

# LOD tiltak på nedbørsfelt skala; - hva er effekten av regnbed for avløpet i et urbanfelt på Grefsen-Kjelsås i Oslo?

Av Thomas Skaugen, Deborah Lawrence og Rengifo Zenon Ortega

Thomas Skaugen er PhD i hydrologi og forskningsprofessor ved Hydrologisk avdeling, NVE. Deborah Lawrence er PhD i hydrologi og seniorforsker ved Hydrologisk avdeling, NVE. Rengifo Zenon Ortega er MSc i geomatikk og er overingeniør ved Hydrologisk avdeling, NVE.

## Summary

*LID on the catchment scale- what is the effect of raingardens on runoff for an urban cathment at Grefsen Kjelsås, Oslo.* We have tested the catchment scale effect on runoff of applying LIDs (raingardens) in an urban catchment of 0.3 km<sup>2</sup> with 500 houses. Using the newly developed urban hydrological rainfall-runoff model DDDUrban, simulations show that floodpeaks are reduced by 10, 30 and 40 % with the installation of 66, 177, 265 raingardens, respectively. The raingardens have an area of 10 m<sup>2</sup>, a depth of 1 m and are filled with a filtermedium with a porosity of 50 % and with a saturated hydraulic conductivity of  $3 \cdot 10^{-5}$  m/s. The flood attenuation and delay introduced by the raingardens cause the catchment to be vulnerable to successive intense precipitation events, and if we reduce the depth to 0.5 m, flood peaks increase because of the delayed runoff and saturated raingardens leading to saturation excess overland flow. The LID module of DDDUrban can quantify step 2 in the stormwater 3-step approach and can be a tool in stormwater management planning.

## Sammendrag

Vi har testet effekten av LOD tiltak (regnbed) på totalavløpet fra et 0.3 km<sup>2</sup> stort nedbørsfelt med ca 500 husstander på Grefsen Kjelsås i Oslo. Ved hjelp av en nyutviklet urbanhydrologisk nedbør-avløpsmodell, DDDUrban, har vi kjørt simuleringer som viser en flomreduksjon på henholdsvis ca 10, 30 og 40 % for 66, 177 og 265 regnbed. Regnbedene har overflate areal på 10 m<sup>2</sup>, dybde 1 m og er fylt av et filtermedium med porøsitet 50 % og med mettet hydraulisk ledningsevne  $3 \cdot 10^{-5}$  m/s. Fordrøyningen gjør at nedbørsfeltet er sårbart for sekvenser av intens nedbør og reduserer vi dybden av regnbedene til 0.5 m, vil vi få økte flomtopper på grunn av fordrøyning og mettede regnbed som gir overflateavrenning. LOD modulen i DDDUrban kan kvantifisere trinn 2 i tretrinnsstrategien og være et verktøy for planlegging av bærekraftige urbanhydrologiske systemer.

## Innledning

Anvendelse av lokal overvannsdisponering (LOD) til å fordrøye og redusere urbant avløp er en viktig strategi for å redusere skader forårsaket av urban flom. Oslo kommune har, i tillegg

til mange andre kommuner, anvendt den såkalte tretrinns strategien (S3SA, stormwater 3-step approach) (Lindholm et al. 2008) som sitt hoved-instrument for å utvikle bærekraftige urbane avløpssystemer. De tre trinnene i S3SA er; 1) lav-intensitets nedbør skal infiltreres lokalt (Becker et al., 2016; Solheim, 2017); 2) avløp forårsaket av nedbør med høyere intensitet skal fordrøyes så lenge som mulig ved hjelp av for eksempel regnbed, grønne tak, våtmark, våte og tørre dammer og 3) å sikre trygge, dedikerte flomveier slik at avløp forårsaket av virkelig store nedbørmengder trygt ledes til resipient uten å forårsake skade.

Det er stor variasjon i hvordan de enkelte kommuner vurderer terskelen for når de forskjellige trinnene aktiveres (Paus, 2020). Dette er forståelig da beskrivelsen av S3SA strategien er kvalitativ og beskriver egentlig bare de hydrologiske prosessene i et nedbørsfelt under oppfuktning. Varigheter og intensitet av nedbør, forskjellige fuktighets tilstand i nedbørsfeltet og arealbruk har stor innvirkning på hvilke hydrologiske prosesser (infiltrasjon og transport av vann over og under overflaten), som er mest aktive.

LOD strategier er av en uttalt hydrologisk karakter da det handler om vann som skal transporteres i og over forskjellige medier hvor hastigheter varierer, og hvor avstander fra der vannråpen faller på bakken til den når utløpet av nedbørsfeltet varierer. Hvordan S3SA skal implementeres og hvor effektive og nyttige LOD tiltak er, må kvantifiseres. Vi trenger derfor verktøy som realistisk kan simulere urbanhydrologisk prosesser. I prosjektet “Sustainable Urban Flood management- modelling, mitigating and predicting urban and semi-urban flooding” (SURF) har vi utviklet en urbanhydrologisk modell, Distance Distribution Dynamics – Urban (DDUrban, se Skaugen et al. 2020a og artikkel i dette nummer av VANN, Skaugen et al. 2020b) som med et svært lavt antall kalibrerte modellparametere beskriver de relevante urbanhydrologiske prosesser. Et viktig element i DDDUrban er at vannbalansen respekteres slik at hver regndråpe som faller over et nedbørsfelt skal gjøres rede for enten dråpen fordampes, blir

grunnvann eller renner av på overflaten. At DDDUrban har få parametere som må bestemmes fra kalibrering, og at parameterne har en fysisk forankring er en viktig forutsetning for å anvende modellen også i urbane områder med lite hydrologiske data. Lange statistisk stasjonære tidsserier av avløp er en sjeldenhet ofte på grunn av hyppige arealbruksendringer.

I denne artikkelen vil vi forsøke å skalere opp den flomdempende effekten LOD tiltak har vist i isolerte forsøk (Viker-Walsøe og Valle, 2020) og beskrive den samlede effekten på urbant avløp av flere regnbed i et nedbørsfelt. Denne problemstillingen er reist av flere forskere (se Elliot and Trowsdale, 2007; Eckardt et al., 2017) og den er viktig for å kunne dimensjonere trinnene i S3SA og for å bedre kunne planlegge bærekraftige urbanhydrologiske systemer.

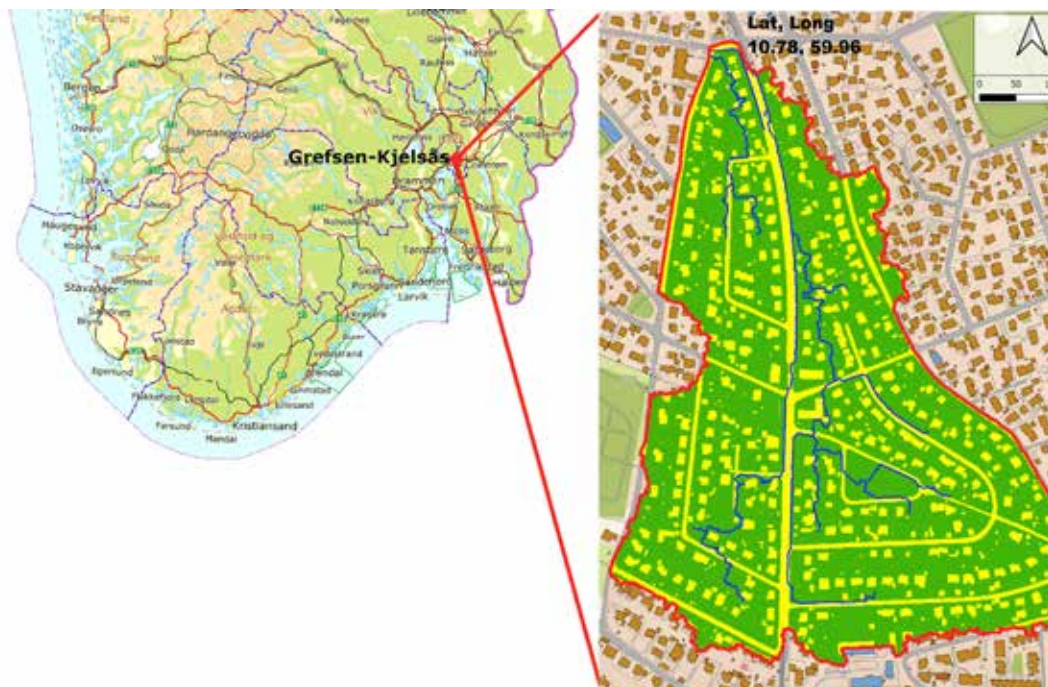
## Studieområde og data

Nedbørsfeltet Grefsen Kjelsås (GK) ligger ca 5 km nordøst av Oslo sentrum, er 0,3 km<sup>2</sup> stort og har en høydeforskjell på 170-188 moh (Figur 1). GK har felles avløpssystem for spill- og overvann. Det er mange bolighus og andelen permeable og ikke-permeable områder er henholdsvis 0.73 og 0.27.

Tidsserier av avløp fra GK er målt av Oslo Kommune (VAV) og er gjort som kampanjemålinger. Vi har data kun for juni- november, 2010. Denne tidsserien er delt i to: GK1 (2010-9-1 00:00 – 2010-8-31 23:50) og GK2 (2010-9-1 00:00 – 2010-11-15 12:20). GK2 er brukt til kalibrering av DDDUrban og GK1 til validering.

Nedbør måles ca 100 meter fra avløpsstasjonen og vi bruker temperatur data fra Meteorologisk Institutt sin målestasjon Blindern (ca 3 km nordvest fra GK).

Digitale datasett for veger, tak og arealdekke er hentet fra hhv Felles Kart dataBase (FKB) og Norsk Institutt for BIOøkonomi (NIBIO) og nedbørsfeltene kan deles inn i permeable og impermeable områder. DTM (0.5 m oppløsning) er fra Oslo Kommune. Verktøy fra GRASS GIS gir muligheten til å generere et hydrologisk korrekt elvenettverk som er nødvendig for å beregne modellparametere i DDDUrban.



Figur 1. Studieområdet. Gul og grønn farge representerer hhv permeable områder (P) og impermeable områder (IP).

## Metode

Vi har utviklet en algoritme for et generisk regnbed og implementert denne i DDDUrban. Detaljert beskrivelse av DDDUrban kan leses om i Skaugen et al. (2020a) og i Skaugen et al. (2020b), men sentralt i modellen er at det er stor forskjell i hastighet på vann som renner i eller over forskjellige landskapselementer (permeable- (P) og impermeable (IP) arealer) og vann som renner i elv/ledningsnett (heretter kalt elvenettverk). Vannhastighetene i et elvenettverk kan være 2-5 størrelsesordner raskere enn vannhastigheter under og over urbane flater, og Skaugen et al. (2020a) konkluderes med at det er fordelingen av avstander mellom punkter i landskapselementer og nærmeste punkt i elvenettverket og vannhastigheter over og under bakken som beskriver den urbanhydrologiske respons. Regnbed blir i DDDUrban implementert som et nytt landskapselement og får derfor sin egen avstandsfordeling (avstander mellom punkter i regnbedet og regnbedets utløp). Avstandsfordelinger for et generisk regnbed (areal = 10 m<sup>2</sup>, 2,2 x 4,4 m) tilnærmes analytisk med en normalfordeling.

Design av regnbedet er basert på norske studier av regnbed (Paus og Braskerud (2013) og Dalen et al. (2012)). Den geometriske formen på regnbedet er et rektangel hvor lengden er dobbelt så stor som bredden (2,2 x 4,4 m). Dybden av regnbedet er 1 m, porøsiteten til filtermediet er 50 % and har en mettet hydraulisk konduktivitet lik  $3 \cdot 10^{-5}$  m/s. Fra erfaring og empiriske likninger anbefaler Paus og Braskerud (2013) et forhold mellom størrelsen på regnbedet og det IP arealet det skal kompensere for til å være 0.07 (7%), som betyr at et regnbed på 10 m<sup>2</sup> behøves for hver 140 m<sup>2</sup> IP-areal hvis flomdempingen og fordøyningen skal være effektiv. I DDDUrban kan vi spesifisere andelen av IP areal som skal kompenseres med regnbed og modellen beregner antall regnbed av typen beskrevet over. Avløp generert fra den spesifiserte andelen av IP-arealer rutes til regnbed som er lokalisert på P-arealer. Regnbedet dreneres fra et hjørne ved bunnen og det drenerte vannet fraktes videre med elvenettverket. Avstandsfordelingen for et regnbed bestemmes enkelt

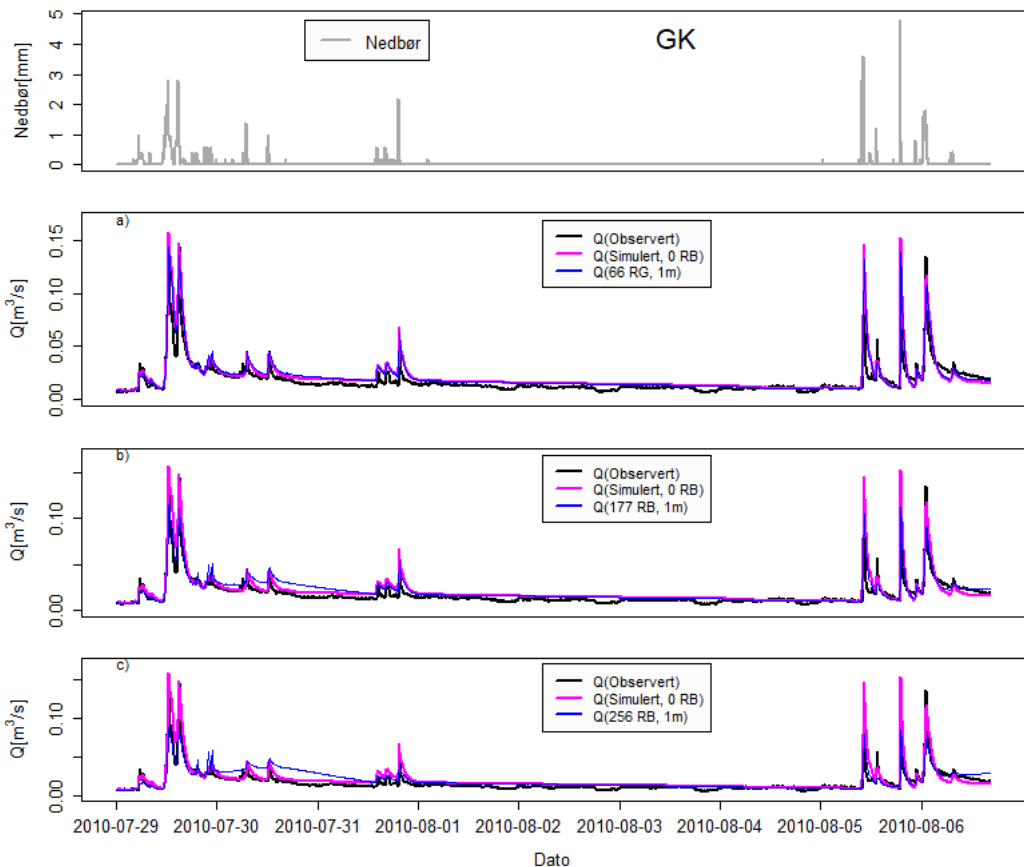
ved å beregne alle mulige avstander mellom punkter (i et grid) i regnbedet og utløpspunktet. Bestemmelse av fordeling og dens parametere gjøres fra beregnede avstander.

## Resultater

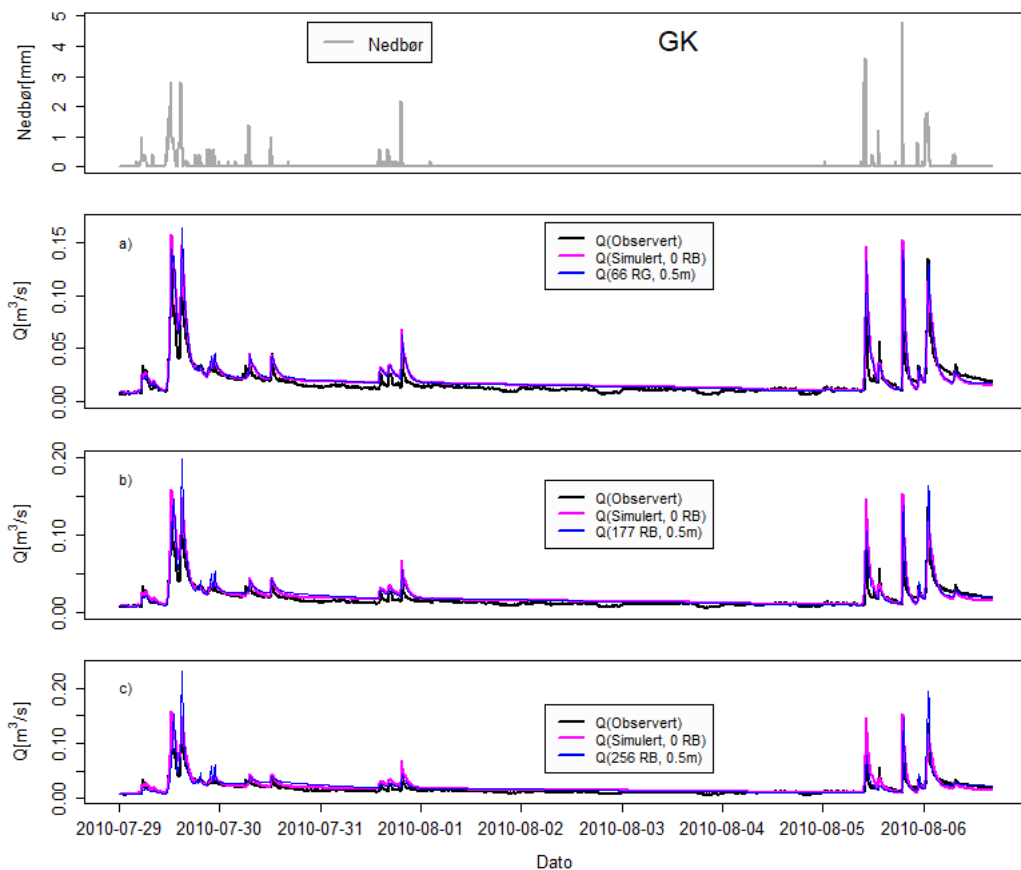
Vi testet nedbørsfelteffekten av regnbed ved å anta at 10, 30 og 50% av IP-areale ble kompensert av regnbed (se Figur 2 a, b og c). Figur 2 viser simulert avrenning for en uke ved GK med og uten regnbed og den flomreducerende effekten sees tydelig. Antall regnbed som kompenserer for henholdsvis 10, 20 og 50 % av IP arealet er 66, 177 og 265 regnbed. Regnbedene reduserer flomtoppene effektivt i forhold til den opprinnelige raske avrenningen fra IP arealer og flodempeningen øker med antall regnbed. Vi

ser også at reduksjonen av flomtopper medfører at vannføringen etter nedbørhendelsen øker i forhold til situasjonen uten regnbed. For å undersøke sensitiviteten av regnbedenes kapasitet halverte vi dybden av filtermateriale til 0.5 meter.

Figur 3 (a,b,c) viser effekten på avrenning for de samme prosentandelene IP areal som er kompensert med regnbed. Vi ser at flomreduksjonen for tette sekvenser av intense nedbørstilfeller endres dramatisk. For et nedbørstilfelle som følger tett etter et annet vil vi få en *økning* av flomtoppen i forhold til å ikke ha regnbed. Dette skyldes at avløpet er hensiktsmessig fordrøyet etter første nedbørstilfelle, og vannføringen er høyere enn den ville ha vært ved neste nedbørstilfelle uten et regnbed. Ved andre nedbørstilfelle overskrides kapasiteten for regnbedet



Figur 2. Observert og simulert vannføring for GK med og uten regnbed av dybde 1 m. a) 66 regnbed, b) 177 regnbed og c) 265 regnbed.



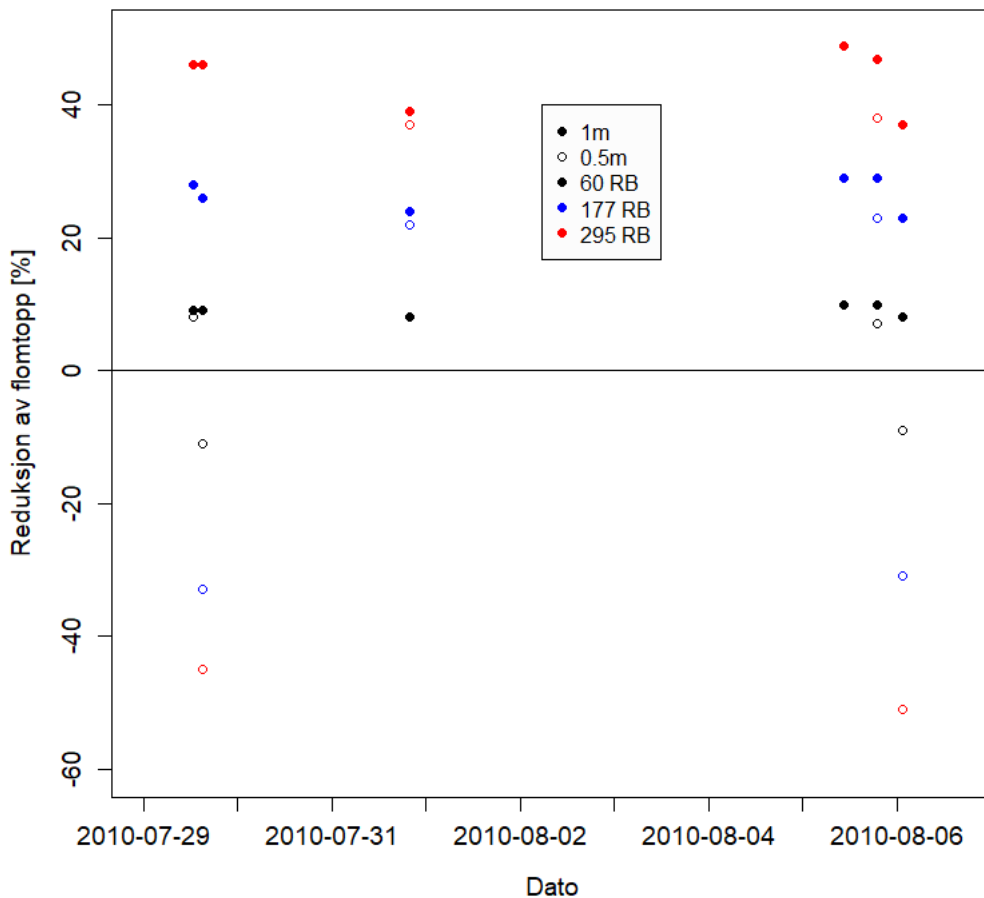
Figur 3. Observert og simulert vannføring for GK med og uten regnbed av dybde 0.5 m. a) 66 regnbed, b) 177 regnbed og c) 265 regnbed.

og vi får mettet overflateavrenning som kommer i tillegg til at vannføringen er forhøyet av fordøyningen fra første nedbørstilfelle.

Figur 4 viser den prosentvise flomdempeningen for forskjellig antall regnbed med 1 m dybde og 0.5 m dybde. Negativ prosentvis flomreduksjon betyr en økning av flomtopp sett i forhold til situasjonen uten regnbed. Resultatene viser hvor viktig det er i forbindelse med dimensjonering av LOD tiltak å ta hensyn til fuktighetsforhold forut for nedbørshendelser og at hensikten med LOD tiltaket, fordøyningen, forlenger tidsskalaen på nedbørsfeltets respons og gjør nedbørsfeltet mer sårbart for sekvenser av intense nedbørshendelser.

## Diskusjon

Effekten av LOD tiltak på nedbørsfelt skala har blitt testet og vi har dermed adressert noen av spørsmålene reist tidligere av Elliot and Trowsdale (2007) og i senere tid av Eckardt et al. (2017). De etterlyste forskning på effekten av LOD tiltak fra tomt til nedbørsfelt- og regional skala. I Figur 2 ser vi at selv med et ganske beskjedent antall regnbed, 66 regnbed i et nabolag på 500 husstander, reduseres flomtoppene i den testede tidsserien med ca 10 %, noe som kan utgjøre en viktig forskjell i reduksjon av overløp til sårbare resipienter. Ved å variere antall regnbed og deres spesifikasjon (størrelse, dybde, form), kan LOD modulen i DDDUrban brukes for planlegging av LOD tiltak (se Eckardt et al., 2017), og mer spesifikt til å kvantifisere effekten



Figur 4. Prosentvis reduksjon av flomtopper som funksjon av antall regnbed. Fylte sirkler viser reduksjon for regnbed med 1 meters dybde og åpne sirkler for regnbed med 0.5 m dybde.

av trinn 2 i S3SA (infiltrasjon og fordrøyning). LOD tiltak kan være kostnadseffektive for å begrense effekten av økte flomtopper som følge av økt andel tette flater i byområder. Valget for å håndtere økt belastning fra urban avrenning kan stå mellom installasjon av regnbed eller øke dimensjon av avløpsledninger. Uoffisielle kostnadsanslag antyder 100 kNOK per regnbed og 40 kNOK pr meter for nye rørledninger (pers. komm. B. Braskerud ved Oslo VAV). Kostnaden for 66 regnbed balanserer kun kostnadene ved å installere 165 meter ned nye rørledninger. Effekten av under-dimensjonerte regnbed er imidlertid bekymringsfull. Hensikten til LOD tiltak er å fordrøye avløpet, og hvis et nytt, intenst nedbørstilfelle inntreffer før avrenningen fra første hendelse ikke har avtatt tilstrekkelig, vil flomtoppen

kunne øke i forhold til hvordan det hadde vært uten installerte regnbed.

## Konklusjoner

Effekten på avløp ved bruk av LOD tiltak (regnbed) har blitt testet på nedbørsfelt skala. Selv for et ganske beskjedent antall regnbed fikk vi en signifikant reduksjon av flomtopper. Hvis hver åttende bolig på Grefsen-Kjelsås installerer et regnbed kan flomtoppene reduseres med ca 10 % avhengig av at regnbedene ikke blir mettet ved tette sekvenser av intens nedbør. Med for liten kapasitet i regnbedene kan flomtopper faktisk øke da mettet overflateavrenning fra mettede regnbed kommer oppå en allerede fordrøyet avrenning.

## Takk

Denne studien er en leveranse til “Sustainable URban Flood management- modelling, mitigation and predicting urban and semi-urban flooding” (SURF) prosjektet, 281022, finansiert av Norges Forskningsråd, Finans Norge, Norsk Vann og Statens Vegvesen.

## Referanser

Becker, A, Muthanna, TM and Braskerud, BC. 2016. Step 1: Reduction of stormwater into the sewerage system by downspout disconnection. *Vann* 4/2016, 359-369.

Dalen, T., Paus, K.H., Braskerud, B.C., Thorolfsson, S.T., 2012. Målt og modellert ytelse til regnbed i Trondheim. *VANN* 03, 328–339.

Eckart, K., McPhee, Z., Bolisetti, T., 2017. Performance and implementation of low impact development-a review. *Sci. Total Environ* 607, 413–432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254>

Elliott A. H., S. A. Trowsdale, 2007. A review of models for low impact urban stormwater drainage, *Environmental Modelling & Software* 22, 394-405, doi: 10.1016/j.envsoft.2005.12.005

Lindholm, O., S. Endresen, S. Thorolfsson, S. Sægvog, G. Jakobsen and L. Aaby (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. *Norsk Vann rapport* 162/2008; 79 sider.

Paus, K. and B.C. Braskerud, 2013. Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold. *Vann*, 01,54-67, 2013

Paus, K., 2020. Kunnskapsbehov innen overvann og klimatilpassing. *Norsk Vann rapport* B/26, 2020.

Skaugen, T. D. Lawrence og R. Z. Ortega, 2020a. A parameter parsimonious approach for catchment scale urban hydrology – Which processes are important? *Journal of Hydrology X*, 8, <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100060>

Skaugen, T. D. Lawrence og R. Z. Ortega, 2020b. DDDUrban, ny urbanhydrologisk modell, - resultater fra SURF prosjektet. *VANN* (innsendt)

Solheim, E.B., 2017. Infiltrasjon for lokal overvannsdiskonering (LOD), Masteroppgave NMBU, <http://hdl.handle.net/11250/2443302>.

Viker-Walsøe, A. og J.S. Valle: Grønne tak med magasinerende sjikt – hydrologisk effekt og avrenningsmodellering med DDD modellen, Masteroppgave 2020, NMBU, 30 stp, Fakultet for realfag og teknologi. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2681575>