

SKYFALL OCH AVRINNING FRÅN GRÖNA TAK MED SEDUMVEGETATION

Heavy rainfall and runoff from green roofs vegetated with sedum

av BENT C. BRASKERUD

Oslo Kommune, Vann- og avløpsetaten, Postboks 4704 Sofienberg, N-0506 Oslo, Norge
e-post: bent.braskerud@vav.oslo.kommune.no



Abstract

Precipitation and runoff are increasing due to changes in climate and urbanization. As a result, more stormwater is produced and needs to be handled locally. Internationally, roofs with vegetation are regarded as a suitable measure for sustainable urban drainage system (SUDS), but have not been much studied in Norway. For five years, two extensive green roofs with substrate depth 3 cm have been compared with a roof without vegetation in a rather harsh environment in Oslo. Annual retention for the green roof was 25%. The retention of intensive rainfalls could be 50% and even higher for extreme events. Green roofs without drainage systems performed best. A 1 cm cloth under the substrate increased the performance and made the vegetation flourish. Green roofs utilize areas that are in little use, and are a good supplement to SUDS on costly ground areas.

Key words – Cold climate, design suggestions, draught, extensive green roof runoff, intensity-duration-frequency (IDF), extreme precipitation, soil moisture, stormwater retention, runoff delay

Sammanfattning

Det förväntas att ökade dagvattenmängder måste hanteras pga. ökad förtätning och förändrat klimat. Tak med vegetation kan hålla tillbaka och fördröja nederbörd och dessutom bidra med en »grönare» utveckling i städerna. Detta är dock lite studerat i Norge. Nederbörd och avrinning från två extensiva, gröna tak med ett växtmedium på 3 cm jämfördes med ett tak utan vegetation under en 5-årsperiod i Oslo. Resultatet visar att 25% av årsnederbörden avdunstar från det gröna taket. Det var inte ovanligt att avrinningstoppen på de 30 mest intensiva skyfallshändelserna kunde dämpas med 50%, också när taken initialt var våta av nederbörd. Effekten var oftast störst vid de mest intensiva händelserna som uppkommer mer sällan än vart 20 år. Användning av filt under växtmediet ökade fördröjningen och gav bäst vegetationsutveckling. Anläggning av gröna tak kräver inte förlust av värdefull mark för bebyggelse, och kommer att kunna reducera behovet för andra dagvattenlösningar.

Innledning

Overvann (dagvatten) kan lett bli sett på som en negativ utfordring, men vann er i seg selv en ressurs som kan utnyttes på en positiv måte. Når byene fortettes, og nedbørmengdene øker pga. varmere klima, må vannet fram som vann i dagen. Avløpsnettets kapasitet er mange steder overbelastet og kostnadene ved å oppgradere står ofte ikke i forhold til den alternative bruken av vannet; utvikling av *den blågrønne byen (staden)*, der uterom preges av vegetasjon og vann, samtidig som

store vannmengder kan håndteres. I tillegg vil fjerning av overvann fra ledningsnettet bedre rensingen av avløpsvann og redusere kostander til driften av renseanleggene.

En konstruktiv måte å håndtere store vannmengder etter styrtregn på er *tre-trinnstrategien* (Lindholm m. flere, 2013):

1. Fange opp og infiltrere mindre nedbørmengder.
2. Forsinke og fordroye større nedbørmengder
3. Sikre trygge vannveier ved ekstrem nedbør.

Hvilke nedbørmengder og intensiteter det enkelte ledd i strategien skal håndtere må vurderes lokalt.

Bruk av grønne, vegetasjonsdekkede tak er et aktuelt tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD). Tak kan utgjøre store flater i byer, og vil i utgangspunktet ikke kreve tap av verdifull byggegrunn. Hvis ønske om en viss poengsum etter blågrønn arealfaktor (BGF; Stange m. fl., 2014) eller grønytefaktor skal nås, gir vegetasjon på taket poeng. Det skyldes at grønne tak har mange gode egenskaper som (Bengtsson m. flere, 2005; Berndtsson, 2010; Nordeng m. flere, 2012; Snodgrass og McIntyre, 2010; VanWoert m. flere, 2005; Braskerud 2014); tilbakeholding av nedbør, gjør bymiljøet «grønnere», forlenger takets levetid, virker kjølede på bygg med lite isolasjon og på «bylandskapet», fanger svevestøv og kan øke det biologiske mangfoldet f.eks. ved tilrettelegging for «rødlistearter». Av ulemper kan nevnes; økt anleggskostnad ved nybygg (hvis kostnader til overvannshåndtering unntas), krever noe vedlikehold og plantearter på «svartelista» kan spre seg til norsk natur.

Det finnes i prinsippet tre typer grønne tak:

- 1) *Ekstensiv*, lette tak med tynt vekstmedium, der tørketolerante arter dominerer.
- 2) *Semi-intensiv*, der vekstmediet er tykkere og muligheten for større artsmangfold er mulig (torvtak hører til denne gruppen).
- 3) *Intensiv*, der ferdsel og opphold er mulig på samme måte som i hageanlegg.

Denne artikkelen omhandler den første gruppa. *Ekstensiv tak* er ofte dominert av sedumarter, som tåler tørke og næringsfattig vekstmedium. Takene er lette (vannmettet 40–100 kg/m²), vekstmediet eller substratet er tynt (3–10 cm), og vedlikeholdsbehovet (underhollsbehovet) lite (1–2 ettersyn årlig). Ingen av disse grensene er imidlertid absolutte.

Tilbakeholding av nedbør er en viktig egenskap ved grønne tak:

En toårig studie i syd-Tyskland, med naturlig nedbør på 16 ekstensive og semi-intensive forsøktak viste at årlig tilbakeholding var 69%, når nedbøren var ca. 690 mm (Uhl og Schiedt, 2008; Uhl m.fl., 2003). Substratdybden var 5–15 cm, og effekten varierte med årstiden; 76% i sommerhalvåret, 61% i den kjølige delen og 49% i den kalde.

I Malmö målte Bengtsson m. flere (2005) nedbør og avrenning kontinuerlig på ei 5 m² ekstensiv takflate med helling 2,6%. Det var 3 cm vekstmedie over 1 cm drensag av knust stein. Forsøket pågikk over 1,5 år. Årlig nedbør var 705 mm, og tilbakeholdingen 46%. Mentens m. flere (2006) sammenstilte resultat fra 121 ekstensive, grønne tak i Tyskland, og fant at medianverdien for årlig tilbakeholding på var 45%, med minste og høyeste tilbakeholdingen på 27% og 81%. Vekstmediet

var i gjennomsnitt 10 cm tykt. Grønne tak kan imidlertid overmettes, slik at tilbakeholdingen opphører. I Sheffield (UK) målte Stovin (2010) i en forsøksrute på 3 m² med 8 cm substrat over drenering. Det ble målt 0–5% tilbakeholding på vannmettet tak for regn dagen etter kraftig regn.

Hvordan vil ekstensive tak håndtere naturlig nedbør i Norge? Målet med denne artikkelen er å teste denne teknologien for klima øst i Norge ved å måle nedbør og avrenning fra to tak med vegetasjon og sammenligne med ett uten. Evaluering av funksjonen og mulig forbedring av oppbygningen vil også foreslås.

Metodikk

Forsøktakene

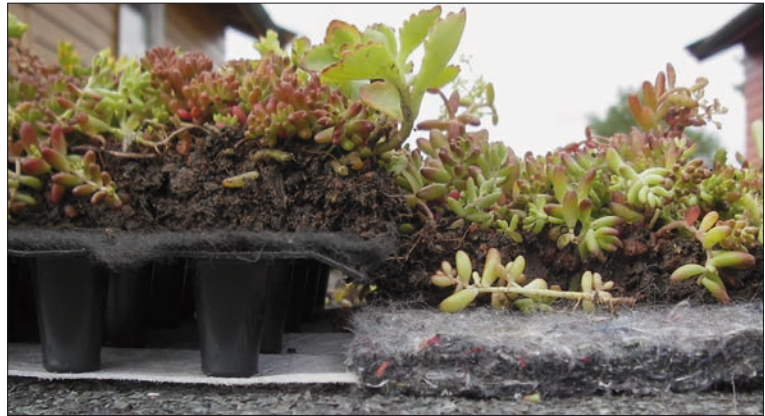
Forsøksfeltet ble anlagt i juni 2009 på et 24 m² stort garasjetak i Langmyrgrenda 34b i Oslo, og blir forkortet til *L34b*. Garasjen er frittstående, ligger ca. 220 m.o.h. og står nord for en bolig på to etasjer. Av den grunn kaster huset skygge over garasjetaket deler av dagen. Taket er et pulttak med fall på 3,1 grader (5,5%) mot nord (Fig. 1). Beliggenheten gjør forsøktaket til et klimatisk «worst case» tilfelle sammenlignet med andre studier av grønne tak i Sverige og Tyskland. Fungerer teknologien her vil den trolig fungere svært mange steder med østnorsk klima.

Taket ble delt i 3 like store ruter; grønt tak 1 (GT1), vanlig tak (referanse) og grønt tak 2 (GT2), hver på 2 m x 4 m, dvs. 8 m². Hver rute ble adskilt med en T-format aluminiumsprofil som ble limt fast til takbelegget.

Det ble valgt mose-sedum vegetasjon i forsøket. Det betyr at vegetasjonen kom på matter med størrelse 0,8 m x 1,0 m. Mattene består av fiberduk med lave plastspiraler slik at 25–30 mm vekstmedium og sedum-



Figur 1. Forsøksfeltet *L34b* er en garasje der vann ledes fra 3 takflater til isolerte vandunker.



Figur 2. Oppbygging av grønt tak med drenering (GT1a) og kun filtmatte (GT2).

planter holdes fast. Analyser av vekstmediet viste at dette var «sandjord» (1 % leir, 6 % silt og 93 % sand). I praksis er jorda laget av lavastein, nedknust stein og kalk og litt kompost (glødetapet var på 7–9%). Sedumarter dekket 80–90 % av mattene. Mose eller ingen vegetasjon dekket det resterende. Vegetasjonen ble gjødslet om våren med «langsomtvirkende» fullgjødsel. Oppbygningen av take-ner er vist i fig 2.

I utgangspunktet er begge sedummattene like. Feltpasiteten (vanninnholdet vekstmediet kan holde før det drypper) ble målt til ca. 14 mm (Braskerud, 2014). GT1 har en 2,5 cm høy dremsplate med hulrom som i teorien kan holde 3,2 l/m² (=3,2 mm). Vann kan også renne gjennom hull i dremsplata og ned på taket. Sedummattene ligger rett på dremsplata. Oppbyggingen blir anbefalt for tak med helling 0–4 grader. Denne versjonen blir kalt *GT1a*. Den 8. august 2011 ble taket bygd om ved å legge 1 cm VT-filt mellom dremsplate og jord. Ombyggingen skyltes negativ vegetasjonsutvikling sammenlignet med nabotaket. Nytt navn ble *GT1b* (fig 7).

På GT2 er sedummattene lagt rett på 1 cm VT-filt som har tetthet på 1280 g/m² og kan ifølge leverandøren holde ca. 8 mm vann. Vi målte den til å holde 8,9 mm ($\pm 0,5$ mm st. avvik). Anbefalt takvinkel 2–27 grader. Grønt tak 2 har vært uendret gjennom undersøkelsen.

Referansen har ett-lags asfaltbelegg (Icopal Mono®) med skifersort farge, som ble lagt 2008. To avstivere ble satt opp mellom aluminiumprofilene for å hindre at arealet mellom rutene endret seg (fig. 7). Vann passerer lett under.

Prøvetakingsutstyr

Fra takene renner vannet via plasttakrenner til hvert sitt isolerte oljefat (220 liter dunk). En selvregulerende varmekabel holder takrenne (stuprånna), nedløp og vandunk frostfritt året rundt. En trykksensor måler *vannstand* (vst) og pumper ut vannet når nivået passerer 80

cm. Det tar ca. 2 min å tømme dunken. I tømmetidsrommet registreres ikke vannføringen og hullet må beregnes. Det skjer ved at referansetaket sammenlignes med Lambrecht (1518 H3) *nedbørmåleren* ca. 5 m vest for garasjen, og at de grønne takene sammenlignes med hverandre, referansetaket og avrenning før og etter. Takene kan motta 17 mm nedbør før tømming av dunkene starter. Vannstandsendingen i dunken lagres i loggeren for hvert 5 min. Nedbørmåleren registrerer hvert minutt, men her presenteres nedbøren med samme, faste tidsrom som for avrenning fra takene. Det betyr at nedbøren ofte gir en lavere nedbørintensitet enn om 5 min intervaller var glidende.

To *jordfuktighetsmålere* (Vegetronix VH400) ble montert 25. aug. 2010 på GT1 og GT2. Sensorene ble stukket horisontalt inn i sedummattene i 45 graders vinkel mot takets fallretning. Plasseringen var ca. 0,9 m fra takrennene og midt på taket.

I tillegg måles *lufttemperatur* og temperatur under garasjetaket på de tre forsøksrutene. Alle observasjoner samles i en Sutron 9210-B logger som sender informasjonen til Norges vassdrags- og energidirektorat (www.NVE.no). Detaljer i forsøksoppsett, kalibrering og prøvetakingsutstyr finnes i Braskerud (2014).

Resultater

Årlig avrenning

Nedbør og avrenning fra juni 2009 til og med mai 2014 er presentert i tabell 1. I femårsperioden har den årlige nedbøren vært på nesten 1 m; ca. 200 mm over normalen for Oslo ved Meteorologisk institutts hovedkvarter, 2,6 km unna. 40 % av nedbøren faller om sommeren (juni–august). Tilbakeholdingen varierer over året: Ved stabile vintre med snønedbør, er forskjellen mellom vegeterte tak og vanlige tak ofte små. Ved smelting og regn

Tabell 1. Nedbør over 5-årsperioden fordelt på årstid (vinter er des.–feb., sommer er juni–aug.). Tilbakeholdt nedbør på taktypene i % av nedbør som falt på taket.

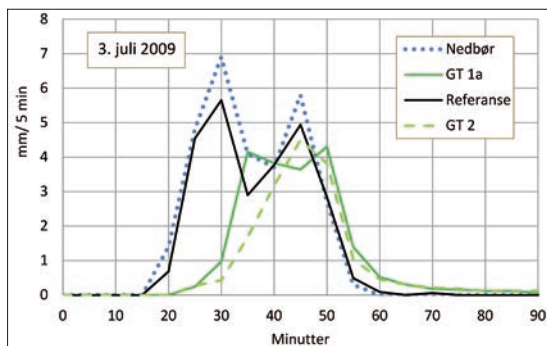
Årstid	Nedbør (mm)	Sum tilbakeholdt (%)		
		GT1	Ref.	GT2
Vinter	156	36	18	34
Vår	161	-4	-41	4
Sommer	391	36	8	37
Høst	264	16	1	17
	972	24	-1	26

om vinteren og våren kan avrenningen fra takene overgå nedbøren i samme periode. De grønne takene holder betydelig mer vann tilbake sammenlignet med vanlige tak. Det meste av det intense regnet faller om sommeren når vegetasjonen er i funksjon og kan fjerne vannet via transpirasjon. Vekstmediet kan binde vann, eller lede det langsomt mot avløp. I våte og kalde høster er tilbakeholdningen på det laveste (detaljer om nedbør og avrenning gjennom året er gitt i Braskerud, 2014).

Intenst regn

Nedbør og avrenning ble registrert kontinuerlig, med minimale observasjonstap. De 60 største nedbørhendelsene for varighetene 5, 10, 20, 30 og 60 minutter ble plukket ut. Av disse var 45 om sommeren, etterfulgt av vår og høst. Om vinteren var det kun en hendelse som ble rangert som nummer 50 (16. feb. 2014 gav 6,5 mm på 60 min).

Store og intense nedbørmengder kan tilbakeholdes på vegeterte tak. Vanligvis vil tørre tak ha størst evne til fordrøyning, men selv våte tak kan dempe avrenningen betydelig. Grønne tak 1 og 2 dempet avrenningen på et



Figur 3. De grønne takene (GT1a og GT2) gav en betydelig reduksjon i avrenningen etter det lokale styrtregnet på 29 mm på 30 min. Trolig skal referansen følge nedbørmåleren (se teksten).

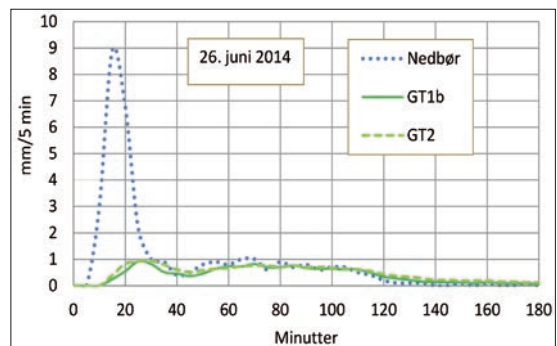
40-års regn for Blindern i Oslo med varighet på 30 min med henholdsvis 35 % og 48 % (fig. 3), og et 40-års regn med varighet på 10 min med 90 % og 89 % (fig 4).

Uka før 3. juli 2009 hadde vært tørt og med lufttemperaturer på inntil 30 °C. Referansen demper den første nedbøren noe; trolig fordampes (avdunstar) det varme taket noe av vannet. Deretter følger avrenningen nedbøren, men stopper før maksimum. Trolig har styrtregnet kastet noe av vannet fra referansen og over i de grønne takene. Det mangler 3,7 mm fra referansen sammenlignet med nedbørmåleren. I andre nedbørepisoder følger vanligvis referansetak og nedbørmåleren hverandre som hånd-i-hanske (Braskerud, 2014). I dette tilfellet er nedbørmåleren referansen, og de grønne takene har trolig mottatt noe mer vann enn planlagt.

Det tar noen minutter før avrenningen fra de grønne takene starter, det skyldes at takene var uttørket da uværet slo til. Takene holder tilbake en betydelig mengde vann umiddelbart (ca. 12 og 14 mm for GT1a og GT2). GT1a får sin første avrenningstopp ca. 5 min etter nedbør maksimum, mens GT2 forsinkes med 15 min. Begge tak demper intensiteten på 5 min nedbøren: GT1a med 40 % og GT2 med 35 %.

Om ettermiddagen 26 juni 2014 ble det satt en ny 60 min nedbørsrekord på Meteorologisk institutt i Oslo (46,1 mm). På L34b falt det 28,2 mm nedbør i samme tidsrom. Det meste kom ca. kl. 16, og er gjengitt i figur 4.

I følge jordfuktighetsmålerne inneholdt GT1b og GT2 henholdsvis 5 og 3 mm vann før nedbøren. Takene er m.a.o. relativt tørre. Det tar noen minutter før avrenningen begynner, og avrenningsmaksimum forsinkes med ca. 15 minutter sammenlignet med nedbøren. GT1b tilbakeholder nesten 20 mm av de første 23 min som tilføres taket, mens GT2 gjør nesten det samme (ca. 19 mm). Dempingen av 5 min nedbørintensiteten er meget stor; 90 % for GT1b og 89 % for GT2. Etter



Figur 4. To grønne tak (GT1b og GT2) fordrøyde det intense regnet på 16,3 mm på 10 min. Referansen ble bygd om til grønt tak i juni og er derfor ikke med.

Tabell 2. Nedbør og tilbakeholdning av vann i fem episoder på de grønne takene 1 og 2 ved tre forskjellige varigheter på nedbøren. Initialtilstanden mht. vann i vekstmediet er antydnet.

Dato	varighet (min)	Initial	Nedbør (mm)	GT1 (%)	GT2 (%)
03.07.2009	10	tørr	11,7	32	29
	30		28,0	35	48
	60		29,7	33	46
26.06.2014	10	tørr/	15,7	89	88
	30	fuktig	22,8	81	80
	60		27,2	70	67
07.06.2011	10	tørr/	9,6	22	24
	30	fuktig	14,5	18	26
	60		26,0	44	54
12.07.2010	10	fuktig	8,6	67	80
	30		11,6	53	62
	60		14,7	47	53
02.06.2013	10	våt	9,6	17	32
	30		14,2	11	23
	60		20,4	22	33

hvert som nedbøren avtar følges nedbør- og avrenningsintensitetene hverandre. Nedbøren fordrøyes, slik at tilbakeholdningen i fig. 4, er 57% for GT1b og 50% for GT2.

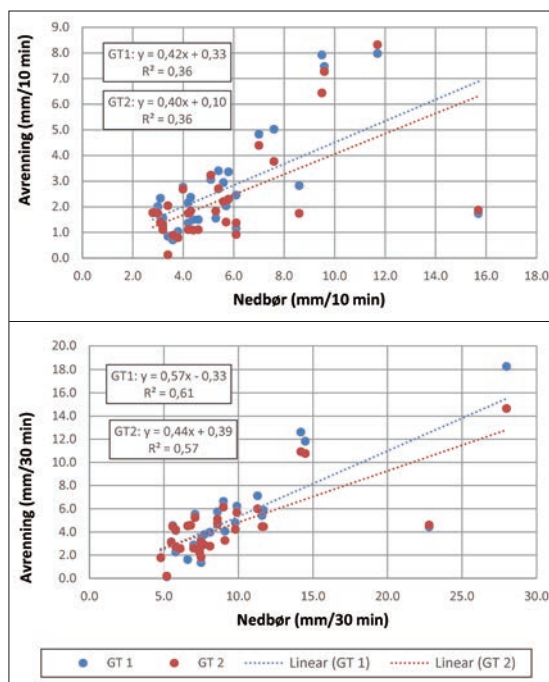
Tilbakeholdningen vil variere med nedbørens intensitet og varighet, og vekstmediets initialtilstand mht. fuktighet. Tabell 2 gir en oversikt over fem heftige episoder som oftest rangerer høyest mht. nedbørintensitet for varighetene 10, 30 og 60 min. I forhold til IVF (intensitet, varighet og frekvens) statistikken for nedbør i Oslo, ligger disse hendelsene med gjentaksintervall fra 2 til 40 år (jf. tabell 5).

Sammenhengen mellom nedbør og avrenning

Hvor stor andel av nedbøren kan et grønt tak holde tilbake? Tretti av de mest intensive nedbørtillfellene for hver varighet (5, 10, 20, 30 og 60 min nedbør) ble valgt

Tabell 3. Regresjonsligninger for nedbør i mm (x) og avrenning fra GT1a&b og GT2 (y) for varigheter på 5, 20 og 60 min. Varigheter for 10 og 30 min. er vist i fig. 5.

Varighet	Tak	Avrenning gitt nedbør	R ²
5	GT1:	$y = 0,40x + 0,17$	0,31
	GT2:	$y = 0,36x + 0,05$	0,32
20	GT1:	$y = 0,57x - 0,34$	0,51
	GT2:	$y = 0,48x - 0,14$	0,53
60	GT1:	$y = 0,57x - 0,15$	0,70
	GT2:	$y = 0,45x + 1,01$	0,69



Figur 5. Sammenhengen mellom nedbør med 10 og 30 minutters varighet og avrenning fra to grønne tak (GT1a&b og GT2). Se også tabell 3.

for videre analyse. Figur 5 viser sammenhengen mellom nedbør med 10 og 30 min varighet, mens tabell 3 viser regresjonsligningene for varighetene 5, 20 og 60 min.

Sammenhengen mellom nedbør og avrenning er ikke sterk (lav regresjonskoeffisient). Dette gjelder i særlig grad nedbør med kort varighet. Kortvarige regn kan holdes nesten helt tilbake eller nesten tapes fullstendig. GT2 gir gjennomgående lavere avrenning enn det drenerede taket (GT1). Stigningstallet på regresjonslinjene er dessuten lavere; det betyr at taket *uten* drenering holder bedre på vannet ved intens regn. Alle stigningstall var statistisk sikre ($p < 0,002$). Tabell 4 viser den relative tilbakeholdningen av de 30 mest intense hendelsene på de to grønne takene. Spredningen på tilbakeholdningen kunne være stor; for GT1 med 5 min varighet var den

Tabell 4. Gjennomsnittlig relativ tilbakeholdning (%) av nedbør-episoder med forskjellig varighet på to grønne tak (GT1a&b og 2). Små tall er standardavvik.

	5 min	10 min	20 min	30 min	60 min
GT 1	56 ±21	53 ±21	50 ±21	49 ±20	45 ±17
GT 2	64 ±18	59 ±20	55 ±18	51 ±19	46 ±16

Tabell 5. IVF-tilbakeholdingsstabell basert på IVF statistikk for Blindern i Oslo for perioden 1968–2012, som viser vannmengden et grønt tak kan holde tilbakefordøye avhengig av nedbørintensitet og varighet. Alle tall i mm. Tall i mindre font er utenfor observert nedbør – avrenning.

ÅR ^a	5 min ^b	FD ^c	10 min	FD	20 min	FD	30 min	FD	60 min	FD
2	5,5	3,1	8,2	4,4	11,6	5,3	13,9	6,3	17,3	7,6
5	7,4	4,3	11,1	6,1	16,2	7,3	19,3	8,6	23,8	10,4
10	8,7	5,1	13,0	7,2	19,2	8,6	22,9	10,2	28,1	12,2
20	9,9	5,8	14,8	8,3	22,0	9,8	26,3	11,6	32,3	14,0
25	10,3	6,0	15,4	8,6	22,9	10,2	27,4	12,1	33,6	14,6
50	11,5	6,7	17,1	9,6	25,7	11,4	30,7	13,5	37,6	16,3

^a År er gjentakingsintervallet for gitt nedbør og varighet.

^b er varigheten på nedbøren (f.eks. 8,7 mm/5 min skjer i gjennomsnitt hvert 10. år).

^c FD er antall mm vann et grønt ekstensivt tak kan holde tilbake i samme tidsrom som gitt nedbør og er beregnet fra regresjonsligningene til GT1 i figur 5 og tabell 3.

6–98%. GT2 hadde aldri lavere enn 20% tilbakeholdning (Braskerud, 2014).

Vanligvis er tilbakeholdningen på over 50% for nedbør med varigheter på inntil 30 minutter. Den er imidlertid også høy på varigheter på 1 time. Tilbakeholdningen avtok med nedbørens lengde. Observasjonene inneholder imidlertid kun to meget høye nedbørshendelser med gjentakingsintervall sjeldnere enn 40 år. Varigheten på disse var 10 min (fig. 4) og 30 min (fig. 3). Det drenerte taket (GT1) gir som oftest lavere tilbakeholdning enn taket uten drenering (GT2). Forskjellen er statistisk sikker for varighetene 5, 10 og 20 min ($p < 0,01$).

Uttørking av takene

Jordfuktighetsmålere i de grønne takene registrerte vanninnholdet i sedummattene. Episoder uten nedbør i over 6 døgn varighet ble studert nærmere. Det var 7 slike episoder i perioden 18. april og ut august. Lufttemperaturen var i gjennomsnitt 14,5 °C (st. avvik ±4,1°).

For taket med drenering (GT1b) var variasjonen i vannuttap meget stor; taket kunne være knusktørt i løpet

av 5 døgn, eller inneholde 6 mm vann etter 11 døgn. I gjennomsnitt var evapotranspirasjonen (fordampning fra planter og vekstmedium) 1,2 mm/døgn (standard avvik ±1,1 mm).

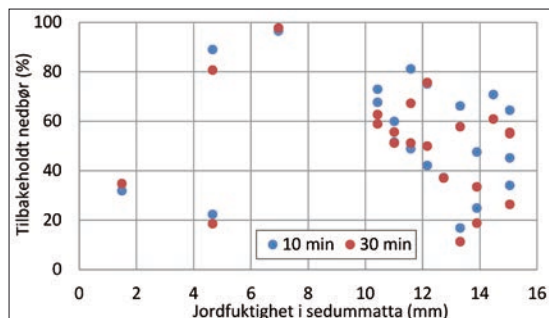
For taket uten drenering (GT2) var evapotranspirasjonen i gjennomsnitt 1,3 mm/døgn (standard avvik ±0,8 mm). Ofte kunne det gå 1–3 døgn uten endring i vanninnhold, før registrert vannuttap. Det kan skyldes langsom vanntransport av fritt vann (ikke bundet til jorda) gjennom vekstmediet fra høyere liggende deler av taket til jordfuktighetsmåleren som er montert i takets nedre del.

Jordfuktighetens betydning for tilbakeholdningen

Hvilke betydning har initialbetingelsene for tilbakeholdningen? Siden målingen av jordfuktighet startet sommeren 2010, er flere av de 30 mest intense episodene uten informasjon. For de målte episodene (20 stk.) var vanninnholdet i sedummattene i GT1 vanligvis lavere enn GT2 (medianverdien var henholdsvis 12 og 15 mm). Sedummattene kan holde ca. 14 mm vann. Takene var ofte våte i det nedbøren falt.

Figur 6 viser sammenhengen mellom vanninnhold i sedummattene før nedbør og relativ tilbakeholdning på det drenerte grønne taket (GT1). GT2 var ofte vannmettet da nedbøren startet. Det skyldes at jordfuktighetsmåleren er montert nederst på taket og mottar vann fra arealet over, mens dreneringen på GT1 fjerner vannet før det nådde jordfuktighetsmåleren. Ekstremværet 3. juli 2009 (Fig. 3) ble inkludert i materialet, fordi vi vet at taket var tørt før styrtregnet (detaljer rundt andre varigheter er vist i Braskerud, 2014).

For nedbørvarigheter på 60 minutter hadde jordfuktigheten før nedbør betydning for avrenningen. «Jordfuktighet» gav ikke statistisk sikkert utslag for tilbakeholdning av nedbøren for kortere nedbørvarigheter.



Figur 6. Som oftest var de grønne takene ganske våte ved nedbørens start. Tilbakeholdt nedbør på GT1a og b ved 10 og 30 min varighet.

Forsinkelsestid

Nedbør på grønne tak må renne gjennom vekstmediet før det når takrenner/avløp. Dette vil forsinke avrenningen. Tas de 2 heftigste nedbør – avrenningshendelsene for høst, vinter og vår, og de 6 heftigste for sommeren, var det i halvparten av tilfellene minimal forskjell mellom nedbørtopp og avrenningstopp. Det kan skyldes at takene ofte var våte når regnet satte inn (fig. 6). Observasjonene gjøres med 5 min oppløsning, så forsinkelser under dette er ikke mulig å spore.

Grønt tak *med* drenering (GT 1) hadde 4 tilfeller der avrenningen var fordrøyd med 5 min og to med 10 min. Taket *uten* drenering (GT 2) hadde 3 tilfeller med 5 min fordrøyning, 1 med 10, 2 med 15 min og ett med 20 min. Hendelsen med lengst fordrøyning var nedbør på smeltende snø.

Diskusjon

I følge Nagase og Dunnett (2012) påvirkes avrenningen fra grønne tak av:

$$\text{Avrenning} = \text{nedbør} - (\text{intersepsjon} + \text{transpirasjon fra planter} + \text{evaporasjon fra jorda} + \text{tilbakeholding i substrat}) \quad (1)$$

I denne undersøkelsen har vi fokusert på sammenhengen mellom nedbør og avrenning. Den er ikke alltid god, spesielt for korte, intense regn (fig. 5). Årsaken kan derfor ligge i de andre leddene i (1).

Plantenes betydning

Plantenes fysiske overflate påvirker tilbakeholdingen av vann på bladverket (*intersepsjon*). Høye planter fanger mer enn lave. Hårete og voksete blad fanger mest, noe planter som tåler tørke ofte har. Bladenes form har også betydning for å samle vann. Horisontalt rettede blader kan samle mer enn opprette (Nagase og Dunnett, 2012). Berretta m. flere (2014) fant intersepsjon ved svakt regn. Trolig har dette liten betydning ved styrtregn.

Selv om sedum trekker vann ut av vekstmediet, har plantegruppa vanligvis et lavt vannforbruk (Nagase og Dunnett, 2012). Det er imidlertid ikke så enkelt å bruke andre arter med høyere transpirasjon hvis vekstmediet er tynt, fordi «visnepunktet» kan nåes i løpet av få dager. Barretta m. flere (2014) fant at vanntapet var størst om dagen, og at samlet *evapotranspirasjon* var større i varme mai (1,4–1,8 mm/døgn ved ca. 16 °C) enn i kjøligere mars (ca. 0,8 mm/døgn ved ca. 8,5 °C). Disse verdiene er ganske like det som ble funnet i denne undersøkelsen (ca. 1,3 mm/døgn), selv om variasjonen var meget stor. Heller ikke *evapotranspirasjonen* kan forklare de store forskjellene mellom nedbør og avrenning.

Takets oppbygning

Trolig er oppbygningen av det ekstensive taket nøkkel-faktor. Byggekløssene er i hovedsak vekstmedium, vannholdene lag og drenering. Uhl og Schiedt (2008) fant at fordrøyningseffekten økte til substrattykkelsen var 15 cm. Tykkere vekstmedium gav kun lavere årsavrenning. Snodgrass og McIntyre (2010) mener det skyldes at tykkere vekstmedier har mindre fordamping mellom nedbørhendelsene. Uhl og Schiedt (2008) fant videre at tykkelsen på substratet hadde mindre betydning for demping av styrtregnet. Tak med 5 cm substrattykkelse kunne ha den laveste avrenningsintensiteten.

Vekstmediets innhold er trolig viktig. Grov kornstørrelse øker porevolumet, og vil kunne holde mye vann. Det tapes imidlertid lett hvis det har lav feltkapasitet, dvs. evne til å binde vann til substratet (Berretta m. flere, 2014). Dette ble også observert av Braskerud (2014) på et nylagt grønt tak på L34b. Til tross for at vekstmediet var dobbelt så tykt som på GT1 og GT2 var tilbakeholdingen ved styrtregnet i fig. 4, 12–24%-enheter lavere enn resultatet beskrevet i tabell 2. Det skyldes trolig at kornstørrelser på over 2 mm dominerte det nye taket, mens de gamle takene domineres av finere materiale. Vekstmedier med egenskaper tilpasset takenes bruk kan utvikles videre (Graceson m. flere, 2010).

Filt med 1 cm tykkelse ble benyttet på GT1b og GT2 som *vannlagring*. Det hadde stor betydning for vegetasjonsutviklingen på GT1. Før ombygningen i august 2011 var vegetasjonen miserabel sammenlignet med GT2. Rask drenering av GT1a var trolig årsaken; taket ble for fort tørt. Året etter montering av filt mellom vekstmedium og dreneplate hadde takene nesten det samme «vegetasjonsuttrykket» (fig. 7). Tre år seinere er det umulig å se forskjell.

Grønt tak 2 gav gjennomgående bedre tilbakeholding enn GT1 (tabell 1 og 2). Det kan skyldes at GT2 ikke hadde *drenering*. Avrenningen fra taket ble dermed for-



Figur 7. Ett år etter montering av filt over drenelementet (fig. 2), er GT1b (venstre) i ferd med å utvikle seg som sin nabo GT2.

sinket når vannet måtte renne langs takfallet gjennom vekstmediet og filtmaten, mens vann fra det drenerte taket kunne renne på takpappen under dreneringen. Redusert avrenning fra tak uten drenering er også funnet av andre (Bengtsson, 2005; Uhl og Schiedt, 2009). Dreneringen virker; vannet sendes raskere av sted.

Takenes *vannlagringskapasitet* vil også ha betydning. Vekstmediets totale porevolum vil kunne fylles med vann. Grovkornet materiale, er imidlertid lettrenert og vannet tapes raskt, med mindre strukturer som holder på vannet bygges inn i taket. Vanligvis er vekstmediets feltkapasitet avgjørende for tilbakeholdt nedbør. For vekstmediet i GT1 og GT2, er feltkapasiteten på tørt tak ca. 14 mm (Braskerud, 2014). I tillegg kommer filteren på GT1b og GT2 med ca. 9 mm. I teorien har GT1b også mulighet til å lagre ca. 3 mm i drenselementet. Ved styrtregnet 3 juli 2009 (fig. 3) var tilbakeholdingen ca. 10 og 13 mm for henholdsvis GT1a og GT2. Det er mindre enn den teoretiske kapasiteten, og kan indikere at filteren kan ha problem med å trekke til seg vann når det er tørt og at drenselementet ikke fungerer som vannlagring (noe som ble observert). Ekstremregnet 26 juni 2014 (fig. 4) er imidlertid et unntak: Nesten 20 mm av nedbøren holdes tilbake på taket.

Kan måten nedbøren faller kan ha betydning (intensitet, varighet, dråpestørrelse, hastighet o.l.)? Bengtsson m. flere (2005) opplevde at tilbakeholdingen kunne øke til over feltkapasitet ved intense nedbør. Dette støttes av Villarreal (2007) som fant at kontinuerlig tilført «nedbør» gav mindre tilbakeholding enn intense episoder. Både denne og overnevnte undersøker fant at *våte tak* kunne ha god tilbakeholding ved styrtregn.

Dimensjonerende tilbakeholding

Tilbakeholdingen av nedbør kan variere i betydelig grad. Den er sjelden dårligere enn 20 %, men kan også være 80 %, selv for intense hendelser (fig 6). Hvordan kan man forholde seg til et så sprikende erfaringsgrunnlag i praksis?

En forsiktig tilnærming vil være å tilkjenne enkle, ekstensive grønne tak en tilbakeholding på 20 % for nedbørintensiteter og varigheter denne undersøkelsen omfatter. Siden takene på L34b trolig er et «worst case» tilfelle med skygge, svakt nordvendt, lite vekstmedium med mer, vil en slik tilnærming gi en stor grad av trygghet. For mindre sårbare areal kunne man på tilsvarende måte argumentere for å bruke 70 % tilbakeholding.

I Norge er grønne tak i en oppstartsfase som lokal overvannsdiskonterings (LOD) tiltak. Nye LOD-tiltak kan trenge «fødselshjelp» til mer erfaring er vunnet. Figur 5 og tabell 3 viser at det ikke alltid er en enkel sammenheng mellom nedbør og avrenning. Hva med å innrømme takene en påvist, men usikker effekt ved å

benytte regresjonsligningene nevnt over? For å øke sikkerheten kan resultatene for GT1 benyttes. De er jevnt over er noe svakere enn GT2. Regresjonsligningene for GT1 for 20, 30 og 60 minutter er for øvrig ganske sammenfallende. Drenering på tak med svak helling er dessuten en vanlig anleggsteknikk i bransjen. Tabell 5 viser hvordan man kan beregne tilbakeholdt vann i et ekstensivt tak av typen vi har brukt i L34b:

Hvis det er krav om å håndtere 20 års regnet med 20 minutters varighet (22 mm), for en bygning, vil et grønt ekstensivt tak kunne fordøye 9,8 mm. Avrenningskoeffisienten (forholdet mellom avrenning fra et nedbørfelt og nedbøren over samme området) for taket vil være $1-9,8 \text{ mm}/22 \text{ mm} = 0,55$.

Eksemplet over viser at grønne ekstensive tak kan bidra under punkt 1 og 2 i *tre-trinnstrategien* som er foreslått av Norsk vann (Lindholm m. flere, 2008). Grønne tak kan redusere behovet for andre overvannsløsninger.

Ofte var forsinkelsen av avrenningstoppen mellom 0–5 minutter. Avrenningen fra de to mest intense nedbørhendelsene ble imidlertid forsinket mye (fig. 3 og 4). Her var forsinkelsen henholdsvis 5 og 10 minutter for GT1a&b, og 15 minutter i begge tilfeller for GT 2. Hvis klimaet på øst i Norge blir varmere og tørrere om sommeren, vil vi ofte kunne forvente styrtregn på tørre tak slik forholdene var i de to heftigste episodene. I så fall vil grønne tak forsinke avrenningen mest når det gjelder!

I tillegg til tilbakeholdt nedbør, vil fordøyning av avrenningen ha betydning for dimensjoneringen av andre overvannstiltak. Å kombinere grønne, ekstensive tak med regnbed kan være gunstig: Ved samme gjentakintervall har grønne tak høyest relativ tilbakeholding ved korte, intense regn, mens regnbed fungerer best ved regn med lengre varighet (Paus og Braskerud, 2014).

Konklusjoner

Måling av nedbør og avrenning over 5 år på et forsøksfelt i Oslo, har gitt informasjon om grønne taks virke-måte sammenlignet med vanlige tak:

1. Grønne tak holder tilbake nedbør, selv om takoppbygningen er tynn. På årsbasis kan minst 25 % forventes mange steder sørøst i Norge. Det er tid for å gi denne LOD teknikken mulighet i byutviklingen.
2. Det mest intense regnet faller vanligvis om sommeren, når vegetasjonen er i funksjon. Store, intense nedbørmengder kan tilbakeholdes på vegeterte tak; 50 % tilbakeholding er ikke uvanlig. Vanligvis vil tørre tak ha størst evne til fordøyning, men selv våte tak kan dempe avrenningen betydelig.
3. Det er sjelden den teoretiske feltkapasiteten for take-

nes tilbakeholding utnyttet fullt ut. Største tilbakeholding som ble målt var ca. 20 mm over 30 min.

- Ekstensiv tak kan tørke raskt ut i vekstsesongen. Avhengig av oppbygning og ytre forhold kunne takene nå «visnegrensa» etter 3 til 10 dager. Bruk av filt under vekstmediet vil forbedre vannlagringen; derved øker plantenes trivsel og transpirasjon, og takenes tilbakeholding av nedbør.
- Intenst regn med kort varighet holdes i større grad tilbake enn langvarig regn. Treghet i avrenningen virker dempende, og var størst på tak uten drenering. Forsinkelsestiden mellom nedbørtopp og avrenningstopp var størst (15 min) ved de to største hendelsene, og ved regn på snø.
- Basert på de 30 mest intense hendelsene er det utviklet en IVF – tilbakeholdingstabell som er koblet mot IVF statistikken for Oslo. Tabellen gjør det mulig å beregne grønne, ekstensive, taks LOD bidrag. Sammenhengen mellom kortvarige regn og avrenning er imidlertid ikke sterk. Langvarig prøvetaking av takene er nødvendig for å styrke tabellens utsagnskraft.

Takk

Anlegningen og instrumenteringen av det grønne taket ble sponset av EU interregprosjekt IVb SAWA (50%). NVE sponset resten av instrumenteringen, mens fam. Braskerud sponset det resterende av vegetasjonen på taket. Ved SAWAs avslutning overtok Forskningsrådprosjektet ExFlood ut 2013. NVE har via NIFS prosjektet bidratt i slutfasen.

Takene ble anlagt av forfatteren, men instrumenteringen, hjelp med den automatiserte innsamlingen og annen støtte, ble gjort av tidligere kolleger ved Hydrologisk avdeling ved NVE. Tusen takk til K. Møen, D. Whittington, F. Kvernhaugen, A. Krogsæter, E. Klausen, N. Haakensen, E. Holmquist og E. Dalen. En spesiell takk til T.M. Muthanna, K.H. Paus og F. Syvertsen for nyttige kommentarer til manuskriptet.

Referanser

- Bengtsson, L., Grahn, L., Olsson, J. (2005) Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrology* 36, 259–268.
- Berndtsson, J.C. (2010) Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 351–360.

- Berretta, C., Poëand, S., Stovin, V. (2014) Moisture content behaviour in extensive green roofs during dry periods: The influence of vegetation and substrate characteristics. *Journal of Hydrology* 511, 374–386.
- Braskerud, B.C. (2014) Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo. NVE rapport 64/2014, 98 sider. Kan lastes ned fra www.nve.no.
- Graceson A., Hare, M., Hall, N., Monaghan, J., Rainbow, A. (2010) Characterising the components of green roof growing media. Proc. from The World Green Roof Congress, 15–16 September 2010, London, 11 pages.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., Aaby, L. (2008) Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk vann rapport nr. 162/2008, 79 sider.
- Mentens J., Raes, D., Hermy, M. (2006) Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning* 77, 217–226.
- Nagase, A., Dunnett, N. (2012) Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effect of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and Urban Planning* 104, 356–363.
- Nordeng, K., Kvalvik, M., Busklein, J.O., Ødegård, I.M., Clewing, C.S., French, H.K. (2012) Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentesprosjekt. Prosjektrapport 104, Sintef, 102 sider.
- Paus, K.H., Braskerud, B.C. (2014) Suggestions for designing and constructing bioretention cells for a Nordic climate. *Vatten* 4/2014 (70), 139–150.
- Stange, R., Clavier, K., Åstebøl, S.O., Hagen, P.-O. (2014) Blågrønn faktor. Veileder byggesak. Framtidens byers hjemmeside på www.regjeringen.no.
- Snodgrass, E. C., McIntyre, L. (2010) *The green roof manual. A professional guide to design, installation, and maintenance*, Timber Press, Portland – London.
- Stovin, V. (2010) The potential of green roofs to manage Urban Stormwater. *Water and Environment Journal* 24, 192–199.
- Uhl, M., Schiedt, L. (2008) Green Roof Storm Water Retention – Monitoring Results. In “11th International Conference on Urban Drainage”, pp. 10, Edinburgh, Scotland, UK.
- Uhl, M., Schiedt, L., Henneberg, M., Mann, G. (2003) Langzeitstudie zum Abflussverhalten begrünter Dächer (Long-term study on the rainfall-runoff-processes of green roofs). *Wasser und Boden* 55, 28–36.
- VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Fernandez, R.T., Xiao, L. (2005) Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth. *J. Environ. Qual.* 34, 1036–1044.
- Villarreal, E. L. (2007) Runoff detention effect of a sedum green-roof. *Nordic Hydrology* 38, 99–105.





Stödjande medlemsföretag

AnoxKaldnes AB
AquaP
Arboga Kommun
Brenntag Nordic AB
Christian Berner AB
Falköpings Kommun
Golder Associates AB
Gryaab AB
Göteborgs Stad Kretslopp och vatten
Hudiksvalls Kommun
Hässleholms Vatten AB
Kalmar Vatten AB
Karlstads kommun
Kemira Kemi AB
Kristianstads kommun
Käppalaförbundet
Köpings Kommun
Ljusdal Vatten AB
Malmberg Water AB
Miljö och vatten i Örnköldsvik MIVA AB
Mittskåne Vatten
Mälarenergi AB
Mönsterås Kommun
Norconsult 
Nordiska Plaströrgruppen
Norrvatten
NSVA
Ragn-Sells Avfallsbehandling AB
Sjöbo Kommun
Skellefteå Kommun
Sollefteå Kommun
Stockholm Vatten VA AB
Stora Enso Hylte AB
Strömsunds Kommun
SWECO Environment AB
SYVAB
Säffle Kommun
Tekniska förvaltningen
Trelleborgs Kommun
Trollhättan Energi
Tyréns AB
Uddevalla Vatten AB
UMEVA
Uppsala Vatten och Avfall AB
Urban Water Management Sweden AB
VA-avdelningen NVK
VA-Ingenjörerna AB
Vattenfall AB
Va-verket
Veolia Vatten AB
WSP Sverige AB
Vänersborgs Kommun
Växjö Kommun
Xylem Water Solutions Sweden AB
Yara AB/ Industrial
Ånge Kommun
Östersunds Kommun

*Vill ni synas bättre i listan?
För 2000 kr om året kan ni få er logotyp i listan ovan.*