tabell 4.3 regner kost/effekt for hver m³ man kan infiltrere eller holde tilbake. Det er redusert Q_{maks} eller redusert topp i vannføringen, slik at denne kommer under kapasiteten til ledningsnettet som teller. Det hadde vært mer nyttig hvis tabell 4.3 hadde vist kost/effekt for redusert vannføring i l/s, og ikke volum i m³.

Tabell 4.3: Kost/effekt-tall for LOD-tiltak (Magnussen et al. 2015)

Overvannstiltak	Kost/effekt [Kr/m ³] 10.000 m ²	Kost/effekt [Kr/m ²] 500 m ²
Lokale overvannstiltak		
Frakobling av takrenner	Høy	Høy
Grønne tak		
- Ekstensive tak	120 000**	60 000**
Infiltrasjonstiltak:		
- Infiltrasjonsgrøft	5 350	5 350
- Regnbed	8 300	8 300
- Infiltrasjonsbasseng	2 900	2 900
- Filterbasseng	5 600	5 600
Fordrøyningstiltak:		
- Åpent, tørt fordrøyingsbasseng	2 300	2 300
- Overvannsdam	42 000	42 000
- Våtmark	43 500	43 500
Permeable flater		
-Gress	31 000	29 000
-Grus	35 000	32 000
-Betongheller	270 000	377 000
-Armert gress med betongheller	252 000	353 000
-Armert gress med gatesten	415 000	581 000
-Gatesten	415 000	581 000

5 Resultater

Resultater fra undersøkelser som er studert presenteres i tabell 5.1. Funksjon, virkning og kost/effekt-tall for ulike LOD-tiltak vises. Virkningen av åpne magasiner er hentet fra undersøkelsen i Augustenborg (Villarreal et al. 2004). Virkningen av lukkede fordrøyningsmagasiner mangler da det ikke ble funnet litteratur om det. For grønne tak, regnbed og permeable dekker baserer informasjonen seg på publikasjoner som er studert.

Tabell 5.1: Resultater fra litteraturstudium

LOD-TILTAK	FUNKSJON	VIRKNING	KOST/EFFEKT-TALL
Åpne magasiner: Dammer	Fordrøyning	Dempet 10-års regn i et etterinstallert boligfelt	42 000 kr/m ³
Lukkede magasiner: Rørmagasin i betong	Fordrøyning	-----	5 500 - 12 500 kr/m ³
Grønne tak	Fordrøyning	Nedbøren holdes tilbake	120 000 kr/m ³ *
		Avrenningen forsinkes	
		Avrenningsintensiteten reduseres	
Regnbed	Infiltrasjon og fordrøyning	Nedbøren holdes tilbake	8 300 kr/m ³
		Avrenningen forsinkes	
		Avrenningsintensiteten reduseres	
Permeable dekker -Gress -Grus -Betongheller -Armert gress med betongheller -Armert gress med gatestein -Gatestein	Infiltrasjon	Avrenningen reduseres	31 000 kr/m ³
			35 000 kr/m ³
			270 000 kr/m ³
		Flomtopper kan dempes	252 000 kr/m ³
			415 000 kr/m ³
			415 000 kr/m ³

*Kost/effekt-tall gjelder for ekstensive grønne tak.

6 Diskusjon

Virkning: Flomdempende effekten

Resultater fra studier viser at lokal overvannsdiskonering kan påvirke avrenningen ganske sterkt. Vannvolumet og flomtoppene ble betydelig redusert samtidig som det ofte ble forsinket. Undersøkelsene presentert under kapittel 3 viser forskjell i observerte verdier da det ble utført under ulike forhold. Likevel er det mulig å trekke ut noen hovedtrekk fra studert litteratur.

Det viser seg at flomdempende effekten av grønne tak påvirkes av forhold som takets oppbygning, takets initialtilstand, nedbørmengde og nedbørintensitet. Under takets oppbygning nevnes det viktige faktorer som tykkelse og type vekstmedium, samt plantedekke. Den norske undersøkelsen med grønne tak, samt noen utenlandske undersøkelser viser at korte og intense regn holdes bedre tilbake sammenlignet med regn med lengre varighet. Under regnbed diskuteres viktigheten av regnbedets overflateareal som en bestemmende faktor for reduksjon av flomtappen. Dybden av filtermediet og infiltrasjonsevnen nevnes også blant viktige forhold. En norsk undersøkelse har kommet fram til at regnbed håndterer lengre regnvarigheter bedre enn korte regn. En kombinasjon av grønne tak og regnbed kan være en gunstig løsning da grønne tak viser best effekt ved korte, intense regn mens regnbed viser best effekt ved regn med lengre varighet.

Mulighet for ettermontering

Regnbed kan ettermonteres i etablerte områder. Mulighet for ettermontering er blant faktorer som gjør regnbed aktuelt i byområder. Lukkede fordrøyningsmagasiner er også blant LOD-tiltak som kan ettermonteres. Ettermontering er begrenset for grønne tak. Det er kun aktuelt for ekstensive tak med bakgrunn i sin lette vekt. Urbane områder der det er lite arealer tilgjengelig kan begrense ettermontering av åpne fordrøyningsmagasiner. Dette kan eventuelt løses med å dele nødvendig volum opp i flere små dammer. Ettermontering av permeable dekker er ikke særlig aktuelt. Det kan vurderes som en mulighet kun i tilfeller der det skal legges nytt dekke på en eksisterende veg, parkeringsplass eller fortau.

Arealbruk i urbane områder

Permeable dekker benytter seg av arealer som ellers ville bli bygd av tette flater. Det samme gjelder grønne tak. Da tak kan utgjøre en stor andel av ubrukte tette flater i urbane områder, regnes grønne tak som en arealeffektiv løsning i byer og tettsteder. Regnbed og åpne fordrøyningsmagasiner krever overflatearealer. Lukkede fordrøyningsmagasiner er ikke avhengig av verdifull byggegrunn i sentrumsområder da det etableres under bakken. I urbane områder med høy fortetningsgrad kan løsningen foretrekkes. Samtidig er det en ulempe med systemet da det etableres under bakken. Underjordiske magasin kan ta mye plass under grunnen hvor det er fylt opp med annen infrastruktur som rør og kabler. Det vil ikke alltid bli plass til slikt i en tett by.

7 Konklusjon

Overvannshåndtering med LOD-tiltak baserer seg på hovedelementene infiltrasjon og fordrøyning. Infiltrasjonsløsninger infiltrerer vannet til undergrunnen og overvannet perkolerer videre til grunnvannet senere i tid. Fordrøyningsanlegg sørger for midlertidig lagring av overvann. Overvannet blir ikke borte, men vannføringen blir utjevnet over tid. Noen LOD-tiltak ivaretar både infiltrasjon og fordrøyning.

Det er avrenningstoppen som forårsaker flomskader. Under styrtregn kan kapasiteten til avløpsrør brukes opp og vann kan oppstuve i overflaten eller resultere i kjelleroversvømmelser. Da flomtoppen kan virke over veldig kort tid vil tiltak som forsinker nedbøren under slike regnhendelser være en effektiv løsning for flomdempning.

Undersøkelser som er studert viser at flomdempning er mulig med LOD-tiltak. Flomtoppene kan forsinkes og reduseres ved hjelp av lokale overvannsløsninger som baserer seg på infiltrasjon og/eller fordrøyning. Implementering av LOD-tiltak i urbane områder kan benyttes som et virkemiddel for å avlaste ledningsnett under ekstreme regnhendelser slik at skadeomfanget forårsaket av overvann reduseres.

8 Litteraturliste

- Beldring, S., Roald, L. A. og Voksø, A. (2002). "Avrenningskart for Norge – Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990". NVE 2002.
- Bengtsson, L., Grahn, L. and Olsson J. (2005). "Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden". *Nordic Hydrology*, 36: 259-268.
- Bergen kommune, (2005). "Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune". Byrådsavdeling for byutvikling. Vann-og avløpsetaten.
- Braskerud, B. C., Kihlgren, K. S., Saksæther, V. og Bjerkholt, J. T. (2012). "Hydrologisk testing av regnbed for bruk som LOD-tiltak i småhusbebyggelse". Vann nr. 4 2012.
- Braskerud, B. C. og Paus, K. H. (2013a). "Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold". Vann nr. 1 2013.
- Braskerud, B. C. og Paus, K. H. (2013b). "Regnbed. Flomdemping i små urbane nedbørfelt". Faktaark. UMB, NVE, Bioforsk, NTNU 2013.
- Braskerud, B. C., Paus, K. H. og Ekle, A. (2013c). "Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed". NVE rapport nr. 3 2013.
- Braskerud, (2014). "Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo. NVE rapport nr. 65-2014.
- Braskerud, B. C. og Hauge, A. (2014). "Forslag til flomdempende tiltak i Norge. Tiltaksliste". NVE & Bioforsk, 2014.
- Braskerud, (2016). "Grønne tak for flomdemping". Vann-og avløpsetaten. Oslo kommune.
- Brattebø, H., redaktør. (2013). "Kompendium TVM4101 BM2 Vann-og miljøteknikk". NTNU – Institutt for vann-og miljøteknikk.
- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O., Nordeide, T., Semb, T., Skretteberg, R. og Markhus, E. (1997). "Anvendt urbanhydrologi". NVE 1997.
- Circle-2, (2013). *Adaptation Inspiration book*; 98-101.
Tilgjengelig fra: <http://www.circle-era.eu/np4/InspireBook.html>
- Cowi, (2013). "På lag med regnet. Veileder for lokal overvannshåndtering". Miljødirektoratet, Rogaland fylkeskommune, Jæren vannområde 2013.
- Dalen, T. (2012). "Hydrologisk dimensjonering av regnbed i kaldt klima. Risvollan, Trondheim". Masteroppgave, NTNU-IVM 2012.
- Dalen, T., Paus, K. H., Braskerud, B. C. og Thorolfsson, S. T. (2012). "Målt og modellert hydrologisk ytelse til regnbed i Trondheim". Vann nr. 3 2012.
- Davis, A. P. (2008). "Field performance of bioretention: Hydrology impacts." *Journal of Hydrologic Engineering*, 13 (2): 90–95.
- DFØ, (2014). "Veileder i samfunnsøkonomiske analyser". Direktoratet for økonomistyring.
- DHI og PH-Consult, (2005). "Afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer- Hovedrapport". København.

- Eikenæs, O., Njøs, A., Østdahl, T. og Taugbøl, T. (2000). "Sluttrappport fra Hydra - et forskningsprogram om flom". Hydra 2000.
- Farrer, K. (2005). "Climate change project produces tools to cope with flooding in urban areas". Water & Wastewater International, September 2005.
- FAWB, (2009). "Facility for Advancing Water Biofiltration. Stormwater Bioinfiltration Systems. Adorption Guidelines". Melbourne, Australia.
- FLL, (2008). "Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing". English version. Edition 2008. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau.
- FNO, (2012). "Naturskader og overvann i forsikring. Hva fokuserer selskapene på ved regress". PP presentasjon.
- Fredrikstad kommune, (2007). "Overvannsrammeplan".
- Friborg, T. (2013). "Friborgs repetisjonshefte". NMBU.
- Getter, K. L. and Rowe, D. B. (2006). "The role of extensive green roofs in sustainable development". Hortscience, 41 (5): 1276-1285.
- Getter, K. L., Rowe, D. B. and Andresen, J. A. (2007). "Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention". Ecological Engineering, 31 (4): 225-231.
- Grum, M., Jørgensen, A. T., Johansen, R. M. and Linde, J. J. (2006). "The effect of climate change on urban drainage: an evaluation based on regional climate model simulations". Water Science & Technology, 54 (6-7): 9-15.
- GSA, (2011). "The benefits and challenges of green roofs on public and commercial buildings". A report of the United States General Services Administration.
- Haase, D. (2009). "Effects of urbanisation on the water balance - A long-term trajectory". Environmental Impact Assessment Review 29: 211-219.
- Haga, I. (2011). "Analyse av klimaendringers virkninger på overvannsnett i Bogafjellfeltet, Sandnes kommune - en casestudie". NMBU-IMT 2011.
- Hansens-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, H., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B. (2015). "Klima i Norge mot 2100". Norsk klimaservicesenter rapport nr. 2-2015.
- Hanslin, H. M. og Johannessen B. (2015). "Erfaringer med grønne tak i 7 norske byer i perioden 2014-2015". NIBIO rapport.
- Hathaway, A. M., Hunt, W. F. and Jennings, G. D. (2008). "A field study of green roof hydrologic and water quality performance". Transactions of the ASABE, 51 (1): 37-44.
- Hood, M. J., Clausen, J. C., Braskerud, B. C og Warner, G. S. (2006). "Forsinket avrenning fra urbane felt. Et eksempel på lokal overvannshåndtering". Vann nr. 1 2006.
- Hunt, W. F., Davis, A. P. and Traver, R. G. (2012). "Meeting hydrologic and water quality goals through targeted bioretention design". Journal of Environmental Engineering, 138 (6): 698-707.

- InfraRisk-prosjektet, (2013). "Impacts of extreme weather events on infrastructure in Norway". NGI rapport 20091808-01-R.
- Institut for Beredskabsvaluering, (2012). "Redegørelse vedrørende skybruddet i Storkøbenhavn lørdag den 2. juli 2011".
- Interpave, (2010). "Permeable dekker. Veiledning for utforming, bygging og vedlikehold av permeable dekker av betongstein".
- Klimaservice, (2016). Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/> (lest 15.02.16)
- Klimatanpassningsportalen, (2016). Tilgjengelig fra: <http://www.klimatanpassning.se/> (lest 15.02.16)
- Kolb, W. (2004). "Good reasons for roof planting-green roofs rainwater". Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Abteilung Landespflege, Würzburg/Veitshöchheim, Germany.
- Kommunalteknikk nr.5, 2010. s.21. Norsk kommunalteknisk forening.
- Leland, T. (2013). "Gresskledd vannveger i norsk klima". Masteroppgave, NTNU-IVM 2013.
- Li, H., Sharkey, L. J., Hunt, W. F. and Davis, A. P. (2009). "Mitigation of impervious surface hydrology using bioretention in North Carolina and Maryland". Journal of Hydrologic Engineering, 14 (4): 407-415.
- Liesecke, H. J. (1998). Das retentionsvermögen von Dachbegrünungen. (Water retention capacity of vegetated roofs). Stadt und Grün 47: 46–53.
- Lindholm, O., Nie, L. og Bjerkholt, J. (2007). "Klimaeffektens betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer". IMT-rapport 16-2007.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L. (2008). "Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering". Norsk Vann rapport 162-2008.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L. (2008a). "Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering". Norsk Vann rapport 162-2008. Vedlegg 1. Beskrivelse av anlegg for lokal overvannsdiskontering (LOD).
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L. (2008b). "Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering". Norsk Vann rapport 162-2008. Vedlegg 5. Viktig å vite om kjelleroversvømminger.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L. (2008c). "Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering". Norsk Vann rapport 162-2008. Vedlegg 6. Beregningsmetoder og dataunderlag.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. og Thorolfsson, S. (2012). "Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem". Norsk Vann rapport 193-2012.
- Lindholm, O. (2016). "Håndtering av avrenning fra ekstremregn". PP-presentasjon.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I. og Reinvang, R. (2015). "Kostnader og nytte ved overvannstiltak". Vista Analyse & Cowi 2015.
- Mentens, J., Raes, D. and Hermy, M. (2005). "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?". Landscape and Urban Planning, 77 (3): 217-226.

- Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter, (2013). "Regnvand i byen. 9 europæiske lar projekter".
- Myhr, K. (2013). "Dimensjonering og bruk av permeable dekker med belegningsstein". Aaltvedt Betong.
- Myhr, K. og Lippestad, S. (2016). "Belegningsstein som håndterer overvann". Oslo kommune.
- Myking, J. (2012). "Analyse av klimatilpasningstiltak - en casestudie av avløpsnett i veumdalen, Fredrikstad kommune". Masteroppgave, NMBU-IMT 2012.
- Nagase A. and Dunnett N. (2012). "Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effect of plant species, diversity and plant structure". *Landscape and Urban Planning*, 104: 356-363.
- Nedre Eiker kommune, (2013). "Rapport om Nedre Eiker kommunes håndtering av flommen Frida 6.–7. august 2012".
- Nordeide, T. (1996). "Lokal håndtering av overvann i byer og tettsteder". Byggforsk prosjektrapport 208-1996.
- Noreng, K., Kvalvik, M., Busklein, J. O., Ødegård, I. M., Clewing, C. S. og French, H. K. (2012). "Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt". SINTEF Byggforsk prosjektrapport 104-2012.
- NOU 2015:16. "Overvann i byer og tettsteder - Som problem og ressurs". Norges offentlige utredninger 2015.
- NS 3840 "Grønne tak – planlegging, prosjektering, utførelse, skjøtsel og drift – Ekstensive tak". Norsk Standard.
- Olsson, J., Berggren, K., Olofsson, M. og Viklander, M. (2007). "Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden". Licentiate thesis. Luleå University of Technology.
- Oslo kommune, (2013). "Dokumentasjon og rapportering av åpne overvannshåndtering i Oslo – Oslo åpne overvannskatalog". Vann- og avløpsetaten. Avdeling plan og prosjekt.
- Regclim, (2002). "Mer variabelt vær om 50 år. Mer viten om usikkerheter". Oslo.
- Regclim, (2005). "Norges klima om 100 år. Usikkerheter og risiko". Oslo
- RIF, (2015). "State of the nation - Norges tilstand 2015". Rådgivende Ingeniørenes Forening.
- Reiersen, T. (u.å). "Fordrøyning i betongrør. Dimensjonering, løsninger og erfaringer". Basal AS.
- Roy-Poirier, A., Champagne, P. and Fillion, Y. (2010). "Review of bioretention system research and design: Past, present, and future". *Journal of Environmental Engineering*, 136 (9): 878–889.
- Røstum, J., Bruaset, S., Sekse, T., Bjørnsen, B., Uribe, C. og Markhus, E. (2014). "Åpne flomveger i bebygde områder". Norsk Vann rapport 204-2014.
- Saksæther, V. og Kihlgren, K. S. (2012). "Regnbed som tiltak for overvannshåndtering i småhusbebyggelse". Masteroppgave, NMBU-IMT 2012.
- Sara, R. (2012). "Klimautfordringer og tilpasningstiltak. Analyse av avløpsnett i Charlottenlund og Ranheim, Trondheim kommune". Masteroppgave, NMBU-IMT 2012.

- Scandinavian Green Roof Institute, (2016). Tilgjengelig fra: <http://greenroof.se/augustenborgs-botaniska-taktradgard/> (lest 20.02.16).
- Schade, C. (2000). Wasserrückhaltung und Abflußbeiwerte bei dünn-schichtigen extensivbegrünungen. Stadt und Grün 49: 95–100.
- Simpson, M. J. R., Nilsen, J. E. Ø., Ravndal, O. R., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H.P., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M. og Vestøl, Ø. (2015). "Sea level change in Norway". Norsk klimaservicesenter rapport nr. 1-2015.
- Sintef Byggforsk, (2012). "Vann i by – håndtering av overvann i bebygde områder". Byggedetaljblad 311.015.
- Statistisk Sentralbyrå, (2016). Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no> (lest 20.01.16)
- Statsbygg, 2004. "Åpne overvannsløsninger. Erfaringer og anbefalinger". FOU-prosjekt.
- STORM AQUA, (2016). Tilgjengelig fra: <http://www.stormaqua.no/stormaqua/index.aspx> (lest 25.01.16).
- Stovin, V., Dunnett, N. and Hallam, A. (2007). "Green roofs-getting sustainable drainage off the ground". Novatech 2007.
- Stovin, V., Poe, S., De-Ville, S. and Berratta, C. (2015). "The influence of substrate and vegetation configuration on green roof hydrological performance". Ecological Engineering 85 (9): 159-172.
- Sture, J. (2012). "Overvannshåndtering ved bruk av ekstensive grønne tak og dens effekt på snølagring i et kaldt klima". Masteroppgave, NTNU-IVM 2012.
- Tollan A. (u.å). "Nordens hydrologi – Kompendium for GF-GG 141". Ukjent årstall.
- Uhl, M. and Schiedt, L. (2008). "Green roof storm water retention-Monitoring results". 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK. pp. 10.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2009). "Green roofs for stormwater runoff controll".
- USGS, (2016). Tilgjengelig fra: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclenorwegian.html> (lest 15.01.16).
- VA-forum nr.1, 2016. "Tema: Flomforebygging". s.22. Basal.
- VA-miljøblad nr.69, (2015). "Overvannsdammer. Beregning av volum".
- VA-miljøblad nr.70, (2006). "Innløp- og utløpsarrangement ved overvannsdammer".
- VA-miljøblad nr.92, (2009). "Overflateinfiltrasjon".
- VA-Miljøblad nr.93, (2009). "Åpne Flomveger".
- VA-miljøblad nr.104, (2012). "Fordrøyning av overvann".
- VA-miljøblad nr.106, (2013). "Regnbed, renner og nedsivningsarealer".
- VASYD, (u.å). "Ekostaden Augustenborg-en dagvattenhåndtering".

VanWoert N. D., Rowe D. B., Andresen J. A., Rugh C. L., Feranandez R. T., Xiao L. (2005). "Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth". *Journal of Environmental Quality*, 34 (3): 1036-1044.

Vejen, F. (2012). "Tropisk styrtregn over København den 2.juli 2011. Alle danske monsterregns moder ...!". Danmarks Meteorologiske Institut.

Villarreal E. L., Semadeni-Davies, A., Bengtsson, L. (2004). "Inner city stormwater control using a combination of best management practices". *Ecological Engineering* 22: 279-298.

Villarreal, E. L. and Bengtsson, L. (2005). "Response of a sedum green-roof to individual rain events". *Ecological Engineering*, 25 (1): 1-7.

Watt, W. E., Waters, D. and McLean, R. (2003). "Climate Change and Urban Stormwater Infrastructure in Canada: Context and Case Studies". Report 2003-1. Dept. of Civil Engineering. Queen's University. Canada.

Ødegaard, H., redaktør. 2014. "Vann- og avløpsteknikk". Norsk Vanns VA-lærebok.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no