

# Målt og modellert hydrologisk ytelse til regnbed i Trondheim

*Av Torstein Dalen, Kim H. Paus, Bent C. Braskerud og Sveinn T. Thorolfsson*

*Torstein Dalen er masterstudent ved Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU. Kim H. Paus er doktorgradsstipendiat ved Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU. Bent C. Braskerud er forsker ved Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Sveinn T. Thorolfsson er førsteamanuensis ved Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU.*

## Summary

### **Measured and Modeled Hydrological Performance of a Raingarden in Trondheim**

Raingardens are shallow planted depressions and facilitate a local management of stormwater. The Risvollan raingarden was established in 2010 as a pilot raingarden and the water flow through the facility has been continuously monitored throughout the fall of 2011. The RECARGA model was together with the observed field data used to simulate the hydrological performance of the Risvollan raingarden. Additionally, the RECARGA model was used to simulate the hydrological performance of a raingarden during a heavy precipitation event and also the expected annual performance by using precipitation and melt water records from Trondheim. The simulation results indicate that raingardens can reduce the 15-year peakflow (25.8 mm in

3 hours) with up to 90% for large raingardens (i.e., 10% of catchment area) and up to 22% for smaller raingardens (i.e., 4% of catchment area). Furthermore, the results show that a standard raingarden should be capable of managing as much as 90% of the annual runoff in Trondheim.

## Sammendrag

Regnbed er en vegetert forsøkningsform i terrenget hvor overvann samles og infiltreres. Risvollan regnbed ble etablert høsten 2010 for forskningsformål. Det innebærer at regnbedet er kontinuerlig overvåket med vannføringsmåling inn og ut av anlegget. Vanngjennomstrømningen i regnbedet har blitt simulert ved hjelp av modellen RECARGA og resultatene har blitt sammenlignet med målinger fra høsten 2011. I tillegg har RECARGA blitt benyttet til å simulere styrtregnet

som falt i Trondheim 28.-29. juli 2007 samt smeltevannsmålinger fra årene 1998, 2000 og 2002. Resultatet viser at regnbed kan redusere flomtoppen fra 15-års nedbør (25,8 mm på 3 timer) med opp til 90 % for store regnbed (10 % av nedbørfeltet) og 22 % for mindre regnbed (4 % av nedbørfeltet). Simuleringer av smeltevannsmålinger viste at regnbed i Trondheim kan infiltrere opp til 90 % av årsnedbøren avhenging av infiltrasjonsevnen og regnbedets areal.

## Bakgrunn

Urbanisering og gjentetting av flater påvirker miljøet vårt i form av økt forurensning og økte overvannsmengder som må håndteres. Konvensjonell håndtering av overvann har vist seg verken å være særlig bærekraftig eller tilpasset norsk klima, og hvert år registreres det urbane flommer som medfører kjelleroversvømmelser, overløpsutslipp, og spredning av forurensning. I tillegg forventes det, som følge av klimaendringer, at intensiteten på nedbør og frekvensen av ekstremvær vil øke i Norge i fremtiden (Hansen-Bauer m.fl., 2009). Mer nedbør vil medføre økte overvannsmengder, høyere flomtopper og ytterligere spredning av forurensning, og derfor presse en infrastruktur som allerede i dag svikter.

For å møte dagens og fremtidens utfordringer har man i stadig større grad begynt å ta i bruk metoder for overvannshåndtering der vannet håndteres og behandles lokalt. Med en slik håndtering vil vannet forbli i området, og man ivaretar/gjenopptar i større grad det naturlige hydrologiske kretsløpet som

rådet før urbaniseringen. Regnbed (eng. *raingardens*) er en bestemt løsning innenfor denne nye filosofien som i løpet av de siste årene har blitt svært populær, spesielt i USA og Canada.

Risvolla regnbed er et pilot-regnbed som ble bygd sommeren 2010 på Risvollan, Trondheim, for forskningsformål. Denne artikkelen er basert på masteroppgaven «Hydrologisk dimensjonering av regnbed i Norge» (Dalen 2012) utført ved NTNU våren 2012. I denne artikkelen vil den hydrologiske ytelsen til Risvolla regnbed høsten 2011 rapporteres. Regnbedet er undersøkt ved hjelp av infiltrasjonstester i felt, infiltrasjonstester i laboratoriet, kontinuerlige målinger og simuleringer i programmet RECARGA. Dette vil danne grunnlaget for å estimere effekten regnbed har på avrenningen fra urbane nedbørfelt og er presentert i Dalen (2012). Her vil kun resultater fra simuleringer og kontinuerlige målinger presenteres.

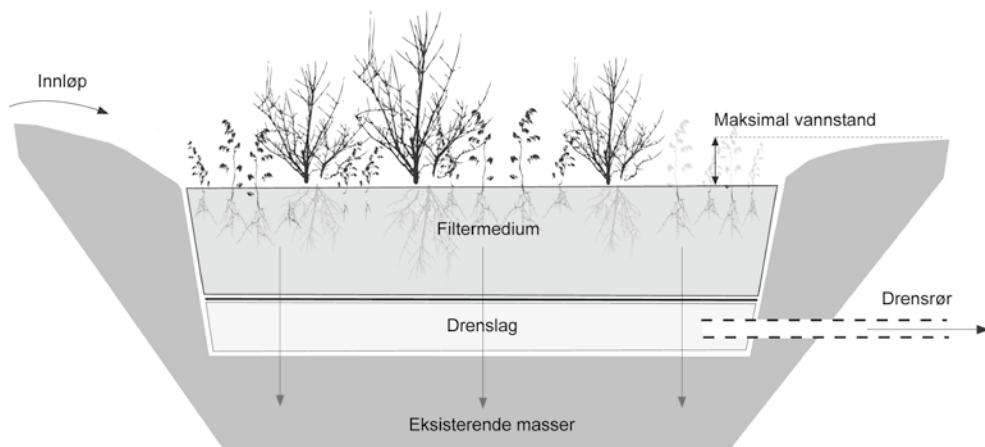
## Regnbed

Regnbed er typisk bygd opp som en forsenkning i terrenget, fylt igjen med et filtermedium bestående av sand, jord og løv-kompost, og beplantet med vegetasjon, figur 1. Overvann generert ved nedbør og/eller snøsmelting ledes åpent til regnbedet der det lagres på overflaten og sørger på den måten å fordøye avrenningen. Vannet infiltrerer så ned i filtermediet og videre ned i grunnen. Hvis de omkringliggende massene har lav infiltrasjonsevne kan dette løses ved å legge et drensør i regnbedet som vist på figur 1. Drensør vil kunne medføre at mer

vann infiltrerer i regnbedet, men også at en mindre del av vannet når grunnvannet. Vann fra drenerørret føres videre til nedstrøms overvannssystem. I tilfeller da vannhøyden på overflaten overskrider en bestemt høyde vil ytterligere overvann gå i overløp og videre ut til planlagte flomveier.

Plantene bidrar til et godt estetisk

inntrykk samt opprettholder permeabiliteten i jorden. Filtermediets hovedoppgave er å gi gode vekstvilkår for vegetasjon. I tillegg vil filtermediet fjerne partikler og mye av de løste forurensningene i overvannet. Fordrøyningskapasiteten på regnbedet kan økes ved å legge inn et sjikt bestående av pukkk med høy porøsitet under filtermediet.



Figur 1. Oppbygging av regnbed

## Metode

### Risvolla regnbed

Nedbørfeltet tilknyttet Risvolla regnbed er på 0,83 ha, der impermeable flater utgjør ca. 13 %. Det øvrige arealet er gress på leirjord. Regnbedet er konstruert ved å fjerne opprinnelig leirjord og fylle inn sandholdig matjord med kompost. Drenerør er lagt på bunn av regnbedet. Regnbedet har et areal på 40 m<sup>2</sup> (ved maksimal vannstand på 16,0 cm), noe som utgjør ca. 0,5 % av arealet på nedbørfeltet. Med en filterdybde på 0,75 m,

og en gjennomsnittlig total porøsitet på  $50,0 \pm 2,0$  % er regnbedets vannlagringskapasitet beregnet til å være 13,0 m<sup>3</sup>.

Risvolla regnbed er installert med tre V-overløp med tilhørende trykksensorer for å estimere vannføringen i innløpet, drenerørret og overløpet, figur 2. En vanntett PE-membran omslutter filtermediet slik at vann ikke infiltrerer til grunnen. På den måten har en god kontroll på vannbalansen for regnbedet. Data for korttidsnedbør er hentet fra



Figur 2. Nyanlagt regnbet på Risvollan; innløp til høyre (1), overløp midt på (2) og drensutløp til venstre (3). Foto Arvid Ekle

Risvollan urbanhydrologiske målestasjon (Thorolfsson et al. 2003).

For å vurdere den hydrologiske ytelsen til regnbetet ble vannføringsmålingene benyttet til å beregne reduksjon av maksimal ( $k_L$ ), ligning 1, forsinkelsestid ( $t_L$ ), ligning 2, og antall vannstandstimer ( $t_D$ ), ligning 3.

$$k_L = 1 - \frac{Q_{maks,ut}}{Q_{maks,inn}} \quad (1)$$

$$t_L = t_{maks,ut} - t_{maks,inn} \quad (2)$$

$$t_D = t_{H=0} - t_{H2=0} \quad (3)$$

der  $Q_{maks, ut}$  (l/s) er spissvannføringen ut av regnbetet (overløp pluss drensutløp ved samme tidspunkt),  $Q_{maks, inn}$  (l/s) er spissvannføringen inn i regnbetet,  $t_{maks,ut}$  er tid ved spissvannføringen ut av regnbetet,  $t_{maks,inn}$  er tid ved spiss-

vannføringen inn i regnbetet,  $t_{H=0}$  er tid når vann begynner å lagres på overflaten i regnbetet og  $t_{H2=0}$  er tid ved null synlig vann i regnbetet etter en nedbørshendelse. Det vil si at vannstandstimer ( $t_D$ ) er antall sammenhengende timer med vann på overflaten i regnbetet.

Spissvannføringsreduksjonen gir informasjon om reduksjonen av flomtoppen og kan benyttes til å bestemme den faktiske avlastningen av nedstrøms overvannssystem. Tilsvarende gir forsinkelsestiden informasjon om fordøynings-effekten i regnbetet.

### Simulering i RECARGA

RECARGA (Dussailant et al., 2005) ble benyttet for å simulere hydrologien i regnbetet. RECARGA er utviklet ved

University of Wisconsin-Madison og benytter Green-Ampt (Mein og Larson, 1973) til å beregne infiltrasjon i regnbed. Totalt tre infiltrasjonslag kan defineres i modellen (to i regnbedet og en omkringliggende masse). Van Genuchten's ligninger (van Genuchten, 1980) benyttes for å beregne perkolasjonen mellom lagene. RECARGA beregner i 1-D og antar en skarp vannfront ved infiltrasjon. I simuleringene ble de registrerte timeverdiene for vannføringen i innløpet benyttet som inndata i RECARGA. I tillegg er det benyttet data fra snøsmeltebrett ved Risvollan urbanhydrologiske feltstasjon for å estimere andelen av årsnedbøren som kan infiltrere i regnbedet. Dataene fra snøsmeltebrettet tilsvarer da avrenningen fra en impermeabel flate. Fordampning fra overflaten på regnbedet ble antatt ubetydelig og derfor neglisjert i simuleringene. Dette innebærer at vanninnholdet i regnbedet vil være noe høyere ved starten på en nedbørshendelse i simuleringen i forhold til virkeligheten, fordi vann som har fordampet mellom nedbørshendelsene ikke er tatt hensyn til.

Data fra Risvollan ble brukt til å kalibrere RECARGA ved å endre vannmettet hydraulisk konduktivitet ( $K_{sat}$ ) til optimal tilpasning til målte data. To metoder ble brukt: (1) Alle dataene ble sett under ett. Det innebærer en konstant  $K_{sat}$  fra juli til oktober 2011. (2) Dataene ble brukt måned for måned. Det innebærer at  $K_{sat}$  vil variere fra måned til måned, slik at en optimal tilpasning til dataene oppnås på månedsbasis.

RECARGA ble benyttet til å simulere

et 15-års regn, samt tre sammenhengende år med nedbør og smeldata. Et standard regnbed (slik som på Risvollan) med 75 cm filterdybde, 20 cm maksimal vannstand på overflaten, drenerør med diameter 110 mm og vannmettet hydraulisk konduktivitet på 2,5 cm/t i omkringliggende masser har blitt brukt i simuleringen.

Som resultater av simuleringene gir RECARGA vannbalansen for hvert tidssteg som videre benyttes til å konstruere utløpshydrografer for drenerutløpet, overløpet og infiltrasjon til omkringliggende masser. Dette danner så grunnlaget for å beregne vannbalansen for hele simuleringsperioden, samt reduksjon i maksimal vannføring og forsinkelsestider. Som et mål på hvor godt den simulerte utløpshydrografen stemmer med den målte utløpshydrografen ble Nash-Sutcliffe koeffisienten (Nash og Sutcliffe, 1970) benyttet, likning 4.

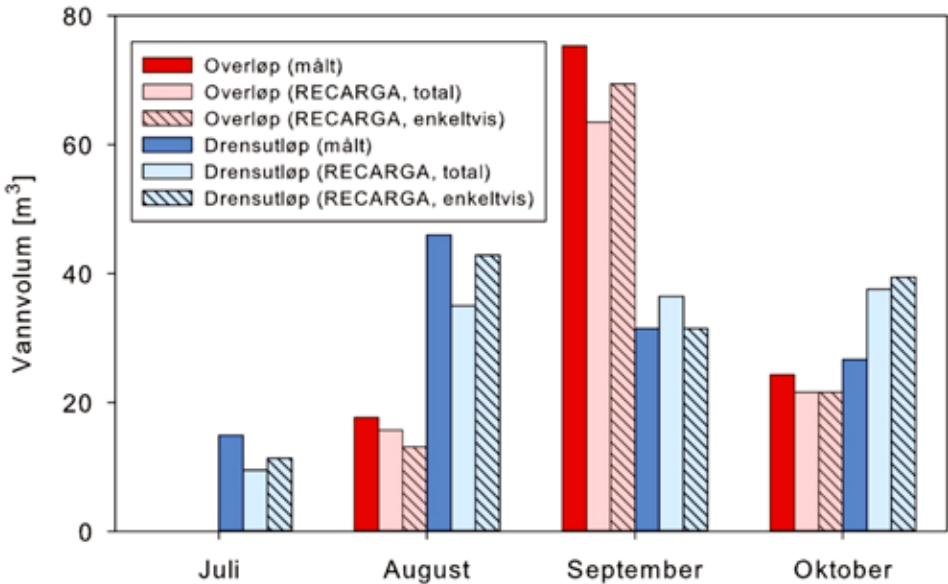
$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Q_{m\ddot{a}lt} - Q_{simulert})^2}{(Q_{m\ddot{a}lt} - \bar{Q}_{m\ddot{a}lt})^2} \quad (4)$$

Hvor  $Q$  (l/min) er vannføring og  $\bar{Q}$  (l/min) er gjennomsnittlig målt vannføring.  $R^2$  er Nash-Sutcliffe-koeffisienten som varierer fra minus uendelig til 1, hvor 1 tilsvarer en perfekt tilpasning.

## Resultater og diskusjon

### Høsten 2011

Gjennom høsten 2011 ble det registrert 17 nedbørshendelser ved Risvollan. Av disse hadde 12 hendelser en spissvannføringsreduksjon på over 70 %. Forsinkelsestiden varierte fra 2 til 400 minut-



Figur 3. Sammenligning av målte vannmengder mot simulerte vannmengder i RECARGA

ter. Gjennomsnittlig forsinkelsestid var 97 minutter.

### Vannmengder

Vannmengder transportert gjennom regnbedet er vist i figur 3; målt og simulert. Kalibrering av alle månedene sett under ett ga en hydraulisk konduktivitet på 1,4 cm/t. Ved å betrakte hver måned separat ble det for juli, august, september og oktober beregnet hydrauliske konduktiviteter på henholdsvis 2,2, 2,0, 0,8 og 1,4 cm/t. I juli er det kun målt avrenning gjennom drensrørene. I september var avrenningen gjennom overløpet det dobbelte av dreneringen. Som vist i figur 3 medførte månedlig kalibrering noe bedre tilpassing enn bruk av gjennomsnittlig hydraulisk konduktivitet for juli-oktober. Tabell 1 oppsummerer Nash-Sutcliffe-

koeffisienten for de simulerte utløpshydrogrammene. Hendelsene med vannstand er definerte som tiden fra første registrerte vannstand i regnbedet til siste registrerte vannstand i regnbedet. Tilsvarende er overløpshendelsene definert som tiden fra første registrerte vannmengde i overløp til siste registrerte vannmengde i overløp. Hendelsene til drensutløpet gjelder hele måneder, da det til nesten enhver tid er registrert vannføring i drensutløpet.

Bortsett fra første hendelsen i oktober, estimerer RECARGA vannstanden i regnbedet godt. Første hendelsen i oktober gav en liten vannstand i regnbed, og dermed medførte RECARGAs 1-D simulering av regnbedets geometri stort utslag. Både første overløpshendelse i august og september hadde lave vann-

Enkelthendelser	Vannstand i regnbedet	Overløp	Drensløp
Juli	0,85	ikke overløp	0,70
August	0,80	ikke overløp	0,41
August	0,90	-0,81	
August	0,95	0,41	
September	0,80	-2,82	0,62
September	0,75	0,95	
September	0,79	0,84	
Oktober	-1,03	ikke overløp	-3,50
Oktober	0,64	0,19	
Oktober	0,67	-0,81	
Oktober	0,48	-3,38	

Tabell 1. Nash-Sutcliffe-koeffisienter for enkelthendelser. Koeffisienter på 1.0 betyr perfekt tilpassing

føringer (maksimal vannføring 0,3 l/s i overløp), noe som gjør at forenklingene i RECARGA gjør utslag i dårlig korrelasjon. Både overløp og drensløp ble dårlig estimert i oktober. Dette skyldes at målte verdier i overløp og drensløp er langt høyere enn estimert ved hjelp av RECARGA. Vannbalansen for målte verdier i oktober har et avvik på 15 %. Dermed er det antakeligvis målefeil i et eller flere V-overløp som medfører lave Nash-Sutcliffe-koeffisienter i oktober.

### Simulering med minuttverdier

For å undersøke i hvilken grad RECARGA klarer å estimere utløpshydrografen for nedbørshendelser på minuttbasis, er enkelthendelser simulert med minuttverdier. Korte tidssteg er nødvendig for å få et godt estimat på spissvannføringen. Med tidssteg på en time ville spissvannføringen blitt vesentlig lavere.

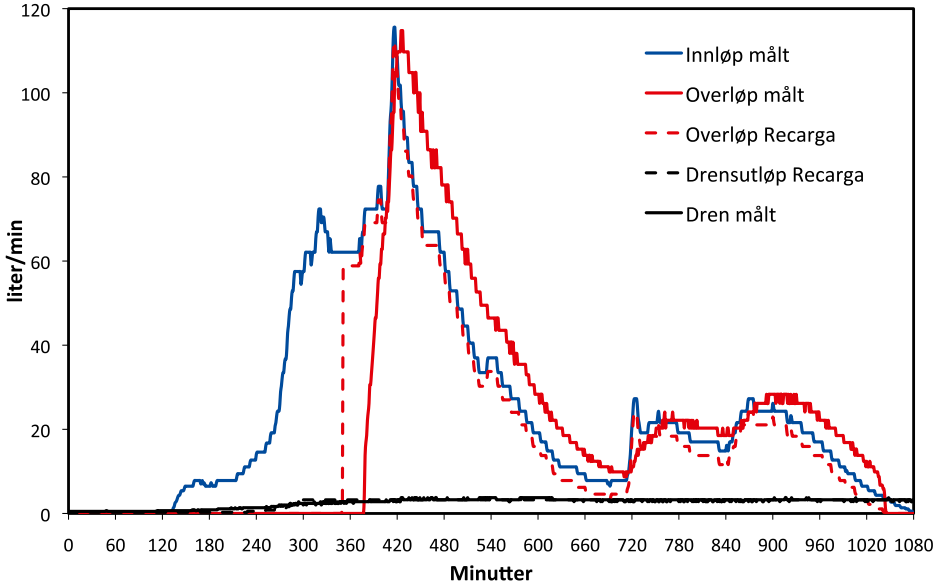
Figur 4 viser hendelsen 13.-14. sep-

tember 2011 på minuttbasis. Nash-Sutcliffe-koeffisientene for overløp er 0,71 og for drensløpet 0,85, noe som tilsvarer en god tilpassning.

Årsaken til at overløpet starter tidligere i RECARGA enn ved målte data er i hovedsak to: (1) Vanninnholdet ved start kan være lavere enn initialbetingelsen i RECARGA, og (2) RECARGA tar ikke hensyn til skrå kanter i regnbedet. Det vil si at RECARGA estimerer med ca 1,5 m<sup>3</sup> mindre lagringsvolum på overflaten enn hva det i virkeligheten er, noe som vil føre til at RECARGA estimerer en for tidlig start på vannføringen i overløp.

RECARGA bruker massebalanse for vannmengder på overflaten i regnbedet for å beregne vannmengdene i overløp. Dermed vil ikke RECARGA beregne en vannstand høyere enn maksimal vannstand i regnbedet. Det medfører at RECARGA ikke kan beregne større vannmengder i overløp enn i innløp for

## Modellert og målt vannføring 13.-14. september



Figur 4. 13.-14. september 2011 målt og simulert

det aktuelle tidsskrittet, slik det kan være i virkeligheten. Regnbedet på Risvollan har trangere utløp (120 grader) enn innløp (160 grader). Vannstanden vil derfor øke med økende avrenning.

Tilsvarende simuleringer med minuttsteg for nedbørshendelser 27. mars til 2. april 2012 har gitt Nash-Sutcliffe-koeffisienter fra 0,64 til 0,98 for drensutløp, overløp og vannstand. Simuleringer med minuttsteg ser derfor ut til å gi et relativt godt estimat på utløpshydrogrammene.

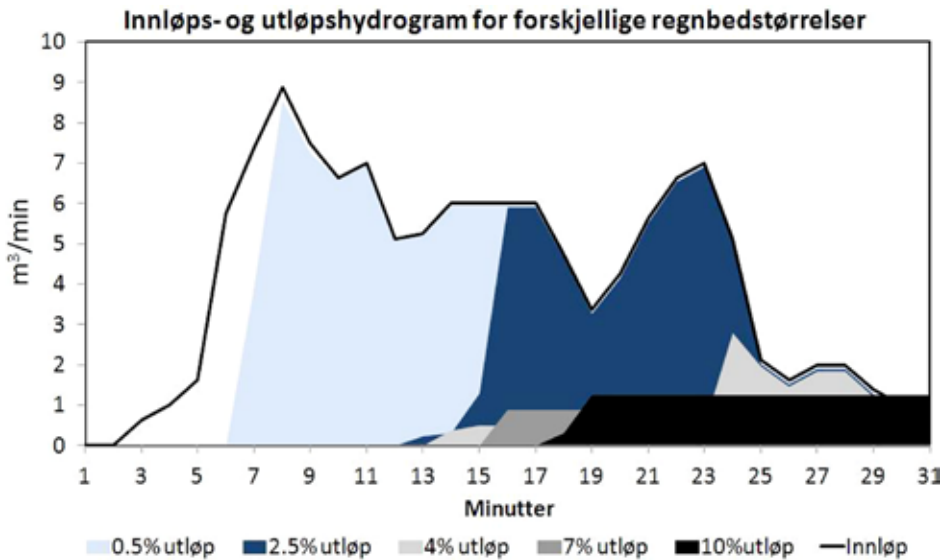
### Simulering av styrtregn

For å undersøke i hvilken grad regnbed kan senke spissvannføringen fra større nedbørshendelser, og hvor stort et regnbed må være avhengig av ønsket spiss-

vannføringsreduksjon, er et styrtregn fra Risvollan Urbanhydrologiske målestasjon simulert.

Figur 5 viser resultatet fra RECARGA for de 30 mest intense minuttene av en nedbørshendelse 28.-29. juli 2007. Hendelsen tilsvarer et tre timer langt 15-årsregn (25,8 mm), hvor de 20 mest intense minuttene tilsvarer ca. et 9-årsregn (11,7 mm). Nedbørshendelsen har blitt simulert med nedbøren som falt fra 28. juni 2007 kl 00:00, for å få en initialbetingelse (vanninnhold i regnbedet) som tilsvarer det regnbedet i virkeligheten ville hatt da 15-årsregnet kom. Hydraulisk konduktivitet for denne simuleringen er satt til 10,0 cm/t og maksimal vannstand er satt til 20,0 cm. Til sammenligning målte Asleson (2009) geo-





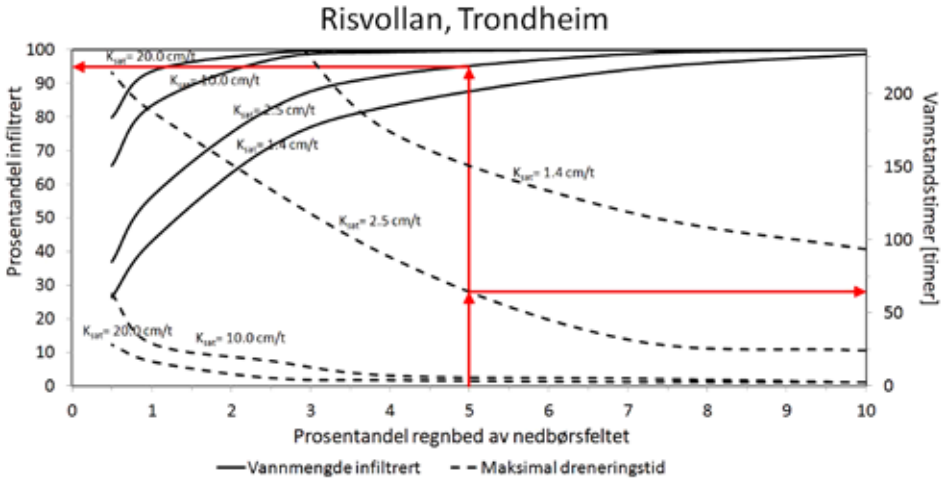
Figur 5. Vannføring til regnbed under ekstremhendelse i Trondheim 28.-29. juli 2007. Avrenning gjennom dren og overløp avhenger av regnbedets andel av nedbørfeltet.

metrisk gjennomsnittlig vannmettet hydraulisk konduktivitet i 8 regnbed til 12 cm/t. Simuleringen er gjort for regnbed med overflateareal tilsvarende 0,5, 2,5, 4,0, 7,0 og 10 % av nedbørfeltet. Nedbørsfeltet er satt til 1,0 ha med 100 % impermeable flater.

Spissvannføringen reduseres med økende regnbedareal. Reduksjonen var 4%, 22 %, 90 % og 86 % for regnbedareal fra 0,5 % til 10 % av nedbørfeltets areal, figur 5. Fordi vann ikke går i overløp for regnbedareal fra 7 – 10 % av nedbørfeltet, er spissvannføringsreduksjonen for disse arealene kun avhengig av areal og infiltrasjonsevnen. Siden infiltrasjonsevnen er holdt konstant vil det minste regnbedet gi minst vannføring i drengledningen, og dermed gir 7 % regnbedareal større spissvannføringsreduksjon

enn 10% regnbedareal. For regnbedarealene hvor vann går i overløp (< 4 %), er spissvannføringsreduksjonen i tillegg avhengig av formen på nedbøren.

Forsinkelsestiden (beregnet etter ligning 2) fra 0,5 % til 10 % overflateareal er 0, 15, 16, 97 og 38 minutter. Forsinkelsestiden på 15 minutter for regnbed på 2,5 % av nedbørfeltet skyldes flomtopp nr 2. inn i regnbedet (ved 23 min, figur 5). Lang forsinkelsestid for regnbedareal fra 7 til 10 %, skyldes at regnbedene raskt oppnår maksimal infiltrasjonsrate som deretter er konstant over en lengre periode. Tiden for maksimal vannføring ut er da satt til midten av perioden med konstant vannføring ut. Denne perioden er lengst for regnbedarealet på 7 % fordi vannmengden videreført i drengutløpet er mindre enn for regnbedarealet på 10%.



Figur 6. Data fra smeltebrettet på Risvolla viser at store deler av årsnedbøren kan infiltreres.

### Simulering av årsnedbør

Figur 6 viser hvilken andel av årsnedbøren som kan forventes å infiltrere i regnbed avhengig av areal og infiltrasjonsevne og maksimalt antall timer med vannstand man kan forvente i regnbedet. Inndata til RECARGA er målinger fra snøsmeltebrettet på Risvolla urbanhydrologiske målestasjon årene 1998, 2000 og 2002. Ved å bruke målingene fra snøsmeltebrettet vil man da simulere avrenningen gjennom året fra en impermeabel flate.

Av figur 6 kan man for eksempel lese av (rød strek) at for et regnbed som er 5 % av nedbørfeltet og har en vannmettet hydraulisk konduktivitet på 2,5 cm/t, vil kunne infiltrere ca. 95 % av årsnedbøren og på det meste ha ca. 65 sammenhengende timer med vannstand i regnbedet.

Hvor stor andel av årsnedbøren som infiltrerer er viktig av to årsaker. (1) An-

delen som infiltrer i løpet av året vil si hvor mye vann som kan gå til grunnvann. (2) Andelen som infiltrerer er bestemmende for hvor mye overvann som blir renset i regnbedet.

Dreneringstiden er viktig å ha kjennskap til på grunnlag av tre forhold: (1) Mange planter tåler bare å stå en viss periode i vann, (2) regnbedet må være drenerert for vann innen en viss tid for å være klart til neste nedbørshendelse, (3) lange perioder med stående vann kan gi myggproblemer (TPGC 2007). Amerikanske dimensjoneringsmanualer for regnbed fra henholdsvis Maryland og Minnesota anbefaler 2-3 dager som maksimal dreneringstid (TPGC 2007, TMSM 2008).

Figur 6 kan for eksempel brukes til å estimere effekten av Risvolla regnbed på årlig avrenning: Nedbørfeltet til Risvolla regnbed har 13 % tette flater og resten gress. Antar man en avrennings-

koeffisient på 0,2 for gresset, kan man grovt estimere en avrenning fra Risvollan (13%+0,2\*87%) tilsvarende avrenningen fra 30% impermeable flater. Risvollan regnbed har da et areal på ca 1% av dette. Av figur 6 kan vi se at 1% regnbedareal og hydraulisk konduktivitet på 1,4cm/t gir en årlig infiltrert vannmengde på ca 43%. Til sammenligning infiltrerte Risvollan regnbed 52 % av vannmengdene i innløpet høsten 2011.

## Konklusjoner

Risvollan regnbed har, til tross for lav infiltrasjonsevne (0,8-2,2cm/t), hatt en god reduserende effekt på avrenningen fra området. Ca. 52 % av vannmengdene inn i regnbedet har blitt infiltrert. Spissvannføringsreduksjonen har for 12 nedbørshendelser høsten 2011 vært på over 70 %, forsinkelsestiden har variert fra 2 til 400 minutter.

RECARGA har vist seg godt egnet til å estimere årlige vannmengder infiltrert. Data fra snøsmeltevannsbrett kan brukes til å estimere dette. Selv små regnbed kan infiltrere store deler av årsnedbøren. Man må imidlertid være oppmerksom på at små regnbed vil få lengre tid med vannstand i regnbed, noe som kan drukne plantene med mindre man velger arter som tåler et vannrikt miljø.

Videre kan RECARGA estimere utløpshydrografene for drensutløp og overløp på en god måte, slik at spissvannføringsreduksjon og forsinkelsestid kan bestemmes. Det har blitt vist at regnbed kan redusere flomtoppen fra et tre timers langt 15 års regn med opp til 90 % avhengig av regnbedets areal.

## Takk

Risvollan regnbed er støttet økonomisk og praktisk av Interreg 4b-prosjektet SAWA ([www.sawa-project.eu](http://www.sawa-project.eu)), Framtidens byer ([www.framtidensbyer.no](http://www.framtidensbyer.no)), Trondheim kommune ([www.trondheim.kommune.no](http://www.trondheim.kommune.no)), NVE ([www.nve.no](http://www.nve.no)) og NTNU ([www.ntnu.no](http://www.ntnu.no)).

## Referanser

Asleson, B. C., R. S. Nestingen, J. S. Gulliver, R. M. Hozalski, and J. L. Nieber: 2009, 'Performance Assessment of Rain Gardens'. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 45(4), 1019-1031.

Dalen, T.:2012. masteroppgave: Hydrologisk dimensjonering av regnbed i Norge, Institutt for Vann- og Miljøteknikk, Norges Teknisk-naturvitenskapelige Universitet.

Dussaillant, A. R., A. Cuevas, og K. W. Potter: 2005, 'Raingardens for stormwater infiltration and focused groundwater recharge: simulations for different world climates'. Water Supply 5(3-4), 173-179.

Hanssen-Bauer, I., H. Drange, E.J. Førland, L.A. Roald, K.Y. Børsheim, H. Hisdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandven, A. Sorteberg, S. Sundby, K. Vasskog og B. Ådlandsvik, 2009. *Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing*, Norsk Klimasenter, september 2009, Oslo.

Mein, R. G. og C. L. Larson: 1973, Modeling infiltration during a steady rain. Water Resources Research 9(2), 384-394.

Nash, J. and J. Sutcliffe: 1970, 'River flow forecasting through conceptual models part I A discussion of principles'. *Journal of Hydrology* 10(3), 282 – 290.

Thorolfsson, S. T., B. V. Matheussen, H. Frisvold, O. Nilsen, V. Kristiansen and A. Pedersen-Øverleir. 2003. Urban Hydrological Data Collection in Cold Climate. Experiences at Risvollan, Trondheim, Norway. 1<sup>st</sup> International conference on Urban Drainage and Highway Runoff in cold climate, Riksgränsen, Sweden.

TMSM : 2008, 'The Minnesota Stormwater Manual'. Minnesota Pollution Control Agency, Minnesota Stormwater Steering Committee.

TPGC : 2007, 'Bioretention Manual'. Environmental Services Division, Department of Environmental Resources, The Prince George's County, Maryland.

Van Genuchten M. T.:1980 'A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Usaturated Soils.' *Soil Science Society of America Journal*. 44(5), 892-898.