



Exflood



Grønne tak og styrtregn

Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo

Bent C. Braskerud

65
2014



R
A
P
P
O
R
T

Grønne tak og styrtregn

Effekten av ekstensive tak med sedum-vegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo

Rapport nr 65/2014

Grønne tak og styrtregn

Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Bent C. Braskerud

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 70, kan nedlastes fra www.nve.no, Publikasjoner

Forsidefoto: Bent Braskerud

ISBN: 978-82-410-1017-0

ISSN: 1501-2832

Sammendrag: Grønne, vegetasjonsdekkede tak er ett av flere aktuelle tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD). Tiltaket kan bidra til å gjenskape noe av den naturlige tilbakeholdingen av nedbør i byer. Her rapporteres 5 års datainnsamling fra et forsøksfelt i Oslo. Feltet består av to sedum (bergknappfamilien) tak med og uten drenering, og et vanlig tak uten vegetasjon. Resultatene viser at grønne tak kan dempe avrenningen av styrtregn i vesentlig grad. Tak uten drenering virket vanligvis best. De grønne takene reduserer også avrenningen av regn på smeltende snø, bedre enn det vanlige taket. De mest intense episodene vises grafisk. I tillegg gis oversikter over månedlig nedbør og avrenning.

Rapporten inneholder i tillegg informasjon om uttørkingshastigheter og vanningsbehov, mulige forbedringer mht. oppbygging av tak, kjøling av bygg, internasjonale erfaringer med vegetasjon på taket og en liten takflora.

Emneord: Lokal overvannsdiskonering (LOD), urbanhydrologiske tiltak, styrtregn, flomdemping, avrenningskoeffisient, blågrønne byer, ekstensive grønne tak, sedum arter, kjøling av bygg og treleddstrategien.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Innhold

Forord	5
Sammendrag	6
1 Innledning/bakgrunn	8
1.1 Typer grønne tak	8
1.2 Hvorfor bruke grønne tak?	9
1.3 Treleddstrategien	10
1.4 Ekstensive tak og tilbakeholding av vann	11
1.5 Mål med undersøkelsen	18
2 Metode; oppbygging og kalibrering	19
2.1 Forsøksanleggets plassering	19
2.2 Takets oppbygging	19
2.3 Måleinstrumenter	21
2.3.1 Vannføringsmålinger	21
2.3.2 Lufttemperaturmålere	22
2.3.3 Nedbørmåler	22
2.3.4 Jordfuktighetsmålere	23
2.3.5 Loggeren	23
2.4 Kalibrering av forsøksrutene	23
2.4.1 Avrenning fra tak 1-3 per mm nedbør	23
2.4.2 Avrenning fra tak 1-3 uten vegetasjon	24
2.5 Kalibrering av jordfuktighetsmålerne	25
2.6 Hull i dataserien	27
2.7 Statistiske metoder	27
3 Avrenning fra tak med og uten vegetasjon	28
3.1 Oversikt over nedbør – avrenning gjennom året	28
3.2 Et eksempel på ekstremnedbør	31
3.3 Vannlagring på taket	34
3.3.1 Vannlagring i vekstmediumet	34
3.3.2 Hastigheten på uttørking	35
3.4 Detaljer rundt nedbør - avrenning om sommeren	39
3.4.1 Kort og intens nedbør på fuktig tak	39
3.4.2 Kort og intens nedbør på vått tak	41
3.4.3 Intenst regn over lengre tid	43
3.4.4 Intenst regn på tak som er tørt/fuktig og vått	44
3.5 Detaljer rundt nedbør - avrenning om høsten	46
3.5.1 Intenst, kortvarig regn på vått tak	46
3.5.2 Regn over lengre tid	48

3.6	Detaljer rundt nedbør - avrenning om vinteren	49
3.6.1	Avrenning etter nedbør på snø.....	49
3.6.2	Nedbør og avrenning fra vått tak, julaften 2013.....	51
3.7	Detaljer rundt nedbør - avrenning om våren.....	52
3.7.1	Gjentatte episoder med intenst regn på vått tak	52
3.7.2	Intense regnbyger på vått tak.....	54
3.9	Beregning av flomtoppdemping ved nedbør.....	56
3.9.1	Nedbør - avrenning	56
3.9.2	Tørt eller vått tak	58
3.9.3	Forventet nedbør – tilbakeholding på taket.....	60
3.9.4	Forsinkelsestid	61
3.10	Foreløpige konstruksjonsråd.....	61
3.10.1	Betydningen av dreneringssystem	62
3.10.2	Tilbakeholding av nedbør	62
4	Konklusjoner	64
5	Takk.....	66
6	Referanser	67
7	Vedlegg	69
	Vedlegg 1. Ekstrem kortidsnedbør juni 2014.....	69
	Vedlegg 2. Månedlig nedbør og avrenning fra forsøktakene.....	73
	Vedlegg 3. Sammenhengen mellom nedbør og avrenning for varigheter på 10, 20 og 30 minutter	75
	Vedlegg 4. Uttøringshastigheter på sedummatter.....	77
	Vedlegg 5. Vanning eller ikke vanning, det er spørsmålet	78
	Vedlegg 6. Grønne tak som kjølere av bygg	85
	Vedlegg 7. Grønne tak til byene – internasjonale erfaringer	87
	Vedlegg 8. Bestemmelse av noen takplanter	92
	Vedlegg 9. Sedumarter på takene i L34b	94

- I alt vi gjorde, så gjorde vi det grønnere!

Sagt under foredrag av Graham Wiseman
(direktør i firma som står for en del
prestisjebygg verden over, 2009).

Mer om erfaringer med å gjøre byer
grønnere i Vedlegg 7.

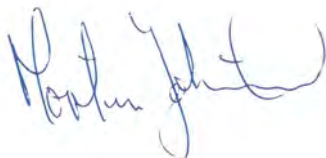
Forord

Klimaet endres. Det samme gjør byene. Varmere vær gir muligheten for større nedbørmengder, og flere tette flater reduserer landskapets evne til å infiltrere vannet lokalt. Derved øker behovet for at styrtregnet må håndteres på overflaten, fordi rørsystemenes kapasitet overbelastes hyppigere og overvannet finner avløp til områder det ikke var tiltenkt.

Lokal overvannsdiskonering, LOD, er en tenkning der vannet i større grad håndteres lokalt. Ved å bruke tomte og nærområdet på en god måte kan hele, eller deler av nedbøren, holdes tilbake. I tillegg vil lokalmiljøet få nye «blå-grønne» kvaliteter, til glede for beboere, flora og fauna.

Tiltakene må imidlertid dimensjoneres slik at utfordringene kan møtes på en god måte. Til det trengs forskning og utprøvinger av praktiske tiltak. Denne rapporten omhandler måling av nedbør og avrenning fra et lite, vegetasjonsdekket, grønt tak i Oslo. Det er trolig det første forsøksfeltet for måling fra såkalte sedumtak i Norge. Vi trenger flere slike forsøksanlegg som gir informasjon om hvordan overvann kan håndteres gjennom ulike LOD-løsninger for norske forhold.

Oslo, september 2014



Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sammendrag

Overvann 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 må vannet frem 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, der uterom preges av vegetasjon og vann, samtidig som store vannmengder kan håndteres.

Lokal overvannsdisponering (LOD) er metoder for å bruke vannet lokalt så langt det lar seg gjøre, og lede det trygt videre til vassdrag som kan håndtere vannmengdene når tilbakeholding og fordrøyningen ikke strekker til. Grønne, vegetasjonsdekkede tak er en av flere mulige tiltak som kan benyttes i byutviklingen. Grønne tak kan dels i 3 kategorier: (1) *Ekstensive*; lette tak med tynt vekstmedium av mineralsk materiale og dominert av tørketålende arter. (2) *Semi-intensive*; tykkere vekstmedium med en større variasjon av planter. Torvtak med gress og urter tilhører denne kategorien. (3) *Intensive*; der alle arter tilpasset tak kan benyttes og som er tilrettelagt for opphold, f.eks takhager.

Denne rapporten omhandler den ekstensive taktypen, med spesiell fokus på ekstremt lette tak med sedumarter (bergknappfamilien). Et forsøksfelt ble anlagt på et garasjetak med svak helling i Oslo i 2009, som en del av et EU prosjekt. Taket ble delt i to ruter med vegetasjon, og et vanlig tak som referanse. I utgangspunktet var rutene med vegetasjon like. Hovedforskjellen var at ett tak hadde dreneringssystem under vekstmediet. Drenering er ofte nødvendig på «flate tak» for å hindre at plantene drukner. Nedbør, temperatur i luft og under taket i garasjen, jordfuktighet i vekstmediet og avrenning fra taket ble målt automatisk, og data sendt til NVEs database for vannføringsmålinger. Denne rapporten presenterer 5 år med observasjoner.

På årsbasis holdt de grønne takene tilbake ca. 25 % av nedbøren. Det meste av styrtregnet kom om sommeren når de grønne takene håndterer nedbøren best. Tilbakeholdingen er dårligst i november. Smeltende snø på takene kan bli en utfordring hvis regn faller samtidig. I slike tilfeller demper grønne tak avrenningen bedre enn vanlige taktyper.

Grønne tak er best når det gjelder: I juli 2009 og juni 2014 falt styrtregn som normalt skjer hvert 40. til 50. år på taket. I det første tilfellet dempet vegetasjonen 48 % av nedbøren. I det andre tilfellet 89 %. Generelt ser det ut til at korte og intense regn holdes bedre tilbake enn regn med lengre varighet. Som oftest gav det grønne taket uten drenering best tilbakeholding.

Tak er ekstremt tørre steder, og med vekstmedium på 3 cm er vannmengden til planter svært begrenset. Takene kunne være nær «visnegrensa» allerede etter 3 dager, og varte tørken i 11 dager var det kun sedumartene som overlevde. For å bedre vanntilgangen for plantene og tilbakeholdingen av nedbør, er det en fordel med en filtmatte under vekstmediet. For forsøksstaket ser det ut til at plantene klarer seg greit uten vanning. Vanning vil imidlertid gi vegetasjonen ekstra livskraft ved lengre tørke.

På dårlig isolerte bygg kan grønne tak virke avkjølende på varme sommerdager. Fordampingen fra vegetasjonen skaper lufttemperaturer inne som i skyggen ute på dagtid.

Vegetasjon på takene vil ha multifunksjon i byene: I rapporten presenteres metoder for å beregne tilbakeholdingen/flomdempingen fra takene, noe som kan hjelpe planleggingen av andre nødvendige LOD tiltak. I tillegg til takenes estetiske verdier, demping av støy og innfangning av svevestøv, vil de øke levetida på mange taktyper, fordi vegetasjonen beskytter takmembranen mot UV-stråler og sterke temperatursvingninger. Rett brukt er grønne tak et vinn-vinn konsept som fremmes i mange andre land.

Rapporten kan siteres som:

Braskerud, Bent C. (2014). *Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo*. NVE rapport 65/2014; 98 sider.

1 Innledning/bakgrunn

1.1 Typer grønne tak

Vegetasjon på takene har lang tradisjon i Norge, og fremdeles brukes taktyper med gress og urter i stort omfang; spesielt på hytter. Torv (organisk jord) er som oftest vekstmedium på disse takløsningene. De seinere 10 år er det utviklet andre løsninger som baserer seg på mineralsk materiale og andre arter. I dag er det få grenser for hvilke arter som kan etableres på tak hvis taket er tilrettelagt for vegetasjon.

Det finnes i prinsippet tre grønne tak typer:

- 1) *Ekstensive*, lette tak med tynt vekstmedium, der tørketolerante arter som sedum (bergknappfamilien) dominerer.
- 2) *Semi-intensive* der vekstmediet er tykkere og muligheten for større arts mangfold er mulig (torvtak hører til denne gruppen).
- 3) *Intensive* tak der ferdsel og opphold er mulig på samme måte som i hageanlegg. Denne taktypen er kun egnet på bygg som tåler høy last. Taktypen kan inneholde busker og trær.

Denne rapporten omhandler den første gruppa. *Ekstensive tak* er ofte dominert av sedumarter, som tåler tørke og næringsfattig jord/vekstmedium. Vekstmediet eller substratet, som det også kalles, varierer ofte mellom 2-9 cm. Vekta varierer ofte fra 40-100 kg/m² i vannmettet tilstand, selv om disse grensene ikke må ansees som noen absolutter. Vedlikeholdsbehovet er lite; 1-2 ettersyn årlig.

Takene blir av og til kalt sedumtak, men andre tørketolerante plantearter kan også fungere, spesielt hvis dybden på vekstmediet ikke er for tynt.

Oppbygningen av ekstensive tak kan variere i betydelig grad, men de har gjennomgående noen komponenter felles. Fra taket og oppover:

- På taket legges det ofte rotsperre, som er svart plast med minimalt med skjøter for å hindre at røtter gjennomborer takbelegget/takmembranen. Der det brukes sedum velger noen bort dette laget, fordi sedumrøttene regnes som lite aggressive. Det er da viktig at man ikke lar arter med aggressive røtter få etablere seg.
- På tilnærmet *flate tak* legges et dreneringselement som ofte er i plast (ligner grunnmursplast, men har huller for drenering gjennom platen og ofte hulrom/kopper for mulig vannlagring, fig. 1). Det er også mulig å bruke grovkornet materiale som drenerer godt. En tynn fiberduk som slipper vann gjennom legges ofte over dreneringen for å hindre at vekstmediet fyller denne. På *tak med helling* (ofte under 30 grader) legges ofte en filt rett på taket. Tykkelsen er fra 0,5 cm og oppover. Filten holder på vann og beskytter taket mot vekstmediet/substratet som legges over.
- Hvis det anvendes prefabrikerte sedummatter kan de legges rett på drenslag eller filten. Mattene er ofte 2-4 cm tykke og består for det meste av mineralsk

materiale som ikke brytes ned. Materialet er ofte lett; knust leca, skjellsand, pimpstien/lavasand, knust tegl med mer. Litt kompost blandes inn. Leverandørene har sin egen «oppskrift» på dette vekstmediet, eller substratet. Noen har et ekstra lag substrat mellom drenering og sedummattene. Vanlig vekstjord brukes ikke pga. tyngden og fare for innhold av ugrasfrø. Det er også mulig å så sedum fra frø, eller stiklinger fra vegetative deler, rett i vekstmediet. Bruk av sedummatter er trolig mest vanlig i Norge.



Figur 1. To ekstensive oppbygninger av grønne tak. Filt rett på taket for tak med helling, og drenelement for tilnærmet flate tak. Prefabrikkert sedummatte på toppen.

1.2 Hvorfor bruke grønne tak?

Grønne tak har mange fordeler og noen ulemper (Bengtsson et al., 2005; Berndtsson, 2010; Nordeng, 2012; Snodgrass and McIntyre, 2010; VanWoert et al., 2005).

Grønne tak

- + tilbakeholder nedbør, dvs. demper dannelsen av flomvann som gir oversvømmelse. Denne rapporten vil i hovedsak fokusere på dette.
- + gjør bymiljøet ”grønnere”, og oppleves bedre for innbyggerne. Fint for luftpauser og rekreasjon. Vedlegg 5 gir noen forslag for oppbygging av vakre tak, og vedlegg 9 presenterer en del sedumarter.
- + forlenger levetiden til taket vesentlig, fordi temperaturskiftingene avtar og UV-lys ikke treffer taket (takpapp/singeltak). Vedlegg 6 viser endringer i temperaturamplituden.
- + virker kjøleende på bygg. Effekten er best når taket inneholder vann som fordampes. Best er effekten på bygg med få vinduer, lite isolasjon eller liten lufting gjennom vinduene. Vedlegg 6 viser hvordan kjøleeffekten kan være.

- + gir litt varmeisolasjon på tradisjonelle løsninger.
- + benytter areal som ikke brukes til noe annet likevel. God utnyttelse av plassen.
- + kan fange svevstøv.
- + reduserer virkningen av oppvarming i storbyer ("urban heat islands" / varmeøy).
- + kan dempe bulder, fordi hard flater fjernes.
- + kan øke det biologiske mangfoldet; vegetasjonen innbyr til levested for insekter og fugler, og kan tilrettelegges for sårbare arter (rødlistearter).
- + kan være en viktig ingrediens i merkesystemer som LEED og BREEM, og er en viktig komponent i blågrønn arealfaktor (BGF).
- + kan redusere snøras, fordi vegetasjonen skaper friksjon.

Grønne tak kan imidlertid også ha noen ulemper:

- Anleggskostnadene er ofte større enn ved bruk av takpapp/shingel.
- Ettersyn/oppfølging er nødvendig. Ethvert grøntanlegg trenger skjøtsel. Sluk på tak må holdes åpne.
- Hvis lekkasje oppstår på taket, er det mer krevende å finne.
- Sedumarter på "svartelista" kan spre seg til norsk natur, hvis arten finnes på taket.
- Hvis dreneringen av taket feiler, kan vegetasjonen dø pga. drukning.

1.3 Treleddstrategien

Store nedbørmengder faller over Norge og våre naboland. 2. juli 2011 falt det ca 155 mm på 2 timer og 20 min i København sentrum, og 9. august året etter falt det 70 mm på 40 min i Nedre Eiker (Lindholm, 2013). Totalmengden ble større. Den 31. august 2014 fikk København en ny trøkk med 104 mm/3 timer, hvorav 60 mm/ 1time. I Höllviken ikke langt fra Malmö falt det 123 mm/2 timer (pers. medd. Carl Nelin, Vellinge kommun). Denne lista kunne lett lages lengre, men demonstrerer et poeng: Monsterregnet har kommet. Nedbøren i disse tilfellene kan ha så sjeldne gjentakintervall som 1000 år, likevel ser de ut til å opptre stadig hyppigere.

Skader kan imidlertid opptre ved styrtregn med adskillig lavere intensitet og gjentakintervall. Lars Buhler kalibrerte en SWMM modell mot observasjoner fra NVEs urbanhydrologiske stasjon på Rustadskogen på Ås (Lindholm m.f., 2013). Skader på bygninger startet allerede ved nedbør med gjentakintervall på 10 år: 6 % av husene ville få vannskader. 20-, 50- og 100 års regnet ville gi henholdsvis 12, 19 og 24 % av bygningene skader, mens Københavnregnet i 2011 ville gitt 54 % av husene vannskader

hvis ingenting gjøres. Vi trenger mao. en strategi for å håndtere styrtregn generelt og monsteregn spesielt.

3-leddstrategien søker å håndtere en del av vannet på stedet (Lindholm m.fl. 2008):

1. Fang opp og infiltrer mindre nedbørmengder.
2. Forsink og fordrøy større nedbørmengder
3. Sikre trygge flomveier for store nedbørmengder.

Hvilke nedbørmengder og intensiteter det enkelte ledd i strategien skal håndtere vurderes lokalt. Lokal overvannsdiskonering (LOD) er tiltak som skal holde vannet tilbake i nedbørfeltet lengst mulig og lede vannet på overflata, slik at avløpsledningene ikke overbelastes. Det finnes mange alternativ. For urbane strøk er;

- bruk av grønne, vegetasjonsdekkede tak
- frakoble takrenner fra avløpsrøra (Braskerud and Skallebakke, 2013)
- anlegge regnbed (Paus and Braskerud, 2013)
- bruk av permeable overflater for infiltrering
- bevare og plante vegetasjon (gress, busker og trær)
- tilrettelegge for oversvømmelse av tørt land, eller lage dammer med kapasitet til å holde tilbake vann.
- kartlegge flomveiene (Bratlie, 2013)
- anlegge flomveier med avrenning over gress (Leland, 2013), eller på asfalt.

For å nevne noen.

1.4 Ekstensive tak og tilbakeholding av vann

Det er kun gjort en undersøkelse på hvordan vegeterte tak håndterer vann i Norge. Den ble gjort på oppdrag fra Nittedal torvindustri (Busklein, 2009):

17 cm torv (organisk jord) ble sammenlignet med takmembran (referanse) og et 3-5 cm ekstensivt sedumtak, drenert med Leca ved hjelp av dosert nedbør (52 mm/time på tre 2 m x 2 m forsøksruter). Som ventet var fordrøyningen i referansen neglisjerbar, mens den var avhengig av vekstmediets vanninnhold for de to øvrige. For relativ tørr torv var tilbakeholdingen nesten total. I det ”nedbøren” stoppet var tilbakeholdingen ca 98 %. Tilbakeholdingen fra relativ tørr sedum var i samme tidsrom ca 22 %. Når vekstmediet er vått reduseres fordrøyningen i betydelig grad, men har fremdeles virkning. I dette tilfellet var tilbakeholdingen henholdsvis 53 og 10 % for torv- og sedumtaket.

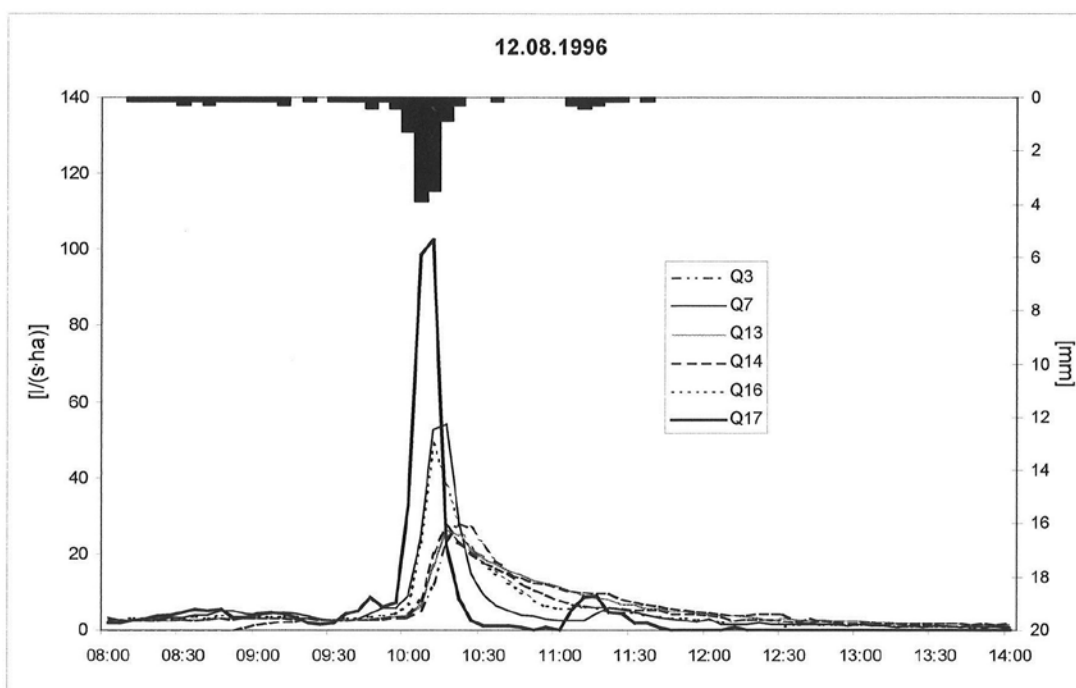
Ikke uventet har torv en meget god evne til å holde tilbake nedbør. Denne rapporten omhandler imidlertid ekstensive tak, som har en annen oppbygning, vekt og uttrykk enn et torvtak.

Det er gjort en mengde undersøkelser internasjonalt på ekstensive tak. Her presenteres noen resultater fra Sverige, Tyskland, England og USA.

Den mest grundige artikkelen er ikke uventet gjort i Tyskland som trolig er verdensledende mhp. utvikling av de "moderne" grønne takene (Uhl og Schiedt, 2008; Uhl m.flere., 2003):

En to årig studie i syd-Tyskland, med naturlig nedbør på 23 ekstensive og semi-intensive forsøktak med størrelser; 6, 9, 12 og 24 m² ble gjennomført i 1995-97. Takhelling var på 0, 2, 27 grader, lagoppbygningen av taket var med og uten drenering. Substratdybden varierte fra 5-20 cm, og det var 3 substratblandinger med forskjellige variasjoner av: "knust leca", lava, pimpstein, bark, kompost mm. Nedbørmåler og tak uten vegetasjon var referanse. Årsnedbøren var ca 690 mm.

I snitt av mange ekstensive tak og takvinkler (dybde 5-15 cm) var tilbakeholdingen 76 % i sommerhalvåret, 61 % i den kjølige delen og 49 % i den kalde. I snitt for året var den 69 %. For to semi-intensive tak (dybde 25 og 35 cm) var årlig tilbakeholding ca 80 %. Forfatterne påpeker klimaets betydning og at oppdeling i sesonger er nødvendig for å vurdere overføringsverdien.



Figur 2. Styrregn i Uhl m.fl. (2003) forsøk i Tyskland. Dybden på substratet er angitt. 100 l/s*ha er 3 mm/5 min.

En episode på 28,8 mm nedbør, hadde maksimum intensitet på 3,9 mm/5 min. Figur 2 viser avrenning fra referansetak og 5 grønne tak. Det er en viss avrenning fra takene før den intense episoden, så takene inneholdt trolig noe vann. De ekstensive takene, nummer 7 og 16, har dempet avrenningen i betydelig grad, mens takene med tykkere substrat dempet styrtregnet mer.

Tilbakeholdingen er avhengig av porevolum og dybden av substratet og drenslag, og økte med økende substratdybde. Det var om vinteren at drenslaget spilte en

forskjell. Tak uten drenering hadde bedre tilbakeholding av vann enn tak med drenering. Substratet var i utgangspunktet så lettdrenert at drenslag spilte liten rolle. Et viktig funn var at *fordrøyningseffekten økte til substrattykkelsen var 15 cm. Tykkere vekstmedium gav kun lavere årsavrenning*. Snodgrass og McIntyre (2010) mener det skyldes at tykkere vekstjordlag har mindre fordamping mellom nedbørhendelsene. Hvis taket anlegges kun for å dempe avrenning, vil kostnadene ved anlegget øke mer enn nytten.

Oppsummert kunne referansetaket ha maks avrenning på 312 l/s*ha (9,4 mm/5 min) mens de grønne takene kunne gi 50-84% demping av flomtoppene. Generelt påvirker ikke tykkelsen på substratet flomtoppreduksjonen vesentlig. Tak med substrattykkelse på 5 cm kunne ha den laveste avrenningsintensiteten! Det er trolig infiltrasjonen inn i det tynne substratlaget og vannstrømmen gjennom substratet som virker dempende. Hvor vått taket er før nedbøren begynner har også betydning. Det ble ikke registrert noe overflateavrenning i løpet av forsøksperioden.

Uhl og Schiedt (2009) har sammenstilt maksimal tilbakeholding i substratene fra de enkelte takene; Tak med 5 og 8 cm tykt vekstmedium kunne holde 25 - 35 mm vann, 10 cm kunne ha 40 mm. 5 cm substrat og 5 cm drenering hadde 25 mm, men kunne også ha 45 mm, hvis taket var flatt.

Om sommeren var avrenningen fra tak med helling 25 % større enn flate tak. Ellers var avrenningen temmelig lik. Det kan skyldes at evapotranspirasjonen har betydning om sommeren; raskere vannbevegelse ut av taket gir mindre tid til fordamping. Over året var det ikke store forskjellen på avrenning fra flate og skråstilte tak.

I Augustenborg i Malmö er det laget et imponerende anlegg som viser ekstensive og semi-intensive grønne tak løsninger (Augustenborg botaniska takträdgård). Med utgangspunkt i dette miljøet har det blitt gjort en del interessante studier på grønne tak:

1. Bengtsson m. flere (2005) målte nedbør og avrenning kontinuerlig på ei takflate 5 m² (4m x 1,25 m) og med helling 2,6 %. Det var 3 cm substrat over 1 cm drenslag av knust stein. I tillegg var det tilsvarende flater med daglig manuell registrering. Substratet var: 5 % leire, 5% knust kalkstein (8-12 mm), 43% knust takstein (8-12 mm), 37 % sand og 10 % organisk materiale. Porøsiteten var 60-70 %. Feltkapasiteten var 40-50 % og visnepunktet ca. 15 %. Tilgjengelig vann mellom feltkapasitet og visnepunkt i substratmatte var ca. 9 mm. De fant at det kunne ta få dager fra substratet er vannmettet til visnepunktet er nådd.

Forsøket pågikk over 1,5 år. Årlig nedbør var 705 mm, mens avrenningen var 378 mm (46 % tilbakeholdt). Bengtsson og kolleger mente det skyldes evapotranspirasjon. Fordampningen fra grønne tak kunne være nesten like høy enkelte måneder som den potensielle.

Etter tørre perioder kunne taket holde 9-10 mm, deretter begynner avrenningen. Ved intens nedbør kan imidlertid mer lagres på taket. 12 mm ble f.eks. målt. Den ekstra lagringen økte med intensiteten på nedbøren. Når taket var vannmettet, var avrenning på timesbasis omlag som nedbøren.

Bengtsson og kolleger ønsket flere studier av intens nedbør - avrenning, noe denne rapporten vil bidra med.

2. Bengtsson (2005) følger opp forsøket over gjennom laboratorieforsøk på grønne tak med tilsvarende oppsett som over. Kunstig regn ble påført i intensiteter på 0,4 og 1,0 mm/min, og med hellinger på taket fra 2,6 % til 23 %. Hydraulisk konduktivitet var ca 0,03 cm/s i substratet og 0,05 cm/s i dreaslaget. *Konsentrasjonstida* er tida det tar før det grønne taket er vannmettet. Konsentrasjonstida finnes ved å tilføre vann i to intensiteter til kontinuerlig, jevn avrenning (steady state). Ved 0,4 mm/min var konsentrasjonstida 16-20 min, mens 1,0 mm/min ble 12-13 min. Busklein (2009) fant at konsentrasjonstida på sedumtaket ved 0,9 mm nedbør/min var ca 74 min når taket i utgangspunktet var ganske tørt, og 35 min når det var våtere.

I Bengtssons tilfelle var midlertidig lagring over feltkapasitet nesten 8 mm ved 1 mm/min og ca 4 mm ved 0,4 mm/min. Det var liten endring på avrenningsmønsteret ved nesten alle takhellinger mellom 2,6 % og 23%.

Fjerning av drenering reduserte flomtoppen noe (1,2 til 0,9 mm/min), og forsinket den noe. Konsentrasjonstida økte også 2-3 min. Midlertidig vannlagring økte også (fra 4 til 4,5 mm). Noe overflatevann ble observert ved konstant nedbør på 1.0 mm/min. Dreneringslaget har høyere horisontal hastighet enn substratlaget, men total hastighet bestemmes i størst rekke av vertikal hastighet.

Bengtsson (2005) konkluderer med at grønne tak kan være en viktig mulighet for å redusere avrenningstoppene i urbane strøk, hvis de brukes strategisk.

3. Kan måten nedbøren treffer de grønne takene ha betydning for tilbakeholdingen? Med oppsett som ligner studien over fant Villarreal (2007) dårligere tilbakeholding ved kontinuerlig tilført nedbør, enn om regnet kom som intense episoder (f.eks: ca 15 mm nedbør gav ca 7 mm tilbakeholding ved episode og ca det halve ved kontinuerlig tilførsel). Forsøkene ble utført ved feltkapasitet (våte tak). Helling på taket fra 2-8 grader hadde ingen betydning for avrenningen.

Villarreal (2007) mener at grønne tak kan dempe spissflommene vesentlig, slik at behovet for flomdempende tiltak ellers minker.

4. Berndtsson (2010) oppsummerer de grønne tak forsøkene i en grundig artikkel som omfatter svenske og andre internasjonale undersøkelser. Noen høydepunkter i tillegg til det som er nevnt over nevnes her:
Aldring: en 5 årig undersøkelse fant at det organiske innholdet økte fra 2 til 4 %, og porevolumet fra 41-82%. vannholdingskapasiteten økte fra 17-67 % (Getter et al., 2007). Andre forsøk finner ingen effekt av aldring på tilbakeholdingen.
Vegetasjonens rolle: planter påvirker avrenningen, mest om sommeren. Kun substrat uten vegetasjon, har imidlertid også gitt god tilbakeholding.
Årstider: liten forskjell på substrat alene og med vegetasjon i den kalde delen av året. Mest effekt av grønne tak om sommeren. Initialbetingelsen til substratet har mye å si for tilbakeholdingen. Flere studier er nødvendig for å sjekke grønne taks virkning om vinteren. Denne rapporten vil bidra med noen svar.
Takets helling: Noen studier finner minimal virkning av takets helling på tilbakeholdingen, andre det motsatte. Trolig har jordfukt, substrattypen og tykkelse, takets oppbygning med mer betydning.

I England anlegges det mange grønne tak. På universitetet i Sheffield har de opprettet ”The green roof centre”, som de hevder er landets ledende på dette området.

1. (Nagase and Dunnett, 2010) sjekket tørketoleransen til forskjellige planter for bruk på ekstensive, grønne tak i et veksthusforsøk med konstant temp. 20 grader. Tre plantegrupper; sedum, gras og urter, ble plantet i monokultur og i blanding og utsatt for tørkestress. Vanningsregimer; hver uke, hver 2. uke og hver 3. uke. Sedum var overlegent mht til å tåle tørke. Gress og urter tålte i liten grad 3 uker uten vanning. Planter der nekroser (dødt vev) etter tørke, dekket mer enn 50 % klarte ikke å overleve om vann ble gitt. Flere andre studier viser sedum sin overlegne tørkeresistens. Det skyldes at plantetypen har CAM fotosyntese¹; og tykke voksaktige blad, og deres sukkulente natur. Det finnes eksempler på at noen sedumarter har overlevd 4 mnd tørke.

Motivasjon for å blande arter på tak er at:

- sedum i monokultur gir liten økologisk variasjon.
- større interesse blant publikum å få mer komplekse grønne tak
- en tanke om at denne typen tak er økologisk mer robuste.



Uten vanning finnes det i følge Nagase og Dunnett (2011), få tilpasningsdyktige arter for et tøft takmiljø i grunt vekstmedium. Sedum kan imidlertid vannes i hjel, hvis røttene blir stående fuktig for lenge.

Figur 3. Albino og normal variant av hvitbergknapp (Sedum album). Bitter bergknapp (Sedum acre) i forgrunnen.

2. Forsøket over ble fulgt opp at et tilsvarende laboratorieforsøk der plantenes evne til å fjerne vann ble testet (Nagase og Dunnett, 2012).

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

¹ Sedum har CAM fotosyntese (Crassulacean acid metabolism) der stomata er lukket om dagen. Gassutvekslingen pågår om natten (Nagase og Dunnett, 2012). Snodgrass og McIntyre (2010) mener sedum plantene tilpasser vannforbruket etter mengden tilgjengelig vann.

Når «nedbør» ble tilført gav gressartene minst avrenning, fulgt av urter og bare substrat. Sedum fordøyde minst vann. Blandinger av arter gav ikke bedre tilbakeholding enn de beste artene av plantefamilien i monokultur, fordi den beste blir «fortynnet» av «dårligere» arter.

Plantenes fysiske overflate påvirker tilbakeholdingen av vann (intersepsjon) på bladverket. Høye planter fanger mer enn lave. Hårete og voksete blad fanger mer, noe planter som tåler tørke ofte har. Bladenes form har også betydning for å samle vann. Flate blader kan samle mer enn opprette.

Arter med stort rotvolum økte aggregatdannelsen i jorda, som igjen lagde hulrom med plass til vann. Andre forsøk har vist at stort rotvolum kan ha motsatt effekt; røttene fyller hulrommet. Dette kan skyldes forskjellig substratsammensetning.

Sedum har lavt vannforbruk. Det kan bety mindre tilbakeholding av vann på sedumtak. I tillegg skygger sedum jorda, slik at fordamping fra jordoverflata forsinkes. Gras har stor vekst og fordamper mye vann, men er sårbare for uttørking (Nagase og Dunnett, 2010).

Normalt regner en med at substratsammensetning og -tykkelse har størst betydning for tilbakeholdingen av vann, men dette forsøket viser at valg av arter også har betydning (selv om forbehold må tas pga. karforsøk i drivhus ikke er det samme som feltforsøk).

3. Hvor raskt tørker vekstmediet ut, og hva påvirker uttørkingen, ble undersøkt i et utendørs forsøk over 29 mnd i 6 forsøksruter på 1 m x 3 m med helling på 1,5 grader (Berretta m. flere, 2014). Sedumarter ble brukt som vegetasjon. Det ble benyttet 8 cm vekstmedium fra to kommersielle substratprodusenter (HLS og SCS) og Leca. Referansen hadde HLS oppbygging og var uten vegetasjon. Vekstmediet var drenert. Innholdet av *organisk materiale* avtok med Leca > HLS > SCS, med henholdsvis 6 %, 3,8 % og 2,3 %. Leca hadde stort *porevolum* (84,8 %, HLS: 63,8 % og SCS: 59,8 %), men lav *feltkapasitet* (HLS 41,2 %, SCS 39,1 % og Leca 35,0 %). Testing av HLS og SCS gav *visnepunkt* på ca 9 % volumetrisk vanninnhold. Leca tålte ikke testmetoden. *Jordfuktighetsmålere* ble plassert i 3 høyder i vekstmediet.

Tørkeperioder på minst 10 dager ble studert: Jordfuktigheten avtok med tida i tørre perioder og substratet ble fylt til feltkapasitet under vesentlige regn. Jordfuktighet i øvre lag lå ca 10-20 % under fuktigheten ved bunnen, men stort sett fulgte jordfuktigheten i øvre og undre lag hverandre. I kontrollen var det imidlertid ingen lagdeling mht. jordfuktighet. Røttene tappet mao. vann fra substratet.

Fuktighetstapet svingte gjennom døgnet og var lavest om natta. Virkning av intersepsjon ble målt ved svakt regn, hvor jordfuktigheten økte på kontrollen, men ikke på sedum rutene. Tap av jordfuktighet var større fra rutene med sedum enn kontrollen. Det var imidlertid liten forskjell mellom rutene med sedum.

Vanntapet var nesten dobbelt så høyt i varme måneder sammenlignet med kjølige: i mars var vanntapet 0,76-0,81 mm/døgn og 1,39-1,83 mm/døgn i mai. Tapet vil avhenge av jordfuktigheten ved starten av tørkeperioden. Jordfuktighetstapet ble påvirket av klimaet; som vind, relativ fuktighet og lufttemperaturen.

Leca substrat har stor evne til å fylles med vann, men det tapes fort, og gir *tørkestress* på plantene før de to andre substratene som består av knust murstein mm. Tørkestress ble observert etter ca 5 døgn på Leca og etter 11 døgn på HLC og SCS.

4. Grønne tak har sin begrensning mht vannopptak (Stovin, 2010). I en forsøksrute lignende de i punkt 3 (1 m x 3 m) med 8 cm substrat over drenering, ble det målt 2 hendelser med ekstrem nedbør i Sheffield i 2007:
 - 13-15. juni falt det 115, 8 mm når taket var fuktig. Første dag falt 24,8 mm; 16,1 mm (65 %) ble holdt tilbake. Neste dag var taket vannmettet og kun 5 % av 74,4 mm ble holdt tilbake. 15. juni falt det ca 16 mm nedbør. Alt rant av.
 - 24-25. juni falt det 61,8 mm. Taket var vått. 27 % av 24,8 mm ble holdt tilbake første dag. Neste dag var taket vannmettet, og all nedbøren (37 mm) rant av.

For hele juni var tilbakeholdingen 33 %. For mai-august var nedbøren mindre intens og volumøs (24-80 mm/mnd). Tilbakeholdingen varierte mellom 45 og 100 %.

Avslutningsvis presenteres to undersøkelser fra USA hvor bruken av grønne tak er sterkt økende (Snodgrass og McIntyre, 2010).

1. I hvilken grad forbedrer vegetasjon tilbakeholdingen av vann på tak (VanWoert et al., 2005)? Et forsøksfelt med forsøks ruter 0,67 m x 2,44 m, sammenlignet tak med grus (singel), kun substrat og substrat med sedum vegetasjon (forsøk 1), og forskjellig tykkelse på substratet: 2,5 cm, 4 og 6 cm, og takhelling på 2 og 6,5 % (forsøk 2) over en periode på 14 mnd. Nedbøren var naturlig, og inkluderte ett nedbørtilfelle på ca. 50 mm/døgn. Substrat dominert av "leca", sand, noe torv og dolomitt.

Forsøk 1; I gjennomsnitt gav grus 22 % tilbakeholding, kun substrat 39 % og vegetasjon 52 %. Vegetasjon gav signifikant bedre effekt enn de to andre som ofte ikke var signifikant forskjellige. Forsøk 2; tak med 2 % helling og 4 cm substrat hadde størst tilbakeholding (71 %), selv om forskjellene var små. Lav helling og dypere substrat reduserte total avrenning. For både forsøk nr 1 og 2 gav tak med vegetasjon minst avrenning og lengre fordrøyning.

2. Getter m.fl. (2007) har også undersøkt virkningen av sedumtakets helling i forhold til avrenningen. De satte opp et forsøksfelt med 12 forsøksruter på 2,44 m x 2,44 m og med 4 ulike hellingsgrader: 2, 7, 15 og 25 %. Drenslag ble trolig brukt på alle. Under substrat på ca 6 cm var det en filt på 0,75 cm som kunne holde ca 6 mm vann. Substratet bestod av 91 % sand det meste fra 0,25-2 mm. 5,6 % silt og 3,2 % leire. I teorien kunne substrat og filt holde 12 mm nedbør. Rutene ble satt solvent og eksponert for nedbør i 16 mnd. To nedbørtilfeller var på mer enn 40 mm.

I gjennomsnitt skråtak lavere tilbakeholding enn «flate»; 2 % helling gav 86 % tilbakeholdt vann, mens 25% helling gav 76 %. Det var generelt høyere %-vis tilbakeholding av små enn heftige regneepisoder. Det er dårlig info om nedbørens intensitet og lite fokus på reduksjon av flomtopp i artikkelen. Selv om det var forskjell på avrenningen mellom hellinger lurer forfatterne på om forskjellen vil avta med nedbørens styrke/intensitet.

Forfatterne av undersøkelsene i denne gjennomgangen mener gjennomgående at grønne, vegetasjonsdekkede tak vil bidra positivt på vannhåndteringen i urbane nedbørfelt. Det er imidlertid øvre grenser for hva et tynt ekstensivt tak kan håndtere av nedbør. I så måte vil takene trolig passe best som ledd 1 og 2 i treleddstrategien.

Gjennomgående er undersøkelser som er presentert av relativ kort varighet. Den lengste hadde målt naturlig nedbør i drøye 2 år, mens litteraturen har mange eksempler på undersøkelser med varighet på under ett år. Snodgrass og McIntyre (2010) etterspør undersøkelser med lengre varighet. Denne rapporten er et bidrag i så måte...

Mer informasjon om hvordan forskjellige land i Europa og Amerika fremmer innføringen av grønne tak i byrommet er gitt i Vedlegg 7.

1.5 Mål med undersøkelsen

Formålet med denne undersøkelsen er:

Undersøke grønne, ekstensive taks evne til tilbakeholding av nedbør for Østlandsklima.

Dette gjøres ved å måle nedbør og avrenning fra et «svart» referansetak, og sammenligne dette med avrenningen fra to vegetasjonsdekkede tak. Vi vil se på nedbørsmengder og -intensiteter, og avrenningsmengder og -intensiteter.

Observasjonene vil kunne være nyttige for å gi planleggere innspill til hvilke bidrag relativt beskjedne vegeterte takløsninger kan gi mht. lokal overvannsdiskonering (LOD).



Figur 4. Trolig hvitbergknapp (Sedum album) foran og gullbergknapp (Phedimus kamschaticus) bak. Det blålige bladverket tilhører planter fra slekta Hylotelephium – trolig H. ewersii – høstbergknapp. I bunnen er det trolig et dekke av bitterbergknapp (S. acre).

Flere arter tilpasset ekstensive tak finnes i Vedlegg 9

2 Metode; oppbygging og kalibrering

2.1 Forsøksanleggets plassering

Forsøksfeltet er anlagt på et 24 m² stort garasjetak i Langmyrgrenda 34b i Oslo. Stasjonen har nummer **6.74** i NVEs hydrologiske database Hydra2, og blir forkortet til **L34b**.

Garasjen er frittstående, ligger ca 220 m.o.h. og står nord for et bolighus på to etasjer. Av den grunn kaster boligen *skygge* over garasjetaket deler av dagen (fig. 35). Garasjen ble anlagt ca i 1980 og er en uisolert, enkel konstruksjon. Taket er et pulttak med fall på 3,1 grader (5,5 %) mot *nord* (Fig. 5). Beliggenheten gjør forsøktaket til et «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 Østlandsk klima.



Fig. 5. Nyanlagt, grønt sedumtak på garasjetak, 2009. Taknummerering er gitt.

2.2 Takets oppbygging

Et nytt ett-lags asfaltbelegg (Icopal Mono®) med skifersort farge ble lagt sommeren 2008 som en rehabilitering av det gamle taket. Belegget ligger over et enkelt planketak med tykkelse på ca 12 mm.

Taket ble delt i 3 like store ruter; tak 1, tak 2 og tak 3, hver på 2 m x 4 m, dvs. ca 8 m². Hver rute ble adskilt med en T-formet aluminiumsprofil som ble limt fast til takbelegget

med Icopal lim® (høyde 75 mm). Takstoler inne i garasjen ble forsterket for å unngå nedbøying av taket og derved lekkasje mellom rutene ved snølast. Vannbrettene rundt garasjetaket ble hevet slik at nedbør som traff vannbrettet ville renne ut av forsøksruta.

Det ble valgt moss-sedum vegetasjon i forsøket. Artene er vist i Vedlegg 9. 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 vekstmedie og sedumplanter holdes fast. To analyser av vekstmediet viste at dette var "sandjord" (1 % leir, 6 % silt og 93 % sand). I praksis er jorda laget av annet materiale enn sand; i dette tilfellet lavastein, nedknust stein og kalk, og litt kompost (glødetapet var på 7-9 %). Sedumarter dekket 80 - 90 % av mattene ved anlegging. Mose eller ingen vegetasjon det resterende.



Fig. 6. Oppbygging av Tak 3 (GT 2) (venstre) og Tak 1 (GT 1a) (høyre). Tak 1 ble seinere endret noe sommeren 2011 (filtmatte ble lagt mellom dremsplate og sedummatte; GT 1b).

- *Tak 1* ble bygd opp med 25 mm Nophadain 5+1 dremsplate under ca 30 mm Xeroflor Moss-sedum matte (Fig 6). Dremsplata har små hulrom. Disse kan i følge leverandøren holde ca 3,2 l vann/m² (= 3,2 mm). Anbefalt takvinkel 0-4 grader. Taket kalles Grønt tak 1a (**GT 1a**) i undersøkelsen. Taket ble bygd om 8. aug. 2011 ved å legge 10 mm VT-filt mellom dremsplate og jord for å øke takets evne til å holde på vann (fig. 7). Nytt navn ble **GT 1b**.
- *Tak 2* har ingen vegetasjon og fungerer som *referanse*. To 48 mm x 48 mm avstivere i impregnert tre ble satt opp mellom aluminiumsprofilene fra tak 1 til tak 3, for å hindre at arealet mellom rutene endret seg. Vann passerer lett under avstiverne (avstiverne sees så vidt på fig. 7).
- *Tak 3* ble bygd opp med 10 mm VT-filt under ca 30 mm Xeroflor Moss-sedum matte (Fig 6). VT-filten har tetthet på 1280 g/m² og kan i følge leverandøren holde ca 8 l/m² (= 8 mm). Vi målte den i laboratoriet til å holde 8,9 mm (±0,5 mm st.avvik). Anbefalt takvinkel 2-27 grader. Taket kalles Grønt tak 2 (**GT 2**), og har vært uendret gjennom undersøkelsen.

I nedkant av rutene med sedum, mot takrennene, ble en rustfri profil med hull montert for stabilisering av sedum-mattene. Sedumtaket var ferdig anlagt 10. juni 2009.



Figur 7. Ombygging av GT 1a til GT 1b pga. dårlig vekst sammenlignet med GT 3 (høyre bilde), 8. aug. 2011. En filtmatte legges oppå dreismatta for å øke vannlagringen (fig. 6). Forskjellen mellom GT 1b og GT2 er etter dette kun dreismatta i GT 1b.

2.3 Måleinstrumenter

2.3.1 Vannføringsmålinger

Fra takene renner vannet via tre plasttakrenner ned i hvert sitt 220 l oljefat (diameter 57,5 cm, høyde 84,5 cm, figur 8). Oljefatene er sprøytelakkert med hvit lakk innvendig. Utsparinger er fylt med hvit silikon for å gjøre diameteren jevn over hele høyden. Oljefatene er isolert utvendig med 5 cm DOW Styrofoam™. En selvregulerende varmekabel holder takrenne, nedløp og vanntønner frostfritt året rundt. Strømmen er avslått i perioden april-november.



Figur 8. Vann samles i isolerte dunker med varmekabel, trykksensor og pumpe for automatisk lensing.

En trykksensor (4tech UC2) måler vannstand (vst) og pumper ut vannet når nivået passerer 80 cm. Pumping pågår til vst er ca. 25 cm. Pumpa er en 12V lensepumpe fra Biltema som ifølge spesifikasjonene skulle pumpe 95 l/min. I praksis er pumpekapasiteten ca. 67 l/min (st. avvik ± 3 l/min). Det tar m.a.o. 2 min å tømme tønna. I tømmetidsrommet registreres ikke vannføringen og hullet må beregnes (se hull i data). For å redusere antall tømmesykluser under nedbør, kan tønnene tømmes i perioder uten regn ved å styre pumpene manuelt. Det ble ofte gjort. Takene kan motta inntil 17 mm nedbør før tømning av tønnene starter.

Vannstandsendingen i tønna lagres i loggeren for hvert 5. minutt.

2.3.2 Lufttemperaturmålere

Lufttemperaturmåleren (PT-100, 4 leder) er plassert 0,65 m fra garasjens nordvegg, og 2,1 m fra bakken (fig. 35). Sensoren er plassert i en Young strålingsbeskytter (for å stå i skygge).

Under Tak 1, 2 og 3 er det montert lufttemperatursensorer inne i garasjen. Hver sensor ligger mindre enn 1 cm fra tretaket, omgitt av minst 7 cm Styrofoam™ isolasjon for å unngå temperaturpåvirkning fra garasjerommet (fig. 9). Sensorene er plassert ca. 1 m fra takrennene, midt under forsøksruta. Det første året ble det benyttet sensorer der maksimal lufttemperatur var ca. 42 grader. Disse ble byttet året etter da det viste seg at temperaturen oversteg maksimalgrensen nesten daglig om sommeren på referansetaket (Tak 2). Det brukes nå samme sensor som for uteluft.

Temperaturen registreres hvert 15. minutt.



Fig. 9. Temperatursvingningene under tak *med* og *uten* vegetasjon av sensor omgitt av isolasjon.

2.3.3 Nedbørmåler

Nedbørmåler (Lambrecht 1518 H3) er montert ca. 5 m vest for garasjen og ca. 1,7 m over bakkenivå (fig. 35). Oppsamlingsarealet er på 200 cm², og oppløsningen er 0,1 mm per vipp. Nedbørmåleren er oppvarmet, slik at snønedbør registreres momentant. Det første driftsåret registrerte måleren nedbør per 5 min. Deretter ble intervallet satt til hvert

minutt. Nærmeste sammenlignbare stasjon er Blindern som ligger 94 moh. og er 2,6 km sørvest fra målepunktet ifølge www.yr.no.

2.3.4 Jordfuktighetsmålere

To jordfuktighetsmålere (Vegetronix VH400) ble montert 25. aug. 2010 på Tak 1 og 3 (fig. 10). Sensorene ble stukket horisontalt inn i sedumjordmattene i 45 graders vinkel mot takets fallretning. Plasseringen var ca 0,9 m fra takrennene og midt på taket (ca 1 m til ytterkant på hver side). Sensoren er flat og er montert slik at bildet under (fig. 10) viser sensor i jorda sett fra siden.



Fig. 10. Jordfuktighetsmåler fra Vegetronix med 10 cm sensor. Rimelig, men påvirkes av temperaturen (foto Vegetronix).

Sensorene måler jordfuktighet fra 0 V (tørt) til 3 V (i vann). Sensorene må kalibreres mot aktuell jordtype for å gi vannmengde i jord (www.vegetronix.com).

Jordfuktighetsmålingene lagres hvert 15. minutt.

2.3.5 Loggeren

Loggeren er en Sutron 9210-B som er montert i et aluminiumskap i garasjen. Driften av pumpene i vanntønnene og innsamling av data fra måleutstyret styres av loggeren. Hele anlegget drives av 12V system via en Concorde blyakkumulator. Batteriet lades fra nettet, men kan drive stasjonen om nettet skulle falle ut. Loggeren registrere også data fra et lite regnbed som ligger i umiddelbar nærhet (Braskerud et al., 2013).

Flere ganger per døgn sendes innsamlede data til NVE via mobiltelefonnettet og lagres på Hydra 2 databasen. Driften av forsøksfeltet har skjedd uten stopp i 5-årsperioden. Det er m.a.o. mulig å lage forsøksfelt med minimalt ettersyn av det tekniske. Hull i data som har oppstått skyldes feil i ved oversendelse til databasen.

2.4 Kalibrering av forsøksrutene

2.4.1 Avrenning fra tak 1-3 per mm nedbør

Detaljert oppmåling av forsøksrutene viste at: Tak 1 var 8,46 m², Tak 2 (referansen) var 8,31 m² og Tak 3 var 8,41 m² inkl. takrenne. Takrennene var ca 2,4 % av totalarealet.

Vannstandsøkningen i tønnene per liter mottatt vann varierte også litt. Ved lik nedbørbelastning av takene vil vannstandsøkningen bli ulik. 1 mm avrenning fra takene gir derfor følgende vannstandsøkning i tønnene:

- 33,0 mm stigning i tønne 1,

- 32,4 mm i tønne 2 og
- 32,0 mm i tønne 3.

Avviket er på maksimalt 3 % mellom Tak 1 og Tak 3, og blir korrigert ved databearbeidingen.

2.4.2 Avrenning fra tak 1-3 uten vegetasjon

Hovedhuset ligger rett sør for Tak 1 og 2, mens Tak 3 er mer eksponert for gjennomgående sol og vind fra sør og nord. Det er derfor ventet at Tak 3 vil motta andre nedbørmengder enn nabotakene.

Før vegetasjonen ble anlagt på Tak 1 og 3 ble avrenningen sammenlignet fra alle tak ved naturlig nedbør og lufttemperatur under takene.

I perioden 24. april til 9. juni 2009 ble det registrert 104 mm nedbør.

- Tak 1: 94,2 mm avrenning med maksimal intensitet 2,2 mm/5 min
- Tak 2: 98,5 mm avrenning med maksimal intensitet 2,3 mm/5 min
- Tak 3: 96,0 mm avrenning med maksimal intensitet 2,2 mm/5 min

Avviket mellom forsøktakene var på maksimalt 4,4 % avrent vann for perioden. Den største forskjellen var mellom Tak 1 og 2.

Testingen over 1,5 mnd. viser at det ikke er noe forskjell mellom takene i praksis. Det er



likevel grunn til å tro at Tak 3 oppfører seg noe annerledes enn Tak 1 og 2 i perioder: Snømengden fordelte seg alltid slik at snødekket avtok fra Tak 1 til 3. Det skyldes trolig forskjell i vindforholdene slik at snøen føyk lettest av Tak 3. Dette taket var alltid tidligst snøfritt (fig. 11).

Figur 11. Snømengdene fordeler seg skjevt på taket (foto 1. mars 2012).

Temperaturen på Tak 3 avvek fra Tak 1 og 2 (fig. 12).

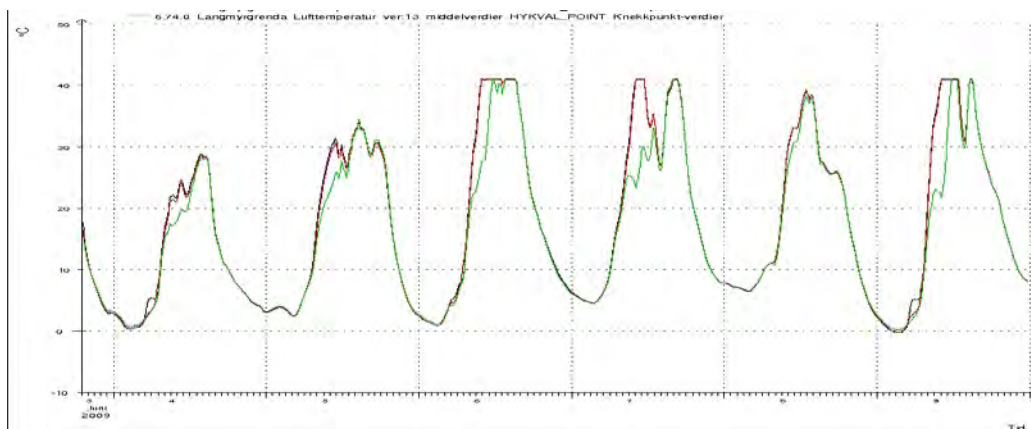


Fig. 12. Lufttemperaturmålinger på Tak 1, 2 og 3 uten vegetasjon i perioden 4-9. juni 2009. Maksimal måletemp for sensorene var 42 grader. Farger, se teksten under.

I perioden 3. til 9. juni 2009 hadde

- Tak 1 (sort): 17,5 grader i gjennomsnitt (median 13,5 grader)
- Tak 2 (rød): 17,4 grader i gjennomsnitt (median 13,8 grader)
- Tak 3 (grønn): 16,3 grader i gjennomsnitt (median 13,0 grader)

I den korte perioden lufttemperaturen ble målt fulgte Tak 1 og 2 hverandre som identiske tvillinger, mens temperaturøkningen på Tak 3 ofte kom noe seinere. Det skyldes trolig at et plommetre kaster skygge inn på Tak 3 om morgenen. Hvis ikke temperatursensoren hadde hatt sin øvre grense ved 42 grader er det sannsynlig at forskjellene ville vært større. Det er overraskende fordi Tak 3 er mer soleksponert enn de to øvrige som skygges av huskroppen i sør. Plommetreet ble hogget våren 2013.

Som et utgangspunkt ser det ut til at takene kan sammenlignes mht. nedbør avrenning, med unntak av snøsmeltingsintensiteter.

2.5 Kalibrering av jordfuktighetsmålerne

Sammenhengen spenning i måleinstrumentet og jordfuktighet

Jordfuktighetssensorne (fig. 10) må kalibreres mot aktuell jordtype for å gi rett vannmengde. Dette ble gjort vinteren 2012.

To sedummatter (plate A og B) på ca 27 og 30 cm² ble klippet ut av sedummatte 142 og 143 på Tak 4. Gjennomsnittlig høyde var 2,2 og 2,4 cm. Mattene ble lagt på 25 mm Nophadain 5+1 drensplate og 2 Vegetronix sensorer ble stukket inn i hver sedummatte (fig. 13).

Mattene ble lagt i vann over 15 minutter før første måling og veing. Lufttøking i romtemperatur på ca 20 grader med jevnlig avlesing pågikk til spenningen var ca 0,4 V. Deretter ble mattene lagt i tørkeskap på ca 50 grader før siste avlesinger av spenning og vekt. Avlesingene skjedde ved romtemperatur.

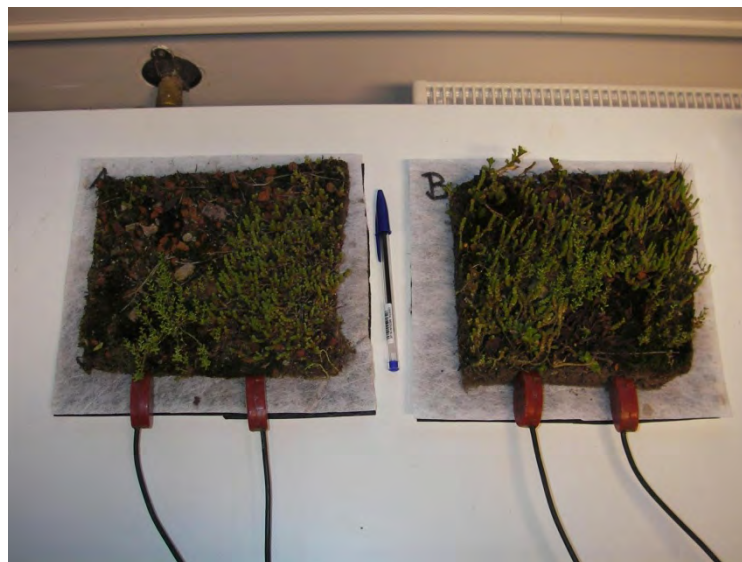


Fig. 13. Sedummatterne A og B på drensplater med 2 par jordfuktighetsmålere testes for sammenhengen spenning – jordfuktighet.

Spenningen øker med vanninnholdet til ca 45 % vanninnhold ved 3 V, som trolig er porevolumet i vekstmediumet i sedummattene (fig. 14).

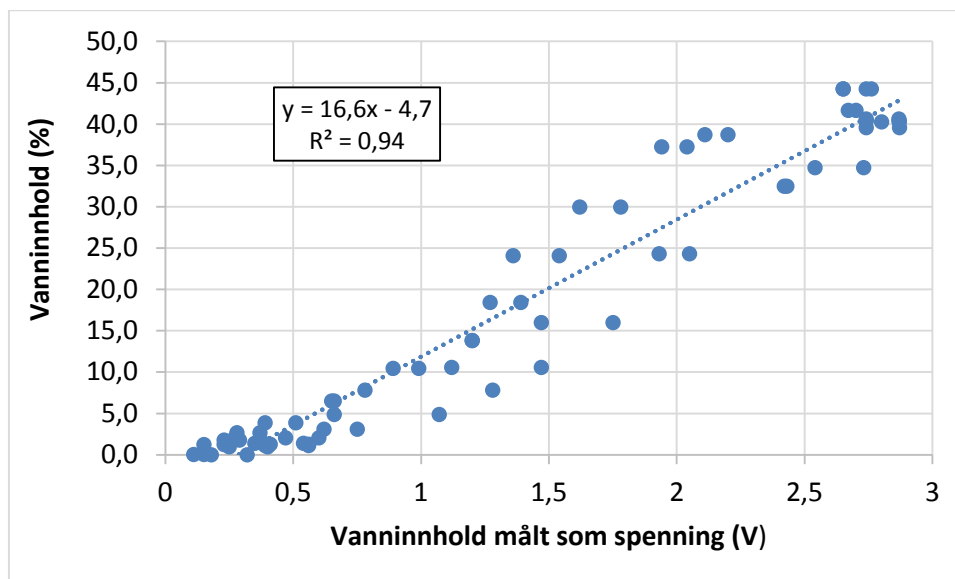


Fig. 14. Sammenhengen mellom jordfuktighet målt i volt (V) og jordfuktighet i % av sedummattenes vekt.

Temperatures påvirkning av jordfuktigheten

Ved måling av jordfuktigheten med Vegetronix instrumentet (fig. 10) viste det seg at spenningen økte med temperaturen, med et maksimum ca kl 12-13 (fig. 17). Vi er usikker på årsaken, men tror det skyldes uønsket temperaturfølsomhet i instrumentet.

Utslaget på temperatur ble undersøkt i et nytt forsøk ved å avlese sensorene i Plate A og B ved 9 og 21 grader C, ved forskjellig jordfuktighet. De 4 Vegetronix sensorene (fig. 13) ble byttet om slik at alle sensorer ble benyttet i henholdsvis Plate A og B ved tilnærmet samme temperatur og jordfuktighet. Resultatene ble analysert ved multipl regressjonsanalyse, og viste at

1. sammenhengen mellom spenning og temperatur ikke var statistisk signifikant.
2. Det var imidlertid signifikant forskjell mellom Plate A og B ($p=0,05$), og
3. Sammenhengen jordfuktighet (%) og spenning (V) var svært signifikant ($p<0,0001$). Se for eksempel fig. 14.

Undersøkelsen gir ikke svar på årsaken til endringene i instrumentet med temperaturen. Testen antyder imidlertid at vi kan se bort fra temperatures virkning på måleresultatene (1). Det kan imidlertid være forskjeller på stedet målingene foretas (2). Det kan skyldes måten sensoren er festet til jordmediet i sedum-matten, forskjeller i jordmediet selv og kanskje i vegetasjonen. Trolig er monteringen /plasseringen av sensoren den viktigste årsaken til måleforskjellighet. Forskjellig kontaktflate til jordmediet rundt sensoren kan kanskje gi forskjellig resultat? Etter hvert som vegetasjonen vokser til rundt sensoren kan vi håpe på at forskjellene i sted avtar. At det er en sterk sammenheng mellom jordfuktighet og spenning (3) skulle ikke overraske noen!

2.6 Hull i dataserien

Ved full dunk vil pumpa aktiveres (ved vst ca. 0,8 m) og tømme dunken. Under tømmeperioden vil målesystemet være ute av funksjon. Et hull i dataene oppstår. Hullet behandles på tre måter. 1) Ved store regn vil vann strømme inn under pumpetiden. Nedbørmåler registrerer intensiteten, pumpehastigheten er kjent og hullet beregnes. 2) Ved mindre int. regn beregnes hullet ved å se på obs. før og etter samt nedbør i 5 min perioden. I tilfelle 1 og 2 sammenlignes beregning med målte data for sammenlignende observasjon (tak 1 og 3 sammenlignes, og nedbørmåler og tak 2 sammenlignes). 3) ved svært små regn etterfylles ikke hullet ($< \text{ca. } 0,2 \text{ mm/5 min}$).

2.7 Statistiske metoder

Statistisk programvare var JMP for Windows, versjon 9.0.2.

Det ble benyttet:

- enkel lineær regresjon med minste kvadraters metode på figur 14, 19, 32 og 39.
- multippel lineær regresjonsanalyse for utvikling av ligning 2 og 3.
- sammenligning av parvise observasjoner ved testing av tabell 9.
- Sammenligning av parvise observasjoner ved testing av GT 1a *uten* filt mot GT1b *med* filt (kap. 3.10.2). Differansen mellom relativ tilbakeholding på mnd. basis (vedlegg 2) ble sammenlignet mellom GT 1a/b og GT 2 for samme mnd. Mnd med snø ble utelukket (jan-april).

3 Avrenning fra tak med og uten vegetasjon

3.1 Oversikt over nedbør – avrenning gjennom året

Måling av nedbør-avrenning fra L34b startet ved etableringen av vegetasjonen juni 2009. Undersøkelsene har mao. pågått i 5 år (Vedlegg 2). Tabell 1 gir en oversikt over de høyeste nedbørintensiteter som er målt i perioden over 5 minutter. Tabellen viser også gjennomsnittet av den høyest registrerte nedbør og avrenning per måned med varighet 5 minutter. Gjennomsnittlig nedbør og avrenning per måned gis til slutt.

Tabell 1. Nedbør og avrenning fra to grønne tak (GT1^β og 2) og tak uten vegetasjon (referanse) fordelt på måned. Alle tall er i mm. GT 1 er drenert, mens GT 2 har ingen drenering (fig. 6).

Mnd	ant [@]	Nedbør			GT1 ^β m. dren		Referanse		GT2 [‡] u. dren	
		Høyeste [#]	Maks ^{&}	Sum [*]	Maks ^{&}	Sum [*]	Maks ^{&}	Sum [*]	Maks ^{&}	Sum [*]
Januar	5	0,5	0,36	44	0,11	13	0,25	15	0,10	12
Februar	5	1,2	0,52	49	0,17	39	0,20	52	0,13	40
Mars	5	1,0	0,52	36	0,23	52	0,30	59	0,21	54
April	5	1,3	0,74	53	0,45	82	0,72	199	0,37	67
Mai	5	2,6	1,62	72	0,56	32	1,58	68	0,45	33
Juni	5	5,7	3,40	119	2,07	71	2,86	113	1,78	68
Juli	5	7,1	4,50	126	2,16	76	4,05	112	1,65	75
August	5	5,0	3,18	146	1,55	104	3,12	136	1,39	103
September	5	3,3	2,08	93	0,98	70	1,94	89	0,68	69
Oktober	5	3,2	1,96	89	1,00	73	1,72	90	0,69	72
November	5	1,6	0,90	82	0,43	79	0,84	84	0,36	78
Desember	5	1,2	0,66	63	0,19	48	0,51	62	0,20	50
Sum				972		741		978		723

^β Både GT 1a og b er inkludert i GT 1.

[@] Antall år måneden er undersøkt.

[#] Høyeste er mest intense nedbør registrert i måler over 5 minutter i undersøkelsen.

[&] Maks er gjennomsnittet av den høyeste registrerte nedbør eller avrenning per år i 5 min gjennom undersøkelsen (Sum av høyeste registrerte per mnd, dividert på antall år).

^{*} Sum er gjennomsnittlig nedbør eller avrenning per måned.

[‡] GT1 er Tak 1, Referanse er Tak 2 og GT2 er Tak 3 (se fig. 5).

I snitt har årsnedbøren vært nesten 1 m de siste 5 åra. 40 % av årsnedbøren faller i sommermånedene (juni-august). Nedbørintensiteten har i perioder vært høy. På Blindern i Oslo opptrer regnintensiteter på 5,5 mm, og med varighet på 5 min, hvert 2. år. Faller 7,4 mm på samme tid er returperioden beregnet til 5 år. Det trengs 8,7 mm/5 min for et ”10-års regn”². Den mest intense nedbøren vi registrerte i 5-årsperioden var 7,1 mm/5 min 12.

² Data fra www.eklima.no. IVF-kurver for Blindern, Oslo, observasjoner fra 1968-2012.

juli 2010. 26. juni 2014 ble det imidlertid satt ny nedbørrekord på Blindern med 46,1 mm/time. I Langmyrgrenda ble det registret 28,2 mm/t samme dag. 5 minutter intensiteten ble 9,3 mm. Denne episoden er ikke med i Tabell 1, fordi referansen fikk grønt tak juni 2014. Hendelsen er imidlertid presentert i vedlegg 1, og er med i de fleste beregninger.

Avrenningen fra referansen (vanlig tak) har vært større enn det som har vært fanget inn i nedbørmåleren. Avviket er kun 1 % (tabell 2), og skyldes vanligvis at nedbørmålere som ofte registrerer for lav nedbør pga. turbulens (vindtap) rundt måleren (Otnes and Ræstad, 1978).

Relativ tilbakeholding

I gjennomsnitt over året har GT 1 og 2 holdt tilbake henholdsvis 24 % og 26 % av årsnedbøren (Tabell 2). Det er betydelig lavere enn rapportert i Sverige; ca. 50 % (Bengtsson m.fl., 2005) og Tyskland; ca. 70 % (Uhl m.fl., 2003). Årsaken er trolig flerfoldig:

- Vekstmedium og dreneringssystem har i utgangspunktet hatt svært lav lagringskapasitet, bl.a. fordi tykkelsen på vekstmediet kun er 2,5-3 cm.
- Taket ligger ca 220 moh, i et lokalklimatisk kaldt område (LangMYRgrenda).
- Taket er svakt nordvendt.
- Taket ligger i skygge fra hovedhuset i flere timer midt på dagen.

Som oftest gav den mest intense nedbøren den mest intense avrenningen i den aktuelle måned, men ikke alltid. Siden det er styrtregnet som ofte lager oversvømmelser, har vi valgt å sammenligne største avrenning uavhengig av nedbør, fordi den også gir det mest konservative anslaget (økt sikkerhetsmargin). «Maks»-verdiene i tabell 2 kommer fra tabellen i Vedlegg 2 (der alle månedsdata er oppgitt), og er et gjennomsnitt av tilbakeholdingen i % for den høyeste registrerte nedbør og avrenning per måned over 5 minutter (se fotnote & i tabell 1).

Tabell 2. Tilbakeholding i % av den mest intense 5 minutter nedbør i forsøksperioden (maks) og tilbakeholding av gjennomsnittlige nedbør i den aktuelle måneden.

Mnd	GT1 m. dren		Referanse		GT2 u. dren	
	Maks	Sum	Maks	Sum	Maks	Sum
Januar	74	71	46	67	78	73
Februar	66	20	63	-6	75	19
Mars	48	-47	36	-66	49	-53
April	43	-55	-1	-87	52	-27
Mai	70	55	2	6	75	54
Juni	57	40	22	5	62	43
Juli	58	40	9	11	69	41
August	49	28	3	7	56	29
September	55	24	6	4	65	25
Oktober	49	18	14	0	65	20
November	52	3	4	-3	59	4
Desember	75	24	39	2	67	20
Gjennomsnitt		24		-1		26

Takene har en typisk årsyklus (tabell 2 «Sum»):

- Om **vinteren** gir snønedbør høy tilbakeholding. Snøen kan smelte, men dette har i hovedsak gått relativt rolig i forsøksperioden med 1,2 mm/5 min som høyeste intensitet (tabell 1; ref. des. og feb.). Dette trenger imidlertid ikke å bli tilfellet i framtiden. Hvis vi passerer 0-grader oftere gjennom vinteren, og får regn i en smeltede snøpakke kan oversvømmelsen være et faktum.
- Om **våren** smelter snøen, og avrenningen blir større enn tilførselene gjennom nedbør i samme periode. Det er interessant å se at avrenningen fra de grønne takene er betydelig mindre enn fra det sorte, referansetaket (13-60 %enheter).
- Om **sommeren**, i vekstsesongen (mai-sept.), er bidraget fra planetene betydelig: De grønne takene holder tilbake 20-49 %enheter mer enn tak uten vegetasjon. Sorte tak kan imidlertid bli både varme og tørre om sommeren. Taket vil derfor kunne fordampe noe av nedbøren, og noen vann vil kunne holdes tilbake i små strukturer i takpappen (tabell 2; juli).
- Om **høsten** er takene ofte våte. Temperaturen faller og det gjør også transpirasjonen fra vegetasjonen. I november renner det meste av nedbøren av takene.

Total tilbakeholding av nedbør er viktig hvis vannet hindres i å nå byenes fellessystem (overvann og spillvann i samme rør). Vann i rør må ofte pumpes til renseanlegg, noe som er energikrevende, sliter på pumper med mer. Vann fra tak er som oftest rent, og rensing er unødvendig. Dessuten, hvis takvann kan unntas renseanlegget vil det redusere fortynningen av avløpsvannet, som gir en mer forutsigbar drift.

Demping av styrtregn

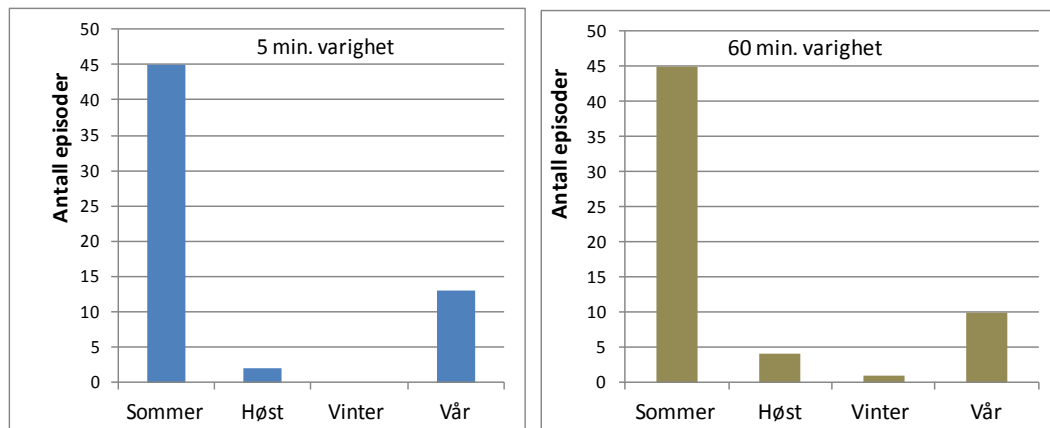
I denne sammenhengen er takets evne til å dempe flomtopper det viktigste (tabell 2; «Maks»). Tilbakeholdingen kan være høy om vinteren, men det skyldes at nedbøren i hovedsak faller som snø (des-feb). I denne perioden kan også tak uten vegetasjon gi god tilbakeholding. I november og desember kan nedbøren veksle mellom snø og regn. Vekstmediet vil ofte være vått eller frosset. Likevel er dempingeffekten god sammenlignet med tak uten vegetasjon (tabell 2; 28-54 %enheter).

Når snøen er borte i april, vil vegetasjon, vekstmedium og drens-system påvirke avrenningshastigheten. I den snøløse delen av året (april-november) kan dempingen av de største nedbørintensitetene være meget god, selv om taket er vått (tabell 2; 35-73 %enheter).

Vedlegg 2 viser nedbør og avrenning for alle mnd. som er med i undersøkelsen.

Styrtregn og årstider

De fleste intense nedbør - avrenningsepisodene ble observert om sommeren (juni-august). Varm luft har større kapasitet til å holde på vanndamp enn kald, som i utgangspunktet gir mulighet for mer nedbør. Figur 15 viser fordelingen av de 60 mest intense nedbørtilfellene i løpet av forsøksperioden. 75 % av episodene kom om sommeren. Den mest intense 5 minutter nedbøren var 7,1 mm (fig. 21), mens den minst intense for samme varighet var 1,7 mm/5 min. For regn med varighet over 1 time var de tilsvarende verdiene 29,7 mm (fig. 16) og 6,8 mm/60 min.



Figur 15. De fleste av de 60 mest intense nedbørtillfellene på L34b falt om sommeren, både for kortvarige intensiteter (5 minutter) og lengre (60 minutter).

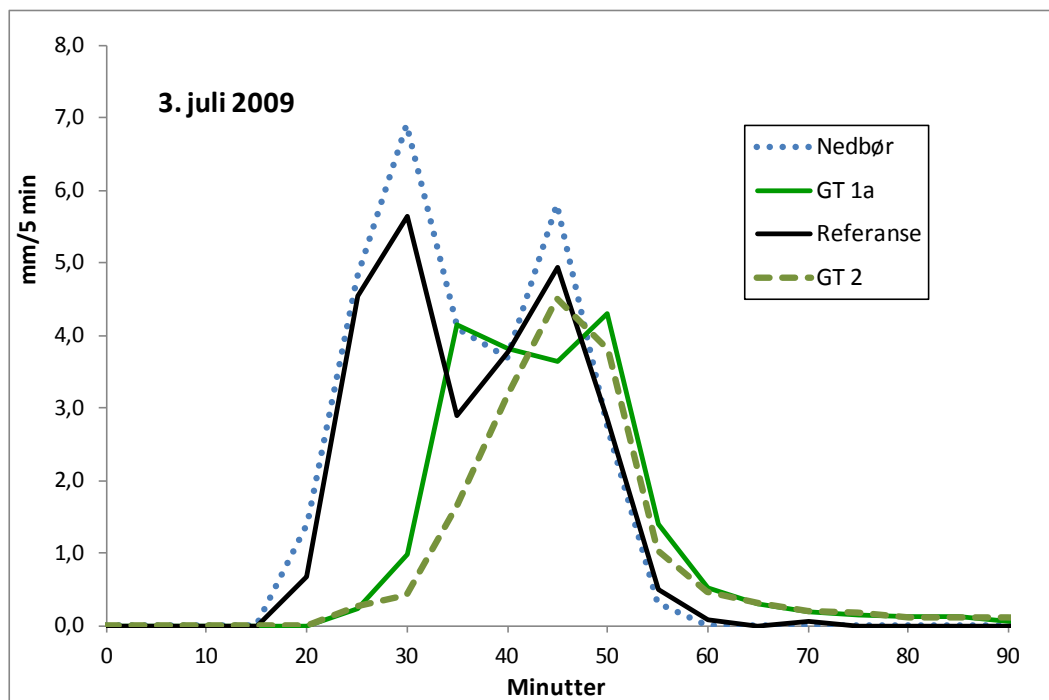
I kapitlene som følger vil vi gå inn i enkelte av de mest intense nedbør – avrenning situasjonene. Hendelsene presenteres for varigheter over 5, 10, 20, 30 og 60 minutter.

3.2 Et eksempel på ekstremnedbør

Få uker etter at L34b stod ferdig i juni 2009, kom et lokalt skybrudd 3. juli. I følge nedbørmåleren var det på 29,4 mm/30 min (totalt 29,7 mm på 35 min). Det tilsvarer 163 l/s og ha, og er et «40års regn» på Blindern, og mer enn ett «200 års regn» på Sandli i Bergen og Risvollan i Trondheim³.

Uka før hadde vært tørr og med lufttemperaturer på ca. 30 °C. Vekstmediet var fullstendig uttørket da uværet slo til. Figur 16 viser fordelingen av nedbør og avrenning over 90 minutter. Denne hendelsen gav 6,9 mm/5 min, 11,7 mm/10min, 20,5 mm/20min, 29,4 mm/30min og 29,7 mm/60 min, og er den eneste som rangerer blant de 2 høyeste observasjoner i alle tidsintervaller som ble undersøkt.

³ I følge www.eklima.no.



Figur 16. De grønne takene (GT1a og 2) gav en betydelig reduksjon i avrenningen etter det lokale ekstremregnet på 29 mm/30 min. Trolig skal avrenning fra referansen følge nedbørmåleren (se teksten). Nedbør – avrenning er gitt i tidssteg på 5 minutter.

Det tar noen minutter før avrenningen fra de grønne takene starter. Det skyldes at takene er uttørket.

Grønt tak 1, drenert, uten filt (GT1a): Ca 12 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake. Deretter når GT 1 sin første avrenningstopp (4,2 mm/5 min) ca 5 minutter etter maksimum nedbørintensitet (6,9 mm/5 min). Det er en demping av avrenningsintensiteten på 27 % i forhold til referansetaket og 40 % i forhold til nedbøren. GT 1a får sin andre avrenningstopp (4,3 mm/5min) ca 5 min etter nedbørens andre (5,8 mm/5 min). Det grønne taket er da gjennomvått, likevel dempes avrenningsintensiteten med 13 % i forhold til referansetaket og 38 % i forhold til nedbøren.

I løpet av de første 90 minuttene siden nedbøren startet, var avrenningen fra GT 1a 20,0 mm, mens avrenningen fra referansetaket var 26 mm. Det gir en tilbakeholding på 23 % over perioden. Tilbakeholdingen var 33 % av nedbøren som falt.

Nedbørintensiteter på 29,7 mm/35 min dempes med 33 %. Dette tilsvarer 40års nedbøren. Taket har holdt tilbake ca 10 mm nedbør.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Ca 14 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake. Deretter får GT2 sin avrenningstopp (4,5 mm/5 min) 15 minutter etter nedbørens. Dempingen er på 20 % i forhold til referansetaket og 35 % i forhold til nedbøren.

Avrenningen fra GT 2 var 16,4 mm de første 90 minutter. Det tilsvarer en tilbakeholding på 37 % sammenlignet med referansen. Tilbakeholdingen var 45 % i forhold til nedbøren.

Nedbørintensiteter på 29,7 mm/35 min dempes med 45 %. Taket har holdt tilbake ca 13 mm nedbør.

Referansetaket forstyrrer målingene ved styrtregn

Avrenning fra det sorte taket følger i hovedsak nedbørmåleren, men ligger ca 13 % under den totale avrenningen (26 mm). Dette er sannsynligvis en målefeil; styrtregent har trolig truffet det harde, sorte taket og sprutet noe av nedbøren over i de vegetasjonsdekkede rutene. I de fleste andre nedbørepisodene følger nedbør og avrenning fra referansen hverandre som hånd-i-hanske (se f.eks fig. 24, 29 og 22). Det mangler 3,7 mm fra referansen, sammenlignet med nedbørmåleren. Resultatet antyder at tilbakeholdingen i GT 1a og 2 er noe undervurdert, og at det er nedbørmåleren som er "referanse" i dette tilfellet.

Oppsummert: Ekstrem regn når takene var tørre

Sammenlignes avrenningen fra de to grønne takene (fig. 16), er det tydelig at GT 2 har best funksjon. Forsinkelsen i taket er 3 ganger så god som fra GT 1a. Når GT 1a har sin første avrenningstopp (4,2 mm/5 min), er avrenningen fra GT 2 betydelig lavere (1,7 mm/5min). 5 minutter etter nedbørmaksimum demper GT 1a avrenningen med 38 %, mens GT2 demper med 76 %. I utgangspunktet er sedumvegetasjon og vekstmedium likt. Forskjellen ligger i dreneringen; vannet skal enten gjennom drensssystemet i plast (GT 1a), eller tvinges til å følge filteroverflata gjennom vekstmediet, som gir en treg drenering (GT 2). Filt har i tillegg større kapasitet til å holde på vann enn dreneringssystemet (fig. 6).

Ofte beregnes nedbør som spesifikk avrenning (liter per sek. og hektar⁴). Tabell 3 angir de høyeste nedbørintensiteter fra fig. 16 med varigheter på 5-60 minutter. De grønne takenes dempingen av avrenningen for samme varighet, er gitt i prosent av nedbøren.

Tabell 3. Nedbørintensiteter med forskjellige varigheter gitt som spesifikk avrenning basert på resultatene i fig. 16. viser betydelig demping på de tørre sedumtakene GT 1a og 2.

Varighet (min)	Nedbør (l/s*ha)	GT 1a (%)	GT 2 (%)
5	230	38	35
10	195	32	29
20	171	22	36
30	156	35	48
60	83	33	46

Før vi ser på andre hendelser i 5-årsperioden, vil vi se nærmere på vannmengdene de to ekstensive taktypene kan holde.

⁴ 1 dekar (da) = 1000m². 1 hektar (ha) = 10 da. 1 km² = 100 ha.

3.3 Vannlagring på taket

3.3.1 Vannlagring i vekstmediumet

Vekstmediumet på sedummattene på ekstensive tak er ofte svært tynt. I L34b er det på 2,5-3 cm. Vannlagringsevnen er derfor ganske lav. I tabell 4 gjengis testingen av vanninnholdet i de to prøvemattene som er vist i fig. 13.

Tabell 4. Vekt av sedummatte med vekstmedium i tørr og våt tilstand.

Plate	Tørrvekt (kg/m ²)	"Feltkapasitet" (kg/m ²)	Vanninh. (mm)
A	19,2	32,8	13,6
B	18,5	32,9	14,4

Feltkapasitet er vanninnholdet jorda kan holde uten at vann tapes (drypper): Etter nedbør dreneres de store porene raskt pga. gravitasjonskrefter. Vannet som holdes igjen skyldes kapillarkrefter. I dette tilfellet ble vanninnholdet veid inn ca. ett minutt etter at sedumplaten ble tatt opp fra helt neddykket tilstand. Mye vann hadde rent av, men det er likevel mulig vanninnholdet er litt større enn den vanlige definisjonen av feltkapasitet. Jordfuktighetsmålerne viste ca 2,7 V (3,0 V er sensor i vann, se fig. 14). Det tilsvarer ca 40,1 % vanninnhold.

Plantene kan imidlertid ikke bruke alt vann i vekstmediumet. Noe vil være for sterkt bundet til jorda. Bengtson m.fl. (2005) fant at ekstensivt vekstmedium benyttet i Malmö hadde feltkapasitet på 40-50 % vann og visnegrense på 15 %. I praksis har planter ulik tørketoleranse (Nagase og Dunnett, 2010), men hvis visnegrensen også gjelder for vekstmediet i L34b, som har svensk opphav, vil ca 9 mm vann være plantetilgjengelig. Dette tilsvarer funnene gjort av Bengtson m.fl. (2005).

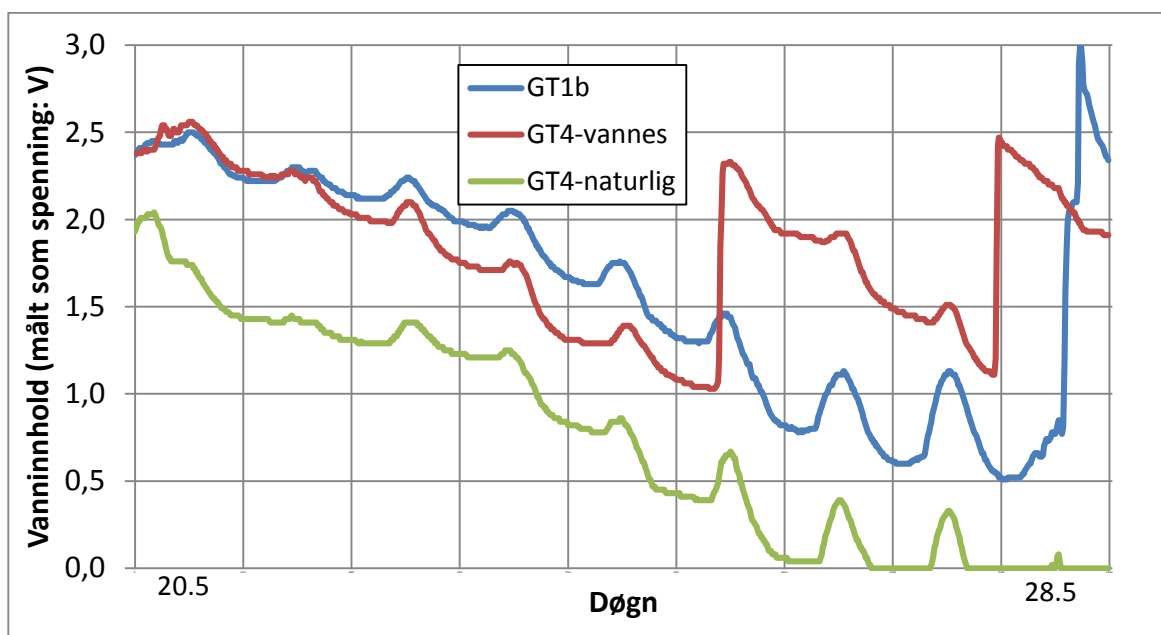
I tillegg kan det være ca 9 mm vann i filtmattene⁵ som ligger under sedummattene på GT1b og 2. I teorien skulle GT 1b og 2 kunne holde ca 23 mm nedbør hvis de er helt uttørket og filtmatten klarer å absorbere vannet raskt. For GT 1a, er tilbakeholdingen på tørt tak ca 14 mm.

I Øst-Norge kan den potensielle fordampingen være om lag 3 mm/døgn i juni og juli. (Braskerud, 1995 a) målte daglig evapotranspirasjon (fordamping fra vegetasjon og terreng) på 4-7 mm fra en konstruert våtmark de samme månedene. Evapotranspirasjonen økte med temperaturen. I begge tilfeller vil det gi en total opptørring av sedummatte på 2-4 dager. Hvor fort går imidlertid uttørringen i praksis?

Jordfuktighetssensorer var montert i de grønne takene (GT 1, 2 og Tak 4). Tak 4 (Vedlegg 5) består av 4 forskjellige oppbygninger. Vi vil fokusere på GT type 1a og b og 2, som både har sensorer på garasjetaket og på det mer soleksponerte Tak 4. Vi har grunn til å tro at de individuelle sensorene på Tak 4 ikke gir rett absolutt verdi; dvs. at fullstendig vannmettet tak gav 3V (se metodekapittelet). Vi mener imidlertid at de kan gi

⁵ Ifølge Veg Techs informasjonsmateriell: *Vegetasjonsteknik*, udatert, men fra ca 2013. VT-filt: tykkelse 10 mm, tetthet: 1280 g/m², vannholdene evne: 8 l/m² = 8 mm. Vi målte vannlagringen i lab til å være 8,9 mm (±0,5 mm st.avvik).

en indikasjon på uttørkingshastigheten. Figur 17 viser hvordan et vannmettet tak tørker ut i følge jordfuktighetssensorene. Resultatet dekker perioden 20.-28. mai 2012.



Figur 17. Jordfuktighet i sedumruter med samme oppbygning: GT 1b, og to ruter på Tak 4 (rute 141 og 151 i fig. 43). En av rutene på Tak 4 vannes etter behov.

Jordfuktigheten måles i V, og må transformeres via regresjonsligning i fig. 14 for å finne vanninnholdet i %. Når vekstmediet er helt vannmettet, er spenningen på 3 V, mens «visnegrensa» på ca 15 % vann, vil være ca 1,2 V.

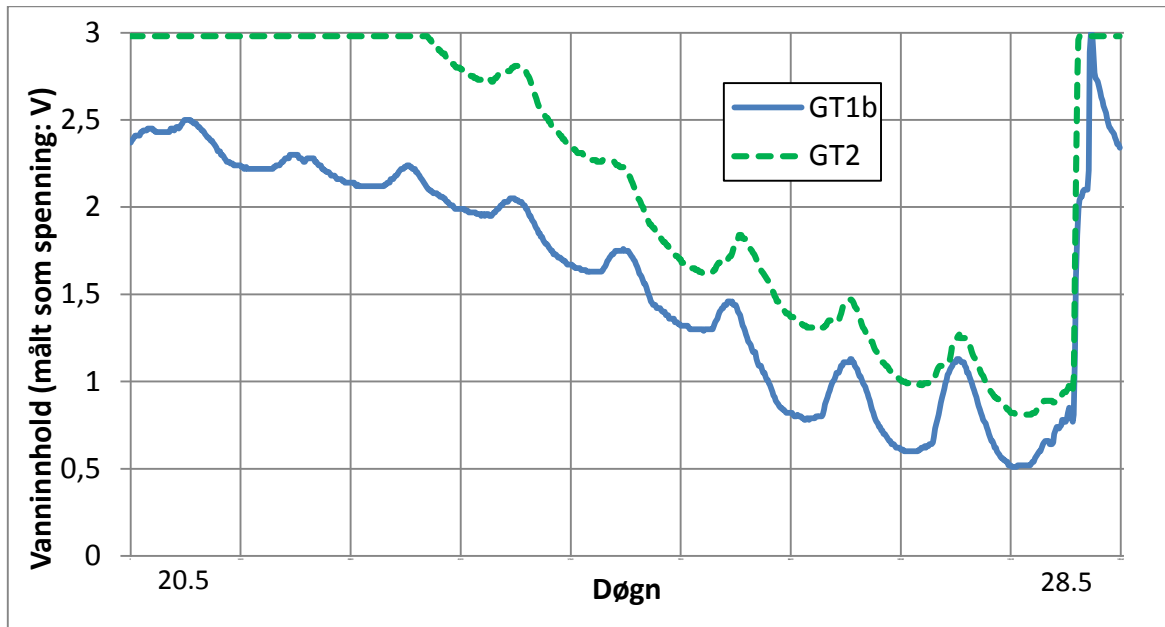
Jordfuktighetsmålerne ble montert våren 2011. I perioden mai-september, som ofte vil være vekstsesongen for planter i lavlandet på Østlandet, var vanninnholdet i vekstmediet under «visnegrensa» fra 2 til 9 ganger årlig i GT 1. Det ble tilsammen 16 ganger på 3,5 vekstsesonger. Varigheten av sterk tørke varierte fra 1-11 dager. For GT 2 ble det registrert 12 hendelser med sterk tørke. Sommeren 2013 varte tørken 11 sammenhengende dager. Da var det kun sedumartene som overlevde.

Hvor lang tid det tar før takene tørker ut, kan ha betydning for plantenes trivsel, og vil ha betydning for vannlagringskapasiteten ved neste regnskyll: Våte tak kan gi innvandring av uønskede arter, eller verste fall drukning av vegetasjonen. Våte tak vil i tillegg ha mindre porevolum for å magasinere ny nedbør.

3.3.2 Hastigheten på uttørking

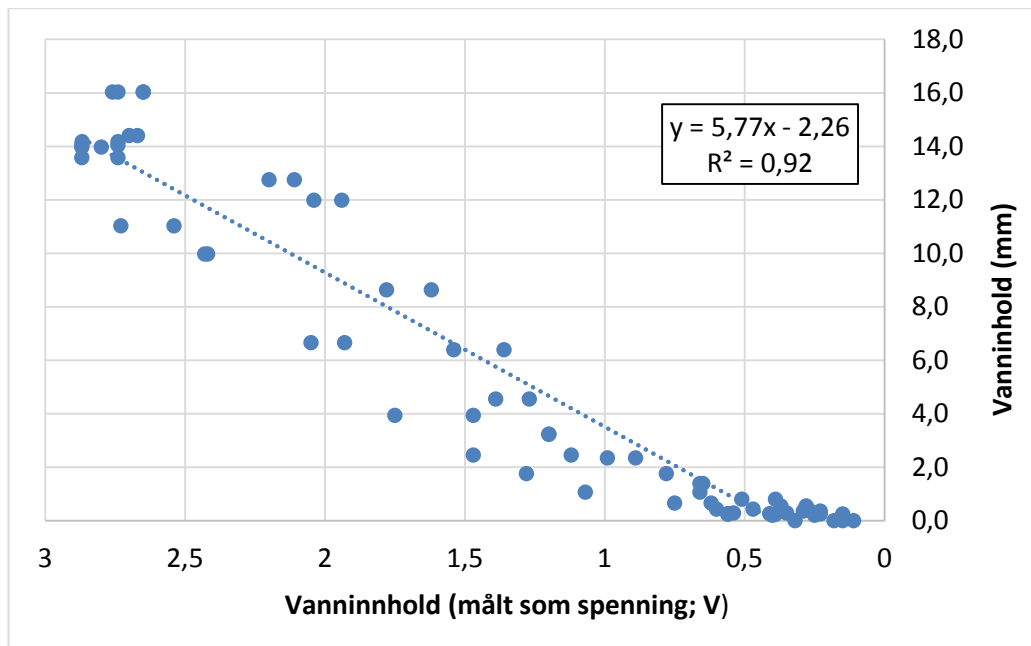
Uttørkingen vil avhenge av mengde faktorer: Vanninnholdet i vekstmediet, vekstmediets egenskaper (mineralsk materiale, porevolum, kornstørrelse og sortering, organisk innhold, mektighet/dybde/volum), type vegetasjon, oppbygning av taket (dremsmatte, filt med mer), takvinkel, årstid, lufttemperatur og vind, for å nevne de viktigste. I forsøket i L34b er vekstmedium og vegetasjon levert av samme leverandør og skulle i prinsippet være likt. Det samme gjelder takvinkel for GT 1 og 2, mens oppbygningen er noe

forskjellig (drenert/ikke drenert). Det kan trolig forklare forskjellen i vanntap fra GT 1b og GT 2 i figur 18. Lokalklimaet er relativt likt for GT 1 og 2, men for Tak 4 er soleksponeringen betydelig høyere.



Figur 18. Sammenligning av uttørking av grønt tak 1b og grønt tak 2, frem til vanning 28. mai 2012.

Vi vil undersøke vanntapet fra sedummattens overflate via registreringene gjort med Vegetronix jordfuktighetsmålerne (fig. 10). Vi har allerede påpekt at nøyaktigheten i disse sensorene ikke er den beste (de er beregnet for større jordmektigheter enn tynne sedumtak), men mener likevel at de kan gi nyttig informasjon. I figur 19 er spenningen instrumentene viste under kalibreringsforsøket i fig. 13 plottet mot vanninnholdet i sedummattene. Vanninnholdet er gitt i mm (tilsvarende sammenheng der vanninnholdet er gitt i % er vist i fig. 14).



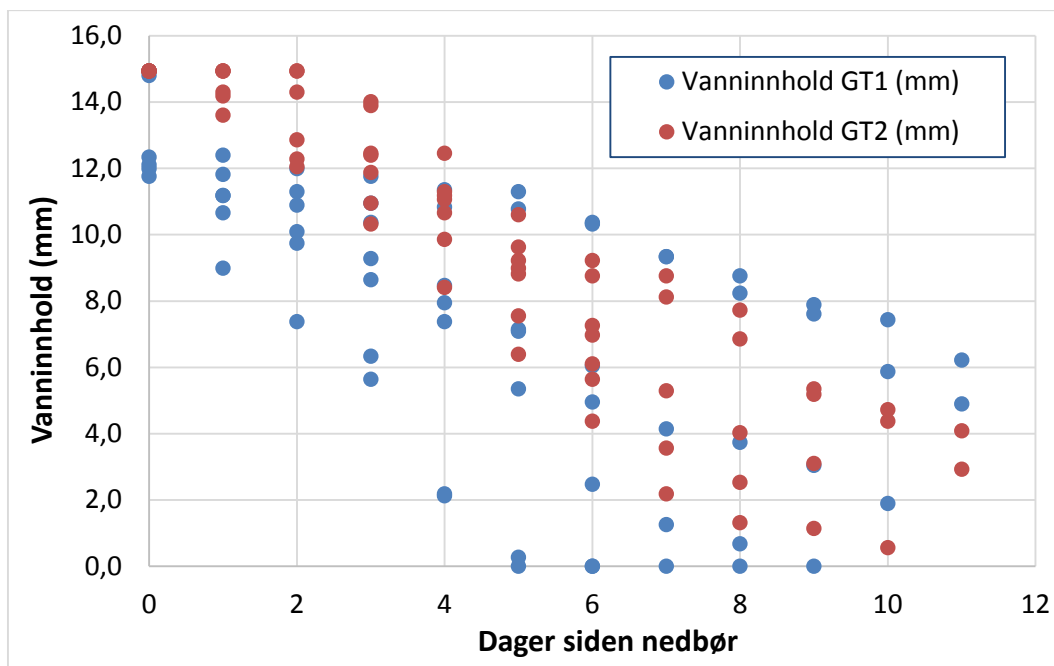
Figur 19. Sammenhengen mellom målt vanninnhold (V) og veid vanninnhold (mm) i sedummatte A og B (fig. 13).

Vanninnholdet i det grønne taket avtar med synkende spenning, og er 0 ved ca 0,4 V. Det er relativt stor spredning på observasjonene. 2 V har gitt fra 6,7-12 mm vanninnhold, mens tilpasningsfunksjonen angir 9,3 mm vanninnhold ved denne spenningen. Det var statistisk signifikant forskjell mellom vannlagringen i de to sedummattene A og B, som i utgangspunktet skulle være ganske like (fig. 13). Hvis sedummattene er heterogene gjør det beregningen av vanninnholdet i takene til en stor utfordring. Trolig er ulik monteringen av jordfuktighetsmålerne i de tynne mattene en viktigere årsak.

En parabelfunksjon⁶ ville gitt en noe bedre tilpassing for spenninger i området lavere enn ca 1,7 V, men tilpassingen vil bli dårligere i det fuktige området, som vi er mest interessert i mht. tilbakeholding av vann. Det var to sensorer i hver sedummatte, noe som ofte gav parvise punkter ved hverandre. Forskjellene på instrumentene kan ofte sees der vanninnholdet er likt, men spenningen forskjellig (se for eksempel på 2 V).

Vi har tatt observasjoner uten nedbør i over 6 døgn. Vi har 7 slike episoder i materialet. Av figurene 17 og 18 ser vi at registreringene endrer seg over døgnet, med en topp ca kl 12-13. Vi mistenker det å skyldes manglende temperaturkorreksjon i sensoren. Vi har av den grunn brukt observasjonene ved midnatt, konvertert til mm vanninnhold og funnet vanntap fra midnatt til midnatt (figur 20). Lufttemperaturen vil påvirke fordampingen.

⁶ $y = 1,125x^2 + 2,37x - 0,75$, der x er instrumentets spenning. y er vanninnholdet i mm. $R^2 = 0,94$



Figur 20. Uttøringshastigheter på to grønne tak i syv perioder uten nedbør.

For taket *uten* drenering (GT 2) var evapotranspirasjonen (fordamping fra planter og vekstmedium) i gjennomsnitt 1,3 mm/døgn (standard avvik $\pm 0,8$ mm). Ofte kunne det gå 1-3 døgn uten endring i vanninnhold, før instrumentet registrerte vanntap (se fig. 18 og 20). Det kan skyldes langsom vanntransport av fritt vann (ikke bundet til jorda) gjennom vekstmediumet i sedummattene og i filten under (se fig. 6). Jordfuktighetsmåleren er montert i takets nedre del og mottar derfor noe vann fra høyere liggende deler.

For taket *med* drenering (GT1b) var variasjonen i vanntap meget stor; taket kunne være knusktørt i løpet av 5 døgn, eller inneholde 6 mm vann etter 11 døgn (figur 20). I gjennomsnitt var evapotranspirasjonen 1,2 mm/døgn (standard avvik $\pm 1,1$ mm). Etter nedbørens slutt, vil vanninnholdet falle raskt til ca. 12 mm i løpet av det første døgnet. Det skyldes trolig drenering av fritt vann gjennom drenselementet i plast⁷. Starten på forløpet kan sees i figur 18, etter vanning 28. mai. Figur 20 viser den typiske fortsettelsen etter den raske dreneringen i fig. 18; vanninnholdet i GT 1b starter som oftest på 12 mm ved dag 0.

Lufttemperaturen påvirker uttøringshastigheten, men i dette tilfellet lite. For hver grads økning i døgnmiddel økte fordampingen med ca 0,05 mm/d, for temperaturer mellom 8-22°C. Sammenhengen var kun statistisk signifikant ($P = 0,01$) for vegetasjonen uten drenering (G 2), men sammenhengen; lufttemperatur – uttørking var svak (R^2 var kun 0,1).

⁷ I prinsippet skal drenselementet (Nophadrain ND 5+1) kunne samle ca 3 mm nedbør i plastkopper under filten (se fig. 6). I praksis skjer imidlertid ikke dette. Selv etter sterk vanning (mer enn 30 mm på 30 min) på GT1a og b, var koppene nesten tørre. Vannet ser ut til å foretrekke drenering ut av de perforerte hullene i platen, fremfor å fylle de små koppene.

Berretta m.fl. (2014) fant at vanntapet i vekstmediet i forsøktakene i Sheffield varierte med lufttemperaturen. I mars 2011 var den i snitt 0,76 til 0,81 mm/døgn, mens den var 1,39 til 1,83 mm/døgn i april.

Drenering frigjør plass til nytt vann raskt. Det har imidlertid vært sjelden at denne egenskapen har hatt betydning for tilbakeholdingen av nedbør (fig. 31).

Vedlegg 4 viser daglig fordamping for de 7 episodene som er samlet i fig. 20, i tillegg til regresjonslinjene for uttørking (fig. 41 og 42).

3.4 Detaljer rundt nedbør - avrenning om sommeren

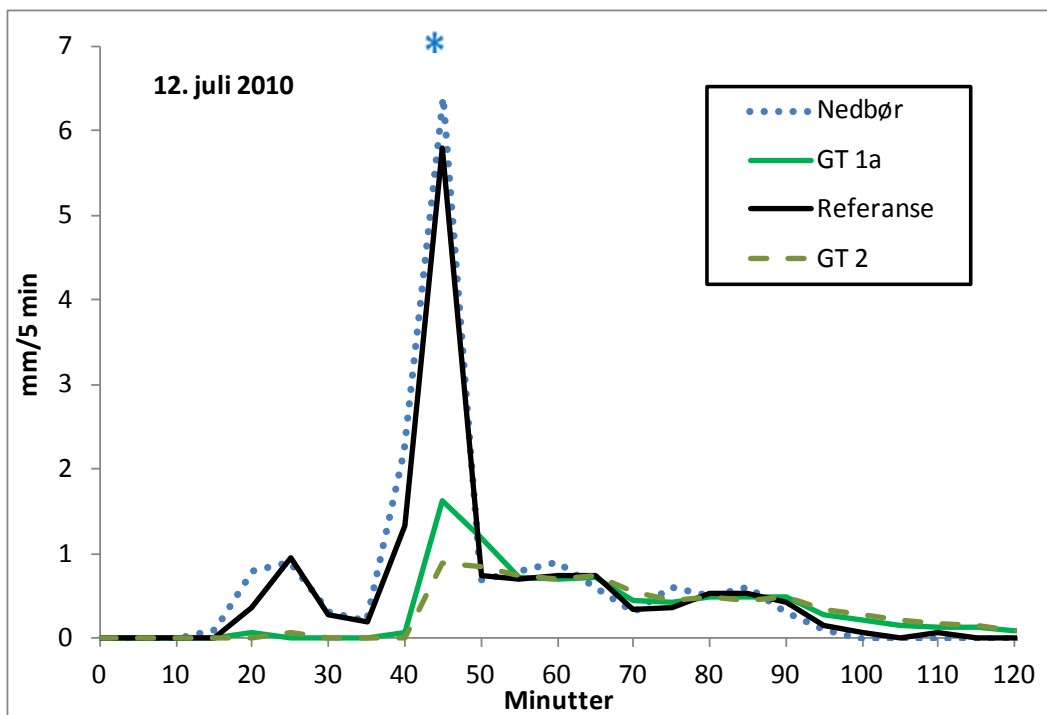
Sommeren er årstiden for de fleste og mest intense nedbørtilfellene i denne undersøkelsen (fig. 15). De 8 høyeste intensitetene med varighet 5 minutter skjedde i den varmeste årstiden.

3.4.1 Kort og intens nedbør på fuktig tak

Tabell 1 viser at ekstremepisoden i figur 16 har den høyeste 5-minutter intensiteten i observasjonsperioden. Det er imidlertid ikke tilfelle. 12. juli 2010 fra kl 23:35-23:39, ble det registrert 7,1 mm i nedbørmåleren. Det er tekniske årsaker til at denne hendelsen ikke ble registrert som mer enn 6,4 mm/5 min: Nedbørmåleren måler med intervaller på minutter, mens avrenningen fra takene måles i intervaller på 5 minutter. For å få samme nedbør og avrenning velges innsamlet nedbør i samme tidsrom som avrenning. Ett minuts forskyvning kan da få konsekvenser.

Dagen før falt det 8,2 mm nedbør i løpet av et par timer. Taket var derfor ikke tørt. Vi hadde ikke jordfuktighetsmålere til å registrere fuktighetsnivået, men antar at vekstmediet var fuktig, siden det var tap av vann fra begge de grønne takene etter regnet (0,8 og 0,2 mm fra henholdsvis GT 1a og GT 2). Siste avrenning fra GT 1a ble registrert 24 timer før nedbøren i fig. 21 inntraff.

Denne hendelsen gav også 8,6 mm/10 min, 10,1 mm/20 min, 11,6 mm/30 min og 14,7 mm/60 min.



Figur 21. Intens sommersnedbør på tak med vegetasjon (GT 1a og GT 2) og tak uten (referanse), viser at flomtoppdempingen kunne være fra 74 - 86 %. Maksimal nedbøravrenning ble målt til 7,1 mm/5 min (* se teksten).

Heller ikke registreringen av nedbøren 12. juli 2010 fulgte avrenningen fra det sorte taket (referansen) nøyaktig (jmf. ekstremepisoden i fig. 16). Forskjellen var 17 % (1,9 mm) for de første 40 minuttene. Vi oppgir derfor både tilbakeholdingen sammenlignet med referansetak og nedbørmåler.

Grønt tak 1, sterkt drenert, uten filt (GT 1a): Ca 8 mm av de første 11 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake. Deretter får GT 1a sin avrenningstopp (1,6 mm/5 min) samtidig som maksimum nedbørintensitet (6,4 mm/5 min) og avrenning fra referansetak. Det er en demping av avrenningsintensiteten på 72 % i forhold til referansetak og 74 % i forhold til nedbøren. Deretter følger avrenningsintensiteten fra GT 1a det sorte taket og nedbøren.

I løpet av de første 120 minuttene siden nedbøren startet, var avrenningen fra GT 1a 8,4 mm, mens avrenningen fra referansetak var 14,3 mm. Det gir en tilbakeholding på 41 % i forhold til referansetak. Tilbakeholdingen var 49 % av nedbøren som falt.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Ca 9 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake. GT2 har sin avrenningstopp (0,9 mm/5 min) samtidig med GT 1a og referansetak. Dempingen er på 85 % i forhold til referansetak og 86 % i forhold til nedbøren.

Avrenningen fra GT 2 var 7,7 mm de første 120 minutter. Det tilsvarer en tilbakeholding på 46 % sammenlignet med referansen. Tilbakeholdingen var 53 % i forhold til nedbørmåleren.

Oppsummert: Intenst kortvarig regn på fuktig tak

Det kortvarige regnet blir fullstendig håndtert av de to sedumtakene, selv om vekstmediet er fuktig (fig. 21). GT 1a har en noe lavere tilbakeholding enn GT 2, men

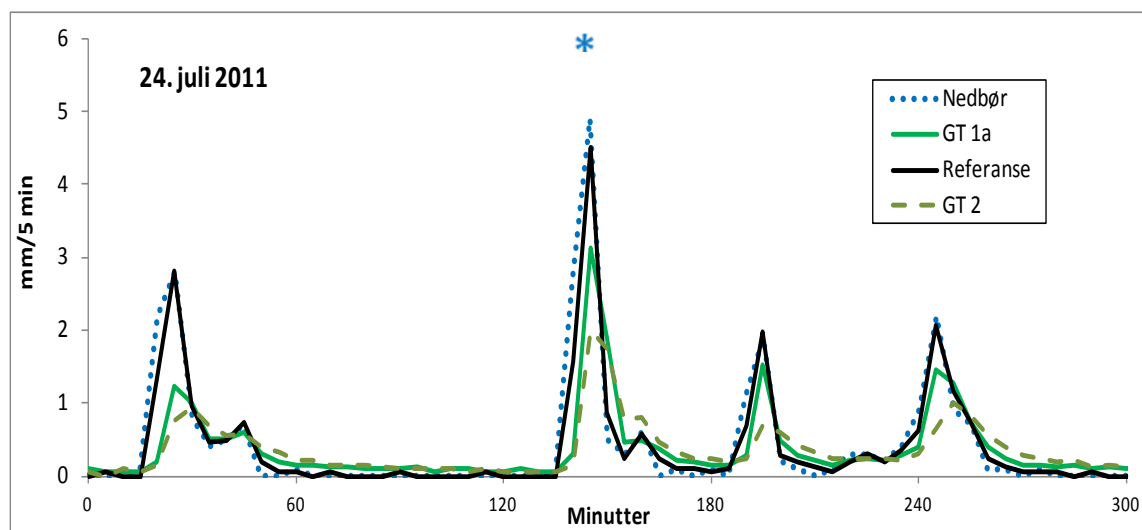
avrenningsintensiteten reduseres fra 213 l/s*ha (237 l/s*ha målt) til henholdsvis 55 og 30 l/s*ha per 5 min. Tabell 5 viser nedbør og fordrøyning på takene ved forskjellige varigheter.

Tabell 5. Nedbørintensiteter med forskjellige varigheter gitt som spesifikk avrenning basert på resultatene i fig. 21. viser betydelig demping på sedumtakene GT 1a og 2.

Varighet (min)	Nedbør (l/s*ha)	GT 1a (%)	GT 2 (%)
5	213	74	86
10	143	67	80
20	84	58	59
30	64	53	62
60	41	47	53

3.4.2 Kort og intens nedbør på vått tak

24. juli 2011 falt det 41 mm nedbør i L34b. Fig. 22 viser nedbørens fordeling fra kl 2 til 7. Det falt 24,6 mm i denne perioden. Etter ca 2,5 timer ble det registrert en nedbørintensitet på 6,2 mm/5 min. Av tekniske grunner, som er omtalt for fig. 21, blir denne intensiteten registrert som 4,9 mm/5 min i fig. 22. Denne hendelsen gav også 7,9 mm/10min.

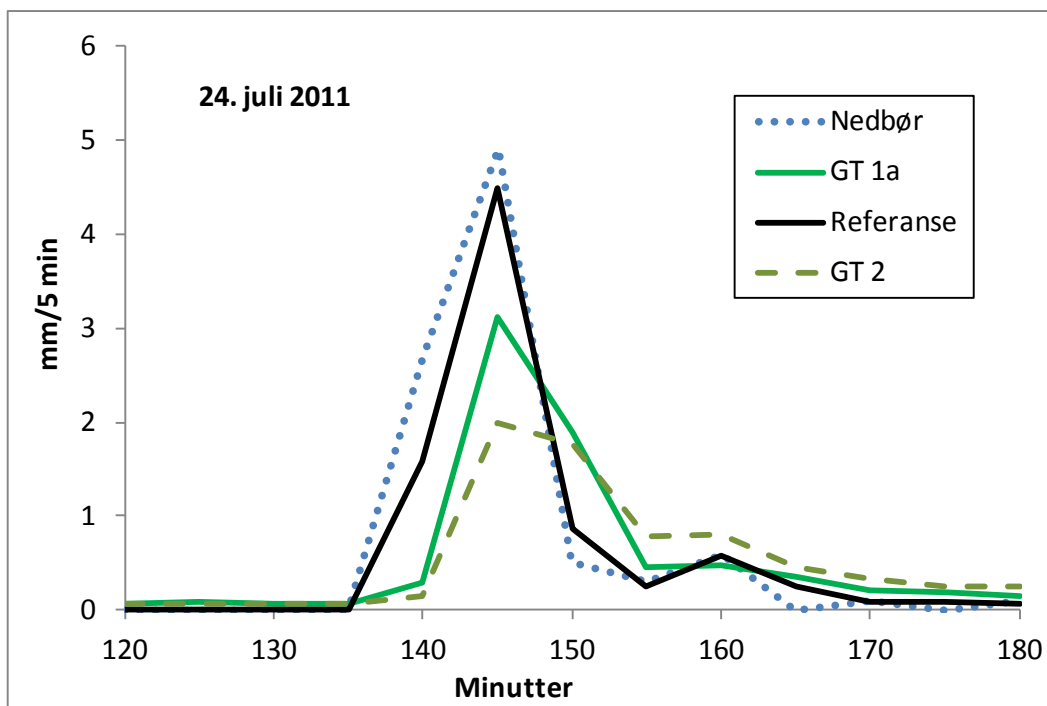


Figur 22. Våte grønne tak (G1a og GT2) har redusert kapasitet til å holde på vann, men kan likevel dempe intensiteten på avrenningen (fig. 23). Maksimal nedbøravrenning ble målt til 6,2 mm/5 min (* se teksten).

Tilbakeholdingen av nedbør fra GT 1a er 13 %, mens tilbakeholdingen fra GT2 er 16 %. Figur 23 gir et detaljert bilde av tilbakeholdingen ved den mest intense nedbøren. I løpet av de 60 minuttene figuren viser, falt det 9,2 mm nedbør.

Ved lavere nedbørintensiteter er avviket mellom nedbør målt i nedbørmåleren og på referansetaket liten. Avrenningen fra referansetaket er kun 4 % lavere enn det

nedbørmåleren har registrert for tidsrommet i fig 22. For den mest intense perioden derimot var avviket 10 % (0,9 mm).



Figur 23. Detalj av fig. 22. Intens sommernedbør på vått tak med vegetasjon (GT 1a og GT2) og tak uten (referanse) viser at vegetasjonen kunne dempe flomtoppen med 36 - 59 %.

Grønt tak 1, sterkt drenert, uten filt (GT 1a): Ca 3 mm av de første 8 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake. GT 1 sin avrenningstopp (3,1 mm/5 min) samtidig som maksimum nedbørintensitet (4,9 mm/5 min) og avrenning fra referansetaket. Det er en demping av avrenningsintensiteten på 31 % i forhold til referansetaket og 36 % i forhold til nedbøren.

Fra GT 1a var avrenningen 7,4 mm i løpet av tiden i fig. 23, mens avrenningen fra referansetaket var 8,3 mm. Det gir en tilbakeholding på 10 % over perioden. Tilbakeholdingen var 19 % av nedbøren som falt.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Ca 4 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake. GT 2 har sin avrenningstopp (0,9 mm/5 min) samtidig med GT 1a og referansetaket. Dempingen er på 56 % i forhold til referansetaket og 59 % i forhold til nedbøren.

Avrenningen fra GT 2 var 7,0 mm i fig. 23. Det tilsvarer en tilbakeholding på 16 % sammenlignet med referansen. Tilbakeholdingen var 24 % i forhold til nedbørmåleren.

Oppsummert: Intenst kortvarig regn på vått tak

Det kortvarige regnet blir dempet i betydelig grad av de to sedumtakene, på tross av gjennombløtt vekstmedium (fig. 22 og 23). GT 1a har en noe lavere tilbakeholding enn GT 2, men avrenningsintensiteten reduseres fra 163 l/s*ha (207 l/s*ha målt) til henholdsvis 104 og 67 l/s*ha per 5 min. Den totale tilbakeholdingen av vann over tid /

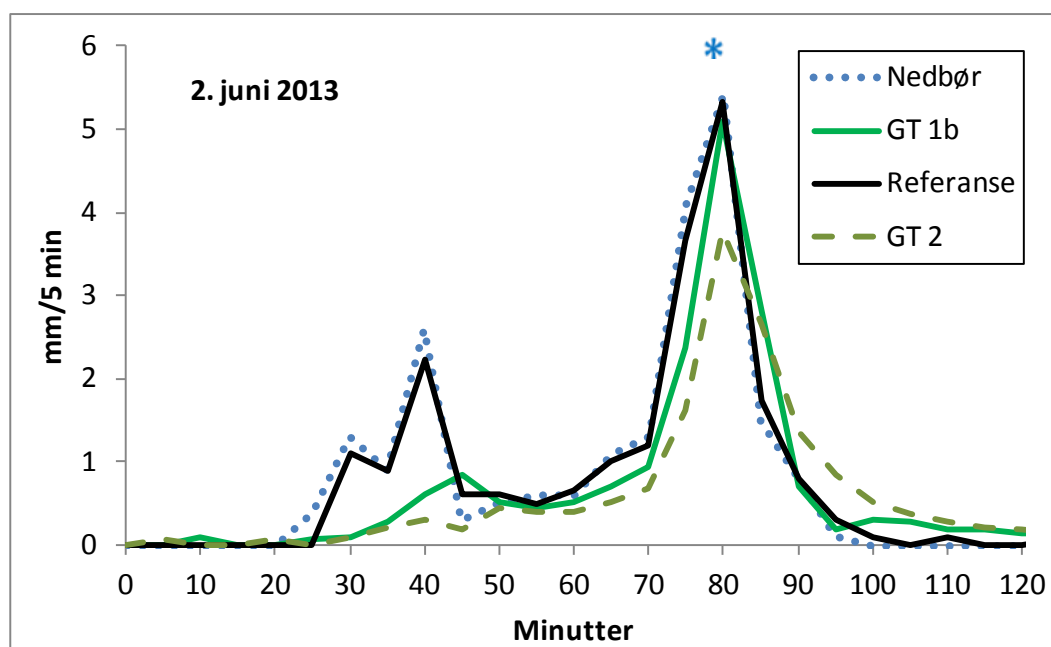
volum reduksjonen er imidlertid mye mindre enn for et tørrere tak. Tabell 6 viser nedbørintensiteter ved andre varigheter og oppsummerer fordrøyningen fra takene.

Tabell 6. Nedbørintensiteter med forskjellige varigheter gitt som spesifikk avrenning basert på resultatene i fig. 23 viser betydelig demping på de våte sedumtakene GT 1a og 2.

Varighet (min)	Nedbør (l/s*ha)	GT 1a (%)	GT 2 (%)
5	163	36	59
10	127	34	51
20	70	29	36
30	50	26	32
60	34	24	32

3.4.3 Intenst regn over lengre tid

2. juni 2013 falt det 36 mm nedbør i L34b. Fig. 22 viser nedbørens fordeling fra kl 10 til 12. Det falt 21,5 mm i denne perioden. Fire timer tidlige hadde det falt 10 mm regn med lav intensitet, så taket var gjennombløtt (ca 40 % vanninnhold etter fuktighetsmålerne; Fig 14). Etter ca 80 min i fig. 24, ble det registrert en nedbørintensitet på 6,0 mm/5 min. Av tekniske grunner, som er omtalt for fig. 21, blir denne intensiteten registrert som 5,4 mm/5 min i fig. 24. Denne hendelsen gav også 9,6 mm/10min, 12,5 mm/20min, 14,2 mm/30min og 20,4 mm/60 min, og er rangert blant de 3-4 høyeste observasjonene i alle tidsintervaller i undersøkelsen. De fleste nedbørintensitetene har gjentaksintervall på 2-5 år på Blindern i Oslo.



Figur 24. Intenst regn etter nedbør som har fylt opp porevolumet i vekstmediet på de vegetasjonsdekkede takene GT 1b og GT 2. Flomtoppdempingen ble henholdsvis 6 og 30 %. Maksimal nedbøravrenning ble målt til 6,0 mm/5 min (* se teksten).

I denne episoden fulgte avrenning fra nedbørmåler og det sorte taket (referansen) hverandre godt. Avviket var under 3 %, eller 0,6 mm. Vi oppgir derfor kun tilbakeholdingen sammenlignet med nedbørmåler.

Grønt tak 1, drenert, med filt (GT 1b): Taket har to avrenningstopper; den andre er størst (5,1 mm/5 min) og samtidig som maksimum nedbørintensitet (5,4 mm/5 min) og avrenning fra referansetaket (5,3 mm/5 min). Det er en demping av avrenningsintensiteten på kun 6 % i forhold til nedbøren.

Ca 6 mm av de første 19 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake, seinere frigjøres noe slik at den samlede avrenning fra GT1b var 17,3 mm. I løpet av de 120 minuttene som vises i fig. 24, var tilbakeholdingen på 19 %.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Taket har en avrenningstopp (3,8 mm/5 min) samtidig med GT 1b og referansetaket. Dempingen er på 30 % i forhold til nedbøren.

Ca 10 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake. Seinere frigjøres noe, slik at den samlede avrenning fra GT2 var 15,2 mm i perioden som vises i fig. 24. Det tilsvarer en tilbakeholdning på 29 % sammenlignet med nedbørmåleren.

Oppsummert: Intenst langvarig regn på vått tak

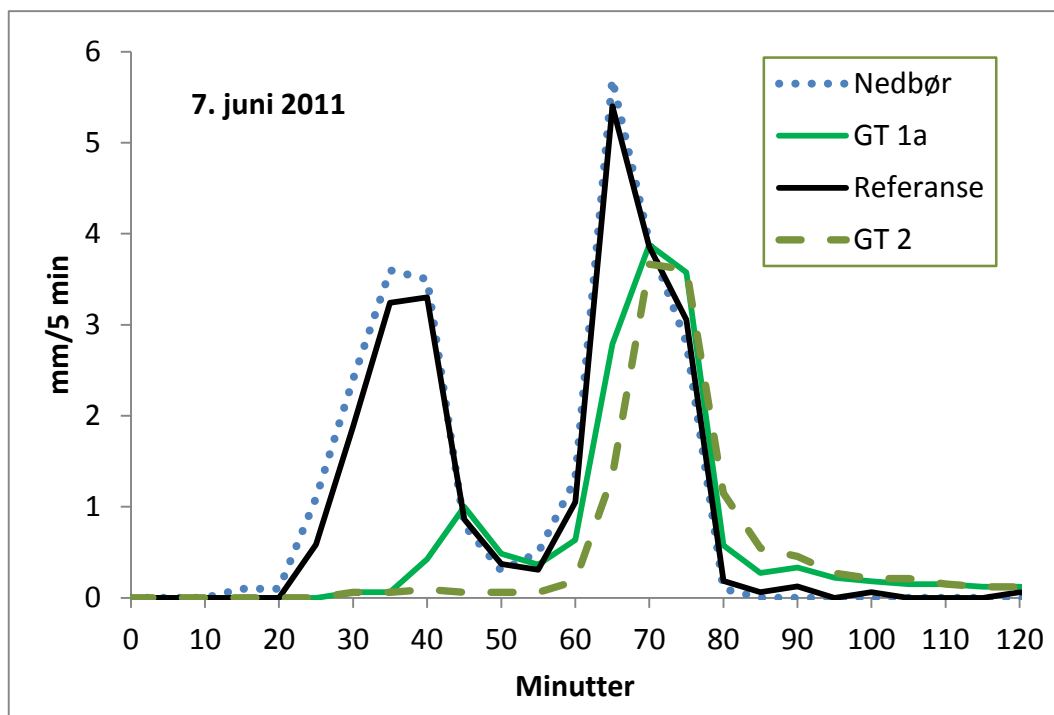
Regnet dempes svært ulikt på de to sedumtakene. I begge tilfeller er vekstmediet gjennombløtt. Det er mulig vannet presses lettere i gjennom filten under GT 1b, siden denne ruta har drenering. GT 2 har imidlertid hatt en god flomdempende evne til tross for våt initialtilstand. Avrenningsintensiteten reduseres fra 180 l/s*ha (200 l/s*ha målt) til henholdsvis 170 og 126 l/s*ha per 5 min. Den totale tilbakeholdingen av vann over tid er imidlertid mye mindre enn for et tørrere tak (tabell 7).

Tabell 7. Nedbørintensiteter med forskjellige varigheter gitt som spesifikk avrenning basert på resultatene i fig. 16. viser betydelig demping på de tørre sedumtakene GT 1b og 2.

Varighet (min)	Nedbør (l/s*ha)	GT 1b (%)	GT 2 (%)
5	180	6	30
10	158	17	32
20	103	9	23
30	79	11	23
60	56	22	33

3.4.4 Intenst regn på tak som er tørt/fuktig og vått

Det hadde ikke regnet siden 31. mai, og takene var tørre. Under 2 mm nedbør falt 6. juni, og økte fuktigheten i vekstmediet til ca 15 % vanninnhold. Takene var derfor relativt tørre da til sammen 26,2 mm falt i løpet av 65 minutter (figur 25). Nedbøren gav 5,7 mm/5 min, og er rangert som den 5. høyeste for denne intensiteten i løpet av undersøkelsen. Denne hendelsen gav også 10,7 mm/10min, 13,9 mm/20min, 14,6 mm/30min og 26,1 mm/60 min. For disse intensitetene er hendelsen rangert som den nest mest intense i undersøkelsen.



Figur 25. Nedbør og avrenning på tak med ca 15 % vanninnhold i vekstmediet. Første del av nedbøren holdes nesten helt tilbake. Selv om taket blir vått dempes den mest intense nedbøren av de grønne takene med 32 og 36 % for henholdsvis GT 1a og GT 2.

Grønt tak 1, sterkt drenert, uten filt (GT 1a): Nedbøren kom i to puljer, men uten avbrudd. GT 1a har også to avrenningstopper, men den første er beskjeden. Den andre er størst (3,9 mm/5 min) og er 5 min. forsinket sammenlignet med maksimum nedbørintensitet (5,7 mm/5 min). Det er en demping av avrenningsintensiteten på 32 % i forhold til nedbøren.

Ca 10 mm av de første 12 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake i den første bølgen med nedbør hvor taket var relativt tørt (til 55 min i fig. 25). Tilbakeholdingen fortsetter selv om taket er vått, men i mindre grad (14 mm av totalt 23 mm etter 70 min). Seinere frigjøres noe slik at den samlede avrenning fra GT 1a var 15,4 mm i løpet av de 120 minuttene som vises i fig. 25. Den totale tilbakeholdingen i samme tidsrom var 41 %.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Taket har en avrenningstopp (3,7 mm/5 min) samtidig med GT 1b, men etter nedbørmaksimum. Dempingen er på 36 % i forhold til nedbøren.

Så lenge taket er tørt, holdes nesten alt vann tilbake i den første bølgen med regn (12 mm til 55 min i fig. 25). Tilbakeholdingen fortsetter selv om taket er vått, men i mindre grad (18 mm av totalt 23 mm etter 70 min). Seinere frigjøres noe slik at den samlede avrenning fra GT 2 var 12,4 mm i løpet av de 120 minuttene som vises i fig. 25. Det tilsvarer en tilbakeholding på 53 % sammenlignet med nedbørmåleren.

Oppsummert: Intenst regn på relativt tørt tak som blir vått

Regnet dempes godt på begge sedumtakene. I tørr tilstand fanges en betydelig mengde vann opp i begge løsninger. Det er mulig vannet presses lettere i gjennom vekstmediet i GT 1a, siden denne ruta er drenert. GT 2 har hatt en bedre flomdempende effekt enn

GT1a. Virkningen har vart langt inn i den andre regnbygen, til tross for at taket er blitt vått. Avrenningsintensiteten reduseres fra 190 l/s*ha til henholdsvis 129 og 122 l/s*ha per 5 min. Tabell 8 gir en oversikt over andre varigheter. Merk at den lengste varigheten har gitt best fordrøyning, fordi den første delen av episoden hvor taket var relativt tørt er inkludert.

Tabell 8. Nedbørintensiteter med forskjellige varigheter gitt som spesifikk avrenning basert på resultatene i fig. 25. viser betydelig demping på sedumtakene GT 1a og 2.

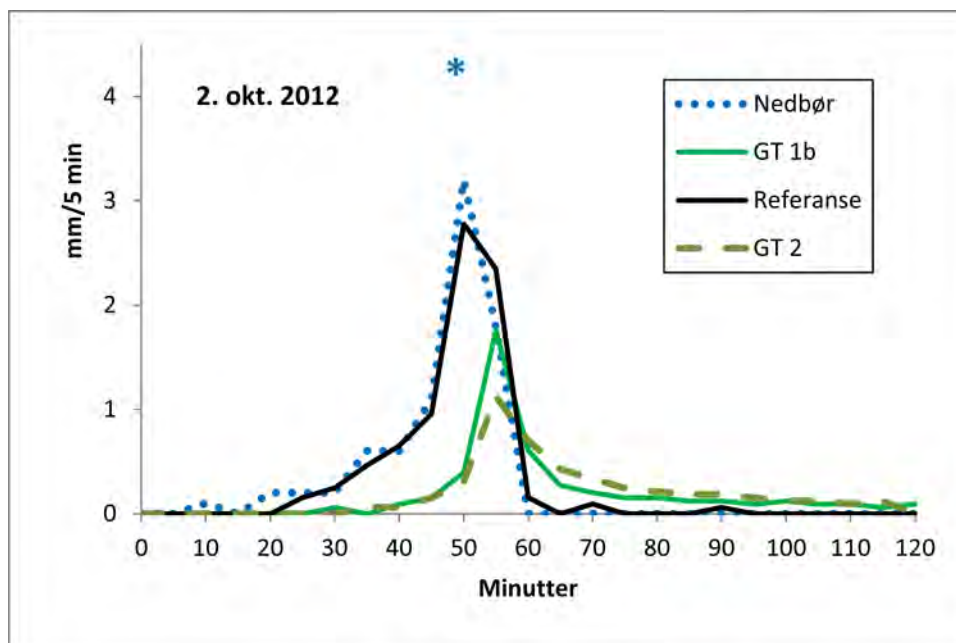
Varighet (min)	Nedbør (l/s*ha)	GT 1a (%)	GT 2 (%)
5	190	32	36
10	160	22	24
20	114	21	29
30	81	18	26
60	72	44	54

3.5 Detaljer rundt nedbør - avrenning om høsten

Av de 60 mest intense nedbørhendelsene over 5 minutter, var den 9. og 10. om høsten. Begge blir presentert her. Den tredje mest intense høstnedbøren kom som nummer 16.

3.5.1 Intenst, kortvarig regn på vått tak

2. oktober 2012 falt det 8,5 mm nedbør i L34b. Fig. 26 viser nedbørens fordeling fra kl 10 til 12. Det falt 8,0 mm i denne perioden. To døgn tidligere hadde det falt 11 mm regn, tilstrekkelig til at taket var gjennombløtt (ca 40 % vanninnhold etter fuktighetsmålerne; Fig 14). Etter 50 min i fig. 26, ble det registrert en nedbørintensitet på 4,3 mm/5 min. Av tekniske grunner, som er omtalt for fig. 21, blir denne intensiteten registrert som 3,2 mm/5 min i fig. 26. Denne hendelsen gav også 5,5 mm/10 min, 6,9 mm/20min, 7,6 mm/30 min og 8,0 mm/60 min, og er rangert blant de 9-35 høyeste observasjonene i alle tidsintervaller i undersøkelsen. Nedbørintensitetene har gjentaksintervall på under 2 år på Blindern i Oslo.



Figur 26. Intenst regn på vått tak som har fylt opp porevolumet i vekstmediet på de vegetasjonsdekkede takene GT 1b og GT 2. Flomtoppdempingen ble henholdsvis 45 og 65 %. Maksimal nedbør ble målt til 4,3 mm/5 min (* se teksten).

I denne episoden fulgte avrenning fra nedbørmåler og det sorte taket (referansen) hverandre godt over de 2 timene som vises i figur 26. Avviket var ca 1 %, eller 0,1 mm. Vi oppgir derfor kun tilbakeholdingen sammenlignet med nedbørmåler, selv om intensiteten var noe lavere fra taket uten vegetasjon enn nedbørmåleren.

Grønt tak 1, drenert, med filt (GT 1b): Taket har en avrenningstopp (1,8 mm/5 min), 5 minutter etter maksimum nedbørintensitet (3,2 mm/5 min) og avrenning fra referansetaket (2,8 mm/5 min). Det er en demping av avrenningsintensiteten på 45 % i forhold til nedbøren.

Ca 5 mm av de første 8 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake, seinere frigjøres noe slik at den samlede avrenning fra GT 1b var 4,6 mm. I løpet av de 120 minuttene som vises i fig. 26, var tilbakeholdingen på 42 %.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Taket har en avrenningstopp (1,1 mm/5 min) samtidig med GT 1b. Dempingen er på 65 % i forhold til nedbøren.

Ca 6 mm av nedbøren holdes umiddelbart tilbake. Seinere frigjøres noe, slik at den samlede avrenning fra GT 2 var 4,6 mm i perioden som vises i fig. 26. Tilbakeholdingen tilsvarte mao. GT 1b (42 %).

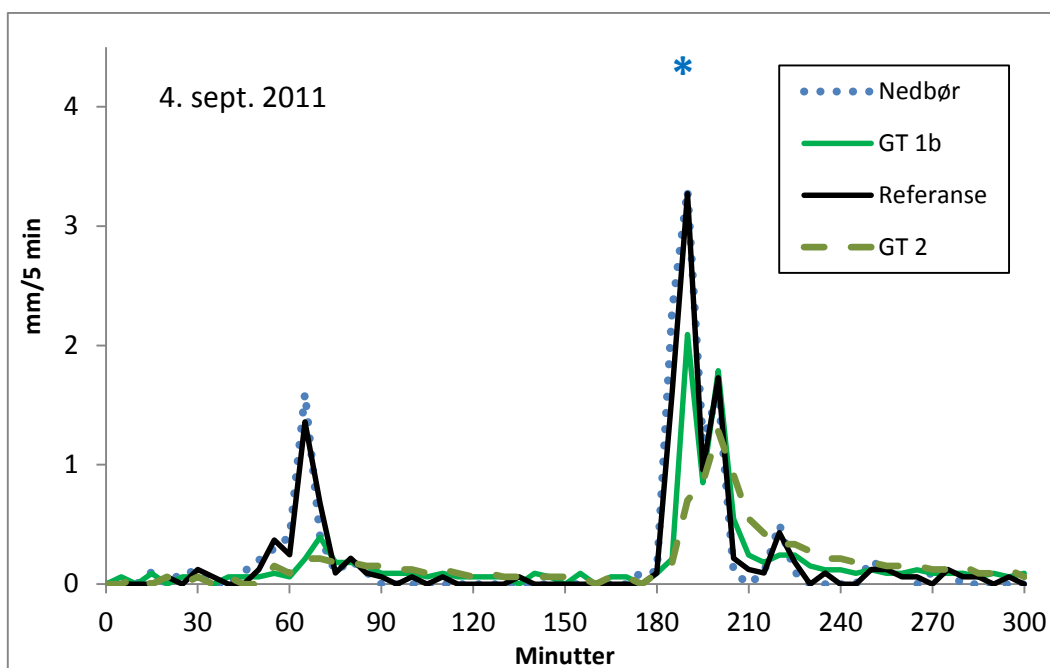
Oppsummert: Intenst, kortvarig regn på vått tak

Regnet dempes noe ulikt på de to sedumtakene. I begge tilfeller er vekstmediet gjennombløtt. Det er mulig vannet presses lettere i gjennom filten under GT 1b, siden denne ruta har drenering. GT 2 har imidlertid hatt en god flomdempende evne til tross for våt initialtilstand. Avrenningsintensiteten reduseres fra 107 l/s*ha (143 l/s*ha målt) til henholdsvis 59 og 38 l/s*ha per 5 min. For kortvarige regn holder de grønne takene nedbøren godt tilbake, selv om taket er vannmettet.

3.5.2 Regn over lengre tid

4. september 2011 falt det 30 mm nedbør i L34b. Nedbøren falt det meste av døgnet. Fig. 27 viser nedbørens fordeling fra kl 14 til 19. Det falt 13,7 mm i denne perioden. Fra midnatt hadde det falt 7 mm regn med lav intensitet, så taket var gjennombløtt (ca 40 % vanninnhold), selv om fuktighetsmålerne antydte at GT 1b trolig hadde litt mindre vann enn GT 2.

Etter ca 190 min i fig. 27, ble det registrert en nedbørintensitet på 4,2 mm/5 min. Av tekniske grunner, som er omtalt for fig. 21, blir denne intensiteten registrert som 3,3 mm/5 min i fig. 26. Denne hendelsen gav også 5,6 mm/10 min, 8,4 mm/20 min, 8,7 mm/30 min og 9,4 mm/60 min, og er rangert blant de 10-22 høyeste observasjonene i alle tidsintervaller i undersøkelsen. De fleste nedbørintensitetene har gjentaksintervall under 2 år på Blindern i Oslo.



Figur 27. Regn etter nedbør som har fylt opp porevolumet i vekstmediumet på de vegetasjonsdekkede takene GT 1b og GT 2. Flomtoppdempingen ble henholdsvis 37 og 61 % på den mest intense hendelsen. Maksimal nedbøravrenning ble målt til 4,2 mm/5 min (* se teksten).

I denne episoden fulgte avrenning fra nedbørmåler og det sorte taket (referansen) hverandre godt. Avviket var på 0,6 mm. Vi oppgir derfor kun tilbakeholdingen sammenlignet med nedbørmåler.

Grønt tak 1, drenert, med filt (GT1b): Taket har to avrenningstopper; den andre er størst (2,1 mm/5 min) og samtidig som maksimum nedbørintensitet (3,3 mm/5 min) og avrenning fra referansetak (3,3 mm/5 min). Det er en demping av avrenningsintensiteten på 11 %.

Ca 5 mm av de første 11 mm av nedbøren fram til 195 minutter holdes tilbake. Seinere frigjøres noe slik at den samlede avrenning fra GT 1b var 10,7 mm. I løpet av de 5 timene som vises i fig. 27, var tilbakeholdingen på 22 %.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Taket har en avrenningstopp (1,3 mm/5 min) 10 minutter etter GT 1b og referansetaket. Dempingen er på 61 %. Avrenningsintensiteten fra GT 2 ligger som oftest under avrenningen fra GT1b fram til 210 minutter.

Ca 6 mm av nedbøren holdes tilbake fram til 205 minutter. Deretter frigjøres mer fra GT2 enn fra GT 1b. Den samlede avrenning fra GT 2 var det samme som fra GT 1b, så tilbakeholdingen for tidsrommet i fig. 27 ble også lik (henholdsvis 10,7 mm og 22 %).

Oppsummert: Langvarig regn på vått tak

Regnet dempes relativt ulikt på de to sedumtakene. I begge tilfeller er vekstmediet gjennombløtt. GT 2 har hatt en god flomdempende evne ved de korte styrtregnepisodene til tross for våt initialtilstand. Treg avrenning gjennom vekstmedium og filt kan ha virket dempende, sammenlignet med dreneringen i GT 1b. Avrenningsintensiteten reduseres fra 110 l/s*ha (140 l/s*ha målt) til henholdsvis 70 og 43 l/s*ha per 5 min.

3.6 Detaljer rundt nedbør - avrenning om vinteren

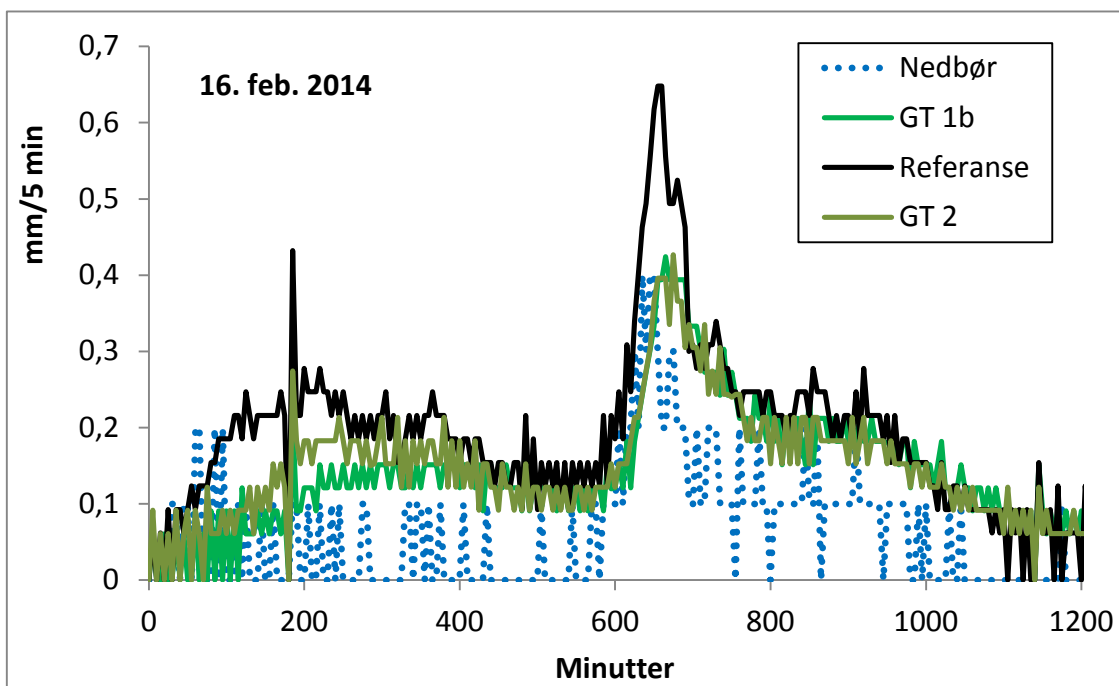
Om vinteren er *avrenningen* fra referansetaket, uten vegetasjon eneste brukbare sammenligningsgrunnlag, siden det er kombinasjonen snøsmelting og regn som kan gi den største avrenningen. Det var kun ett tilfelle som kom blant de 60 mest intense avrenningsepisodene om vinteren, som inkluderte snøsmelting og regn. Den andre episoden vi viser var regn på snøfritt tak.

3.6.1 Avrenning etter nedbør på snø

Undersøkelsen omfatter 5 vintersesonger (desember-februar). De 4 første åra var vinteren relativt stabil; snøen kom og ble liggende til den forsvant i første halvdel av april (2/4, 9/4, 17/4 og 16/4). Snødybden på referansetaket varierte fra et minimum på 30 cm vinteren 2009/10, til et maksimum på 54 cm året etter.

Vinteren 2013/14 skilte seg ut; 5. mars forsvant den siste snøen på referansetaket. De fleste dagene i januar og februar var overskyet. Februar slo nedbørrekordene i Oslo på alle målestasjoner (130 mm på Blindern). På L34b ble det målt 136 mm, mens det de andre åren hadde falt 10, 59, 21 og 19 mm. Ofte falt nedbøren som regn/yr. Figur 28 viser den høyeste avrenning som ble målt fra forsøksanlegget mens det var snø på taket. I løpet av tidspennet figuren viser ble snødekket redusert fra 15 til 7 cm.

Denne hendelsen gav 6,5 mm avrenning fra referansen på 60 min, og ble rangert som nummer 50 blant de 60 episodene med mest intens *avrenning* for dette tidsintervallet (fig 15). Episoden var ikke inkludert blant de 60 mest intense ved kortere tidsintervaller.



Figur 28. Yr/regn på tak med 15 til 7 cm snødekke og lufttemperatur på 2 °C. Kombinasjonen snøsmelting og regn gir høyere avrenning fra tak uten vegetasjon (referanse) enn kun nedbør. De grønne takene (GT 1b og GT 2) er vannmettet, men demper likevel avrenningsintensiteten med ca 34 %.

Avrenningsforløp: Nedbøren kom som lett regn/yr. Umiddelbart før fig. 28 var temperaturen negativ og nedbøren falt som snø/sludd. Lufttemperaturen i fig. 28 lå stabilt på 2 °C. Temperaturen under takene (fig. 9) var kjøligere og hold seg ofte i nær +0 °C.

Avrenning fra referansen øker raskest, etterfulgt av GT 2 (ikke drenert), men etter 3-4 timer følger avrenningen fra begge de grønne takene hverandre. Når nedbørintensiteten øker, øker også avrenningen fra takene, og avrenning fra det sorte taket kulminerer på 0,65 mm/5 min. Ca 10 min seinere nås avrenningstoppen på GT 1b og 20 min seinere toppen på GT 2 (henholdsvis 0,42 og 0,43 mm/5 min). Avrenningsintensiteten fra de snødekkede, sedumtakene var om lag den samme som nedbøren. Dempingen av avrennings intensiteten ble henholdsvis 35 og 34 % sammenlignet med referansen.

Figur 28 viser nedbør og avrenning over 20 timer. Det faller til sammen 15,3 mm nedbør, men det renner av 46,3 mm fra referansen og henholdsvis 34,9 og 36,2 mm fra GT 1b og GT 2. Tilbakeholdingen blir 25 og 22 % sammenlignet med referansen.

For ”ekstremmånen” februar 2014, var den totale avrenningen fra referansetaket 222 mm, mens den var 17 og 22 % lavere fra henholdsvis GT 1b og GT 2. En noe høyere avrenning fra GT 1b kan skyldes at snømengden er noe høyere på denne ruta pga. vindforflytninger av snøen (eks. fig. 11).

Oppsummert: snøsmelting og regnedbør

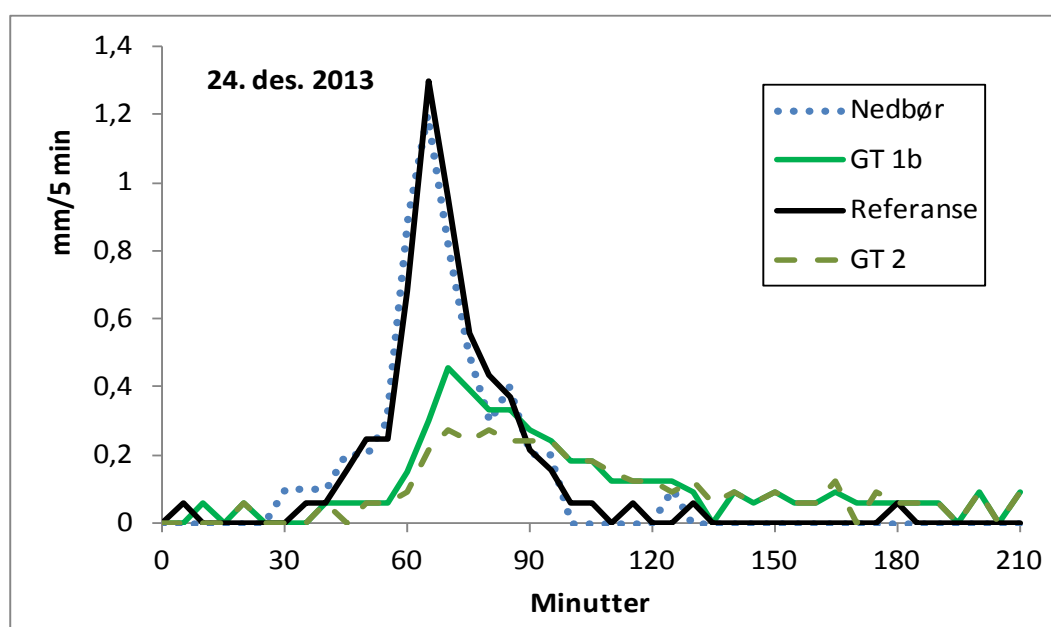
Sammenlignet med referansen som er uten vegetasjon, dempes regnet godt på begge sedumtakene, selv om takene er våte og kalde. Forskjellen på virkningsgrad er minimal. GT 2 forsinker imidlertid avrenning fra taket dobbelt så lenge som GT1b, som er drenert.

Avrenningsintensiteten fra referansen var kun 22 l/s*ha per 5 min, og kan knapt kalles en utfordring, med mindre sluk og vannveger er blokkert av snø og is.

3.6.2 Nedbør og avrenning fra vått tak, julaften 2013

Juledagen 2013 var snøløs i L34b. Tidligere på dagen hadde det regnet jevn, og de grønne takene var vannmettet, noe vi ser av figur 29, fordi det er avrenning fra både grønt tak 1 og 2 før avrenningstoppen. Lufttemperaturen var over 5°C det meste av dagen, men falt 2 grader i forbindelse med nedbørhendelsen.

Det falt tilsammen 5,6 mm regn i løpet av tidsrommet figur 29 viser. Avrenningen fra referansetaket gav 1,3 mm/5 min, og er ikke blant de 60 høyeste for denne intensiteten i løpet av undersøkelsen. Denne hendelsen gav også 2,3 mm avrenning/10 min, 3,5 mm/20 min og 4,3 mm/30 min. For disse intensitetene er hendelsen rangert blant de 53-58 som gav mest intens *avrenning* i undersøkelsen. Avrenning med 1 times varighet var under de 60 mest intense episodene.



Figur 29. Nedbør og avrenning på snøfritt, vått tak, gav en demping av avrenningsintensiteten på henholdsvis 65 % og 79 % for de grønne takene GT1b og GT2.

Nedbør og avrenning fra tak uten vegetasjon (referanse) følger hverandre tett. Vi sammenligner tilbakeholdt avrenning med avrenning fra referansen.

Grønt tak 1, drenert, med filt (GT 1b): Avrenningstoppen fra GT 1b ble betydelig dempet og kommer 5 minutter seinere enn avrenning fra referansen (62 % til 0,45 mm/5 min).

Ca 3 mm av de første 5 mm som renner av referansen holdes umiddelbart tilbake i GT 1b (til 85 min i fig. 29). Seinere frigjøres noe slik at den samlede avrenning fra GT 1b var

4,7 mm i løpet av de 210 minuttene som vises i fig. 29. Den totale tilbakeholdingen i samme tidsrom var 19 %.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Taket har en avrenningstopp (0,27 mm/5 min) samtidig med GT 1b, men etter nedbørmaksimum. Dempingen er på 79 % i forhold til referansen.

Selv om taket er gjennombløtt holdes over 3 mm umiddelbart tilbake. Seinere frigjøres noe slik at den samlede avrenning fra GT 2 var 4,1 mm i løpet av tida som vises i fig. 29. Det tilsvarer en tilbakeholding på 30 % sammenlignet med referansen.

Oppsummert: Regn på vått, kaldt tak

Regnet dempes godt på begge sedumtakene, selv om takene i utgangspunktet var våte. Avrenningsintensiteten var imidlertid ikke så høy (38 l/s*ha per 5 min fra referansen). For varigheter på 10, 20 og 30 minutter var avrenningsintensiteten henholdsvis 38, 29 og 24 l/s*ha. GT 1b dempet denne avrenningen med 62-51 %, mens GT 2 dempet med 77-65 %.

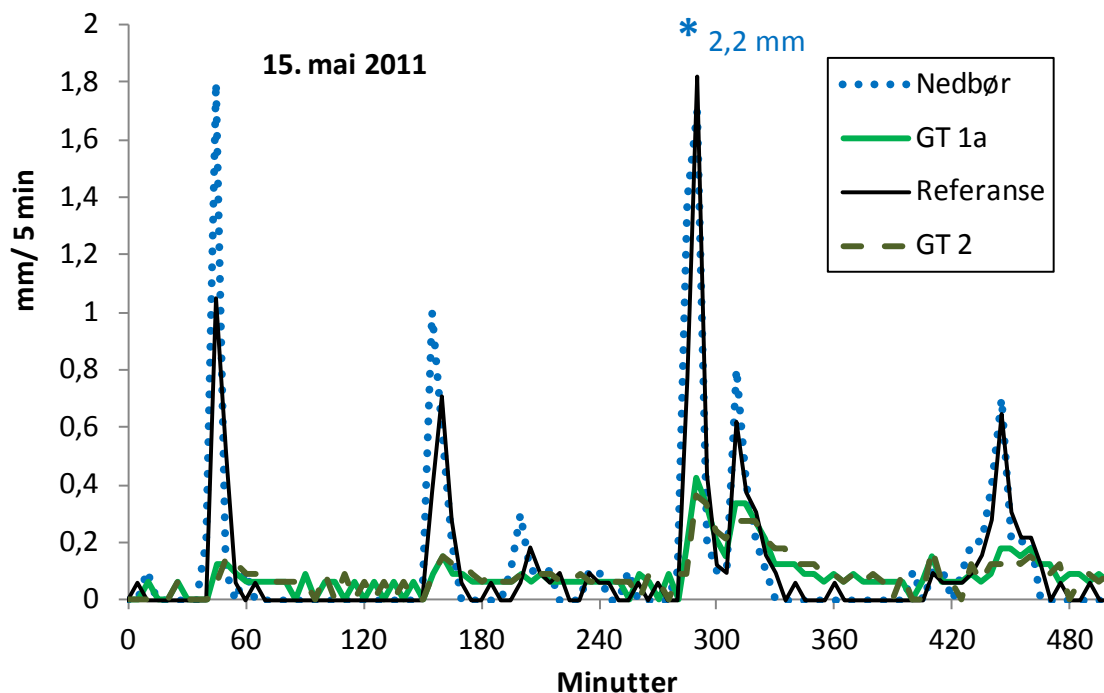
3.7 Detaljer rundt nedbør - avrenning om våren

Våren (mars-mai) var den årstiden med nest flest intense regnfall (fig 15). Sammenlignet med sommeren var det imidlertid få episoder, og de to største som presenteres her kom i siste halvdel i mai, svært nær sommersesongen.

3.7.1 Gjentatte episoder med intenst regn på vått tak

Fram til 14. mai 2011 var mai en tørr måned. Før nedbøren vist i fig. 30, falt det imidlertid 20 mm og vekstmediet i de grønne takene ble vannmettet (ca 14 mm vanninnhold). Lufttemperaturen varierte mellom 6 og 11°C.

Det falt til sammen 12,7 mm regn i løpet av tidsrommet figur 30 viser. Nedbør maksimum ble registrert til 2,2 mm/5 min. Det er tekniske grunner til at figuren kun viser 1,7 mm. Dette er forklart nøyere ved fig 21. Denne intensiteten er rangert som nr 38 av de 60 høyeste. Denne episoden gav også 3,1 mm avrenning/10 min (nr 43 av 60), men var under de 60 mest intense episodene for de øvrige varighetene.



Figur 30. Gjentatte regn i mai på våte tak, hadde god, dempende virkning på avrenningsintensiteten ved den sterkeste nedbøren (290 min); 75 % og 77 % for henholdsvis grønt tak 1 og 2. Maksimal nedbøravrenning ble målt til 2,2 mm/5 min (* se teksten).

Grønt tak 1, sterkt drenert, uten filt (GT 1a): Nedbøren i fig. 30 kommer i mange runder med inntil 2 timers mellomrom. Som oftest er tilbakeholdingen betydelig, selv om taket er gjennomvått. I de første nedbørtilfellene er det også en viss tilbakeholding på referansetaket, men det avtar helt når det mest intense regnet inntreffer etter 290 minutter.

Avrenningstoppen fra GT 1a ble dempet med 75 %, men kom samtidig med maksimum nedbør og avrenning fra det sorte taket (avrennings maksimum var 0,42 mm/5 min).

Episoden med høyeste nedbør/avrenningstopp inneholdt ca 3 mm vann. Ca 2 mm holdes umiddelbart tilbake i GT 1a. For hele perioden i fig 30, var den samlede avrenning fra GT1 8,5 mm. Den totale tilbakeholdingen i samme tidsrom var 33 %.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Taket har en avrenningstopp (0,36 mm/5 min) samtidig med GT 1a og nedbørmaksimum. Dempingen er på 79 % i forhold til nedbøren.

Selv om taket er gjennombløtt holdes over 3 mm tilbake i den største hendelsen. Den samlede avrenning fra GT 2 var 8,7 mm i løpet av tida som vises i fig. 30. Det tilsvarer en tilbakeholding på 32 % sammenlignet med nedbøren.

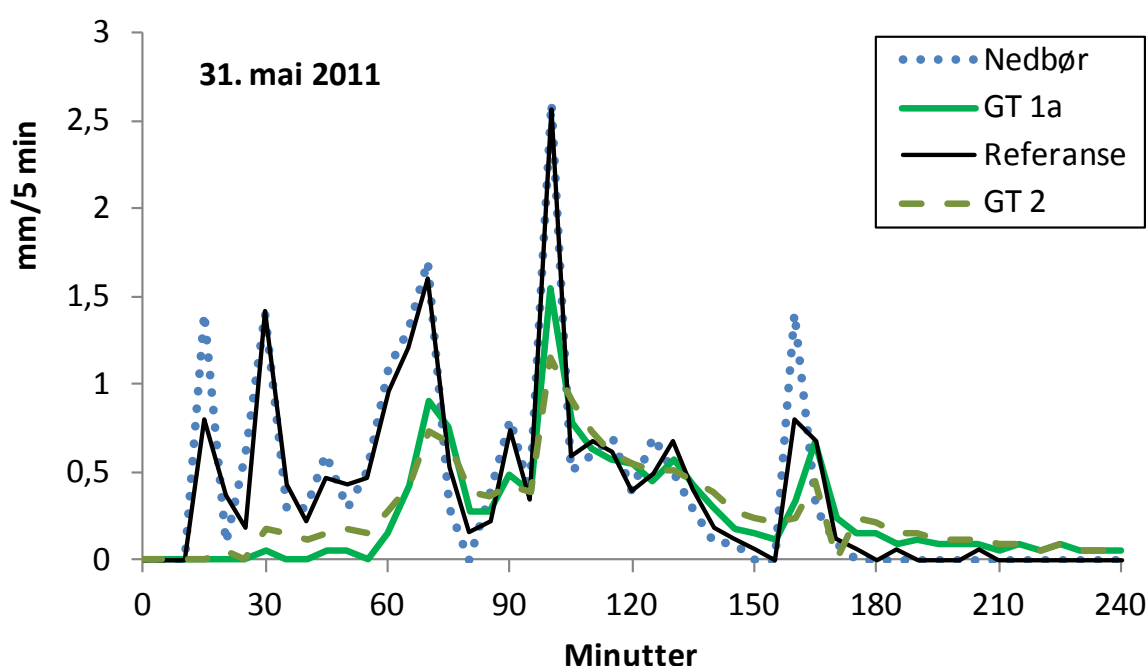
Oppsummert: Gjentatte regn på vått tak

Regnet dempes godt på begge sedumtakene, selv om takene i utgangspunktet var våte. Nedbørintensiteten var imidlertid moderat. For varigheter på 5 og 10 minutter var nedbørintensiteten henholdsvis 57 og 52 l/s*ha for data gitt i fig. 30. GT 1b dempet denne avrenningen med 75 og 76 %, mens GT 2 dempet med 79 og 78 %.

3.7.2 Intense regnbyger på vått tak

31. mai 2011 (fig. 31) kom en mer intens episode enn den som ble beskrevet 15. mai (fig. 30). Det drenerte grønne taket (GT 1a) inneholdt mindre vann denne gang (ca 9 mm), men må likevel karakteriseres som vått. Sedumtaket uten drenering, men med filt rett på taket (GT 2) var vannmettet (ca 14 mm). Det skyltes litt småregn som hadde falt dagene før. Det er mulig at denne forskjellen i vanninnhold fikk konsekvenser for avrenningsforløpet. Lufttemperaturen lå relativt stabilt på ca 9°C.

Det falt til sammen 19,8 mm regn i løpet av de 4 timene figur 31 viser. Nedbør-maksimum ble registrert til 2,6 mm/5 min. Denne intensiteten er rangert som nr 24 av de 60 høyeste. Denne episoden gav også 3,2 mm nedbør/10 min (nr 40 av 60), 10,4 mm/60 min (nr 14 av 60), men var under de 60 mest intense episodene for de øvrige nedbør-intensitetene i undersøkelsen.



Figur 31. Kontinuerlig nedbør på et tak som blir stadig våtere, viser at avrenningstoppen kan dempes med 41 % og 56 % for sedumtak med (GT 1a) og uten (GT 2) drenering.

Grønt tak 1, sterkt drenert, uten filt (GT 1a): Nedbøren i fig. 31 kommer sammenhengende, men med varierende intensitet. Som oftest er tilbakeholdingen betydelig, selv om taket er vått. I de første nedbørtilfellene er det også en viss tilbakeholding på referansetaket, men det avtar helt etter først regnbyge. Deretter følger nedbør – avrenning fra referansen hverandre nøye. Når det mest intense regnet inntreffer etter 100 minutter, er taket overmettet.

Avrenningstoppen fra GT 1a ble dempet med 41 %, og kom samtidig med maksimum nedbør og avrenning fra det sorte taket (avrennings maksimum var 1,55 mm/5 min).

Fram til og med episoden med høyeste nedbør/avrenningstopp hadde det falt ca 14 mm nedbør. Ca 8 mm holdes tilbake i GT 1a i dette tidsrommet. Noe frigjøres igjen seinere,

men ikke mye. For hele perioden i fig 31, var den samlede avrenning fra GT 1a 12,7 mm. Den totale tilbakeholdingen i samme tidsrom var 36 %.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Taket har også høyeste avrenningsintensitet (1,15 mm/5 min) samtidig med GT 1a og nedbørmaksimum. Dempingen er på 56 % i forhold til nedbøren.

Selv om taket er vått i utgangspunktet, holdes i underkant av 7 mm tilbake fra episoden starter til og høyeste nedbørintensitet (105 min). Den samlede avrenning fra GT 2 var 13,5 mm i løpet av tida som vises i fig. 31. Det tilsvarer en tilbakeholding på 32 % sammenlignet med nedbøren.

Oppsummert: Regnbyger på vått tak

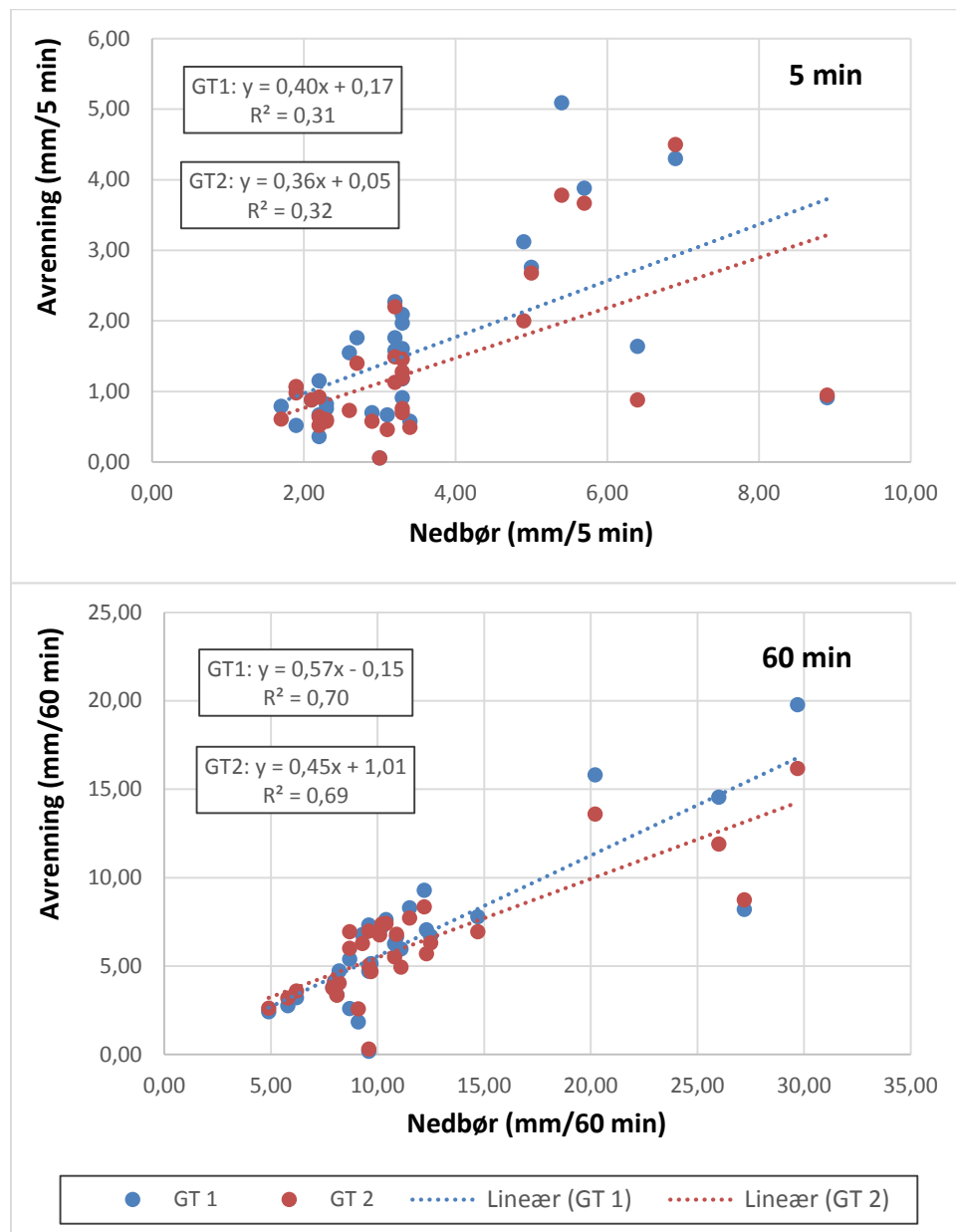
Dette er en av de få tilfellene der GT 1a gir bedre tilbakeholding enn GT 2 over en episode. Allerede i starten av episoden (fig. 31, 30 min) er avrenningen sterkere fra GT2 enn 1a. Det er mulig det drenerte taket har redusert vanninnholdet raskere, og dermed har økt kapasitet for å motta ny nedbør? Regnet dempes godt på begge sedumtakene, selv om takene i utgangspunktet var våte. Som vanlig var flomdempingen best på GT 2; når nedbøren blir svært intens dreneres den raskest ut av tak med effektive drensyttem.

Nedbørintensiteten var relativt 87 l/s*ha per 5 min. For varigheter på 10 og 60 minutter var nedbørintensiteten henholdsvis 52 og 29 l/s*ha. For den korteste varigheten på 5 minutter ble dempingen høyest (41 og 56 % for henholdsvis GT 1a og GT 2). For varigheter på 10 og 60 minutter dempet GT 1a avrenningen med henholdsvis 25 og 33 %, mens GT 2 dempet med 24 og 29 %.

3.9 Beregning av flomtoppdemping ved nedbør

3.9.1 Nedbør - avrenning

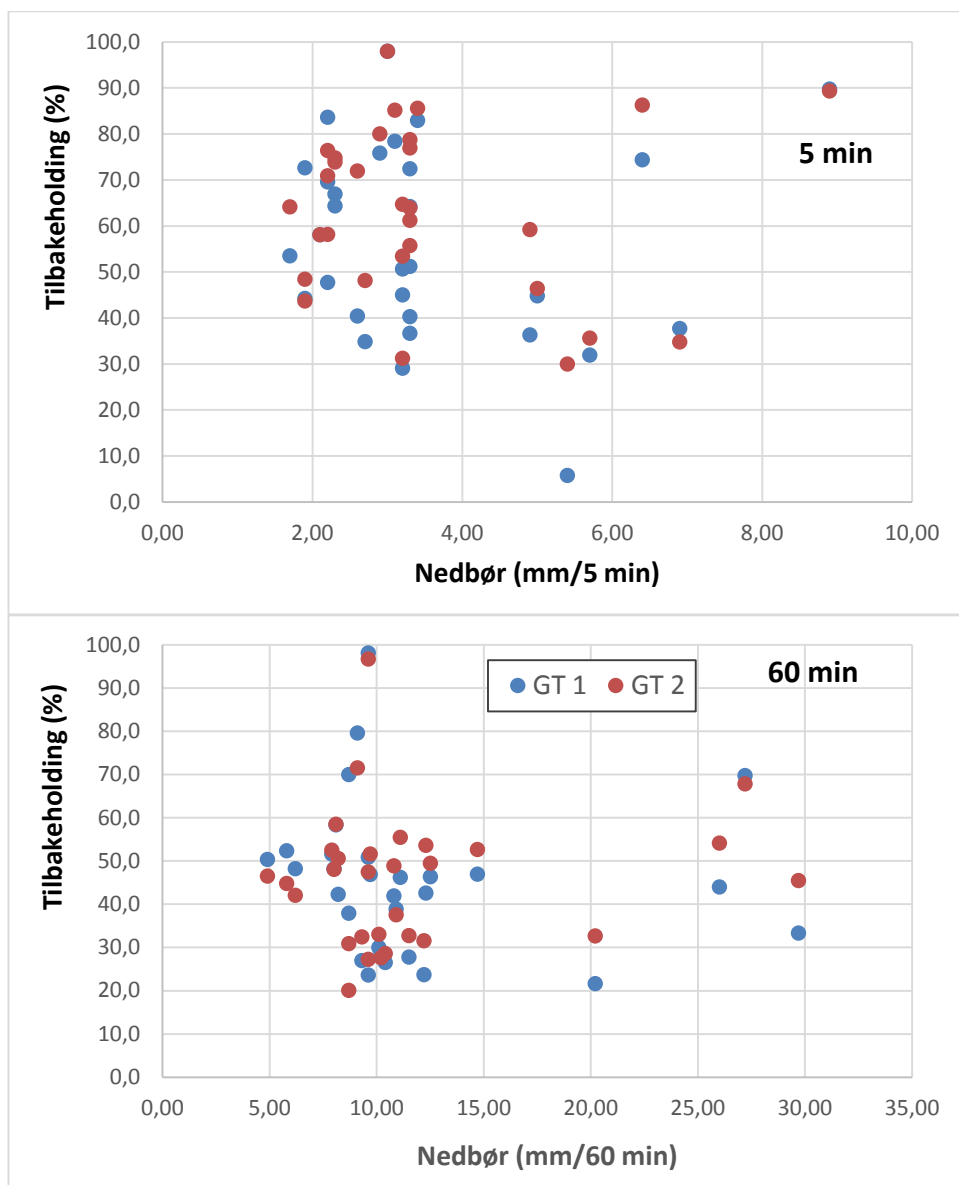
Hvor stor andel av nedbøren kan et grønt tak dempe? Det vil ha betydning for dimensjonering av andre flomdempende tiltak i et nedbørfelt. Vi valgte ut de 25 mest intensive nedbørtilfellene for hver varighet (5, 10, 20, 30 og 60 minutter nedbør). Ofte var de mest intense hendelsene i en varighet blant de mest intense i andre varigheter også. Til sammen ble 30 hendelser plukket ut for videre analyse. Figur 32 viser sammenhengen mellom nedbør med 5 og 60 minutters varighet. Tilsvarende figurer for nedbør med varigheter på 10, 20 og 30 minutter er vist i vedlegg 3 (fig. 39).



Figur 32. Sammenhengen mellom nedbør med 5 og 60 minutters varighet og avrenning fra to grønne tak (GT 1a&b og 2).

De fem mest intense hendelsene er fig. 16, 21, 23, 24 og 36 (i usortert rekkefølge).

Sammenhengen mellom nedbør og avrenning er ikke sterk. Dette gjelder i særlig grad nedbør med kort varighet. Kortvarige regn kan holdes nesten helt tilbake (fig. 36) eller nesten tapes fullstendig (fig. 24). GT 2 gir gjennomgående lavere avrenning enn det drenerte taket. Stigningstallet på regresjonslinja er dessuten lavere; dvs. at taket uten drening holder bedre på vannet ved intense regn. I hovedsak er imidlertid tilbakeholdingen god, noe figur 33 viser for de samme nedbørsvarighetene.



Figur 33. Tilbakeholding av vann i % av tilførte vannmengder ved nedbørvarigheter på 5 og 60 minutter på de to grønne takene GT 1a&b og 2.

Tilbakeholdingen for varigheter på 10, 20 og 30 minutter er vist i Vedlegg 3 (fig. 40).

Den relative tilbakeholdingen varierer i betydelig grad. For nedbørintensiteter på ca 3 mm/5 min kan tilbakeholdingen variere mellom 29 og 98 %. Variasjonen var enda større for intensiteter på ca 9 mm/60 minutter.

Det mest oppsiktsvekkende resultatet er imidlertid den svært høye tilbakeholdingen ved styrtregnet 26. juni 2014, som er beskrevet nærmere i Vedlegg 1 (fig. 36). 90 % tilbakeholdt av varigheten på 5 minutter, og ca 68 % av varigheten på 1 time. Tabell 9 oppsummerer resultatene i figur 33 og 40.

Tabell 9. Gjennomsnittlig relativ tilbakeholding (%) av nedbørepisoder med forskjellig varighet på to grønne tak (GT 1a&b og 2). Små tall er standard avvik.

	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

Vanligvis er tilbakeholdingen på over 50 % for nedbør med varigheter på inntil 30 minutter. Den er imidlertid også høy på varigheter på 1 time. Tilbakeholdingen avtok med nedbørens lengde. Observasjonene inneholder imidlertid kun to meget høye nedbørshendelser med gjentakintervall sjeldnere enn 40 år. Varigheten på disse var 10 min (fig 36) og 30 min (fig. 16). Hvordan ville takene respondert på andre intensiteter?

Det drenerte taket (GT 1) gir som oftest lavere tilbakeholding enn taket uten drenering (GT 2). Forskjellen var statistisk sikker for varighetene 5, 10 og 20 minutter ($p < 0,01$).

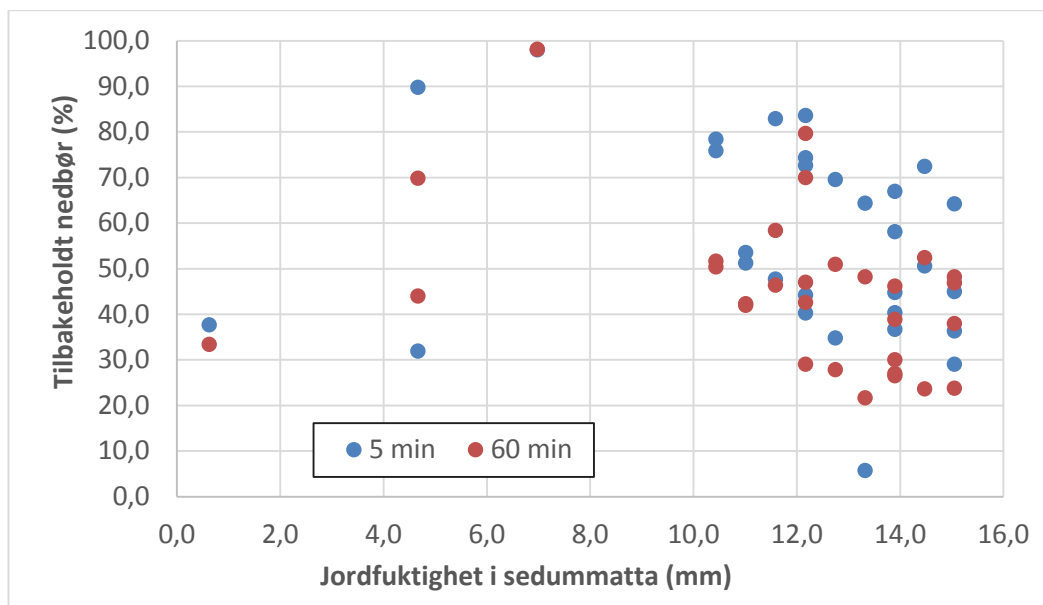
3.9.2 Tørt eller vått tak

Hvilke betydning har initialbetingelsene for tilbakeholdingen?

Det ser ut til at vanninnholdet i taket ved styrtregnets start har minimal betydning om vi ser på de 30 mest intense episodene (inkl. nedbøren 26. juni 2014 i vedlegg 1). Siden målingen av jordfuktighet startet sommeren 2011, er det flere episoder uten måling. For de målte episodene (19 stk.) var vanninnholdet i sedummattene i GT 1 vanligvis lavere enn GT 2 (medianverdien var henholdsvis 12 og 15 mm). I følge tabell 4 kan sedummattene holde ca 14 mm vann. Takene var mao. ofte våte i det nedbøren falt.

Siden sammenhengen mellom tid fra forrige nedbør og vanninnholdet i taket var dårlig (fig. 20), ble det gjort en skjønnsmessig vurdering av vanninnholdet i de resterende episodene ved å se på avstand til forrige regn, og hvor lenge siden siste avrenning fra de grønne takene hadde skjedd. Medianverdien forble omlag uendret⁸. Figur 34 viser sammenhengen mellom vanninnhold i sedummattene og relativ tilbakeholding på alle 30 episoder på det drenerte grønne taket (GT 1). GT 2 var svært ofte vannmettet da nedbøren startet (21 av 30 episoder). Det skyldes at jordfuktighetsmåleren er montert nederst på taket og mottar vann fra arealet over, mens dreneringen på GT 1 fjernet vannet før det nådde jordfuktighetsmåleren på dette taket.

⁸ Det samme var gjennomsnittet, men observasjonene er ganske skjevfordelt.



Figur 34. Tilbakeholding av nedbør på GT 1 med 5 og 60 minutters varighet ved 19 målte og 11 anslåtte jordfuktigheter ved nedbørens start.

De korte varighetene har gjennomgående høyere tilbakeholding enn de lengre (jamf. tabell 9).

For observasjoner der vi har målt vanninnholdet i vekstmediet *før* nedbøren, viste det seg at jordfuktigheten hadde betydning for avrenningen (avr) og den relative tilbakeholdingen (%) for nedbørvarigheter på 60 minutter. Ekstremværet 3. juli 2009 (Fig. 16) ble inkludert i materialet, fordi vi vet at taket var svært tørt før styrtregnet. Under er sammenhengen mellom nedbør (P) og vanninnhold i vekstmediet presentert i de to multiple regresjonslinjene 2 og 3⁹:

$$2: \text{Avr. (mm/60 min)} = 0,71 * (\text{mm P/60 min}) + 0,70 * (\text{mm vann i jord}) - 10,2 \\ (p=0,001, r^2=0,80).$$

$$3: \text{Tilbakeholdt (\%)} = -2,1 * (\text{mm P/60 min}) - 4,3 * (\text{mm vann i jord}) + 121 \\ (p=0,01, r^2=0,41).$$

Resultatet antyder at vanninnholdet i det grønne taket *før* sterk nedbør kan ha betydning ved langvarige regn. «Jordfuktighet» gav ikke statistisk sikkert utslag for økt tilbakeholding av nedbøren for kortere nedbørsvarigheter. For beregning av tilbakeholdt nedbør er 3 lite egnet, siden regresjonskoeffisienten (r^2) er lav.

Ligning 2 skal i utgangspunktet gi et tilsvarende resultat som den enkle regresjonslinja GT 1 for «60 minutter» i figur 32. Kjenner vi vanninnholdet i vekstmediet blir beregningen bedre (r^2 øker fra 0,70 til 0,80).

Hva med de 4 «tørreste» hendelsene i figur 34?

- 3. juli 2009 (Fig. 16) hadde trolig under 1 mm vann sedummattene på GT 1a. Det meste av det tilgjengelige volumet ble fylt opp, og i løpet av en time holdes ca. 10 mm tilbake i GT 1a. Det er mindre enn det potensielle volumet på ca. 14 mm (tabell 4). Timesnedbøren var på ca. 29 mm.

⁹ Et tilsvarende resultat ble funnet om alle timesdata (fig 34) ble inkludert.

- 7. juni 2011 (fig. 25) og 26. juni 2014 (fig. 36) var vanninnholdet ca. 4,7 mm. Det er overraskende at hendelsen med den sterkeste intensiteten (fig 36) har den høyeste tilbakeholdingen. Den samlede nedbøren over en time var ganske lik (henholdsvis 26 og 27 mm). Det er størst forskjell på nedbør med kort varighet. Kan det skyldes at en filtmatte enda ikke var montert i juni 2011 (GT 1a)?
- Hendelsen der vanninnholdet var 7,0 mm skjedde 3. august 2013 og er ikke gjengitt som enkelthendelse tidligere. 5 og 60 min nedbøren var på henholdsvis 3,0 og 9,6 mm. Tilbakeholdingen var formidabel og om lag den samme for begge intensiteter. Disse vannmengdene er ikke større enn at det grønne taket i prinsippet kunne håndtere det hele.

Det ser ikke ut til å være enkelt å beregne tilbakeholdingen ut ifra tilgjengelig lagerkapasitet på taket i L34b, med unntak for lange regn. Kanskje måten nedbøren faller kan ha betydning? Villarreal (2007) fant at kontinuerlig tilført «nedbør» gav mindre tilbakeholding enn intense episoder.

3.9.3 Forventet nedbør – tilbakeholding på taket

Vi har sett at tilbakeholdingen av nedbør kan variere i betydelig grad. Den er sjelden dårligere enn 20 %, men kan også være 80 %, selv for intense hendelser (fig. 33 og 40). 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 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.

Grønne tak er i en oppstartsfase i Norge som lokal overvannsdiskonserings (LOD) tiltak. Nye LOD tiltak kan trenge «fødselshjelp» til mer erfaring er vunnet. Vi foreslår derfor å innrømme takene en påvist, men usikker effekt ved å benytte regresjonsligningene i figur 32 og 39. For å øke sikkerheten vil vi bruke resultatene for GT 1, som jevnt over er noe svakere enn GT 2. Drenering på tak med svak helling er dessuten en vanlig anleggsteknikk i bransjen. Tabell 10 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. Avrenningskoeffisienten¹⁰ 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 *treleddstrategien* som er foreslått av Norsk vann (Lindholm m. flere, 2008). Et poeng mange av forfatterne i litteraturgjennomgangen i kap. 1.4 gjør, er at grønne tak kan redusere behovet for andre overvannsløsninger.

¹⁰ Avrenningskoeffisienten viser forholdet mellom avrenning fra et nedbørfelt og nedbøren over samme området.

Tabell 10 gir henholdsvis 58, 55, 45, 45 og 44 % tilbakeholding for varighetene fra 5 til 60 minutter. Det er noe høyere tilbakeholding for korte regn i forhold til GT 1 i tabell 9, og noe lavere for lange regn.

Tabell 10. Intensitet flomdempingstabell basert på IVF kurven for Blindern i Oslo for perioden 1968-2012, som viser vannmengden et grønt tak kan holde tilbake/fordøye avhengig av nedbørintensitet og varighet. Alle tall i mm. Tall i mindre font er utenfor observert nedbør-avrenning.

År [□]	5 min ^{&}	FD [#]	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

□ År er gjentakintervallet for gitt nedbør og varighet.

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

FD er antall mm vann et grønt ekstensivt tak kan holde tilbake gitt nedbøren og er beregnet fra regresjonsligningene til GT 1 i figur 32 og 39.

3.9.4 Forsinkelsestid

Nedbør på grønne tak må renne gjennom vekstmediet før det når takrenner/avløp. Dette vil forsinke avrenningen. På de 12 episodene som er presentert i kap. 3 og vedlegg 1, var det som oftest minimal forskjell på tidspunktet nedbørtopp og avrenningstopp. Det kan skyldes at takene ofte var våte når regnet satte inn (fig. 34). Observasjonene gjøres med 5 minutters oppløsning, så forsinkelser under dette er ikke mulig å spore.

Grønt tak med drenering (GT 1) hadde 4 tilfeller der avrenningen var forsinket 5 minutter og to med 10 minutter. Taket uten drenering (GT 2) hadde 3 tilfeller med 5 minutters forsinkelse, 1 med 10, 2 med 15 minutter og ett med 20 minutter. Dreneringen virker; vannet sendes raskere av sted.

Hendelsen med lengst forsinkelsestid var nedbør på smeltende snø (fig. 28). Avrenningen fra de to mest intense nedbørhendelsene ble også forsinket mye (fig. 16 og 36). Her var forsinkelsen henholdsvis 5 og 10 minutter for GT 1a&b, og 15 minutter i begge tilfeller for GT 2. Så langt har grønne tak forsinket avrenningen mest når det gjelder!

3.10 Foreløpige konstruksjonsråd...

Basert på undersøkelsene som har pågått er det mulig å komme med noen konstruksjonsråd. Det er imidlertid opp til den enkelte bruker å vurdere om disse rådene er fornuftige for det aktuelle bygg. Tenkningen som fremsettes her baserer seg på observasjoner av forsøktaket L34b i Oslo. Det er vanskelig å vite overføringsverdien til andre plasser.

3.10.1 Betydningen av dreneringssystem

I denne undersøkelsen har det grønne taket uten drenering (GT 2) gjennomgående hatt bedre tilbakeholding av nedbøren enn et tilsvarende tak med drenering (GT 1). Etter at GT 1 ble ombygd og fikk en filtmatte mellom drenering og sedummatte ser vegetasjonen på begge takflater svært frodig ut (fig 7). Trolig er sedummatte med *filtunderlag* den anbefalte løsningen på tak med svak helling i Oslo-området. Det vil også falle rimeligere enn tak med drenering.

For tak med relativt kort veg til takrenne eller sluk, og med litt fall vil dette stemme. Hvis avstand til avløp er lang, og/eller taket er flatt slik at vann kan bli stående i små dammer på overflata, anbefales dreneringsplater på hele eller deler av taket. Sedum tåler trolig tørke bedre enn fukt (Nagase og Dunnett (2010) og Vedlegg 5).

To situasjoner kan oppstå:

- Blir vannvegen lang, blir filtmatte og vekstmediet ofte vått i lavere deler, slik jordfuktighetsmåleren i figur 18 viser. For GT 2 var ikke dette et problem.
- Stående vann i vekstmediet pga. vannlommer på takflaten kan drukne røttene, og/eller gi overlevelseshemning for andre arter som er mer fuktighetstålante. Det er ikke sikkert disse artene er ønsket.

På lange flater kan det derfor være et godt råd å bruke dreneringsplater på deler av arealet, for å lette vannets veg ut av taket.

3.10.2 Tilbakeholding av nedbør

Virkning av filt

Grønt tak 2 (GT 2) gav gjennomgående bedre tilbakeholding enn GT 1 (tabell 1). Det kan skyldes at GT 2 hadde filt uten drenering. Vanntapet fra taket ble derved forsinket. Hvis snømånedene januar-april ble holdt utenom, var den månedlige avrenningen (vedlegg 2) ca. 2,5 %-enheter mindre fra GT 2 enn fra GT 1a. Etter montering av filtmatte (GT 1b) var ikke lenger avrenningen forskjellig ($p < 0,02$). GT 1b presterte imidlertid dårligere enn GT2 mht. flomtoppdemping. Det skyldes trolig at vannet må renne gjennom vekstmediet mot takrenna i GT2, mens drenelementet sørger for lettere avrenning i GT 1.

Bruk av filtmatte under sedummatta øker den teoretiske vannlagringsmengden for taket betydelig. Filtmattene har imidlertid ulik kvalitet. Noen suger vann som «trekkpapir», mens andre kan være vanskelige å fukte. Det er mulig takenes evne til å håndtere vann kan forbedres noe ved å ha filtmatter med god sugesevne.

I teorien skulle GT 1b og 2 kunne holde ca. 23 mm nedbør hvis de er helt uttørket og filtmatte klarer å absorbere vannet raskt. Uhl og Schiedt (2009) fant at inntil 25 mm vann kunne holdes tilbake på tak med 5 cm substrat. Bengtsson m. fl. (2005) opererte med tynnere tak, mer likt takene på L34b. De oppgir at tørre tak uten filtmatte kan holde 9-10 mm. De opplevde imidlertid at tilbakeholdingen kunne øke til 12 mm ved intens nedbør. For vekstmediet i GT 1 og 2, er tilbakeholdingen på tørt tak ca. 14 mm (tabell 4). I tillegg kommer filten på GT 1b og 2 med ca. 9 mm. I teorien har GT1b også mulighet til å lagre ca. 3 mm i drenelementet, men det fungerer dårlig (se fotnote 7). Ved strieregnet 3. juli 2009 (fig. 16) var tilbakeholdingen ca. 10 og 13 mm for henholdsvis GT 1a og GT 2. Det

er mindre enn den teoretiske kapasiteten, og kan indikere at filten kan ha problem med å trekke til seg vann når det er tørt, og at drenselementet ikke fungerer som vannlagring. Ekstremregnet 26. juni 2014 (fig. 36) er imidlertid et hederlig unntak: Nesten 20 mm holdes tilbake. Hendelsen er nøyere beskrevet i vedlegg 1.

For de fleste nedbørepisodene som er beskrevet i detalj (fig. 21-31), var imidlertid takene ganske våte (fig. 34). Tilbakeholdingen har som oftest gått utmerket. Andre undersøkelser har også registrert god tilbakeholding på våte tak (se Bengtsson, 2005 og Villarreal, 2007 i kap. 1.4). Det er mulig filten absorberer mest vann når den er fuktig.

Tykkelsen på substratet

I denne undersøkelsen var tykkelsen på vekstmediet det samme (2,5-3 cm). Vi har derfor lite data å støtte oss til for å vurdere tykkelsens betydning. Vanligvis regner man med at tilbakeholdingen øker med tykkelsen, men det kan kun gjelde om substratet er det samme. Av og til kan det være forskjell på sedummatta og underliggende lag, som tilfellet er på GT 3 (vedlegg 1). For GT 3 er vekstmediet svært grovt og slipper vannet lett igjennom. Da har porevolumet liten betydning. Tilsvarende fant Barretta m.fl. (2014) for Leca (kap. 1.4). Det er mulig at en passende fiberduk over drenselementet kunne redusere vannhastigheten ut av vekstmediet.

Flere forfattere har funnet at substatdybden ikke nødvendigvis betyr så mye for tilbakeholdingen av styrtregnet. Uhl m.fl. (2003) mener tykke vekstmedier i hovedsak reduserer den totale avrenningen over året, men har liten flomdempende funksjon. De tynneste takene kunne ha den beste fordrøynings-effekten, og Snodgrass og McIntyre (2010) mente det ville fordyre anlegget om demping av styrtregn var hovedhensikten. For muligheten for økt biodiversitet vil imidlertid tykkelsen på vekstmediet ha betydning.

Plantevalg

Ekstensive tak er mer enn tynne sedumtak. Med tykkere vekstmedium, øker muligheten for å utvide plantepaletten. Sedumartene har lavere transpirasjon enn andre arter (Nagase og Dunnett, 2012), og vil redusere vanninnholdet langsommere enn andre mindre tørketolerante arter. Det blir trolig en arbeidsom oppgave å prøve å optimalisere vegetasjonens evne til å fjerne vann slik at styrtregn kan fanges, uten at vegetasjonen begynner å tørke. Trolig er det andre motiver enn økt vannforbruk som vil være drivkraft for et mer frodig, ekstensivt, grønt tak. Ofte vil det være en sammenheng mellom artsmangfold og arbeid/skjøtsel som må foretas på taket, selv om det er flere i «grønt tak bevegelsen» som mener takene skal overlates til seg selv, som et lite stykke natur (se vedlegg 7).

I bunn og grunn er det huseier som må gjøre seg opp en mening om hva slags grønt tak som er ønskelig. Da er det viktig å tenke på bruken taket skal dekke, og hvilke skjøtelseshov som er ønskelig.

4 Konklusjoner

Samfunnet står ovenfor store utfordringer pga. urbanisering og klimaendringer. Varmere luft øker risikoen for styrtregn, og tette flater hindrer terrenget i håndtere vannet på en naturlig måte. Bruk av vegetasjon på tak kan imøtekomme behovet for grønne areal og håndtering av styrtregn, men er lite studert i Norge. Basert på 5 års målinger av et grønt forsøksstak i Oslo, vil vi trekke fram følgende hovedfunn som kan bidra til en god samfunnsutvikling på området:

1. Selv tynne, ekstensive tak kan holde tilbake minst 24 % av årsnedbøren, selv ved ikke optimale klimatiske forhold. Å hindre overvann å renne inn i fellessystemet vil spare pumpekostnader og redusere fortynningen av avløpsvann som skal renses.
2. Det meste av det intense regnet faller om sommeren (juni-august), hvor vegetasjonen er i funksjon og kan fjerne vannet via transpirasjon. Vekstmediet kan binde vann, eller lede det langsomt mot avløp.
3. Tilbakeholdingen varierer over året: Ved stabile vintre med snønedbør, er forskjellen mellom vegeterte tak og vanlige tak ofte små. Ved smelting og regn om vinteren og våren, holder de grønne takene betydelig mer vann tilbake sammenlignet med vanlige tak. Våte og kalde høster er tilbakeholdingen på det laveste. Tabellen under oppsummerer tabell 1 og 2.

Nedbør over 5årsperioden fordelt på årstid. Tilbakeholdt nedbør på taktypene i % av nedbør som falt på taket.

Årstid	Nedbør (mm)	Sum tilbakeholdt (%)		
		GT 1	Ref	GT 2
Vinter	156	36	18	34
Vår	161	-4	-41	4
Sommer	391	36	8	37
Høst	264	16	1	17
	972	24	-1	26

4. Store intense nedbørmengder kan tilbakeholdes på vegeterte tak. Vanligvis vil tørre tak ha størst evne til fordøyning, men selv våte tak kan dempe avrenningen betydelig. Grønne tak dempet avrenningen på et 40års regn med varighet på 30 min med 48 %, og et 50års regn med varighet på 10 min med 89 %.
5. Det er sjelden den teoretiske kapasiteten på takenes vannholdig utnyttes fullt ut. Takenes i undersøkelsen kunne holde ca. 14 mm vann i vekstmediet og ca. 9 mm i filtmatte under, men avrenning skjer trolig før metning. Utvikling av et vekstmedium tilpasset regionalt klima kan kanskje øke tilbakeholdingen? Største tilbakeholding som ble målt var ca. 20 mm over 30 min.
6. Ekstensive tak kan tørke raskt ut i vekstsesongen: Avhengig av oppbygning og ytre forhold kunne takenes nå «visnegrensa» etter 3 til 10 dager. Etter 11 døgns

tørke var det få arter utover sedum som overlevde. Uttørkingen av vekstmediet var i gjennomsnitt ca. 1,3 mm/døgn, men kunne variere betydelig.

7. Intense regn med kort varighet holdes i større grad tilbake enn langvarige regn. Treghet i avrenningen virker dempende. Forsinkelsestiden mellom nedbørtopp og avrenningstopp var størst (15 minutter) ved de to største hendelsene, og ved regn på snø. Hvis vekstmediet er vått er forsinkelsestiden på små tak minimal.
8. Basert på de 30 mest intense hendelsene er det utviklet en intensitet flomdempingstabell som er koblet mot IVF kurven på Blindern i Oslo. Tabellen gjør det mulig å beregne grønne, ekstensive, taks bidrag i den lokale overvanns disponeringen, LOD. Sammenhengen mellom kortvarige regn og avrenning er imidlertid ikke sterk. Langvarig prøvetaking av takene er nødvendig for å styrke tabellens utsagnskraft.
9. Flere forsøksfelt med grønne tak er ønskelig, hvor oppbygning av taktype og lokalt/regional klima kan testes.
10. Grønne tak virker kjølede på dårlig isolerte bygg om sommeren. Maksimum og minimumstemperaturene over døgnet jevnes ut, og følger i hovedsak skyggetemperaturen.
11. Det er mulig å lage forsøksanlegg som samler nedbør- og avrenningsdata automatisk, og med lite vedlikehold.
12. Sedumplantene på taket krever lite stell, og tåler tørke godt.
13. Grønne tak passer inn som punkt 1 eller 2 i treleddstrategien, avhengig av vannmengder og intensiteter man legger i strategien som skal håndteres.



Figur 35. L34b består av to forsøksfelt: Grønt tak på garasjen og et regnbed mellom garasjen og nedbørmåleren i hekken til høyre i bildet. Merk lufttemperaturmåler på veggstativ på garasjens nordside. Huskroppen skygger det grønne taket midt på dagen.

5 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. De første åra ble oppfølgingen betalt av SAWA. Ved SAWAs avslutning overtok Forskningsrådprosjektet ExFlood ut 2013. NVE har via NIFS prosjektet bidratt i sluttfasen. DSB har bidratt med midler for ombygging av L34b i 2014. En stor takk til sponsorene.

Takene ble anlagt av forfatteren, men instrumenteringen, hjelp med den automatiserte innsamlingen og annen støtte, ble gjort av gode og hjelpsomme kolleger ved Hydrologisk avdeling ved NVE. Tusen takk til Knut Møen, Dick Whittington, Frode Kvernhaugen, André Krogsæter, Eva Klausen, Nils Haakensen, Erik Holmquist og Eydis Dalen.

Oppsamlingsutstyret står delvis på nabotomta. Takk til Harald og Vibeke Bugge for tillatelse til å okkupere litt av eiendommen.

Deler av manuskriptet er lest av Tone M. Muthanna (NTNU), Birgitte G. Johannessen (Trondheim kommune), Kim Paus (COWI) og Ingrid M. Ødegård (NMBU). Takk for nyttige kommentarer.

En takk for faglig interessante samtaler rettes også til leverandørbransjen av grønne tak i Norge og Sverige, og andre deltakere for utviklingen av ny norsk standard for grønne, ekstensive tak.

Sedumartene kan være vanskelig å bestemme. Som en hjelp har Ole Billing Hansen (Park & Anlegg/NMBU) laget en nøkkel for å finne de mest vanlige på norske ekstensive tak (vedlegg 8). Han har også forsøkt å artsbestemme plantene på forsøksstakene på bakgrunn av fotografier (vedlegg 9). Takk for hjelpen.



6 Referanser

- Bengtsson L. (2005) Peak flows from thin sedum-moss roof. *Nordic Hydrology* 36: 269-280.
- 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., Poë 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. (1995 a) Tilbakeholdelse av jord, fosfor og nitrogen i fangdammer. Resultater - Metoder - Representativitet., JORDFORSK-rapport 9/95.
- Braskerud B.C. (2013) Grønne vegetasjonsdekkede tak - framtidens urbane tak. *Vann* 48: 426-432.
- Braskerud B.C., Paus K.H., Ekle A. (2013) Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed. NVE rapport 3/2013: 49 sider.
- Braskerud B.C., Skallebakke O.-P. (2013) Frakobling av takrenner til overfalte. Flomdemping i små nedbørfelt. *Vann* 48: 569-572.
- Bratlie R. (2013) GIS finner flomveiene. *Vann* 48: 272-277.
- Busklein J.O. (2009) Urbanisering - Grønne tak i urbane strøk. Feltforsøk avrenning. Sintef rapport nr. SBF IN F09416: 31.
- Getter K.L., Rowe D.B., Andresen J.A. (2007) Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering* 31: 225-231.
- Leland T. (2013) Gresskledd vannveier i norsk klima. *Vann* 48: 433-436.
- Lindholm O., L. Buhler, J. Bjerkholt. (2013) Hva hvis monsterregnet fra København 2. juli 2011 hadde falt i Norge? *Vann* 48: 361-370.
- Lindholm O., S. Endresen, S. Thorolfsson, S. Sægrov, G. Jakobsen og L. Aaby. (2008) Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk vann rapport nr. 162/2008: 79 sider.
- Nagase A., Dunnett N. (2010) Drought tolerance i different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. *Landscape and Urban Planning* 97: 318-327.
- 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., M. Kvalvik, J.O. Busklein, I.M. Ødegård, C.S. Clewing og H.K. French. (2012) Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt. Prosjektrapport 104, Sintef: 102 sider.
- Otnes J., Ræstad E. (red) (1978) Hydrologi i praksis. 2. utgave. Ingeniørforlaget A/S.
- Paus K.H., Braskerud B.C. (2013) Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold. *Vann* 48:54-67.
- 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, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK. pp. 10.
- 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., Feranandez 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.
- Wiseman G. (2009) New Providence Warf (London) - Roof Gardens by the Thames, in: R. Appl, W. Ansel (Ed.), *Green Roofs - Bringing Nature Back to Town*, Int. Green Roof Association (IGRA), Nürtingen. pp. 75-78.

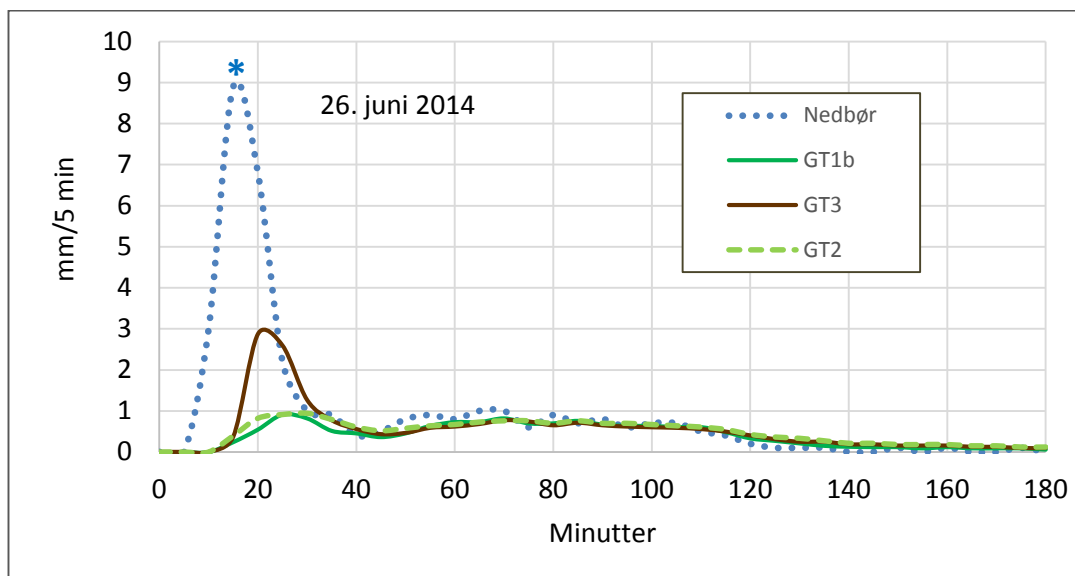
7 Vedlegg

Vedlegg 1. Ekstrem kortidsnedbør juni 2014

Om ettermiddagen 26. juni 2014 ble en ny 60 minutters nedbørsrekord på Meteorologisk institutt på Blindern i Oslo satt (46,1 mm). I L34b, som ligger 2,9 km fra Blindern, falt det 28,2 mm nedbør i samme tidsrom. Det meste kom ca. kl. 16, og er gjengitt i figur 36 under.

Det ble anlagt et nytt grønt tak på referansetaket 4. juni. Taket kalles GT 3 her, og oppbygningen er vist i fig. 37 og 38 under. Uka før hadde vært tørr og jordfuktighetsmålerne viste 5,2 og 3,2 mm vann i henholdsvis GT 1b og GT 2 (GT 3 hadde ikke montert sensor). Vekstmediet var derfor ganske tørt da styrtregnet begynte.

Figur 36 viser fordelingen av nedbør over 3 timer (34,9 mm). Denne hendelsen gav 9,3 mm/5 min, 16,3 mm/10 min, 21,1 mm/20 min, 22,9 mm/30 min og 28,2 mm/60 min. Hendelsen har et sannsynlig gjentakintervall på Blindern på nesten 50 år for 10 minutters regnet, og fra 20 til 10 års gjentakintervall for de øvrige varighetene. Styrtregnet er rangert som nummer 1 og 2 blant de 60 høyeste observasjoner i alle varigheter som blir undersøkt i denne rapporten.



Figur 36. Styrtregn på 3 takflater med vegetasjon (GT 1b, GT 2, og nyanlagt GT 3) viser at flomtoppdempingen kunne være fra 68 - 90 %. Maksimal nedbør ble målt til 9,3 mm/5 min (* se teksten til fig. 21).

Grønt tak 1, drenert, med filt (GT 1b): Taket har en svakt markert avrenningstopp på ca. 0,9 mm/5 min, 10 minutter etter maksimal nedbørintensitet. Det gir en demping av avrenningsintensiteten på 90 %. Nesten 20 mm av det første regnet på 23 mm holdes tilbake. Avrenningen fortsetter jevnt et par timer med gjennomsnittlig intensitet på ca. 0,55 mm/5 min, før den avtar. Tilbakeholdingen over 3-timer i fig. 36 er 57 %.

Grønt tak 2, med filt (GT 2): Taket følger i hovedsak GT 1b, og har en avrenningstopp (1,0 mm/5 min) 5 minutter etter GT 1b. Dempingen er på 89 %. Nesten 19 mm av det første regnet på 23 mm holdes tilbake. Avrenningsintensiteten fra GT 2 ligger som oftest noe over avrenningen fra GT 1b. Tilbakeholdingen over 3-timer vist i fig. 36 er 50 %.

Grønt tak 3, med dreneringselement for tilbakeholding av vann og vekstmedium på ca. 7 cm (GT 3): Vegetasjonsoppbygningen var kun 3 uker gammel da styrtregnet kom. GT3 har en tydelig avrenningstopp (2,9 mm/5 min) ca 5 minutter etter nedbørmaksimum. Dempingen på intensiteten var 68 %. Om lag 15 mm av det første regnet på 21 mm holdes tilbake. Deretter følger avrenningsintensiteten GT 1b og GT 2. Tilbakeholdelsen over 3-timer vist i fig. 36 er 43 %.

Beskrivelse av GT 3 oppbygning



Figur 37. De tre grønne forsøksfeltene 4. juni 2014. GT 1 til venstre og GT 2 til høyre ble montert 10. juni 2009. GT 3 har overtatt plassen til referansetaket (se fig. 5).



GT 3 består av 4 lag. Fra taket og oppover er det: Filt (ca. 5 mm), drenelement i plast som minner om nedre delen av en eggekartong (ca 40 mm), vanngjennomtrengelig fiberduk (0,6 mm), vekstmedium (ca 40 mm) og sedummatte med vekstmedium på en kokosmatte (ca 30 mm).

Filtet har vi målt til å holde 5 mm vann ($\pm 0,2$ mm st. avvik), drenelementet skal ifølge leverandør kunne holde ca. 6 l/m² (6 mm), og fiberduken har vi målt til å kunne holde ca. 0,4 mm.

Figur 38. Oppbygning av GT 3 (tidligere referanse).

Vekstmediet i denne taktypen er meget grovt. Ca 66 % av hadde kornstørrelse på 2-16 mm. I sedummatta var kornstørrelsen også grov, men betydelig finere enn i vekstmediet (33 % var 2-8 mm, resten hadde mindre størrelse). Leire var fraværende.

Tilsvarende var det organiske innholdet 4-6 % i vekstmediet (målt som glødetap), mens sedummatta inneholdt 17-19 %.

Oppsummert: Ekstremregn på tørt tak

Alle taktyper dempet styrtregnet vesentlig. Nedbør med intensiteter tilsvarende gjentaksintervall på 10-50 år er redusert til problemfri avrenning. Avrenningsintensiteten reduseres fra ca 270 l/s*ha til ca 30 l/s*ha per 10 min. for GT 1b og 2 (tabell 11), og ca 91 l/s*ha for GT 3. Ca halvparten av nedbøren har ikke avrenning til nedløpsrørene.

Tabell 11. Nedbørintensiteter med forskjellige varigheter gitt som spesifikk avrenning basert på resultatene i fig. 36 viser betydelig damping på sedumtakene GT 1b, 2 og 3.

Varighet (min)	Nedbør (l/s*ha)	GT 1b (%)	GT 2 (%)	GT 3 (%)
5	297	90	89	68
10	262	89	88	65
20	174	86	83	64
30	127	81	80	63
60	76	70	67	55

De to eldste taktypene (GT 1 og 2) hadde nesten lik virkningsgrad. Den umiddelbare tilbakeholdingen av nedbør var omlag den teoretiske lagringskapasiteten på ca 9 mm i filt og inntil 14 mm i sedummattene (fig. 20). Til fratrekk kommer ca 4 mm restvann i sedummattene. Vanninnholdet i filten er ukjent. Kapasiteten var om lag 20 mm, og GT1 og 2 holdt tilbake 19-20 mm. Etter den intense episoden fortsetter nedbøren i et jevnere forløp, og avrenningen fra takene følger denne ganske nøye.

Det nye taket (GT 3) hadde lavere virkningsgrad enn de eldre og enklere typene. Vekstmediets porevolum og feltkapasitet er i skrivende stund ukjent. Siden kunnskapen om forsøksruta er så liten blir det følgende spekulasjoner rundt mulige virkning:

- Porevolumet i vekstmediet er større enn for GT 1 og 2, fordi kornstørrelsen er større. Det kan gi lavere feltkapasitet (evne til å holde på vannet). En større andel av nedbøren vil være fritt vann som drenerer raskt ut. Kanskje en vinter med snølast kan redusere porevolumet og øke takets evne til å holde vann?
- Taket ble anlagt 4. juni og alle takene ble vannet grundig 4. og 14. for å gi sedumplantene på GT 3 god etablering. Det er mulig det fremdeles var vann igjen i drenselementet i det styrtregnet begynte.
- Filten under drenselementene skal beskytte taket, og gi lagringsplass for vannet. For deler at taket vil imidlertid drenselementet hindre at vannet kommer i kontakt med filten, fordi vannet renner i plastelementet. Det vil i hovedsak være i skjøtene mellom drensplatene at vann kan lekke ned til filten under. På GT 3 er det 2 slike skjøter på tvers av vannretningen. Ujevnheter i tak og plate kan imidlertid gi snikstrømmer, slik at vannet har overløp i noen få steder.

Vannstrømmen vil da ha noen få passeringsteder og ikke utnytte vannlagringskapasiteten i filten optimalt.

- Trolig vil ytelsen på GT 3 kunne økes om filten var flyttet fra undersiden av drenelementene til oversiden. Filten ville kunne hindre rask vannstrømning gjennom vekstmediet, og det store porevolumet ville trolig kunne vært utnyttet bedre.

Uansett oppbygning vil grønne, vegetasjonsdekkede tak kunne gi et vesentlig bidrag i flomdempingen i areal med store takflater, hvis tiltaket brer om seg.

Vedlegg 2. Månedlig nedbør og avrenning fra forsøktakene

Tabell 12-1. Månedlig nedbør og avrenning. Grunnlaget for tabell 1. Tall i *kursiv* er beheftet med usikkerhet. «Maks» er høyeste nedbør eller avrenning på 5 minutter¹¹. «Sum» er samlet nedbør eller avrenning i løpet av mnd. GT 1a ble bygd om til GT 1b 8. aug. 2011.

År	Mnd	Nedbørmåler		GT 1a/b		Referanse		GT 2	
		Maks	Sum	Maks	Sum	Maks	Sum	Maks	Sum
2009	Juni	0,8	33,1	0,4	17,0	0,7	31,2	0,3	14,3
2009	Juli	6,9	200,4	4,3	135,0	5,7	179,7	4,5	130,2
2009	August	3,3	174,5	0,9	132,4	3,8	160,4	1,2	131,2
2009	Sept.	0,8	25,3	0,1	18,1	0,7	24,8	0,1	17,6
2009	Okt.	0,8	39,5	0,3	27,7	0,5	38,4	0,2	24,2
2009	Nov.	1,6	155,5	0,3	143,3	1,3	139,3	0,3	137,1
2009	Des.	0,3	61,5	0,1	35,2	0,1	35	0,1	34,3
2010	Januar	0,1	7,5	0,0	0	0,0	0	0,0	0
2010	Februar	0,1	10,1	0,0	0	0,0	0	0,0	0
2010	Mars	0,5	66,6	0,5	100,3	0,4	118,9	0,3	114,0
2010	April	0,5	35,7	0,2	44,8	0,5	40,1	0,2	25,5
2010	Mai	1,0	31,0	0,4	10,3	1,0	29,5	0,3	10,8
2010	Juni	2,0	109,0	0,4	68,9	1,9	101,2	0,7	60,1
2010	Juli	6,4	134,8	1,6	69,9	5,8	118,3	0,9	71,0
2010	August	5,0	158,5	2,8	119,9	4,9	143,8	2,7	121,4
2010	Sept.	1,1	113,1	0,9	89,2	1,1	106,1	0,9	85,2
2010	Okt.	1,2	105,5	0,9	89,5	1,2	100,1	0,6	83,5
2010	Nov.	0,5	28,5	0,1	12,7	0,3	16,9	0,1	12,7
2010	Des.	0,2	9,1	0,0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
2011	Januar	0,3	53,9	0,1	2,1	0,1	4,4	0,1	1,5
2011	Februar	1,2	58,6	0,1	1,0	0,1	2,8	0,1	0,5
2011	Mars	0,5	29,0	0,2	23,7	0,3	63,6	0,2	47,2
2011	April	0,6	33,7	0,3	137,6	0,8	151,1	0,3	100,1
2011	Mai	2,6	101,9	1,6	52,2	2,6	89,6	1,2	52,1
2011	Juni	5,7	173,2	3,9	114,9	3,9	152,1	3,7	114,9
2011	Juli	4,9	127,4	3,1	74,5	4,5	102,6	2,0	68,7
2011	August	1,9	181,6	1,6	142,8	1,7	170,5	1,1	131,5
2011	Sept.	3,3	174,5	2,1	147,2	3,3	164,3	1,3	147,0
2011	Okt.	2,3	64,5	1,2	54,6	1,9	62,3	0,7	52,6
2011	Nov.	0,5	26,5	0,1	26,5	0,3	30,3	0,1	25,4
2011	Des.	1,1	78,6	0,2	70,4	0,8	89,3	0,2	72,4

¹¹ For å kunne sammenligne nedbør og avrenning brukes nedbør falt over samme 5 minutter intervall som avrenningen. Det kan derfor være avvik fra «maks» nedbør presentert for den enkelte episode i kapittel 3 og nedbøren i tabell 1 og 12. Se for øvrig kommentar om saken ved fig. 21.

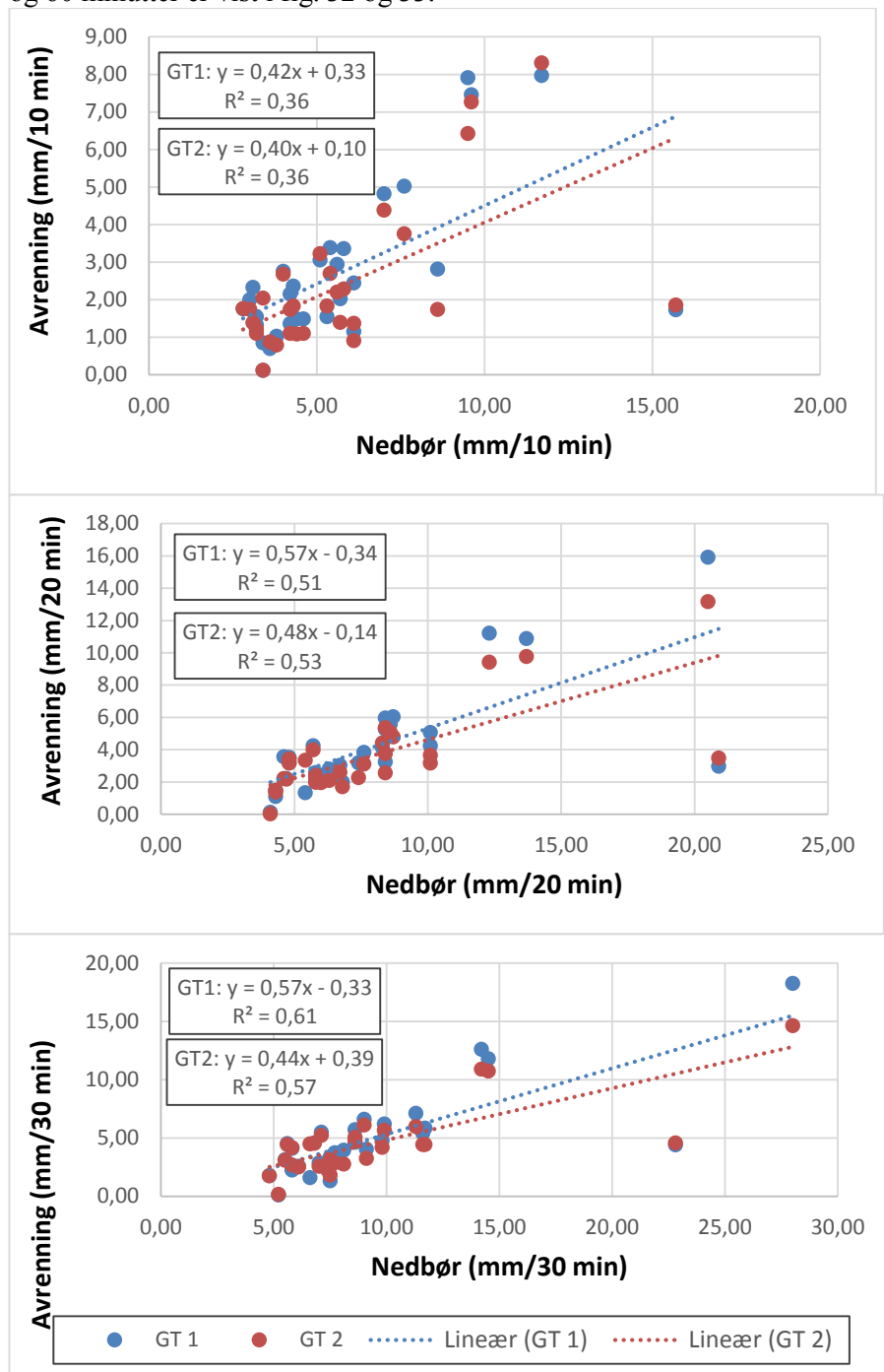
Tabell 12-2 viser månedlig nedbør og avrenning fra forsøktakene.

År	Mnd	Nedbørmåler		GT 1b		Referanse		GT 2	
		Maks	Sum	Maks	Sum	Maks	Sum	Maks	Sum
2012	Januar	0,5	51,5	0,1	5,8	0,1	11,4	0,1	6,7
2012	Februar	0,4	20,6	0,3	9,6	0,2	33,8	0,1	24,8
2012	Mars	1,0	16,7	0,2	65,3	0,3	40,2	0,2	43,5
2012	April	0,7	72,1	0,4	46,1	0,6	70,3	0,3	49,2
2012	Mai	1,0	67,9	0,1	27,5	1,0	64,1	0,1	32,6
2012	Juni	3,1	102,1	0,7	51,7	2,5	106,8	0,5	53,9
2012	Juli	3,3	146,4	1,6	94	3,4	139,0	0,8	98,7
2012	August	2,7	108,9	1,8	68,4	2,6	104,1	1,4	72,4
2012	Sept.	3,3	103,5	1,2	73,7	2,7	103,9	0,7	72,7
2012	Okt.	3,2	130,1	1,8	98,8	2,8	124,5	1,1	104,4
2012	Nov.	1,3	152,7	1,1	161,7	1,2	171,4	0,8	165,1
2012	Des.	0,5	58,4	0,1	16,8	0,3	58,8	0,2	37,9
2013	Januar	0,4	37,4	0,1	6,7	0,2	13,0	0,1	9,4
2013	Februar	0,3	19,0	0,1	0,4	0,1	0,7	0,1	1,0
2013	Mars	0,1	5,3	0,1	0,1	0,1	1,4	0,1	5,7
2013	April	1,3	56,8	1,0	129,5	1,1	166,7	0,7	108,6
2013	Mai	1,6	101,8	0,7	54,4	1,5	100,4	0,5	53,1
2013	Juni	5,4	177,5	5,1	103,8	5,3	171,5	3,8	98,0
2013	Juli	1,0	22,5	0,1	5,9	0,9	20,1	0,1	5,7
2013	August	3,0	106,3	0,7	58,7	2,6	100,6	0,6	58,8
2013	Sept.	1,9	48,9	0,7	23,3	1,9	47,6	0,5	24,4
2013	Okt.	2,3	107,7	0,9	94,6	2,2	122,3	0,8	92,9
2013	Nov.	0,6	44,6	0,6	51,3	1,1	61,2	0,5	51,5
2013	Des.	1,2	109,1	0,5	117,6	1,3	126,8	0,4	107,5
2014	Januar	0,5	68,4	0,3	48,1	0,9	43,8	0,2	42,5
2014	Februar	0,6	136,2	0,4	183,8	0,7	222,3	0,4	172,3
2014	Mars	0,5	60,7	0,2	72,8	0,4	71,3	0,2	61,8
2014	April	0,6	66,0	0,3	52,8	0,6	67,2	0,3	52,3
2014	Mai	1,9	58,7	0,2	17,6	1,9	56,2	0,2	18,0
2014	Juni [#]	8,9	86,6	0,9	47,2	Ref. fjernet		1,0	49,7

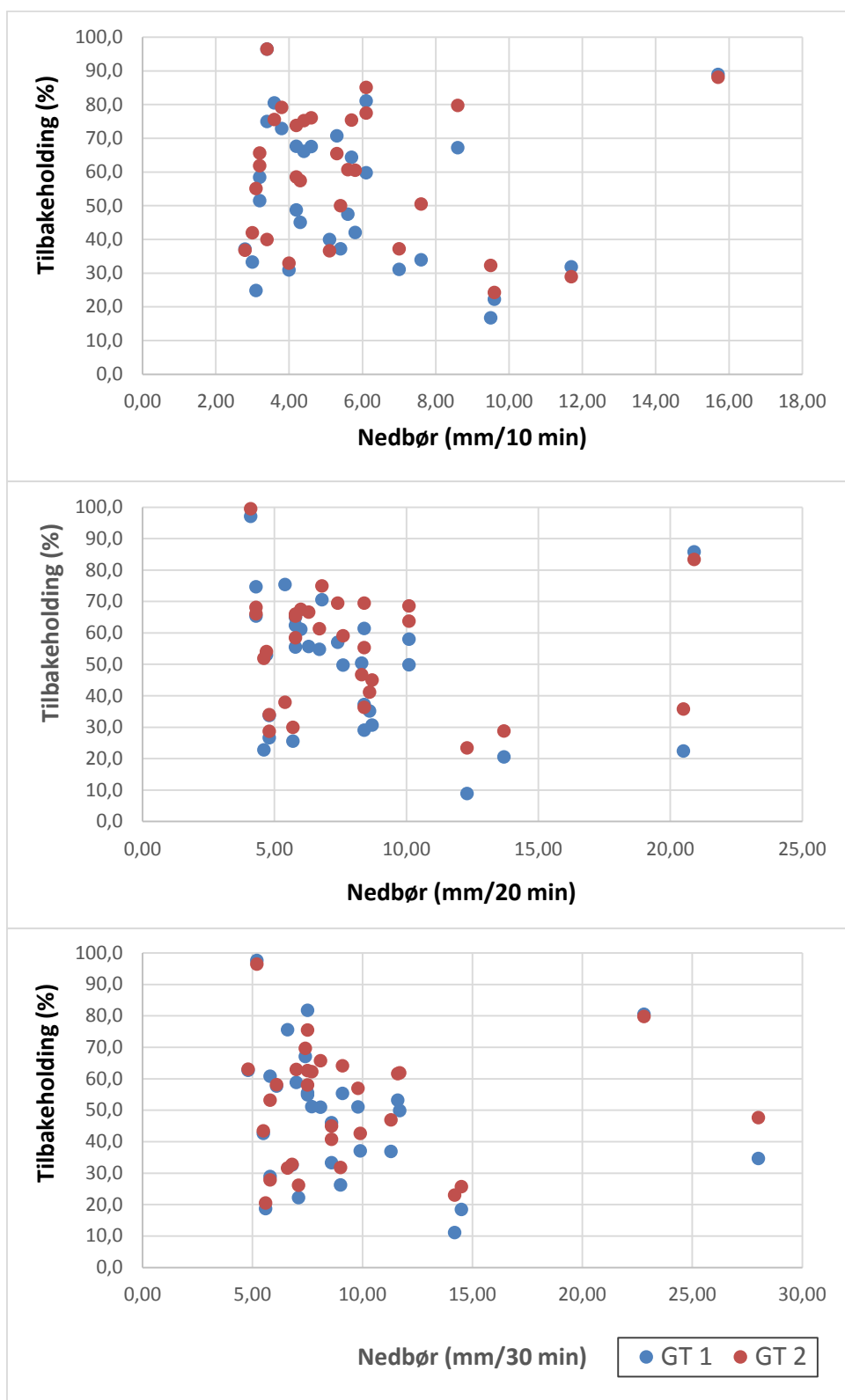
[#]Er ikke med i tabell 1, fordi referansetaket ble bygd om (se vedlegg 1).

Vedlegg 3. Sammenhengen mellom nedbør og avrenning for varigheter på 10, 20 og 30 minutter

Figurene under (fig. 39) viser nedbør med varigheter på 10, 20 og 30 minutter, og tilsvarende avrenning fra grønt tak 1 (GT 1) som er drenert, og grønt tak 2 (GT 2) som er udrenert. Relativ tilbakeholding for samme varigheter er gitt i 9. Tilsvarende figurer for 5 og 60 minutter er vist i fig. 32 og 33.



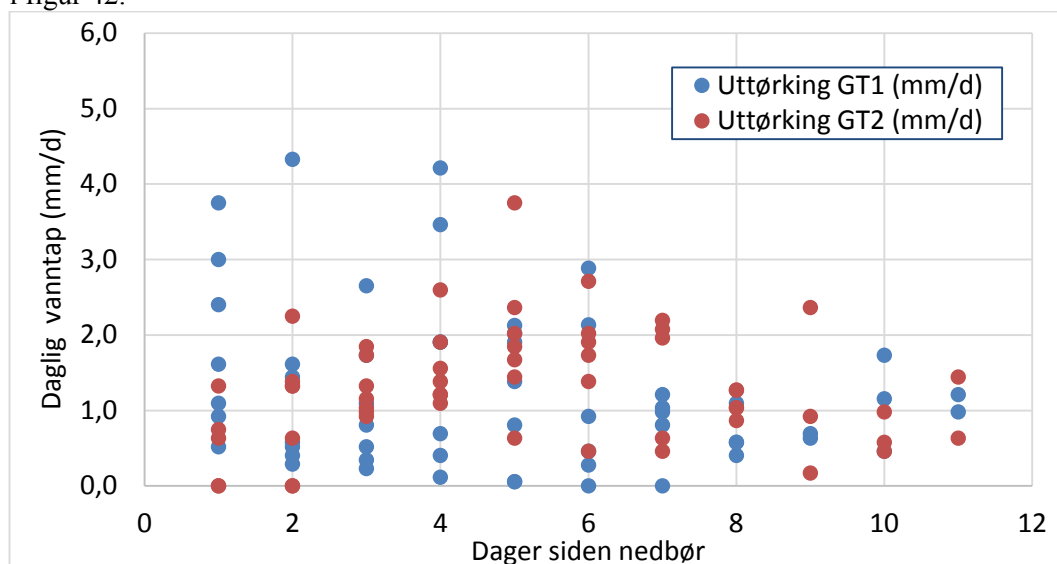
Figur 39. Sammenhengen mellom 10-, 20- og 30 minutters regn og avrenning fra de to grønne takene GT 1 og 2. De mest intense nedbørepisodene er presentert.



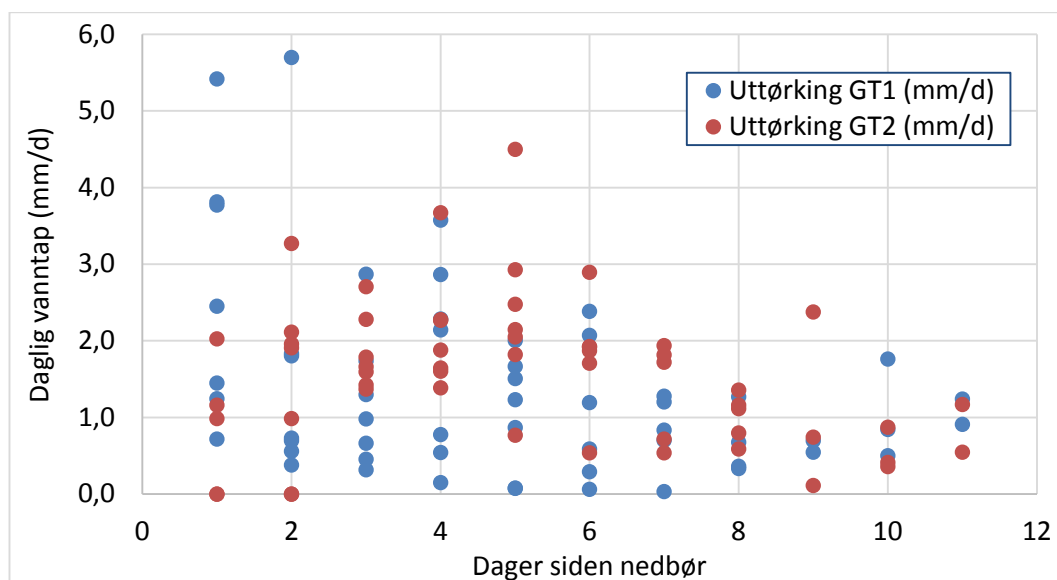
Figur 40. Relativ tilbakeholding av nedbør på de to grønne takene GT 1 og 2 ved regnvarigheter på 10-, 20- og 30 minutter.

Vedlegg 4. Uttøringshastigheter på sedummatter

Måling av de vegeterte takenes uttøringshastighet er gjort med Vegetronix jordfuktighetsmålere (fig. 19). For omregning fra volt (x) til mm (y), var beste tilpassings-funksjon $y = 1,125x^2 + 2,37x - 0,75$ ($R^2=0,94$), men den gav mindre nøyaktige data ved våte forhold. En lineær regresjon ble derfor valgt: $y = 5,77x - 2,26$ ($R^2 = 0,92$). Daglig uttørking fra denne er gitt i figur 41. Resultatene fra annengradsfunksjonen er vist i figur 42.



Figur 41. Daglig vanntap gjennom evapotranspirasjon fra takene i fig. 20. GT 1 er drenert.



Figur 42. Daglig vanntap gjennom evapotranspirasjon fra takene, der funksjonen $y = 1,125x^2 + 2,366x - 0,75$ er benyttet for å konvertere spenning til vanninnhold.

Uttøringsraten av de vegetasjonsdekkede takene G1b og G2 varierte betydelig. I gjennomsnitt var evapotranspirasjonen fra sedum tak *med* drenering (G1b) 1,2 mm/d (std $\pm 1,1$ mm/d) i fig. 41 og 1,4 mm/d (std $\pm 1,2$ mm/d) i fig. 42. Tilsvarende tall for tak *uten* drenering (G2) var 1,3 mm/d (std $\pm 0,8$ mm/d) i fig. 41 og 1,5 mm/d (std $\pm 0,9$ mm/d) i fig. 42.

Vedlegg 5. Vanning eller ikke vanning, det er spørsmålet

Grønt tak 1a (GT 1a) var anlagt med sedummatte på drenselement (fig. 6). Etter 2 år ble det tydelig at vegetasjonsutviklingen på denne forsøksruta var betydelig dårligere enn på naboruta GT 2 (fig. 7). Jordfuktighetsmåleren viste at GT 1a tapte vann nesten umiddelbart etter nedbørens avslutning, mens GT 2 beholdt et høyt fuktighetsnivå betydelig lengre. Tak er vanligvis et tørt sted; kunne dårligere vekst skyldes for tørre forhold, eller var det oppbygningen av det grønne taket som var hovedårsak?

Oppbygning av Tak 4

Referansen (Tak 2 i fig.5) er uten vegetasjon. Sedummattene som skulle vært på denne delen av taket ble lagt på et relativt flatt (ca 1 grad) pulttak på førsteetasje taket på eneboligen i Langmyrgrenda 34b. Her blir det kalt Tak 4, og er like stort som Tak 1 og 3 (2 m x 4 m).

Tak 4 består av 2 x 5 sedummatter som ligger i en impregnert treramme. Opprinnelig var taket anlagt som Tak 1 (fig. 6), men ble bygd om flere ganger da mistanke om tørkeproblem på Tak 1 festet seg.

Tak 4 er bygd opp på 4 forskjellige måter (fig. 43-46). I alle tilfeller er det forsøkt å la topp sedummatte ha samme høyde over hele taket. I praksis vil høydeforskjellen variere ca 1 cm. Forsøksrutene er nummerert som 14x og 15x, der *14x blir vannet*, mens 15x kun får naturlig regn (oversikt på fig. 51):

- 141 og 151 (tilsvarer GT 1b) ble bygd opp med 25 mm dremsplate (Nophadain 5+1) mot husets ett-lags asfaltbelegg. Dremsplata har små hulrom med potensiell vannlagringsmulighet (3,2 l/m²). Deretter 10 mm VT-filt for å øke takets evne til å holde på vann (ca 8 l/m²). Over filten ca 30 mm Xeroflor Moss-sedum matte (bygd 15. juli 2011, fig. 43).
- 142 og 152 (tilsvarer GT 1a) ble bygd opp med 25 mm dremsplate (Nophadain 5+1) under ca 30 mm Xeroflor Moss-sedum matte (Fig 6). Dette var den opprinnelige utforming av Tak 4 (bygd juni 2009).
- 143 og 153 (tilsvarer GT 2) ble bygd opp med 10 mm VT-filt under ca 30 mm Xeroflor Moss-sedum matte, rett på "kunstig tak" med ett-lags asfaltbelegg (Icopal Mono®) med grå farge (Fig 6). Det kunstige taket var løftet litt, slik at vann kunne passere under på husets eget tak (bygd 20. mai 2011, fig 44).
- 144 og 154 (ny versjon/type) ble bygd opp med 11 mm dremsplate (Nophadrain 220), under ca 20 mm Veg Tech vekstmedium. Over jorda ca 30 mm Xeroflor Moss-sedum matte. Det ble rispet en del snitt i fiberduken under sedummatta slik at røtter lettere skulle trenge ned i jorda under (bygd 27. nov. 2011, fig. 46).
- 140 og 150 er gjentak (paralleller). 140 er som 152, og 150 er som 154. Ingen av disse rutene vannes.

Oppsummert: Det er 3 ruter med samme oppbygning (hvis GT 1b og GT 2 inkluderes). Alle ruter gjødsels tilnærmet likt med langsomtvirkene N-K-P gjødsel om våren (ca 30 g/m²). Næringsinnholdet er henholdsvis 15, 4 og 9 % for nitrogen, fosfor og kalium.

Vanningsstrategi

I følge (Snodgrass and McIntyre, 2010) tåler sedumarter tørke godt. Mange går imidlertid inn i en "dvaletilstand" hvis tørken varer over 3 døgn; veksten stopper da opp. Målet med vanningsforsøket var å se hva god vanntilgang ville bety for artenes utvikling og blomstring, og om naturlig nedbør ville være tilstrekkelig for at sedumtak ble vakre.

I 2011 ble 140-144 vanligvis vannet 5,6 mm hver 3-4 dag med sol og tørt vær. I praksis ble det 9 ganger, fordi sommeren ble uvanlig våt (666 mm i perioden juni - sept.).

I 2012 ble rutene 141-144 vannet hvis to av jordfuktighetsensorene viste under 1 V (ca 12 % jordfuktighet). Det ble vannet 6 ganger, vanligvis 9-14 mm/gang, til jordfuktighetsmåleren viste ca 2,5 V.

I 2013 ble rutene 141-144 vannet hvis to av jordfuktighetsensorene viste under 1 V. Det ble vannet 5 ganger, vanligvis 16 mm/gang, til jordfuktighetsmåleren viste ca 2,5 V, eller mer.

Vanningen på Tak 4 foregikk manuelt, med hagekanne med sprededyse.

GT 1 og 2 vannes normalt ikke. Ved langvarig tørke der jordfuktigheten faller til under 0,8 V kan imidlertid vanning til feltkapasitet gjøres. I praksis ble det gjort 3 ganger sommeren 2011 (april/mai), 1 gang i mai 2012 og 1 gang i juli 2013.

Endringer i vegetasjonen ble dokumentert med fotografier. Virkingen av vanning / naturlig nedbør i jordmediet ble dokumentert gjennom temperaturmålinger og jordfuktighetsmålinger.

Måling av temperatur og jordfuktighet

En lufttemperatursensor er montert i stålningsskjerm ca 14 cm over sedummatta mellom rute 142 og 143. I 2011 var en jordtempføler montert under sedummatta i rute 152. I 2012 var to montert sentralt i rutene 143 og 153. Alle sensorer er PT-100 4-ledere.

I 2011 var det kun jordfuktighetssensorer i rutene, 142, 143, 152 og 153.

Fra medio mars 2012 ble det montert en jordfuktighetsmåler i hver forsøksrute. Jordfuktighetsmålerene (Vegetronix VH400, fig 10) ble sentralt plassert i ruta i sedummatta.

Temperatur og jordfuktighetsdata samles i en OTT LogoSens[®] II logger som tappes manuelt. Data registres hvert 15. minutt.

De vannede rutene (141, 142, 143 og 144) er alltid nærmest fotografen, dvs. på den siden lufttemperaturmåleren er plassert.



Fig. 43. VT-filt legges over drengspata på rutene 141 og 151 (som GT 1b). Filten klippes der rutene møtes for å redusere vannsigg fra våt til tørr sone, og vannes før sedummattene legges tilbake.



Fig. 44. Rute 143 og 153. Oppbygging sikrer vanngjennomstrømning under det kunstige taket når vannfaste plater legges oppå. Fall fra høyre mot venstre.



Fig. 45. Takpapp legges oppå platene før VT-filt dekker det hele. Filtet klippes i overgangen rute 143 og 153, før sedummattene legges tilbake (som GT 2).



Fig. 46. En tynn dremsplate legges oppå takpappen før VegTech vekstmedium fordeles i ca 2 cm dybde. En plastlist legges mellom rute 144 og 154 og mot naborutene, før sedummattene legges tilbake. Rute 150 er laget på samme måte (ny type).

Resultat; vanning – naturlig nedbør

Fotografiene under er tatt på om lag samme dato de 3 åra. Rutene 144 og 154 er i forkant, og 140 og 150 lengst unna.



Figur 47. Tak 4, 27. juli 2011. Vannet side (14X) til venstre. Kun naturlig nedbør til høyre.



Figur 48. Tak 4, 27. juli 2012. Vannet side (14X) til venstre. Kun naturlig nedbør til høyre.



Figur 49. Tak 4, 28. juli 2013. Vannet side (14X) til venstre. Kun naturlig nedbør til høyre.

Vegetasjonsutviklingen har vært jevt god over hele feltet. Rute 154 (høyre foran), og til dels rute 152 (midt i bildet til høyre) hadde i perioder noe redusert vekst. Rutene 140 og 150, som er gjentak for henholdsvis 152 og 154, hadde også i perioder dårligere vekstutvikling. På arealet som vannes har veksten vært mer frodig, men kun naturlig nedbør står i liten grad etter estetisk, etter min mening.

Det ble tatt foto av den enkelte forsøksrute gjennom sesongene. Detaljanalyse av disse er ikke gjennomført her, men det var en tendens til at ruter som ikke ble vannet hadde noe mer mose. Fugler kunne «pløye» disse delene av taket av uvisst grunn (figur 50). Det samme fenomenet ble observert områder med mose på GT 1 og GT 2. Moseandelen var imidlertid mindre på disse to takene.



Figur 50. Fugler har rotet rundt i rute 140 og 150, som ikke ble vannet og hvor moseandelen var høy.

Foreløpig konklusjon

Vegetasjonen på Tak 4 er sterkt soleksponert, og kan tørke raskt ut (fig. 17). I perioder kunne vanningsbehovet være hver 3. dag om sterk tørke skulle unngås. Det er mulig vanning en gang ved forsommertørke kan være aktuelt. Det ble gjort på GT 1b og 3, og disse takene har utviklet seg meget bra. For øvrig ser vanning ikke ut il å være nødvendig for at sedumartene skal utvikle seg tilfredsstillende. Den ekstra vannlagringen en *filtmatte* under sedummatten kan tilby, virker gunstig der det ikke vannes (rute 151 og 153, GT 1b og GT 2).

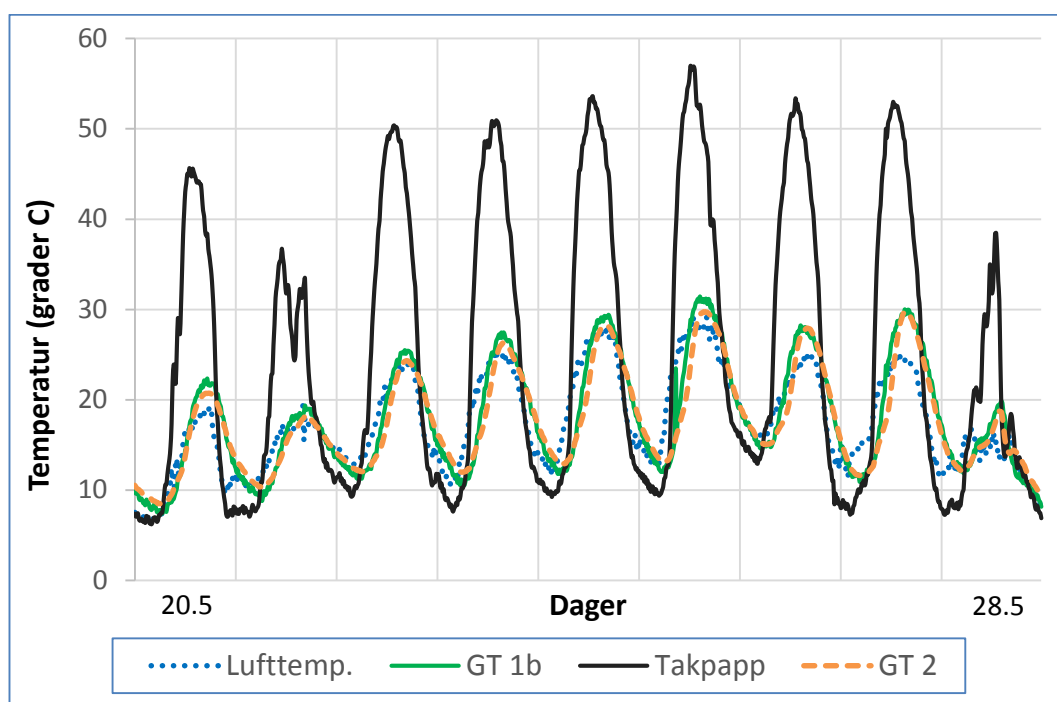
Ønske om andre arter enn sedum, brattere takvinkel eller andre klimatiske betingelser kan imidlertid gi andre konklusjoner.



Figur 51. Tak 4, 7. juli 2014. Vannet område nærmest fotografen (141-144). Forskjellen mellom vannet og kun naturlig nedbør er minimal på dette flate taket. Rute 151 og 153 har filtmatte under sedummatta. Det er trolig en fordel når det ikke vannes.

Vedlegg 6. Grønne tak som kjølere av bygg

I Norge er moderne hus ofte svært godt isolert. I følge TEK10 §14-3, skal nybygg ha U-verdi mot tak $\leq 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, noe som i praksis tilsvarer ca 30 cm isolasjon mot taket. Det gir god isolasjon mot både kulde og varme. Eldre hus er ikke like godt isolert. I boligene rundt L34b er 10 cm isolasjon mot taket ikke uvanlig. Boligene ble bygd på 1960-tallet. På varme somre kan soverommene som ofte ligger i 2. etasje bli svært varme og god nattesøvn kan bli vanskelig. Figur 52 viser hvor varmt det kan være under et tak med sort papp i slutten av mai 2012. Plasseringen av temperaturmålerne er vis i fig. 9.



Figur 52. Endringer i lufttemperatur, temperaturene under to grønne tak (GT 1b og 2) og et sort takpapp over en periode uten nedbør. Vanninnholdet er antydnet i fig. 18.

Fuktighetens betydning for kjøling

Fordamping virker kjøleende på overflater der vann tapes. Under de grønne takene er temperaturen nærmest temperaturen i skyggen. Etter hvert som vekstmediumet tømmes for vann (fig 18), reduseres fordampingen og takenes kjøleende evne:

- Den første perioden (20.-23. mai) var temperaturen under det grønne taket med drenering (GT 1b) i gjennomsnitt ca 1,2 °C høyere enn lufttemperaturen på den varmeste tida på dagen (ca kl 15-16). Det grønne taket uten drenering (GT 2) inneholdt i utgangspunktet mer vann de første dagene. For GT 2 var det ingen forskjell til lufttemperaturen. Under det sorte taket derimot (referansen), var temperaturen 20,4 grader høyere.
- Den andre perioden (25.-27. mai) var taket tørt (det ble vannet 28. mai). Temperaturen under GT 1b var i gjennomsnitt ca 3,4 °C høyere enn

lufttemperaturen, mens GT 2 var ca 3,1 grad høyere. Under det sorte taket var temperaturen imidlertid 21,6 grader høyere enn lufttemperaturen.

Eksemplet over viser at evapotranspirasjon har betydning for kjølingen, men til selv når vanninnholdet er nesten neglisjerbart har de grønne takene kjøleende virkning. Det kan skyldes

1. Bladverket til vegetasjonen skaper skygge.
2. Vekstmediumet har stort porevolum som trolig holder lufta stille, som i isolasjon.
3. Trolig virker filtmatta og kanskje drenelementet også isolerende mot varmen.

Med nesten 60 grader under tak med sort takpapp, gir 10 cm isolasjon liten beskyttelse mot sommervarmen.

Antall varme dager

Forsøktaket L34b, er på flere måter et «worst case» tilfelle. Når det gjelder makstemperaturer skygger hovedbygningen for taket midt på dagen. Likevel er temperaturen de fleste dagene i perioden mai-august over 40 °C under det sorte taket. I 2009, -10 og -11 gjaldt det også det meste av april.

Dager med taktemperaturer over 50 grader skjer også hvert år, men er i hovedsak i juni og juli. For årene 2010-13, var det i gjennomsnitt 2 dager i mai, 7 i juni, 6 i juli og 2 i august, selv om disse somrene ble regnet som relativt regnfulle og miserable av mange i Oslo. Den høyest temperaturen under det sorte taket ble målt til 58,3 grader, 31. juli 2011 kl 11:40.

Vedlegg 7. Grønne tak til byene – internasjonale erfaringer

I dette vedlegget oppsummeres noen erfaringer fra 3 internasjonale grønne tak konferanser. Teksten baserer seg i hovedsak på notater underveis. Feil eller misforståelser kan derfor forekomme.

Grønne tak – å bringe naturen tilbake til byen!

Inntrykk fra den internasjonale kongressen om grønne tak Nürtingen i Tyskland 25.-27. mai 2009. En god konferansebok som omhandler det meste innen grønne tak er: *Green roofs - Bringing Nature back to town* (2009). Redaktører: R. Appl og W. Ansel, Utgitt av Int. Green roof Association (IGRA).

Den argentinske arkitekten Emilo Ambrasz har jobbet med vegetasjon på hus et langt liv. Hans visjon er *å gå fra tenkningen om 40 % hus og 60 % hage til 100 % hus og 100 % hage*. Han har laget prosjekter som oppfyller dette! Videre mente han: *Natur har for lenge vært fraværende i arkitekturen. Arkitekturen må gi glede til brukeren. Viktig å tenke på i byfortettingens tidsalder.*

Å følge veiledere¹² er viktig, noen prosjekter har fått problemer fordi gjennomføringen har vært dårlig; dårlig drenering, ødeleggelse av underlag/tak ved anlegging med mer. Da får grønne tak dårlig rykte. Anlegging av takene må tilpasses byggingen/restaureringen av hus slik at byggekraner og annen infrastruktur kan brukes i monteringen (tre foredrag av J. Quindeau, S. Noome og W. Pastuszka).

Mange kommuner støtter anlegging av grønne tak. 10-20 Euro/m² er vanlig i Tyskland. En del kommuner har overvannsavgifter. Hus med grønne tak betaler ca 1 Euro mindre per m² grønt tak, fordi taket demper genereringen av overvann. Langsiktige mål for økning av grønne tak har gjort at Stuttgart (ca 700000 innb.) planlegger 1.5 mill. m² grønne tak i årene som kommer. Lån med lav rente gis i KfW Förderbank (Wolfgang Ansel, IGRA).



I Danmark gis 40 % støtte til anlegging av grønne tak der en miljøforbedring kan oppnås. Ordningen er en del av Danmarks enøknløsninger (Finn Hansen, ZinCo Danmark).

Figur 53. Myndighetene stilte krav til bruk av grønt tak, fordi den store takflaten ville skjemme utsikten i dalen. Sedumtaket på Postterminalen har god kjølede virkning på varme dager. Anlagt ca

1993. Fargen på taket vil skifte med årstidene avhengig av artene som er benyttet.

¹² Standard Norge er i ferd med å utvikle en norsk standard for ekstensive grønne tak. Forhåpentligvis en hjelp for norske byggerier.

Grønne tak for et klima i endring (*Green roofs for a changing climate*):

World Green Roof Congress, 15.-16. Sept. 2010, London.

Grønne tak brukt i byen

British Land forvalter store bygningsmasser i London. 90 % av leietakerne mener tiltak som øker den økologiske bærekraften også øker overskuddet i næringsvirksomhetene de driver. London by krever at boligeieren tar ansvar for håndteringen av overvann. Nybygg lages derfor med grønne løsninger. Ved å variere substrattypen og dyp vil ulike vekster og dyr stimuleres. Et nærmere samarbeid mellom landskapsarkitekter og økologer var sterkt ønskelig (Sarah Cary, British Land PLC).

Det bygges ca 8 mill. m² grønne tak årlig i Tyskland. De viktigste insitamentene har vært: Krav gjennom lovgivning og redusert overvannsavgift. Argumenter for bruk av grønne tak kan være: Man kan bygge tettere, de er brukt på offentlige bygninger, behovet for



underjordiske overvannsmagasin avtar, bygningenes verdi øker. Solcelle panel kan med fordel kombineres med grønne tak, fordi virkningen er best når de ikke blir for varme. Utfordringer er: Kvalitetskriterier for grønne tak er ikke standardisert og takene blir ikke kontrollert 5-10 år etter anlegging (Roland Appl, leder av Int. Green Roof ass., IGRA, Tyskland).

Figur 54. Takhage i London.

I Sheffield ble det laget et Green Roof Forum bestående av deltaker fra byen, universitetet og utøvere/grønn sektor. De la en langtidsplan for å gjøre byen grønn. Vegen startet ved å intervju bygningsbransjen om hva som hindret bruken av grønne tak. Deretter ble det laget et lite nettverk av demonstrasjonsanlegg og informasjons materiell. Fokus var lønnsomhet og bedret byrom. I dag er Sheffield en av byene i England med størst andel grønne tak (Nigel Dunnett, Univ. of Sheffield og leder av the Green Roof Centre, UK).

I Basel har anlegging av grønne tak pågått i 10 år, og nådde i 2010 et samlet areal på 1 mill. m². Prisen på grønne tak har falt kraftig i perioden og er nå ca 15 £/m². Punkter å ta med seg: 1. Produksjonen av biomasse på taket øker med vannholdingskapasiteten på substratet. 2. Kommunikasjon med myndigheter, planleggere, utbyggere og utviklere er viktig. 3. Lage retningslinjer for å sikre kvalitet på anleggene. Et minstekrav om jorddyp (substratdyp) kan være nødvendig. De hadde fått et voldsomt tilslag på orkideer som hadde spredd seg naturlig på en taktype med oppkuttet halm/strå som dreneringslag (Stephan Brenneisen, Zurich univ., Sveits).

Hvordan bygge gode, grønne tak?

GRO; Green Roof Organisation fremmer info om grønne tak i Storbritannia mht. design, spesifikasjoner, installering og vedlikehold. Spørsmål man kan stille er: Er stedet OK for

et grønt tak? Hva med lokalklima? Vil området rundt skape ekstra vindpress? Hva krever de aktuelle planeter for å trives? Grønne tak skal helst være integrert som en del av bygget. Hva slags tak ønskes; intensivt eller ekstensivt. Husk at ekstensive tak ikke kun er sedumtak! Husk å spesifisere hva du ønsker (dette gjelder i særlig grad reguleringsmyndighetene) eller så vil du få billigste og enkleste løsning. Det er fint om vedlikehold i minst ett år er spesifisert i kontrakten. Lavt likeholdsbehov betyr IKKE at taket er vedlikeholdsfritt (Peter Allnutt, Alumasc-Exterior, UK)!

Biologiske systemer har bedre evne til å holde seg gående enn menneskeskapte systemer, som vanligvis forfaller med tiden, hevdet Ed Snodgrass (USA). Han har nettopp kommet ut med en ny bok om anlegging og drift av grønne tak: *The Green roof manual*. Han hevder videre at substratdybde (jorddybde) har liten betydning for reduksjonen av avrenningsintensiteten, men gir plantene større mulighet til vanntilgang og kjøler bygg bedre.

Husk å ha nok utløp fra taket for å unngå drukning av plantene. Ett utløp på et stort flatt tak er risikabelt. Tettes utløpet blir det vanskeligheter. Ettersyn er derfor viktig. Grønt tak på inntil 70 graders takvinkel er mulig, men meget krevende (Stefan Zeller, Optigreen, UK).

Argumentet om at våte grønne tak gir liten tilbakeholding og derfor er lite egnet står svakt, fordi tilsvarende problem gjelder for tradisjonelle overvannsløsninger når de er fulle etter nedbør (James Berryman, Micro Drainage Ltd, UK).

Tak er ofte et tørt sted. Tilstrekkelig vanntilgang for planter kan derfor være vesentlig. Det kan være store forskjeller på et substrats vannholdingsevne. En tommelfingerregel er at partikler under 1 mm reduserer luftinnholdet og øker vanninnholdet vesentlig. Substrat med stor porøsitet kan holde mer vann og derved gi større og bedre vekst på taket hvis partiklene ikke er for store (Abigail Graceson, dr.grad stud. ved Harper Adams Univ. College).

Biodiversitet på grønne tak

Hva er forskjellen på en *takhage* og et *tak økosystem*? Intensiteten på vedlikeholdet kan være en forskjell. Er det striglede, velfriserte grønne tak noe mål? Hva med å overlate taket i større grad til naturens egen vilje? (Andrew M. Clements, Hellas).

Hvordan få tak til å bli interessante hele året? Å legge inn et økologisk element kan gi merverdi. Samarbeid mellom landskapsarkitekten og økologen er nødvendig. Endring av substrat type (jordtype) og dyp samt legge inn element som gir dyr og insekter skjul blir viktig (Neil Harwood og Tom Armour, Arup, UK).

Grønne tak kan brukes som tiltak for å bevare eller beskytte truede arter. I noen grad kan man lage landskapstyper som er i ferd med å forsvinne. Sedumtak har vanligvis lavere biodiversitet enn mer «kompliserte» tak. En undersøkelse viste at 15 % av ederkopper og 10 % biller på grønne tak var sjeldne eller *røddlistearter*. Noen tips: varier substratdybden fra 8-15 cm. Unngå knust betong. Lag forskjellige økonisjer som: tett pakkede vedstykker på høykant, gamle deler av trestammer, steiner og noen områder med sand. Variasjon er stikkordet (Dusty Gedge og Gary Grant, UK).

Grønne vegetasjonsdekkede tak – framtidens urbane tak

Inntrykk fra den int. kongressen om grønne tak i Hamburg 13.-15. mai 2013: *The Future of Urban Roofs*. Et mer fylldig sammendrag av konferansen er gitt i (Braskerud, 2013).

Hva gjør byer i den vestlige verden for å fremme det grønne?

Wolfgang Dickhaut viste til en ny tysk «*German green roof policy guideline*» laget i 2011. I Tyskland er retningslinjer og støtteordninger delegert ned til den enkelte delstat og by. Rapporten hadde gått igjennom alle tyske byer større enn 100tusen innbyggere for å se hvilke regler som gjaldt for konstruksjon, anlegging og støtte mht. anlegging av grønne tak. Det hadde vært stor interesse for rapporten (8000 eks. var fordelt), og den ble brukt som diskusjonsmateriale i den enkelte by for å lage/oppdatere egne retningslinjer for grønne tak anlegging.

Portland er en by med 500tusen innbyggere i Oregon, USA. Årsnedbøren er ca 1000 mm. Amy Chomowicz som leder Ecoroof programmet i byen (<http://www.portlandonline.com/ecoroof/>), kunne fortelle at det er anlagt over 550 grønne tak (ca 140tusen m²) totalt. Byen har målt avrenning fra flere grønne tak over en 5-8 års periode. VA-avdelingen i byen er positive til takenes flomdempende evne. GIS kartlegging er brukt for å finne steder der GT kan ha spesielt positiv virkning. Tema kunne være: Bygg større enn 900 m², mulig habitat for flora/fauna, sterk trafikk, problem med overvann med mer. Funnene ble brukt for å kontakte eierne av byggene for å ettermontere GT.

Bruk av GT er prioritert politikk i Portland, og er en del av byens klimaendringsspolitikk (ønske om 80 % CO₂ utslippsred. innen 2050), overvannsspolitikk (GT reduserer avrenning), sentrumsutviklingsplan (bonus til utbyggere med GT), grønne bygg politikk (alle nye og rehabilitering av gamle offentlige bygg skal ha 70 % GT, hvis mulig), med mer. I tillegg har staten Oregon en energisparings bestemmelse som stimulerer til anlegging av GT.

Linz i Østerrike har satset tungt på grønne tak over flere 10år. Tungindustri gjorde miljøproblemer til en stor utfordring. Fra begynnelsen i 1985 ble det gitt ca 30 % økonomisk støtte for anlegging av GT. Støtten er 5 % i dag. En av grunnene til redusert støtte er at alle bygg over 500 m² må ha GT. Jorddybden må være over 8 cm. I dag har Linz over 500tusen m² GT, og det er ikke lenger noen diskusjon om nytten eller behovet for GT blant arkitekter og eiendomsutviklere sier Edmund Maurer fra arealplanavdelingen i byen (www.linz.at).

Dusty Gedge er en legendarisk GT personlighet med sete i organisasjonen www.livingroofs.org, i London. Han mener politisk vilje er avgjørende for å få gjennomslag for utviklingen av GT i en by/område. I England er det nasjonal lov om at alt regnvann skal tas vare på ved kilden. Grønne tak bidrar her, og med ordførerens uttalte vilje om at GT skal fremmes har 800tusen m² tak blitt anlagt siden 2004. Målet er at 32 % av takene i London skal være grønne. For å sjekke potensialet er takene i byen skjønnsmessig kartlagt, basert på helling og bæreevne. Fem kategorier er plottet inn for på sikt å fremme anlegging av GT. "Hver gang jeg ser en byggekran, vet jeg at et nytt grønt tak anlegges", avslutter Dusty.

København er kommet langt i å ha det formelle regelverket på plass for å påby anlegging av grønne tak. Det hele startet med spillevannsplanen i 2008, og gikk videre gjennom mange plantyper fram til et krav om GT hvis takvinkelen er under 30°, hvis mulig. I alle kommunale byggerier må grønt andelen beholdes ved nybygg/renovering. En måte å gjøre det på er å anlegge grønne tak. En utfordring er at enkelt utbyggere planlegger tak med helling større enn 30°! I dag er ca 40tusen m² GT bygd i København. Mer enn 200tusen m² er på veg de kommende årene. Det er planlagt en grønn ferdselsåre på taket gjennom deler av København (Kalvebod Brygge). København gir utbyggere en engangsutbetaling på 300 Dkr for hver m² som fjerner avrenning til avløpsnett¹³. Slik støtte krever godkjenning av VA-selskapet. Målet er å få 30 % av nedbøren unna avløpsnett. En måte å løfte fram GT saken til eiendomsutviklere og publikum, er å arrangere grønne tak seminarer, sier Dorthe Rømø fra kommunen, som arrangerte en int. grønne tak konferanse i København i 2012 (<http://www.worldgreenroofcongress.com/>).

Roland Appl hadde eksempler på at det offentlige leide og vedlikeholdte private grønne tak for allmenn bruk.

¹³ Se Adaptation Inspiration book fra Circle-2; side 100-101. <http://www.circle-era.eu/np4/InspireBook.html>

Vedlegg 8. Bestemmelse av noen takplanter

Bestemmelse av *Phedimus*-, *Sedum*- og *Hylotelephium* arter

Av Ole Billing Hansen, etter Lid & Lid Norsk flora 7. utg. 2007.

NB! Sedummattene kan inneholde andre utenlandske arter som ikke er omtalt i floraen!

Gullbergknappslekta – *Phedimus*

Arter i denne slekta har flate blader og skudd som oftest visner ned om vinteren:

Gule blomster:

Rakbergknapp – *P. aizoon*: 20-40 cm høy, blomsterstengel kantete og ikke forgreinet, bladene er 5-8 cm lange, lansettformet, tannet og med kileformet bladgrunn (fig. 55).

Gullbergknapp – *P. kamtschaticus*: 10-20 cm høy, blomsterstengel tynn og av og til forgreinet, bladene er 5-8 cm lange, smale og tannet bare i bladspissen (fig. 56 og 62).

Sibirbergknapp – *P. hybridus*: 10-20 cm høy, bladskudd med tettsittende, 2-3 cm lange blader som faller av tidlig, blomsterstengler med avlange, rundtannede blader med kileformet grunn.

Vanligvis rosa blomster – av og til **hvite** eller **purpurøde** hos *P. spurius*:

Gravbergknapp – *P. spurius*: 5-15 cm høy, blomsterskudd opprette, bladene sitter oftest motstilt og er omvendt eggformet til kileformet og grovt rundtannet – faller av tidlig. Kronbladene er rosa, hvite eller purpurøde (fig. 57 og 58).

Krypbergknapp – *P. stoloniferus*: 5-10 cm høy, blomsterskudd er oppstigende, bladene små, eggformet og ikke tannet. Kronbladene er lysrøde.

Bergknappslekta – *Sedum*

Arter i denne slekta har tykke, ofte pølse- eller sylformede blader som overvintrer:

Hvite blomster:

Hvitbergknapp – *S. album*: 10-15 cm høy, blomsterskudd opprette, blader pølseformet, sprikende og ofte rødprykket, kronblader hvite og nærmest butte (fig. 59v og 60).

Kystbergknapp – *S. anglicum*: 5-10 cm høy, blomsterskudd krypende eller oppstigende, blader eggformet eller kort pølseformet, som oftest røde, kronblader spisse og hvite med røde striper og prikker (fig. 59 høyre).

Gråbergknapp – *S. hispanicum*: 5-10 cm høy (Toårig til flerårig og ikke mattedannende – trolig ikke brukt i blandingen?)

Gule blomster:

Bitterbergknapp – *S. acre*: 5-10 cm, skudd lysgrønne eller brungule, blomsterskudd korte og opprette, bladene i utdelige rekker, noe kantete, eggrunde og noe tiltrykte, kronblader gule – plantene har skarp smak (fig. 3 og trolig 4 og 61).

Kantbergknapp – *S. sexangulare*: 5-10 cm, skudd grønne eller røde, blomsterskudd opprette, sideskudd sylindriske med blader i seks tydelige rekker, bladene smalt pølseformet, kronblader lysgule – plantene har mild smak (kanskje 61).

Broddbergknapp – *S. rupestre*: 15-30 cm, bladene blågrønne, valseformet og broddspisse, ikke samlet i tette dusker i enden av skuddet. Visne blader faller av. Begerblader litt spisse og kronblader gullgule (kanskje fig. 65 venstre)

Konglebergknapp – *S. forsterianum*: 15-30 cm, bladene har flat overside og sitter samlet i tette, kongleaktige dusker i enden av skuddet. Visne blader sitter på plantene i flere år. Begerbladene er butte (kanskje fig. 65 høyre).

Småbergknapp – *S. annuum*: 5-10 cm (Toårig, rosettvekst og ikke mattedannende – trolig ikke brukt i blandingen?)

Rosa til purpurrøde blomster:

Lodnebergknapp – *S. villosum*: 2-6 cm (Toårig til flerårig og ikke mattedannende – trolig ikke brukt i blandingen?) Vokser på fuktig jord.

Smørbukkslekta – *Hylotelephium*

Arter i denne slekta har flate blader, tykke jordstengler og bladskudd som oftest visner ned om vinteren:

Grønhvite blomster :

Smørbukk – *H. maximum*: 20-50 cm høy, blader motstilt eller nærmest motstilt, grønne, eggformet og rundtannet. (Ikke brukt i blandingen, men vil trolig kunne opptre som ugras etter hvert.)

Rødfiolette blomster:

Hagesmørbukk – *H. telephium*: 20-40 cm høy, blader skruestilt, blågrønne, avlange til omvendt eggformet og smalner mot bladgrunnen. (Ikke brukt i blandingen – hagerømling flere steder i landet.)

Knebergknapp – *H. anacampseros*: 15-25 cm høy, blader skruestilt og sittende, helrandet. Blomsterstanden er stor og tett. (Ikke brukt i blandingen – hagerømling noen steder.)

Rosa blomster:

Høstbergknapp – *H. ewersii*: 5-15 cm høy, blader motstilte, runde, sittende og lys blågrønne. Blomsterstenglene er ikke stive. Blomsterstanden er tett (fig. 63 og 64).

Vedlegg 9. Sedumarter på takene i L34b

Arter i Sedum-gruppa kan være vanskelige å bestemme. Ole Billing Hansen (redaktør i park & anlegg og professor II ved NMBU). har bidratt i dette arbeidet. Artsbestemmelsen er gjort på bakgrunn av tilsendte foto. Alle foto ved Bent C. Braskerud.



Figur 55. Rakbergknapp (*Phedimus aizoon*).



Figur 56. Gullbergknapp (*Phedimus kamtschaticus*). Se også fig. 62.



Figur 57. Gravbergknapp. Lys bladfarge indikerer hvite blomster, mens planter med mørkere blader, som oftest har rosa blomster. Planter med purpurøde blomster har gjerne rødlige blader, men dette er nok først og fremst å se som utvalgte kultivarer i hagesentre.



Figur 58. Rosa blomster av gravbergknapp. Arten står på Artsdatabankens «svarteliste».



Figur 59. Venstre: Hvitbergknapp (*Sedum album*). En plante med hvite blomster og lysgrønne blader bakenfor er trolig en albino avart – mangler røde pigmenter.

Høyre: Kystbergknapp (*Sedum anglicum*).



Figur 60. Hvitbergknapp (*Sedum album*)

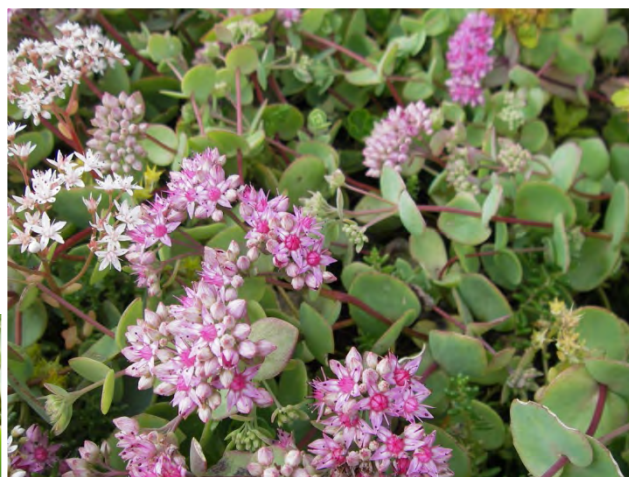
Figur 61. Trolig bitterbergknapp (*Sedum acre*), alternativt kantbergknapp (*Sedum sexangulare*).





Figur 62. Gullbergknapp foran og høstbergknapp bak.

Figur 63. Høstbergknapp i blomst.



Figur 64. Arten som dominerer i sentrum er trolig høstbergknapp (*Hylotelephium ewersii*).



Figur 65. Sedumarter på taket over kjellertrapp hadde arter GT 1, 2 og tak 4 ikke hadde. De lange artene er trolig en broddbergknapp (venstre), mens bildet til høyre likner mer på konglebergknapp. Sistnevnte har visne blader som blir sittende på plantene i flere år. Artsbestemmelsene for fig. 65 er litt usikker.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2014

- Nr. 1 Analyse av energibruk i forretningsbygg. Formålsdeling. Trender og drivere
- Nr. 2 Det høyspente distribusjonsnett. Innsamling av geografiske og tekniske komponentdata
- Nr. 3 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet: Eirik Førland, Jostein Mamen, Karianne Ødemark, Hanne Heiberg, Steinar Myrabø
- Nr. 4 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 7. Skred og flomsikring. Sikringstiltak mot skred og flom Befaring i Troms og Finnmark høst 2013
- Nr. 5 Kontrollstasjon: NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 6 New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. Tuomo Saloranta
- Nr. 7 EBO Evaluering av modeller for klimajustering av energibruk
- Nr. 8 Erfaringer fra ekstremværet Hilde, november 2013
- Nr. 9 Erfaringer fra ekstremværet Ivar, desember 2013
- Nr. 10 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2013. Ellen Skaansar (red.)v
- Nr. 11 Energibruksrapporten 2013
- Nr. 12 Fjernvarmens rolle i energisystemet
- Nr. 13 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer. Delprosjekt. 5.1.5
- Nr. 14 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer
- Nr. 15 Tilleggsrapport: Oppsummering av Energimyndighetens og NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 16 Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z). Thomas Væringstad
- Nr. 17 Årsrapport for tilsyn
- Nr. 18 Verktøyprosjektet - hydrologi 2010-2013. En oppsummering av aktiviteter og resultater. Erik Holmqvist (red.)
- Nr. 19 Flom og jordskred i Nordland og Trøndelag desember 2013. Elin Langsholt, Erik Holmqvist, Delia Welle Kejo
- Nr. 20 Vindkraft i produksjon i 2013
- Nr. 21 FoU-prosjekt 81072 Pilotstudie: Snøskredfarekartlegging med ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale) Klassifisering av snøskredterreng for trygg ferdsel
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 3.1. Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentakintervaller? Manual for å beregne returverdier av nedbør for ulike gjentakintervaller (for ikke-statistikker)
- Nr. 23 Flomsonekart Delprosjekt Tuv. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 24 Summary of the review of the electricity certificates system by the Swedish Energy Agency and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)
- Nr. 25 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga Per Alve Glad
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 1 Naturskadestrategi. Sammenligning av risikoakseptkriterier for skred og flom. Utredning for Naturfareprogrammet (NIFS)
- Nr. 27 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen
- Nr. 28 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. "Kvistdammer" i Slovakia. Små terskler laget av stedegent materiale, erfaringer fra studietur for mulig bruk i Norge
- Nr. 29 Reestablishing vegetation on interventions along rivers. A compilation of methods and experiences from the Tana River valley
- Nr. 30 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer
- Nr. 31 Småkraftverk: Tetthet og reproduksjon av ørret på utbygde strekninger med krav om minstevannføring Svein Jakob Saltveit og Henning Pavels
- Nr. 32 Kanalforvaltningen rundt 1814 – del av en fungerende statsadministrasjon for det norske selvstendighetsprosjektet. Grunnlovsjubileet 2014
- Nr. 33 Museumsordningen 10 år
- Nr. 34 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen -videreføring
- Nr. 35 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer Delprosjekt. 5.1.5. Revisjon av rapport 13-2014
- Nr. 36 Kvartalsrapport for kraftmarknaden 1. kvartal 2014. Gudmund Bartnes (red.)
- Nr. 37 Preliminary regionalization and susceptibility analysis for landslide early warning purposes in Norway

- Nr. 38 Driften av kraftsystemet 2013
- Nr. 39 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Effekt av progressivbruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse basert på data fra grunnundersøkelser på vegstrekningen Sund-Bradden i Rissa
- Nr. 40 Naturfareprosjektet DP. 6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse-1
- Nr. 41 Bioenergi i Norge
- Nr. 42 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Møre og Romsdal, Trøndelag og Nord-Norge. Delprosjekt. 5.1.3
- Nr. 43 Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge. Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013. Søren Boje, Hervé Colleuille og Graziella Devoli
- Nr. 44 Regional varslings av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen. Nils Arne K. Walberg, Graziella Devoli
- Nr. 45 Flomsonekart. Delprosjekt Hemsedal. Martin Jespersen, Rengifo Ortega, Julio H. Pereira Sepulveda
- Nr. 46 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Mulighetsstudie om utvikling av en nasjonal blokkprøvedatabase
- Nr. 47 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU
- Nr. 48 En norsk-svensk elsertifikatmarknad. Årsrapport 2013
- Nr. 49 Øvelse Østlandet 2013. Evalueringsrapport
- Nr. 50
- Nr. 51 Forslag til nytt vekstsystem i modellen for å fastsette kostnadsnormer i regionalnettene
- Nr. 52 Jord- og sørpeskred i Sør-Norge mai 2013. Monica Sund
- Nr. 53 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak for 2013
- Nr. 54 Naturfareprosjekt DP. 1 Naturskadestrategi Samarbeid og koordinering vedrørende naturfare. En ministudie av Fellesprosjektet E6-Dovrebanen og Follobanen
- Nr. 55 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Numerisk metode for beregning av udrenert brudd i sensitive materialer
- Nr. 56 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Tilbakeregning av Vestfossensskredet
- Nr. 57 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Effekt av progressiv bruddutvikling i raviner
- Nr. 58 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Sannsynlighet for brudd med prosentvis forbedring
- Nr. 59 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Likestilling mellom bruk av absolutt material faktor og av prosentvis forbedring: bruk av spenningsendring for å definere lokalskred og områdeskred
- Nr. 60 Skredfarekartlegging i Høyanger kommune
- Nr. 61 Flaumsonekart Delprosjekt Førde. Kjartan Orvedal og Ivar Olaf Peereboom
- Nr. 62 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Regionalt formelverk for flomberegning i små nedbørsfelt Delprosjekt. 5.1.6.
- Nr. 63 Naturfareprosjektet DP. 3.2 Datasamordning Ministudie av samordning og deling av flom-og skreddata for tre samarbeidende etater
- Nr. 64 Naturfareprosjektet. Delprosjekt 2- Beredskap og krisehåndtering. Delrapport 1 - Beredskapsplaner og krisehåndtering
- Nr. 65 Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med sedum-vegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo. Bent C. Braskerud.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no