

## Miniregnbed for håndtering av overvann fra tak

Av Johanne G. Klausen, Vegard Nilsen, Bent C. Braskerud og Anne K. Fleig

Johanne var masterstudent ved NMBU og arbeider nå i WSP Norge, Oslo.

Vegard er ansatt ved NMBU, Ås.

Bent er ansatt i Oslo Kommune, Vann- og avløpsetaten.

Anne er ansatt i NVE, Oslo.

### Summary

*Use of miniature raingardens for managing stormwater from rooftops.* Climate change and urban densification leads to more precipitation falling on impermeable surfaces. During heavy rainfall events, sewer systems may become overloaded by stormwater, and untreated sewage can be discharged into nature. We have tested a new system for on-site stormwater management called miniature raingardens. The system's attenuation effect on roof runoff has been investigated through hydraulic experiments and modeling using USEPA's Storm Water Management Model (SWMM). Modeling results show that the effectiveness of miniature raingardens strongly depends on rainfall characteristics. The attenuation is largest during short and intense rainfall events for which peak runoff is reduced up to 87 percent (for a 5 min event with intensity 188 l/s/ha). During longer and less intense rainfall events, the reduction in peak runoff is significantly lower and overflow may occur. Miniature raingardens are particularly useful as a retrofitting option for managing stormwater in developed areas, since they can be placed on the surface and their footprint adjusted to fit different locations, e.g. a sidewalk or backyard.

### Sammendrag

Kombinasjonen av klimaendringer og fortetting i byer fører til at mer nedbør faller på tette overflater. Ved store nedbørhendelser kan avløpsnettet fylles opp av overvann, som igjen kan føre til at spillvann slippes urensert ut i naturen og at kjellere fylles. Et nytt tiltak innen lokal overvannsdiskonering (LOD) er miniregnbed som kan monteres til taknedløp. Miniregnbedet er undersøkt i et hydraulisk laboratorium og en kalibrert modell er bygget i modelleringsprogrammet Storm Water Management Model (SWMM). I utgangspunktet håndterer miniregnbedet ulike regnhendelser svært forskjellig. Det har størst fordøyingsvirkning ved korte og intense nedbørepisoder, der maksimalvannføringen fra taket dempes opptil 87 prosent (for hendelse med 188 l/s/ha i 5 min). Ved lengre og mindre intense nedbørhendelser er reduksjonen av maksimalvannføringen betydelig lavere, helt ned mot 1 prosent (for hendelse med 96 l/s/ha i 60 min). SWMM-modellen viser at miniregnbed kan optimaliseres for det enkelte bygg. Regnbedet kan plasseres på overflaten og ytre dimensjoner kan tilpasses lokale behov slik at det passer inn i utbygde områder, som på et fortau eller i en bakgård.

## Bakgrunn

Kombinasjonen av klimaendringer og fortetting i byer fører til at mer nedbør faller på en større andel tette overflater. Ved store nedbørhendelser kan avløpsnettets fylles opp av overvann og dette kan forårsake skader på infrastruktur og bebyggelse, og spillvann kan slippes urensset ut i naturen (Ødegaard, 2014). Nye tiltak for lokal overvannsdisponering (LOD) utvikles stadig og masteroppgaven «Fordrøyning av takvann – vurdering av miniregnbed som lokal overvannshåndtering» har tatt for seg et nytt system kalt *miniregnbed* (Klausen, 2020). Oppgaven ble skrevet i samarbeid med Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Målbeskrivelsen for oppgaven var todelt:

1. Undersøke fordrøyningsvirkningen til et miniregnbed.
2. Foreslå forbedringer og utarbeide tabellverk for dimensjonering av miniregnbed som et tiltak for lokal håndtering av takvann.

Miniregnbedet er utviklet i Skottland av C&D Associates for håndtering av overvann fra tak (Campbell, D'Arcy, & Perry, 2019), hvor det

heter SUDS-Box. Dersom miniregnbed kan redusere mengden overvann i avløpssystemet, vil det kunne minske utslipp av urensset spillvann i overløp. Dette er i tråd med Oslo kommunes «Handlingsplan for overvannshåndtering» (Oslo kommune, 2019) og FN's bærekraftsmål seks, delmål 6.3, som sikter mot å halvere utslipp av urensset avløpsvann innen 2030 (FN, 2015).

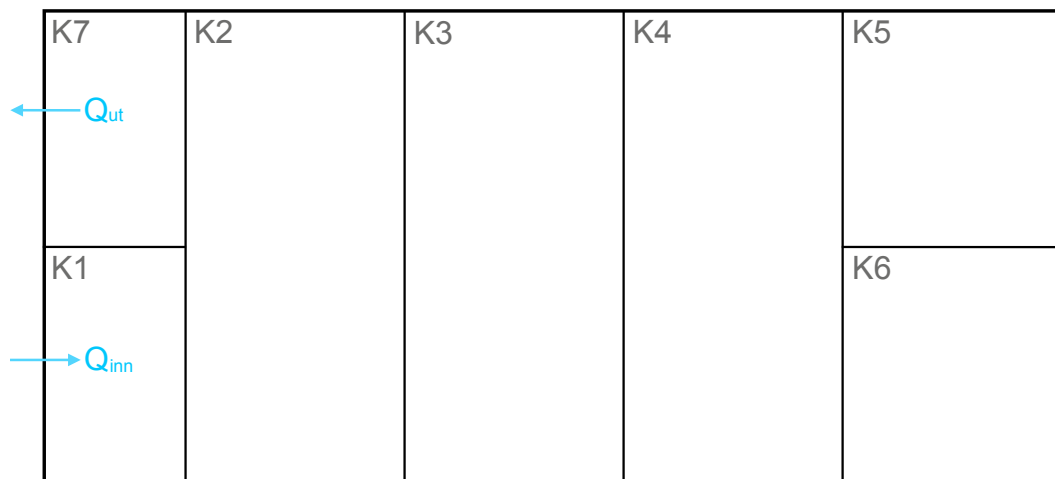
### Miniregnbedets oppbygning

Et miniregnbed (Figur 1) består av to hovedkomponenter: en blomsterkasse på toppen og et stort fordrøyningskammer med flere rom på totalt ca. 300 l under. Blomsterkassen har som hensikt å fange opp og infiltrere mindre nedbørhendelser, i tråd med trinn 1 i *tretrinnsstrategien for overvannshåndtering* (Lindholm, et al., 2008). Fordrøyningskammerene vil forsinke og fordrøye større nedbørhendelser i tråd med trinn 2. Vann ledes ut av systemet gjennom et utløp som kan ha utslipp direkte på terreng, eller som kan kobles tilbake på taknedløpet. Miniregnbedet plasseres på overflaten ved allerede eksisterende bebyggelse, men kan også graves delvis ned. Detaljerte skisser av systemet med dimensjoner er vist i masteroppgaven (Klausen, 2020).



Figur 1: Miniregnbed ved Sogn hagekoloni tilkoblet tak gjennom taknedløp og vannførings splitter. Ytre mål er 138, 62 og 90 cm for henholdsvis lengde, bredde og høyde. Vannføringssplitteren er av typen Regendieb Pro (GRAF, u.d.). Foto: Bent C. Braskerud.

## Fordrøyningskamre sett ovenfra

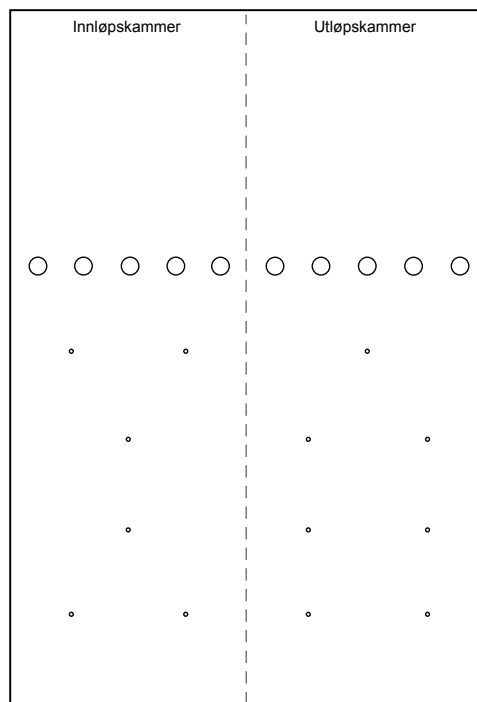


Figur 2: Illustrasjon av fordrøyningskamrene, sett ovenfra. Takvann tilføres systemet ( $Q_{inn}$ ) gjennom vannførings-splitter over innløpskammer K1, fordrøyes i fordrøyningskamre K2-K6 og forlater systemet ( $Q_{ut}$ ) gjennom utløp i utløpskammer K7. Det er store åpninger på bunnen mellom sideveggene i K2-K6. Hullåpningene mellom K1 og K2 og fra K2 til K7 er vist i Figur 3.

Blomsterkassen får tilført vann gjennom en gjennomhullet slange som strekker seg fra taknedløpet til enden av blomsterkassen. Blomstene står plantet i et jordlag og i bunnen av kassen dreneres overflødig vann videre til fordrøyningskamrene gjennom små hull. Fordrøyningskamrene har som hensikt å forsinke og fordrøye større regnhendelser. Illustrasjoner av fordrøyningskamrene er vist i Figur 2. Denne delen av systemet får tilført vann direkte fra taknedløp gjennom en vannføringsplittter og fra blomsterkassens drenering. Rett før fordrøyningskammeret er fullt, ved en trykkehøyde på 0,5 m, vil maksimalavrenningen ut av miniregnbedet være ca. 0,3 l/s med nåværende hullutforming. Vannføringsplittteren (Figur 1) fordeler vannføringen fra taket mellom blomsterkasse og fordrøyningskammer.

Kammervæggen som skiller fordrøyningskamrene (K2-K6) fra innløpskammer (K1) og utløpskammer (K7) er vist i Figur 3. Hullene i veggene er små og tillater kun lav vannføring ut av fordrøyningskamrene. Det er slik takvannet holdes igjen og fordrøyes i systemet. Ved større vannmengder som overstiger miniregnbedets

## Indre kammervegg



Figur 3: Illustrasjon av kammervegg med hull, som skiller fordrøyningskamre fra innløps- og utløpskammer. Store hull har diameter 2,0 cm, mindre hull har diameter 0,5 cm.

kapasitet ledes takvannet direkte til et overløp mellom K1 og K7 som har som hensikt å forhindre at systemet oversvømmes. I slike tilfeller vil vannføringen ut av systemet være like stor som vannføringen inn i systemet.

Alt takvann under en terskelverdi på 0,15 l/s føres direkte til blomsterkassen. Små regnhendelser vil dermed vanne planter, fordampe og infiltrere i blomsterbedet. Vannføringer større enn terskelverdien vil føres direkte til fordryningskamre og forsinkes der.

### Effektivt fordryningsvolum

For å vurdere miniregnbedets fordryningsvirkning undersøkes reduksjonen og forsinkelsen av spissavrenning og volum takvann som blir fordroyd. I utviklingen av miniregnbedet ble det av C&D Associates lagt vekt på konseptet *effektivt fordryningsvolum* i vurdering av ulike dimensjoners fordryningsvirkning (Campbell, D'Arcy, & Perry, 2019).

Effektivt fordryningsvolum,  $V_E$ , kan beskrives som det volumet som forlater systemet i løpet av en regnhendelse mens systemet ikke er fullt,  $V_0$ , plus systemets totale volum,  $V$ . Når systemet er fullt er avrenningen lik tilført vannmengde slik at volumet som renner gjennom regnbedet ikke blir fordroyd. Effektivt fordryningsvolum avhenger både av systemets ytre dimensjoner, hydrauliske kontroll (størrelse og plassering av hull etc.) og intensiteten og tidsforløpet til nedbørhendelsen.

## Metode

Undersøkelsene av miniregnbedets fordryningsvirkning ble gjennomført over tre steg. En modell av systemet ble først bygd i modelleringsprogrammet *Storm Water Management Model* (SWMM) basert på målte dimensjoner og teoretiske utløpskoeffisienter for hullene. Deretter ble hydrauliske forsøk gjennomført i vannlaboratorium. Resultatene fra disse testene ble benyttet til å justere og kalibrere modellen. Den ferdige modellen ble brukt i simuleringer til å undersøke miniregnbedets fordryningsvirkning. Modellens dimensjoner og indre design er til slutt optimalisert for å tilpasse systemet for ulike

nedbørintensiteter og krav til videreført vannmengde.

### Hydrauliske forsøk

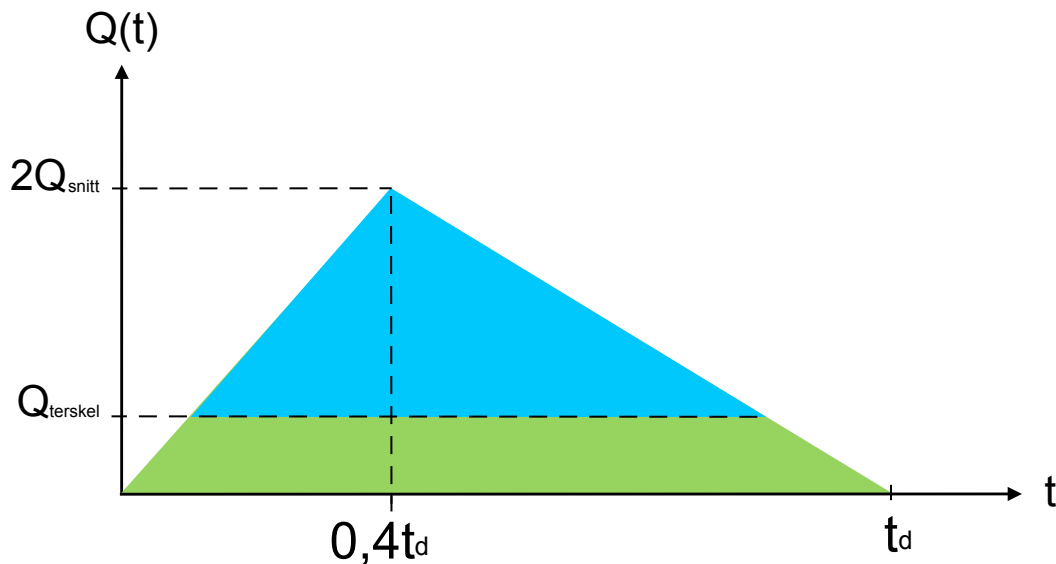
Hydrauliske, ikke-stasjonære forsøk i laboratorium ble gjennomført for å undersøke hvordan vann beveger seg gjennom systemet. Vannstandsavlesninger ble gjort ved bruk av meterstokk og stoppeklokke. I modellkalibreringen ble utløpskoeffisienten for hullene tilpasset de hydrauliske forsøkene (Figur 3). Det ble gjennomført enkle infiltrasjonstester ved å fylle blomsterkassen med vann og måle synkehastigheten. Dette ble gjort tre ganger. Vannførings-tester ble også gjort for vannførings-splitteren. Detaljer står nærmere beskrevet i masteroppgaven.

### Modellering i SWMM

I SWMM ble fordryningskamrene modellert med såkalte *storage*-noder, mens blomsterkassen er bygd ved bruk av SWMMs innebygde funksjon *LID Control*, et hjelpeverktøy for modellering av LOD-tiltak (Gironás, Roesner, & Davis, 2009). De hydrauliske forsøkene viste at vannstanden under tømning var praktisk talt lik i kamrene K2-K6, dvs. at hydrauliske tap mellom disse kamrene er neglisjerbare. Modellen er derfor forenklet ved å benytte fordryningskamrene (K2-K6) som ett stort kammer. Resultatene fra de hydrauliske forsøkene ble benyttet til å justere og kalibrere utløpskoeffisientene for de resterende hullene i modellen av miniregnbedet.

### Simulering av nedbørhendelser

For simulering av nedbørhendelser kan trekantregn benyttes som en forenkling av virkeligheten (Chin, 2013). Varighet og snittintensitet er hentet fra dimensjonerende nedbørhendelser for aktuelle gjentakintervall og varigheter for Blindern målestasjon i Oslo, men uten klimafaktor (Norsk klimaservicesenter, 2020). Maksimal nedbørintensitet er satt til to ganger snittintensiteten. Avrenningen fra taket – dvs. vannføringen inn til miniregnbedet – er som en forenkling beregnet som nedbørintensiteten



Figur 4: Utforming av trekantregn der  $t_d$  er nedbørhendelsens varighet,  $2Q_{\text{snitt}}$  er maksimalvannføring fra taket inn til miniregnbedet,  $0,4t_d$  er tidspunkt for maksimalvannføring og  $Q_{\text{terskel}}$  markerer terskelen før vannførings-splitteren fører vann direkte til fordryningskamre. Grønt areal ledes til infiltrasjon i blomsterkasse, blått areal ledes til fordryningskamre.

Tabell 1: Nedbørdata hentet fra dimensjonerende nedbør (intensitet-varighet-frekvens-kurver) for Blindern målestasjon omregnet til vannføring ut av taknedløp med tilhørende takareal  $50 \text{ m}^2$  (Norsk klimaservicesenter, 2020).

Nedbør konvertert til vannføring fra tak (l/s)										
Gjentaks-intervall	Varighet (min)									
	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60
2 år	1,465	1,237	1,120	0,939	0,700	0,571	0,492	0,390	0,302	0,246
5 år	1,864	1,605	1,463	1,255	0,939	0,785	0,684	0,544	0,429	0,348
20 år	2,380	2,082	1,909	1,665	1,249	1,062	0,933	0,743	0,593	0,482

multiplisert med takarealet. Dette antas å være en god tilnærming for så små takareal som det er snakk om her. Alt takvann opp til en viss vannføring ledes til blomsterkassen, vist i grønt i Figur 4. Større vannføringer ledes direkte til fordryningskamrene, markert i blått. I simuleringene er det valgt å se bort fra nedbør som faller direkte på blomsterkassens overflateareal og det antas at taknedløp og takrenne ikke er begrensede faktorer for tilført vannføring.

Med utgangspunkt i at miniregnbedet skal fungere som et tiltak i trinn 1 og 2 i tretrinnsstrategien, er følgende nedbørhendelser valgt ut for testing, vist i Tabell 1.

Nedbørdataene er konvertert fra gjennomsnittlig nedbørintensitet til snittvannføring ut av taknedløpet fra et takareal med  $A_{\text{tak}} = 50 \text{ m}^2$ . Det betyr at miniregnbedet tilsvarer 1,7% av takets overflate. For et taknedløp med standarddimensjoner, for eksempel 75 mm diameter nedløp og 100 mm renne, anbefales det av SINTEF Byggforsk et maksimalt takareal på  $50 \text{ m}^2$  per ytre taknedløp (SINTEF Byggforsk, 2017).

### Optimalisering

Miniregnbedets kapasitet kan enkelt økes ved å utvide systemets ytre dimensjoner, men dette kan ta opp dyrebart overflateareal i byrommet.

Det er derfor forsøkt å beholde systemets ytre dimensjoner så langt det har latt seg gjøre og heller justere indre dimensjoner og design. I optimaliseringsarbeidet var det hensiktsmessig å definere en øvre grense for tillatt avrenning fra systemet. Vi har satt en maksimalgrense på 0,1 l/s benyttet for et takareal på 50 m<sup>2</sup> (tilsvarende 20 l/s-ha). Ideelt sett bør miniregnbedet ha utslipp til lokalt terreng.

### Resultater og diskusjon

Gjennom hydrauliske forsøk ble utløpskoeffisient bestemt for de mindre hullene i Figur 3 ( $C_d = 0,8$ ) og infiltrasjonshastighet målt (snittverdi lik 1827 mm/time). I denne artikkelen vil resultater som viser miniregnbedets fordryningsvirkning trekkes frem, mens rådata og resultater fra forsøk er presentert i Klausen (2020).

### Modellens håndtering av simulerte nedbørhendelser

En samlet oversikt over resultatene for simuleringene er vist i Tabell 2 med følgende parametre:

- Tiden avrenningshendelsens start er forsinket med,  $t_{0, \text{forsinket}}$
- Maksimalvannføring inn til miniregnbed,  $Q_{\text{maks, nedbør}}$
- Spissavrenning ut av miniregnbed,  $Q_{\text{maks, avrenning}}$
- Tidspunkt for maksimalvannføring inn til miniregnbed,  $t_{p, \text{nedbør}}$
- Tidspunkt for spissavrenning ut av miniregnbed,  $t_{p, \text{avrenning}}$
- Totalt nedbørvolum,  $V_{\text{nedbør}}$
- Andel volum fordroyd,  $V_E / V_{\text{nedbør}}$

Tabell 2: Resultater fra simuleringer av nedbørhendelser der  $t_{0, \text{forsinket}}$  er antall minutter nedbørhendelsens start forsinkes,  $Q_{\text{maks, nedbør}}$  er største vannføring inn til miniregnbedet,  $Q_{\text{maks, avrenning}}$  er største avrenning fra miniregnbedet,  $t_{p, \text{nedbør}}$  er tidspunkt for maksimalvannføring inn til systemet,  $t_{p, \text{avrenning}}$  er tidspunkt for spissavrenning ut av systemet,  $V_{\text{nedbør}}$  er det totale nedbørvolumet og  $V_E$  er effektivt fordryningsvolum.

Resultater fra simuleringer								
Simulert nedbørhendelse		$t_{0, \text{forsinket}}$	$Q_{\text{maks, nedbør}}$	$Q_{\text{maks, avrenning}}$	$t_{p, \text{nedbør}}$	$t_{p, \text{avrenning}}$	$V_{\text{nedbør}}$	$\frac{V_E}{V_{\text{nedbør}}}$
Gjentaksintervall	Varighet	(min)	(l/s)	(l/s)	(min)	(min)	(l)	
2 år	1 min	0,38	2,93	0,69	0,4	0,52	88	1,00
	5 min	0,32	1,88	0,23	2,0	4,62	282	1,00
	15 min	0,32	1,14	0,70	6,0	9,53	514	0,76
	30 min	2,83	0,78	0,63	12,0	15,57	702	0,65
	60 min	4,80	0,49	0,41	24,0	29,90	884	0,77
5 år	1 min	0,37	3,73	1,18	0,4	0,50	112	1,00
	5 min	0,87	2,51	0,64	2,0	2,08	377	1,00
	15 min	1,78	1,57	1,19	6,0	7,98	706	0,62
	30 min	2,58	1,09	1,01	12,0	13,37	978	0,50
	60 min	4,17	0,70	0,69	24,0	24,27	1253	0,50
20 år	1 min	0,32	4,76	1,65	0,4	0,52	143	1,00
	5 min	0,78	3,33	1,21	2,0	2,10	499	0,88
	15 min	1,57	2,12	1,82	6,0	6,93	956	0,53
	30 min	2,33	1,49	1,44	12,0	12,23	1337	0,44
	60 min	3,62	0,96	0,95	24,0	24,58	1733	0,45

Utløpshydrogrammer i Figur 5-7 er hentet ut fra modellen som en visuell fremstilling av typiske eksempler på fordrøyningsvirkningen av nedbørhendelser med kort, middels og lang varighet (relativt til typiske konsentrasjonstider for små tak). Det er særlig tre punkter som er interessante å undersøke i utløpshydrogrammene:

- Tidspunkt for spissavrenning ut av mini-regnbedet,  $t_{p,avrenning}$
- Spissavrenning ut av miniregnbedet,  $Q_{maks,avrenning}$
- Effektivt fordrøyningsvolum,  $V_E$

### Korte nedbørhendelser (1 min – 5 min)

En hendelse med to minutters varighet og to års gjentakintervall trekkes fram som eksempel på en kort nedbørhendelse (Figur 5).  $Q_{maks,avrenning}$  oppstår raskt før avrenningen synker og stabiliserer seg på et lavere nivå. Utløpshydrogrammet viser at maksimalvannføringen fra takarealet blir betydelig dempet gjennom bruk av miniregnbed ved slike korte hendelser. Tidspunkt for spissavrenning ( $t_{p,avrenning}$ ) er forsinket med fem sekunder, maksimal vannføring er redusert med 79 prosent og tidspunkt for avrenningshendelsens start,  $t_0$ , er forsinket med 16 sekunder.

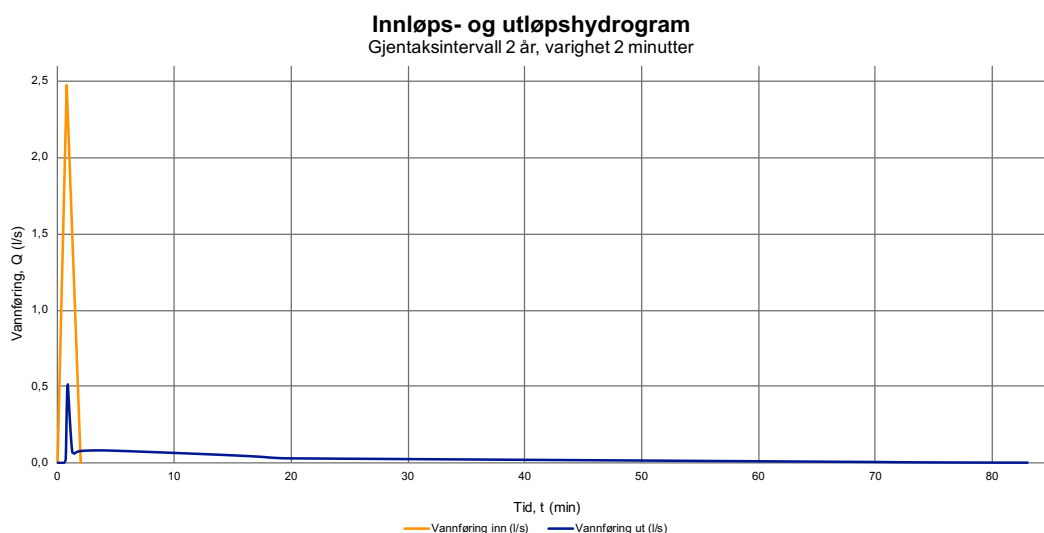
Den største reduksjonen av spissavrenning skjer for de korte hendelsene. For samtlige

nedbørhendelser med varighet mellom 1 og 5 minutter og gjentakintervall opptil 20 år er spissavrenningen redusert med 60 prosent eller mer. Største reduksjon oppstår for en hendelse med to års gjentakintervall og fem minutters varighet. Her er spissavrenningen redusert med 87 prosent, ved  $Q_{maks,avrenning} = 0,23$  l/s (Tabell 2).

Til tross for at miniregnbedet ofte rommer hele nedbørvolumet ved korte nedbørhendelser, er avrenningskurvene gjerne spisse og høye. Dette skyldes overløpsaktivitet direkte mellom innløpskammer og utløpskammer. Hullene som leder vann til fordrøyningskamrene er ikke i stand til å ta unna de store vannmengdene ved disse korte og intense hendelsene og deler av nedbørvolumet ledes direkte til utløpet uten fordrøyning i kamrene.

### Nedbørhendelser av middels varighet (10 – 20 min)

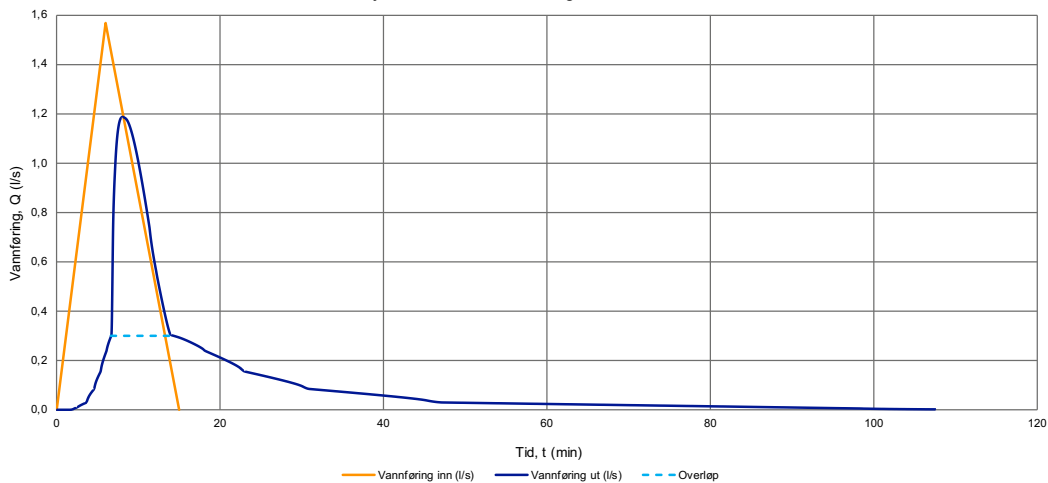
Som eksempel på håndtering av nedbørhendelse med middels varighet vises hydrogrammet av en hendelse med fem års gjentakintervall og 15 minutters varighet (Figur 6).  $t_{p,avrenning}$  er forsinket med 2 minutter og spissavrenningen redusert med 24 prosent. Figur 6 viser at  $Q_{nedbør} = Q_{avrenning}$  ved  $t = 8,1$  minutter. Fra da av har ikke lenger miniregnbedet en fordrøynings effekt på



Figur 5: Innløps- og utløpshydrogram,  $Q(t)$ , fra SWMM-modell av miniregnbed ved nedbørhendelse med 2 års gjentakintervall og 2 minutters varighet.

## Innløps- og utløpshydrogram

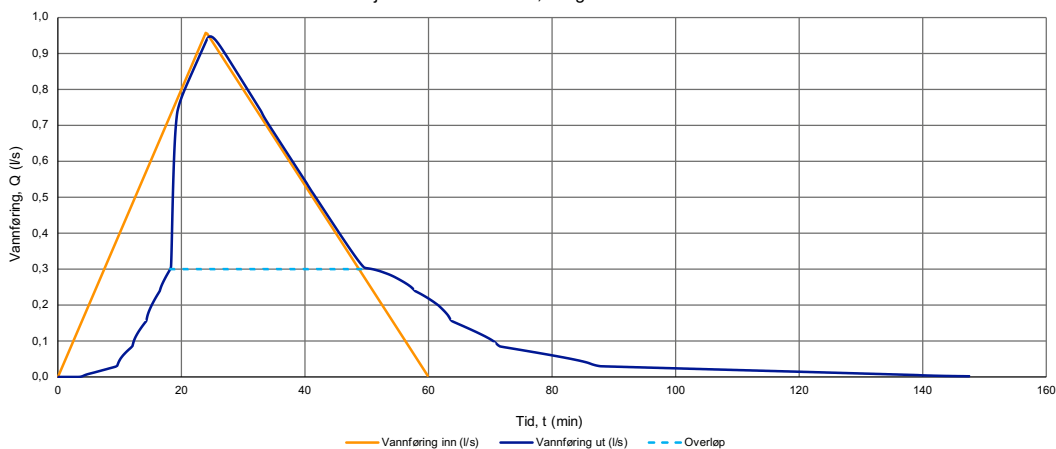
Gjentaksintervall 5 år, varighet 15 minutter



Figur 6: Innløps- og utløpshydrogram,  $Q(t)$ , fra SWMM-modell av miniregnbed ved nedbørhendelse med 5 års gjentaksintervall og 15 minutters varighet. Vannføringer større enn 0,3 l/s går i overløp.

## Innløps- og utløpshydrogram

Gjentaksintervall 20 år, varighet 60 minutter



Figur 7: Innløps- og utløpshydrogram,  $Q(t)$ , fra SWMM-modell av miniregnbed ved nedbørhendelse med 20 års gjentaksintervall og 60 minutters varighet. Vannføringer større enn 0,3 l/s går i overløp.

takvannet som kommer inn, fram til  $Q_{\text{nedbør}}$  synker til ca. 0,3 l/s ved  $t = 13,4$  minutter. Effektivt fordrøyningsvolum,  $V_E$ , er ved denne hendelsen lik 438 liter og andelen volum fordrøyd er på 62 prosent.

Spissavrenningen fra systemet ved nedbørhendelser av middels varighet er i snitt større enn ved korte og lengre nedbørhendelser. Reduksjonen av spissavrenning varierer mellom 3 og

61 prosent (Tabell 2). En utfordring ved disse hendelsene er at store vannmengder tilføres systemet over et relativt kort tidsrom og at miniregnbedet ofte går i overløp, dvs. at vann renner direkte fra K1 til K7 (Figur 2).

**Lengre nedbørhendelser (30 – 60 min)**

Miniregnbedets håndtering av lengre nedbørhendelser er vist eksempelvis i Figur 7 for en



nedbørhendelse med 20 års gjentakintervall og 60 minutters varighet. Miniregnbedets fordrøyningskapasitet overskrides mens nedbørkurven fortsatt er stigende, noe som fører til svært lav demping av spissavrenning og liten forsinkelse av  $t_{p,avrenning}$ . For 20-årshendelsen dempes  $Q_{maks,avrenning}$  med 1 prosent og  $t_{p,avrenning}$  forsinkes ca. 1 minutt. Effektivt fordrøyningsvolum er på 788 liter, altså 45 prosent av nedbørvolumet.

Felles for de fleste lengre nedbørhendelsene er at miniregnbedets kapasitet overskrides allerede før spissavrenningen oppstår. Her er gjennomsnittlig avrenning fra systemet minst, men det totale nedbørvolumet er så stort at systemet etter hvert går fullt i samtlige simuleringer.

Ser man kun på reduksjon og forsinkelse av spissavrenning, kan det se ut til at miniregnbedet ikke har noen effekt av betydning ved lange nedbørhendelser. Det er særlig her effektivt fordrøyningsvolum blir en viktig parameter. Selv om miniregnbedet har liten fordrøyningsvirkning på spissavrenningen til disse hendelsene, er effektivt fordrøyningsvolum svært høyt. Største effektive fordrøyningsvolum er på 788 l ved en nedbørhendelse med nedbørvolum på 1 733 l.

Basert på Tabell 2 kan følgende forhold undersøkes nærmere:

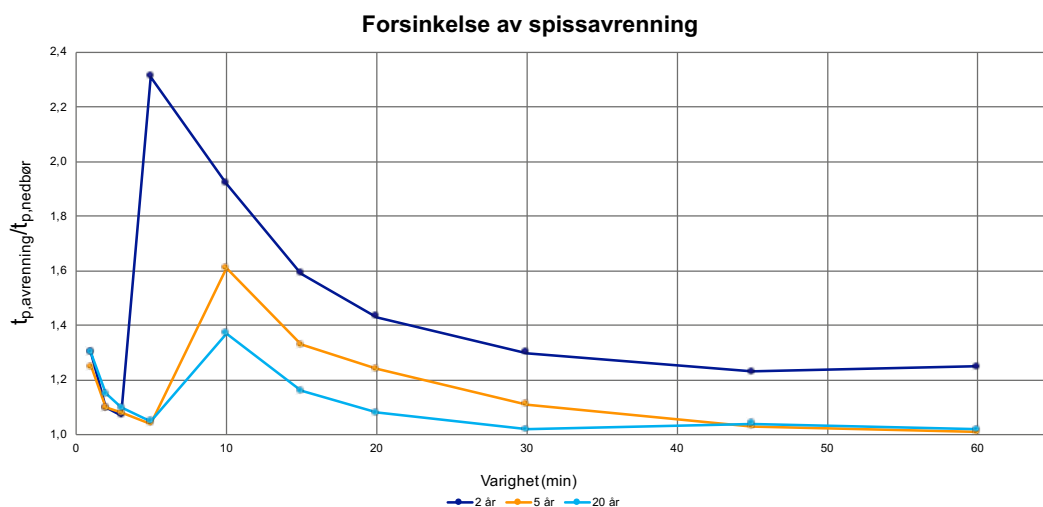
$$t_{p,avrenning}/t_{p,nedbør} \quad Q_{maks,avrenning}/Q_{maks,nedbør} \quad V_E/V_{nedbør}$$

Ved å plote disse forholdene for hvert gjentakintervall blir det mulig å sammenligne miniregnbedets fordrøyningsvirkning for ulike nedbørhendelser. Forholdene er plottet i Figur 8 – 10 som funksjon av nedbørhendelsens varighet.

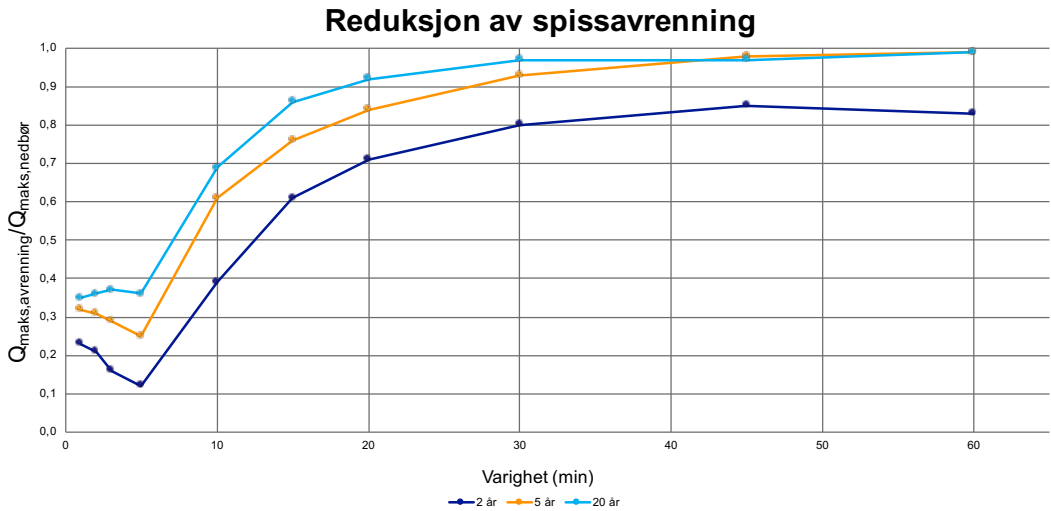
Forholdet mellom  $t_{p,avrenning}$  og  $t_{p,nedbør}$  forteller hvor mye maksimalvannføringen fra tak forsinkes gjennom et miniregnbed. En høy verdi indikerer stor forsinkelse, mens en verdi nærmere 1 indikerer at spissavrenningen fra miniregnbedet oppstår nærmest samtidig med maksimalvannføringen fra taket. Figur 8 viser at nedbørhendelser med 2 års gjentakintervall har størst forsinkelse, mens forholdstallet for de andre gjentakintervallene går mot 1 ved varighet lenger enn 30 minutter.

Forholdet mellom  $Q_{maks,avrenning}$  og  $Q_{maks,nedbør}$  forteller hvor mye maksimalvannføring fra taket reduseres ved bruk av miniregnbed. En lav verdi i Figur 9 indikerer stor demping av avrenningsintensiteten, mens et tall nærmere 1 indikerer liten demping. Felles for alle gjentakintervallene er at avrenningen reduseres i størst grad for regnvarigheter mellom 1 og 5 minutter.

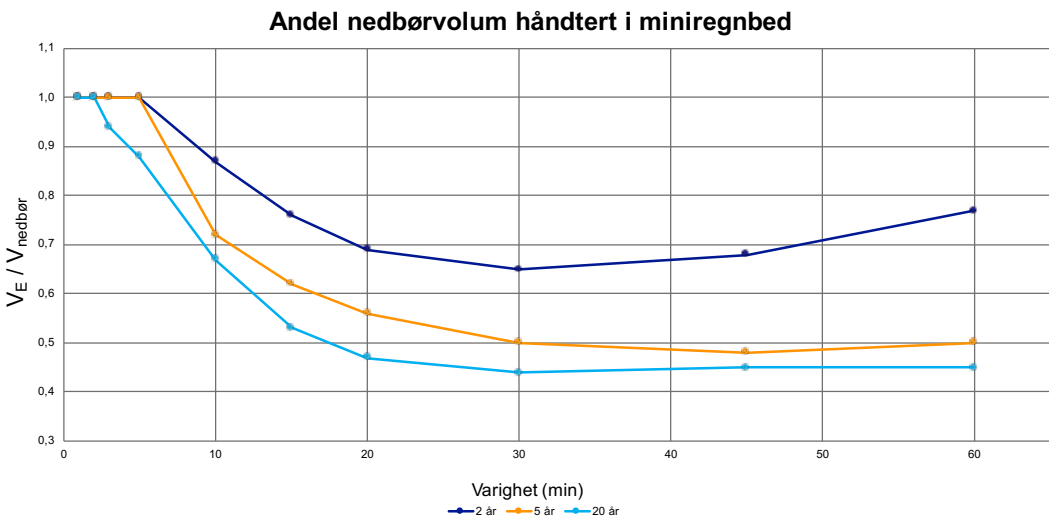
Forholdet mellom  $V_E$  og  $V_{nedbør}$  forteller hvor stor andel av nedbørvolumet miniregnbedet har en fordrøyningsvirkning på. Ved verdier lik eller nær 1 vil miniregnbedet ha fordrøynings-



Figur 8: Forholdet mellom tidspunkt for spissavrenning ut av miniregnbedet ( $t_{p,avrenning}$ ) og maksimalvannføring inn til miniregnbedet ( $t_{p,nedbør}$ ) for ulike nedbørhendelser som funksjon av nedbørhendelsens varighet.



Figur 9: Forholdet mellom spissavrenning ut av miniregnbedet ( $Q_{maks,avrenning}$ ) og maksimalvannføring inn til miniregnbedet ( $Q_{maks,nedbør}$ ) for ulike nedbørhendelser som funksjon av nedbørhendelsens varighet.



Figur 10: Forholdet mellom effektivt fordrøyningsvolum ( $V_E$ ) og volum nedbør ( $V_{nedbør}$ ) for ulike nedbørhendelser som funksjon av nedbørhendelsens varighet.

virkning på henholdsvis hele eller store deler av det totale nedbørvolumet. Lavere verdier indikerer at systemet fylles opp og overbelastes. Også her gir hendelser med 2 års gjentaksintervall de beste resultatene.

#### Optimalisering og form

Det er mulig å optimalisere miniregnbedet for å oppnå bedre fordrøyningsvirkning for et bredere spekter av nedbørhendelser. Dette er gjort i

Klausen (2020) ved å endre miniregnbedets dimensjoner og indre design, slik som hullstørrelsene i modellen. På denne måten kan forskjellige typer miniregnbed tilpasses fordrøyningsbehovet ved en gitt plass. For å håndtere en 20-årshendelse med varighet på 30 minutter (0,74 l/s i Tabell 1) må miniregnbedets høyde endres fra 0,9 til 1,15 m, og areal fra 0,86 m<sup>2</sup> til 1,52 m<sup>2</sup>. Diameteren av hullene i kammerveggen mellom K1 og K2 må økes fra 0,5 cm til 2 cm

(Figur 3), mens hullene ut (fra K2 til K7) reduseres fra 0,5 cm til 0,4 cm diameter. På den måten renner mer vann inn til fordrøyningskamrene (K2-K6) og mindre i overløp (fra K1 til K7).

I prinsippet kan miniregnbedet lages smalere enn SUDS-Box-en, så lenge volum, hullstørrelser og lignende beholdes. På den måten vil systemet for eksempel ta opp lite av bredden på et fortau og være til lite forstyrrelse for fotgjengere, mens det fortsatt vil infiltrere, fordampe og fordroye overvann fra tak og være et positivt bidrag til gatas estetikk.

Det er viktig å understreke at avrenningen fra miniregnbedet påvirkes av nedbørhendelsens form. I disse simuleringene er trekantregn benyttet, men andre former på nedbøren (f. eks. symmetriske blokkhyetogram, som ofte benyttes for modelleringsformål) kan gi andre avrenningsmønstre. Tabellverket kan benyttes som et utgangspunkt for dimensjonering, men kan gi endrede vannføringer dersom nedbør tilføres i andre former. Detaljer er oppgitt i Klausen (2020).

## Konklusjon

Målet med masteroppgaven var å undersøke et miniregnbeds fordrøyningsvirkning og foreslå forbedringer av systemet. SWMM ble brukt til å bygge og kalibrere en modell av miniregnbedet og simulere utvalgte nedbørhendelser.

Resultatene viser at miniregnbedets fordrøyningsvirkning varierer med de ulike nedbørhendelsene. For korte (1 – 5 min) og intense nedbørhendelser er fordrøyningsvirkningen god, med opptil 87 prosent reduksjon av spissavrenningen (gjentaksintervall på 2 år). Hendelser av middels varighet (10 – 20 min) har i snitt størst forsinkelse av spissavrenning med største forsinkelse av avrenningstopp på 92 prosent (gjentaksintervall på 2 år). Ved korte varigheter blir stort sett hele nedbørvolumet håndtert av miniregnbedet, mens håndtert volumandel varierer mellom 44-77 prosent for de lengre hendelsene. VE sier derimot lite om hvordan dette volumet fordrøyes, og for de lengre nedbørhendelsene er reduksjonen av spissavrenning mellom 1 og 19 prosent.

En utfordring med miniregnbed er at den samme endringen i designet kan ha positiv effekt ved én type nedbørhendelse og negativ effekt ved en annen. Dette kan by på utfordringer ved dimensjonering, særlig dersom takvannet ledes videre til ledningsnett og maksimale grenser for påslipp må overholdes. I slike tilfeller kan det være nødvendig å utvide systemets ytre dimensjoner, noe som vil øke arealbruken på overflaten. Alternativt kan vannet ledes videre til andre LOD-løsninger nedstrøms miniregnbedet slik at summen av tiltak tilfredsstiller myndighetskravene.

Takvann som føres direkte til fordrøyningskamrene uten opphold i blomsterkassen vil ikke vanne planter og vil i svært liten grad fordampe. Fordrøyningskamrene håndterer de største vannmengdene og denne delen av systemet bidrar i liten grad til å gjenopprette en naturlig vannbalanse. Dersom miniregnbed har utslipp til lokalt terreng, bør det om mulig legges til rette for at vannet ledes til et annet LOD-tiltak eller en permeabel overflate.

En stor fordel ved miniregnbed er at systemet kan plasseres på overflaten. Ved å holde arealbruken lav kan miniregnbed være et særlig nyttig overvannsystem i trange, urbane og allerede utbygde områder. En gravefri metode har økonomiske fordeler og gjør systemet mer fleksibelt for eventuelle endringer etter installasjon. I tillegg er miniregnbedet en standardisert løsning med kjent funksjon, som skulle gjøre det enklere å prosjektere og installere. Den viktigste utfordringen blir å velge rett hullstørrelse. I utgangspunktet kan det se ut til at hullene mellom K1 og K2 (Figur 2 og 3) kan økes noe for å unngå overløp ved nedbør av «mellomlang» varighet.

Resultatene viser at miniregnbed kan være et nyttig supplement til de kjente og etablerte LOD-tiltakene. Systemet møter et behov som i liten grad er dekket, ved å muliggjøre gravefri installering. Miniregnbed kan plasseres på fortau, fordroye takvann og skape et grønnere bybilde. Bruk av miniregnbed kan bidra til å redusere utslipp av urensset spillvann til naturen og fordroye takvann slik at oversvømmelser kan unngås.

## Takksigelser

Takk til Knut Møen og Graeme Whittington fra NVE for hjelp til oppsett og gjennomføring av hydrauliske forsøk. Takk til Line Barkved og Isabel Seifert-Dähnn fra NIVA for lån av vannføringsplitter.

## Referanser

Campbell, N. S., D'Arcy, B., & Perry, M. (2019). *Effective Attenuation and the implementation of SUDS in Scotland*. Edinburgh, Skottland: C&D Associates LLP.

Chin, D. A. (2013). *Water-Resources Engineering*. Harlow: Pearson Education Limited.

De forente nasjoner. (2015). *FNs bærekraftsmål*. Hentet fra url: <https://www.fn.no/om-fn/FNs-baerekraftsmaal> (26.03.2020).

Gironás, J., Roesner, L. A., Davis, J. (2009). *Storm Water Management Model - Applications Manual*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.

GRAF. (u.d.). *Regendieb Pro*. Hentet fra url: <https://www.graf-water.com/rainwaterharvesting/downpipe-filter/regendieb-pro/regendieb-pro-grey.html> (21.02.2020).

Norsk klimaservicesenter. (u.d.). *Dimensjonerende nedbør (IVF) fra målestasjoner*. Hentet fra url: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/iddf.xhtml> (24.02.2020).

Oslo kommune. (2019). *Handlingsplan for overvannshåndtering i Oslo* (Byråds sak 215/19). Hentet fra url: <https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/arbeider-pa-vann-og-avlopsnett/overvannshandtering/#gref> (19.01.2020).

Klausen, J. G. (2020). *Fordroyning av takvann – vurdering av miniregnbed som lokal overvannshåndtering*. (Masteroppgave). Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås.

Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering* (Norsk Vann-rapport 162/2008). Hamar: Norsk Vann.

SINTEF Byggforsk. (2017). *Takrenner og nedløp*. Oslo: SINTEF.

Ødegaard, H. (Red.). (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk Vann.