

Hydrologisk testing av regnbed for bruk som LOD-tiltak i småhusbebyggelse

Av *Bent C. Braskerud, Kjetil Strand Kihlgren, Vegard Saksæther og Jarle T. Bjerkholt*

Bent C. Braskerud er ansatt i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), *Kjetil Strand Kihlgren* og *Vegard Saksæther* var masterstudenter i teknologi ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, Universitetet for miljø- og biovitenskap, UMB, men er nå ansatt i hhv. Multiconsult og Sweco, *Jarle T. Bjerkholt* er ansatt ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, Universitetet for miljø- og biovitenskap, UMB.

Summary

Testing the hydrological capacity of three raingardens in areas with individual housing.

The stormwater volumes associated with intensive precipitation frequently overload the conventional sewer systems resulting in combined sewer overflows and urban floods. Raingardens are one possible measure for stormwater retention. A raingarden is a depression in the ground, covered with vegetation, and receives stormwater from rooftops and other impervious surfaces. The receiving water is withheld on the surface before it infiltrates into the ground. In this study the ability to reduce flooding in three small raingardens in Oslo and Melhus municipalities, were examined by feeding artificial rain, with intensities up to 50 year return periods into the measures. The results show that that raingardens

are able to reduce the runoff discharge peaks by over 70 %. The infiltration capacity is essential for flood reduction and will also contribute to reduced ice cover on the raingarden surface during winter. Model simulations of intensive precipitation in a larger catchment showed reduced flooding of basements if raingardens were implemented.

Sammendrag

Styrtregn over byer og tettsteder kan skape oversvømmelse fordi avløpssystemet overbelastes. Lokale overvannshåndterings tiltak som reduserer tilførselen av overvann til avløpsnett, er i liten grad utprøvd i Norge. Regnbed er en lav, vegetasjonsdekket forsenking som mottar overvann fra tak og andre tette flater, og er mye benyttet i USA. Vann som mottas holdes på overflaten før det infiltreres i

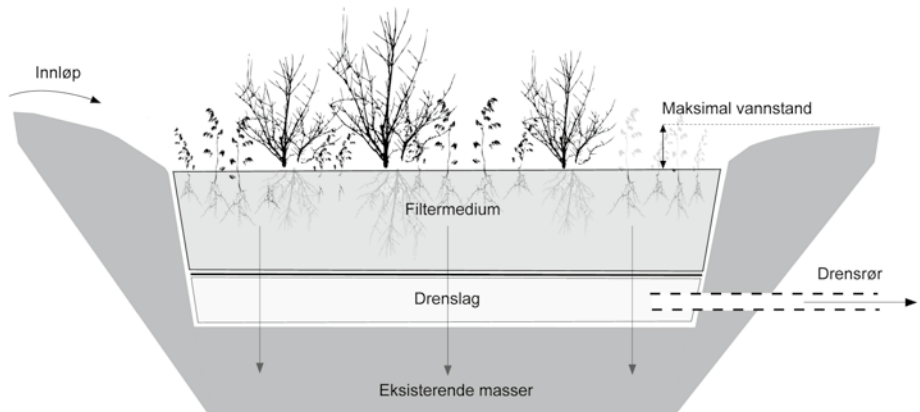
grunnen. I denne undersøkelsen er den flomdempende evnen til tre mindre regnbed i Oslo og Melhus undersøkt ved å tilføre kunstig regn med intensiteter på opp mot 50 års gjentakintervall for Oslo. Resultatene viser at regnbed kan dempe flomvannføringen med over 70 %. God infiltrasjonsevne er avgjørende for god flomdemping, og vil også bidra til redusert tilfrysing av regnbedet om vinteren. Skulle en fullstendig tilfrysing av regnbedet oppstå, vil regnbedet ha en viss flomdempende virkning. Simulering av avrenningssituasjonen i et større nedbørfelt *før* og *etter* installasjon av regnbed viste at det var mulig å unngå kjelleroversvømmelser.

Innledning

Klimaendringene vi har observert de siste ti-årene og de endringene vi forventer i tiden framover vil påvirke infrastrukturen i byene generelt og avløpssystemene spesielt da disse systemene er direkte knyttet til nedbøren. Klimamodellene

viser at klimaendringene som ligger foran oss sannsynligvis er sterkere enn de som ligger bak oss (Drange m.fl., 2007). Sårbarheten tiltar etter hvert som befolkningen vokser og urbaniseringen (fortettingen) øker. Risikoen for problemer i avløpssystemet som følge av disse endringene blir dermed større (Bjerkholt og Lindholm, 2010).

For å redusere problemene den økte nedbøren og nedbørsintensiteten fører med seg, kan tilførselen av overvann til avløpssystemet reduseres. Det finnes en rekke tekniske løsninger som kan fordrøye nedbøren lokalt, som for eksempel grønne tak, dammer og kunstig etablerte magasiner under jorden. Et nytt tiltak for å redusere mengden av overvann som tilføres nettet er regnbed. Regnbed (eng: raingardens eller bioretention) er en forsenkning i terrenget med porøs jord, beplantet med tørke- og fuktighetstolerant vegetasjon tilpasset mottak av vann fra tak, gårdsplasser og trafikkerte arealer (Bitter og Bowers, 1994). I regnbedet



Figur 1. Regnbed med drenering i tette masser. I sandig jord kan drenering utelates (skisse laget av E. Stenberg og K. Paus).

vil overvann fordrøyes, infiltreres og renses lokalt (Lindholm m.fl., 2008 og Muthanna, 2007). Prinsippskisse av et regnbed vises i figur 1.

Filtermassene i regnbedet har tilstrekkelig permeable til å unngå permanent vannspeil på overflaten. Regnbed er et LOD-tiltak (lokal overvannsdiskontering) for håndtering av små til middels store nedbørintensiteter. Ved store vannmengder vil overvannet ledes kontrollert videre. Regnbed kan installeres i områder med dårlig kapasitet for håndtering av overvann for å redusere tilførsel av vann til overvannsnett. Det kan være spesielt aktuelt i områder med fellesledninger. I USA er bruk av regnbed svært populært og installasjon av regnbed i småhusbebyggelse med overvannsutfordringer er ansett som en aktuell løsning (Green, m.fl., 2012). I de seinere år har anvendelsen økt i Europa også. Populariteten skyldes dels at regnbed har en beplantning som kan være et dekorativt innslag i en hage, i et parkmiljø, eller ved P-plasser og veg. I Norge har vi i dag lite erfaring med bruk av regnbed. Arbeidet som er presentert i denne artikkelen er basert på en masteroppgave av Saksæther og Kihlgren (2012). I prosjektet er det testet tre små regnbed for enkelthus. Målene har vært å få bedre kunnskap om:

1. Regnbed vil håndtere store avrenninger fra hustak.
2. Regnbed kan utgjøre en forskjell for tilførselen av vann til avløpssystemet.

Material og metode

I dette kapittelet er det gitt en kort beskrivelse av materiale og metode som er brukt i undersøkelsene. En mer detaljert beskrivelse av regnbedene og metodikken som er anvendt, er gitt i Saksæther og Kihlgren (2012).

Beskrivelse av regnbedene

Tre regnbed ble undersøkt, Langmyrgrenda 34b (L34b) og Nils Bays vei 21 (NB21) i Oslo kommune, og Hammonds veg 8 (H8) i Melhus kommune. L34b ble etablert i 2006, de øvrige i 2009.

Filtermassen i L34b er stedeagne morenemasser av siltig sand, figur 4 og tabell 2. Regnbedet er selvdrenerende, så kunstig drenering er ikke nødvendig. Filteret har ikke tydelig avgrenset vannlagringskapasitet. Det betyr at vannet infiltrer grunnens rundt regnbedet også. Vårt anslag er basert på at filteret skal tilsvare regnbedoverflata i 0,55 m dybde. Nedbørfeltet består av asfalt, grus og gress.

Ettersom NB21 ligger i et område med marin leire, er stedeagne masser fjernet og et sandig filtermateriale tilført,

Regnbed ID	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

Tabell 1. Karakteristika for de 3 regnbedene i undersøkelsen.

figur 2. En 100 mm drensledning er montert i bunnen av regnbedet for å opprette tilstrekkelig drenering. Siste meteren er drensrørets dimensjon redusert betydelig for å redusere avrenningen til kommunalt nett. Regnbedet består av to skråstilte lag. Det øverste laget består av sand blandet med Oslokompost® (sand og kompostert hageavfall) og ca 5 % stede- den leirjord fra matjordlaget. Det underliggende laget består av sand, tabell 2. Filtermediet i NB21 er ca 0,8 m dypt.

H8 ligger også i leirområde, og utskifting av masse og kunstig drenering var nødvendig, figur 3. Regnbedet består av et topplag av sandig ”matjord” og et underliggende lag av stede- gne masser av

siltig leittleire, over et sand/gruslag med drensrør installert, tabell 2. Filtermediet i H8 er ca 0,8 m dypt.

Tilføring av vann/regn

Det ble tilført vannmengder tilsvarende nedbørhendelser med 50 års gjentak- intervall på Blindern i Oslo for normal- perioden 1961-90, og med en varighet på 10 og 30 minutter (henholdsvis 16,5 og 30,6 mm). Fyllingsprosedyren er vist i figur 2. For å kunne sammenligne regn- bedene, ble den tilførte vannmengden beregnet med forutsetning om at samtlige regnbed utgjorde 7 % av nedbørfeltets størrelse, og at nedbørfeltet var en 100 % tett flate (hustak). Dette arealet samsvarer



Figur 2. Feltforsøk i regnbed NB21, kunstig nedbør tilføres kontrollert fra container. Foto: B.C. Braskerud.

med anbefalinger i *Bioretenion manual* fra Prince George's County hvor regnbedenes har sitt opphav (Prince George's County, 2007). I praksis viste det seg vanskelig å tilføre "nedbøren" som 50-årsregn.

Bøtte-tid-metoden ble benyttet for å måle vannføring inn i regnbedene og ut av drensledningene. Metoden går ut på å ta fyllingstiden på en kalibrert 10 liters bøtte. Det ble vanligvis tatt 2-4 bøttemålinger hvert andre minutt i innløpet, noe sjeldnere i utløpet, fordi avrenningen der var mer stabil og avrenningsintensiteten lavere. L34b har V-overløp inn og ut av regnbedet, hvor vannføring registreres hvert minutt (4-tech trykkmålere). NB21 og H8 har trykksensorer

som målte vannstand i regnbedet (Level Troll 100 fra In-Situ Inc.). Overløpet i NB21 er et V-overløp i skifer, mens H8 har et 10 cm vertikalt overløpsrør.

Manuelle jordfuktighetsmålinger ble foretatt i 0-6 cm dybde i forkant av nedbørtilførselene med Moisture Meter HH2 (fra Delta-T Devices Ltd).

Infiltrasjonsmålinger

Infiltrasjonsmålinger ble utført ved hjelp av et infiltrometer, figur 3, med konstant trykknivå for å finne mettet hydraulisk konduktivitet i jorden (K_{sat}) (Jenssen 1990). Metoden benyttes vanligvis for grunnundersøkelser ved infiltrasjonsanlegg for avløpsrensing. Målingene ble gjort i juni for L34b og NB21 og 1. sept.



Figur 3. Infiltrasjonsmåling med infiltrometer i regnbed H8. Foto: B.C. Braskerud.

for H8. For å få et bilde av den totale infiltrasjonen i regnbedene, ble vannspeilets synkehastighet målt under testing av kunstig nedbør. Målingene ble utført på flere tidspunkt ved hjelp av tommestokk.

Forsinkelsestid og flomtoppreduksjon benyttes for å beskrive og sammenlikne den hydrauliske ytelsen til regnbedene. Forsinkelsestid er definert som tiden det tar fra vann registreres i innløpet, til avrenning i drensløp eller overløp trer i kraft, mens flomtoppreduksjon beskrives etter (Roseen m fl., 2009) som det prosentvise avviket mellom inngående og utgående flomtopp. Definisjon på parametrene er vist i figur 5.

Modellering av regnbed i nedbørfelt

For å få et inntrykk av virkningen av storskalaimplementering av mange små regnbed i et større nedbørfelt, ble det gjort en modellkjøring av et slikt felt. Modellering ble utført med modelleringsprogrammet Mike Urban (DHI 2011), og en del av Veumdalen i Fredrikstad kommune ble valgt som modellfelt. Området ble delt inn i åtte nedbørfelt der regnbed ble implementert for om lag 50 % av hustakene. Ved å frakoble et bestemt antall hustak fra nettet og lede denne vannmengde ut i regnbed, kunne den hydrauliske effekten analyseres ved delfeltets utløp. Da det er vanskelig å oppnå en detaljert infiltrasjonsbeskrivelse i Mike



Figur 4. Regnbed L34b. Foto: B.C. Braskerud

Urban ble regnbedene modellert som separate kummer tilknyttet eksisterende ledningsnett. Magasineringsvolumet på overflaten av regnbedene som ble modellert samsvarte med diameter og overløpshøyde til bunn kum. Infiltrasjon ble simulert til permeable flater *utenfor* modellen ved hjelp av et utløp som leverer en konstant vannføring tilsvarende regnbedets infiltrasjon under mettede forhold. Vannmengde som overskred regnbedenes tilbakeholding ble ledet over overløpsterskelen og ut på ledningsnettet. Konsentrasjonstiden til samtlige nedbørfelt ble satt til ett minutt.

For det opprinnelige og det modifiserte delfeltet, ble det kjørt separate kasseregnsimuleringer av nedbørepisoder med 20 og 50 års gjentakintervall og med 15 minutters varighet (henholdsvis 18,1 og 21,3 mm) fra målestasjonen på

Blindern. "Filtermediet" i regnbedene (kummene) hadde vannmettet initialtilstand under alle simuleringene, ("regn etter regn" scenario).

Resultater og kommentarer

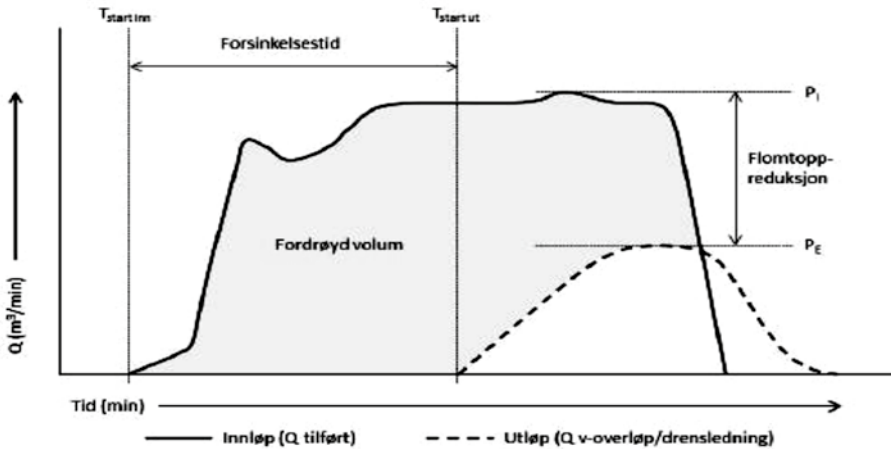
Infiltrasjonstesting

Regnbedenes infiltrasjonsevne varierte betydelig, tabell 2. Regnbedet i L34B hadde høyere infiltrasjonskapasitet enn stedegne masser, naboens plen. Det kan skyldes at store steiner var lagt som en "steinkiste" i regnbedet, og at regnbedets overflate er mindre eksponert for tråkk: Infiltrasjonsmålinger på gårdsplassen viste kun 2 og 8 cm/time. Kraftig vegetasjon med god rotutvikling kan også ha økt infiltrasjonskapasiteten.

Topplaget med kompost i NB21 hadde lavere infiltrasjonshastighet enn sandlaget under. Infiltrasjonsevnen er avgjø-

Sted	Kornfordeling sand/silt/leir (%)	Infiltrrometer test		Infiltrasjon hele arealet (cm/time)
		Antall måleserier	k_{sat} (cm/time)	
L34B				
Regnbed	69/23/8	5	193 ±6	104
Gressplen, nabo		8	71 ±13	
NB21				
Topplag m/kompost	77/17/6	3	47 ±3	17
Sandlag	89/9/2	5	61 ±0	
H8				
Topplag	87/12/1	2	5 ±0	8
Stedegne masser	22/62/16			

Tabell 2. Kornfordeling i regnbedene, mettet hydraulisk konduktivitet (k_{sat}) ±st.avvik, vannspeilets synkehastighet i regnbedene under tilføring av kunstig nedbør i august og september.



Figur 5. Grafisk beskrivelse av hvordan forsinkelsestid og flomtoppreduksjon beskrives i artikkelen (figuren viser for øvrig 2. kjøring i L34b, tabell 3).

rende for et regnbeds håndtering av overvann. Plantene skal imidlertid også ha gode vekstforhold. Da er organisk materiale nødvendig.

Bruk av leirholdig, stedeagne masser i H8 har redusert infiltrasjonsevnen betydelig.

Infiltrometer metoden gav ofte høyere infiltrasjonshastighet sammenlignet med full oversvømmelse av hele arealet, tabell 2. Det skyldes trolig to forhold; 1) Infiltrometermålingene gjøres i et punkt og resultatene er dermed avhengig av hvor representativt dette punktet er for hele regnbudet. 2) Infiltrometeret krever en testgrop som fylles med vann. Det blir ikke tatt hensyn til mulig tilslamming av regnbedoverflata. Målingene kan dermed virke mindre representative. Slike målinger er likevel bedre enn kun å satse på kornfordelingsprøver, men som for all måling må representativitet og usikkerhet vurderes.

I manualen for anlegging av regnbed i the Prince George's County, kreves det at alt fritt vann skal drenenes i løpet av 24 timer og at K_{sat} ikke underskrides 2,54 cm/time (Prince George's County, 2007). Disse betingelsene er oppfylt i alle regnbed, men infiltrasjonshastigheten i H8 er lav.

Kunstig nedbør

Da tilførsel av kunstig nedbør ble gjort hadde vi ikke nøyaktig kunnskap om regnbedenes areal. Dette resulterte i at nedbørintensiteten i NB21 er lavere enn i L34b og H8. Tabell 3 viser resultater fra samtlige simuleringer med kunstig nedbør i felt. Flomtoppreduksjon og forsinkelsestid for forsøkene er grafisk fremstilt i figur 5.

Tilbakeholdingen av vann var om lag 10 mm for regnbedene på leirjord (NB21 og H8). For L34b var tilbakeholdelsen større, siden vannet kunne utnytte et

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

Tabell 3. Endring av avrenningen for samtlige simuleringer med kunstig nedbør. Regnbedene utgjør 7 % av nedbørfeltets størrelse. Gjentakintervallet er basert på nedbørdataba fra Blindern.

større markvannsmagasin. I L34b ble hele "nedbørepisoden" på 27,3 mm/30 min tatt hånd om. Jordfuktigheten i overflata var ca 37 % før tilførselen av vann.

Før neste test, 1 time senere, var vannstanden i filteret tilbake til 0, figur 7. Jordfuktigheten i L34bs overflate hadde økt til ca 40 %. Mer intens "nedbør" gav overløp fra regnbedet etter ca 5 minutter, figur 5. Ved bruk av kasseregn kan begrepet *flomtoppreduksjon* virke underlig. Slik vi definerer denne vil en reduksjon på 53 % være en undervurdering av regnbedets flomdempende virkning, siden 77 % av volumet ble holdt tilbake.

NB21 hadde ca 33 % jordfuktighet før tilførsel av 20,4 mm/30 min. Det ble ikke registrert overløp fra dette regnbedet under tilførselen, men drenerør begynte å avgi vannføring etter 12 minutter.

Maksimal avrenning gjennom dreneringen var 0,4 l/s.

Dagen etter ble forsøket gjentatt med høyere intensitet, for å se om overflatevolumet i NB21 ble overbelastet, og om vannet gikk i overløp, figur 6. Jordfuktigheten før oppstart var ca 35 %. Planen var 16,5 mm i 10 min, men vi fortsatte tilførselen da overtopping ikke skjedde. Først etter 18 minutter var overflatevolumet i regnbedet fylt. Drenerør hadde imidlertid begynt å avgi vannføring etter 11 minutter. Under vann tilførselen var maksimal avrenning fra drenering og overløp henholdsvis 0,5 og 0,1 l/s.

Det ble kun kjørt én nedbørepisode i H8. Regnbedet ble overfylt etter 16 minutter, men vi fortsatte vann tilførselen som planlagt i 30 minutter. H8 mottok 16,5 mm før overløp. Det tilsvarer 10-15 årsregn på Blindern, og ville

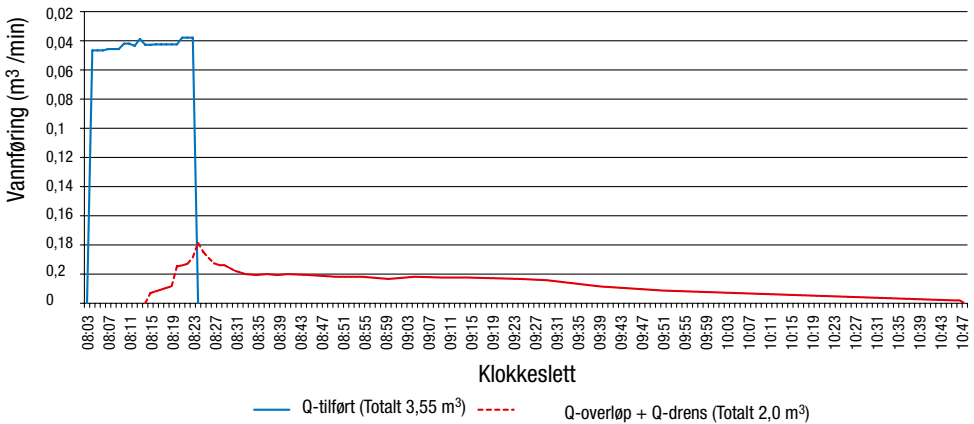
gitt 98 % tilbakeholdelse av nedbøren, siden regnbedet tapte vann gjennom dreneringen etter 5 minutter. Flomtoppreduksjonen ville vært 94 %. Maksimal avrenning fra drenering under forsøket var ca 0,1 l/s.

Forsøkene viser at regnbed kan ha meget god virkningsgrad på intensive sommerregn med gjentakintervall på 10-50 år. Hvis forholdet mellom nedbørfeltets areal og regnbedets areal er gitt, avhenger kapasiteten av hvordan regnbedene er bygd opp. Den hydrauliske ledningsevnen, som for enkelthets skyld betegnes infiltrasjonskapasiteten, er meget sentral i denne sammenheng. Dette anskueliggjøres i regnbed L34b, som kun har 6,5 cm vanddyp før overløp. Det frie vannvolumet er meget lite sammenlignet med de andre regnbedene, tabell 1.

Ved samme gjentakintervall, håndterer regnbedene nedbør som faller over tid bedre enn korte nedbørskyll. Dvs. ved et 25-årsregn vil tilbakeholdingen være større ved 30 minutters regnet enn ved 10 minutters regnet, se L34b i tabell 3. Effekten av overflatevolumet vil være mest gjeldende for intensive regn. Ved lengre regn med lavere intensitet vil effekten av infiltrasjon få større betydning. Det skyldes at infiltrasjonen får pågå over lengre tid og at regnbedets totale volum utnyttes bedre.

Regnbedenes overflateareal har betydning: Ved å øke størrelsen på et regnbed fra 4 % til 10 % av nedbørfeltet, fant Dalen m.fl. (2012) ved RECARGA-modellering, at flomtoppreduksjonen ble redusert fra 22 % til 90 % for et 15-årsregn (25,8 mm/3 timer) i Trondheim (ca 5-årsregn på Blindern). Saksæther og

Flomtoppreduksjon 01.09.11 - 24,1 mm på 20 minutter



Figur 6. Vannføring inn og ut av regnbedet NB21 viser 77 % reduksjon av flomtoppen (se tabell 3).

Kihlgren (2012) reduserte på tilsvarende måte størrelsen av regnbedene i tabell 3 til det halve (3,3 %) og reduserte derved flomtoppreduksjonen og tilbakeholdt vannvolum tilsvarende.

Regnbedenes funksjon i den kalde årstiden ble prøvd ut i desember og februar i NB21 (tabell 3). Scenarioet var styrtregn i en periode etter frost, med snødekke som tiner:

- 17. des. var det lite snø, men lufttemperaturen var stigende etter flere dagers kulde, og det var ca 1° C da ”nedbøren” ble tilført. Regnbedet var frosset til 3-4 cm dybde, men uten synlig is (porøs frost). Vann på ca 7 °C ble tilført regnbedet til det ble overfylt. Det tok 26 min. Maksimal avrenning i drenerørret var 0,6 l/s.
- 21. feb. var regnbedet dekket av ca 18 cm snø. Det var et islag under snødekket på ca 5 cm. Temperaturen var stigende og var ca 8 °C da vann på ca 2 °C ble tilført. Snøen var relativt tørr. Det tok 10 minutter å fylle regnbedet. På grunn av ca 5 cm islag på overflaten (betongfrost) var det ingen infiltrasjon i regnbedet. Flere etterfølgende døgn med kulde resulterte i 19 cm is i regnbedet.

Davidson m fl. (2008) fant at regnbed som fungerte bra i den varme årstiden også fungerte bra i den kalde. En viktig forutsetning er god infiltrasjonsevne og lite vann i regnbedet ved ”innfrysing” om vinteren. Dette stemmer bra overens med forsøket 17. des. Også Muthanna m.fl. (2008) har vist at godt drenerte regnbed fungerer vinterstid.

Våre forsøk viser at regnbed kan ha en viss flomdempende virkning selv med betongfrost. Ved isdekke er det kun overflatevolumet som vil utgjøre flomdempingen. Islag i regnbedet kan gi plantene ugunstige levekår om våren. I NB21 var det nødvendig med noe etterplanting etter forsøkene med ”vinternedbør”. Dette var ikke nødvendig i årene før. Det er grunn til å tro at plantedøden skyldes situasjonen med vinterregn.

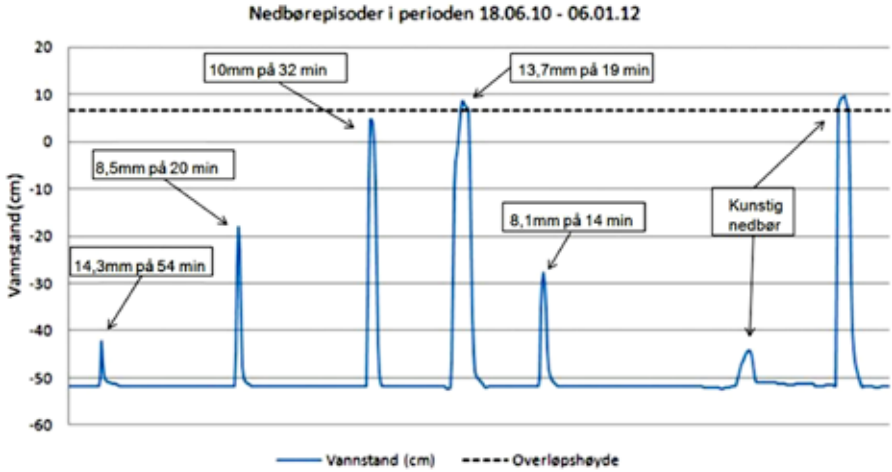
Regnbedenes beregnede overflate- og filtervolum i tabell 1, var ca 20-50 % lavere enn det som faktisk ble holdt tilbake i tabell 3. Konstruksjon basert på tabellverdier kan gi lavere virkningsgrad enn det som faktisk blir bygget.

Naturlige nedbørepisoder

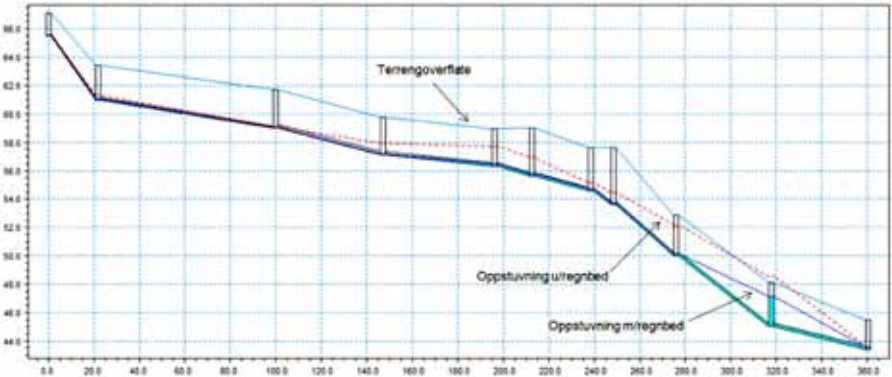
Ved hjelp av måleinstrumenter i regnbed L34b, ble den hydrauliske ytelsen til regnbedet kartlagt over en periode på 18 måneder. Tatt i betraktning at regnbedet kun utgjør 2 % av nedbørfeltet, tabell 1, viser resultatene i figur 7 at overløpet trådte i kraft kun én gang i løpet av observasjonsperioden. Overløpsepisoden tilsvarte en nedbørhendelse med gjentakintervall 2-5 år på Blindern. Akkumulert vannføring ut av regnbedet var 7,3 liter, med en tilhørende flomtoppreduksjon på 86 %. Regnbedet er lite, og de gode resultatene må dermed forklares ved at L34b har høy infiltrasjonskapasitet.

Storskalaimplementering

Skal regnbed få betydning for den totale avrenningen i et område, må det etableres i et stort antall. Vi har sett på virkingen av å anlegge 22 regnbed ved ca 50 % av boli-



Figur 7. Utvalgte registreringer av markvannstand i L34b. Stiplet linje markerer overløp fra regnbedet. I løpet av 18 måneder hadde regnbedet overløp en gang som følge av naturlig nedbør til tross for lite volum (- 52 cm er dybden til trykksensor og antyder at vannstand er tilbake til før tilførsel)



Figur 8. Simulering av vannstand i avløpskummer i et boligområde i Veum dalen etter et 20-årsregn uten og med regnbed ved ca halvparten av husene. Høy vannstand i kummene angir kjelleroversvømmelse.

gene i et småhusområde i Fredrikstad. Figur 8 viser avrenning fra et 20-årsregn (18,7 mm/15 min) før og etter etablering av regnbed.

Resultatene fra simulering av storskala-implemterering i Mike Urban viser at

regnbedene bidrar til å redusere vannføringen og oppstuvningen i hele lengdeprofilen. Det ser tilsynelatende ut til at anleggning av regnbed først og fremst ga reduksjon av akkumulert volum ut av delfeltet.

Vannføringsforløpet viser lav flomtoppreduksjon og ingen forsinkelse. Til tross for at omtrent halvparten av hus-takene er frakoblet ledningsnett, gir resterende impermeable vei- og takflater et betydelig bidrag. I tillegg gir mettet initialtilstand i regnbedene tidligere bidrag fra overløpene. Likevel reduserer regnbedene stigningstallet på vannføringskurven, og forsinker dermed flomtoppen ut av feltet.

Regnbedene reduserte vannstanden i avløpskummene ved 50-årsregnet (21,9 mm/15 min) også, men dempet flomtoppen marginalt. Dette skyldes at regnbedene i modellkjøringen har identisk størrelse i forhold til nedbørfeltets størrelse. Nedbørhendelser som overskrider regnbedenes overflatemagasineringsvolum forårsaker at samtlige overløp trer i kraft samtidig. Etter dette punktet, er det kun infiltrasjonskapasiteten som demper overløpsvannføringen.

Resultatene fra simuleringene i Mike Urban viser at regnbedene oppfyller første og annet ledd av treleddsstrategien for overvannshåndtering (Lindholm m.fl. 2008). 20-årsregnet fanges opp og infiltreres på stedet, mens 50-årsregnet infiltreres og fordroyes frem til overløpet trer i kraft.

For å redusere oppstuvningen, slik at ingen tilbakeslag eller kjelleroversvømmelser skal inntreffe, må det gjøres ytterligere tiltak i feltet. Regnbedstørrelsen eller antall regnbed kan for eksempel økes. Det er også mulig å installere andre tiltak. Regnbed er en av flere mulige løsninger, ikke løsningen.

Konklusjoner

Våre undersøkelser av regnbed i småhusbebyggelse indikerer følgende:

- Regnbed kan dempe virkningen av styrtregn med gjentaksintervall 10 – 50 år i betydelig grad.
- Ved samme størrelse på regnbedet er infiltrasjonskapasiteten i tilført filter og stedegen jord avgjørende for virkningsgraden.
- Ved samme gjentaksintervall på nedbøren, er virkningsgraden best ved langvarige regn.
- Regnbed kan virke godt under vinterforhold hvis filtermediet er lett drenert slik at isdekke og betongfrost unngås.
- Ved betongfrost vil kun overflatevolumet virke flomdempende.
- Regnbed kan installeres i nedbørfelt med overvannsutfordringer, og kan som ett av flere mulige tiltak redusere kjelleroversvømmelser.

Takk

Arbeidet som er presentert i denne artikkelen er en del av prosjektet ExFlood, finansiert av Norges Forskningsråd. Regnbedene er anlagt med støtte fra EU interreg 4b prosjektet SAWA (www.sawa-project.eu), Oslo VAV (NB21) og NVE (instru-mentering). Takk til våre gode feltverter: Familiene Braskerud (L34b) og Fremstad (NB21) og Rolf A. Grande (H8), hjelpere for dosering av vann i felt: Jo Egil Klever (ISS-Landscaping) og Arild Karlsen (Gauldal brann og redning), Ole Einar Garder (Sweco) for hjelp i Mike Urban modelleringen og Kim Paus (NTNU) for gode kommentarer til manuskriptet.

Referanser

- Bitter, S. D. and Bowers, J. K. (1994). *Bioretention as a Water Quality Best Management Practice*. Article 110 technical note #29 Watershed Protection Techniques, 1 (3): 26-28.
- Bjerkholt, J.T. og O.G. Lindholm (2010). *Hva blir konsekvensene av klimaendringene for dagens avløpssystem?* VANN 2 (45): 265-277.
- Dalen, T., K.H. Paus, B.C. Braskerud og S.T. Thorolfsson (2012). *Målt og modellert hydrologisk ytelse til regnbed i Trondheim*. Vann 3 (47): 328-339
- Davidson, J. D., LeFevre, N.-J. & Oberts, G. (2008). *Hydrologic bioretention performance and design criteria for cold climates*. Water Environment Research Foundation. 202 s.
- DHI (2011). *Mike Urban Collection System*: DHI.
- Drange, H., Marzeion, B., Nesje, A. og Sorteberg, A. (2007). *Opptil én meter havstigning langs Norskekysten innen år 2100*. Cicerone Mars 2007. Oslo.
- Green O.O., W.D. Shuster, L.K. Rhea, A.S. Garmestani and H.W. Thurston (2012). *Identification and Induction of Human, Social, and Cultural Capitals through an Experimental Approach to Stormwater Management*. Sustainability (4); 1669-1682
- Jenssen, P.D. (1990). *Methods for measuring saturated hydraulic conductivity of tills*. Nordic Hydrology, 21, 95-106.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann rapport. 162/2008, 79 s.
- Muthanna, T.M. (2007). *Bioretention as a sustainable stormwater management option in cold climates*. PhD-thesies, NTNU.
- Muthanna, T. M., M. Viklander og S.T. Thorolfsson (2008). *Seasonal climatic effects on the hydrology of a rain garden*. Hydrological Processes, 22 (11): 1640-1649.
- Prince George's County (2007). *Bioretention Manual*. Environmental Service Division, Department of Environmental Resources, The Prince George's County, Maryland, USA.
- Roseen, R. M., Ballesterio, T. P., Houle, J. J., Avellaneda, P., Briggs, J., Fowler, G. & Wildey, R. (2009). *Seasonal Performance Variations for Storm-Water Management Systems in Cold Climate Conditions*. Journal of Environmental Engineering-Asce, 135 (3): 128-137.
- Saksæther, V. & Kihlgren, K. S. (2012). *Regnbed som tiltak for overvannshåndtering i småhusbebyggelse*. Masteroppgave. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi, Ås.