

RI. SE

SAMHÄLLSBYGGNAD
URBAN WATER
MANAGEMENT



Utvärdering av gröna taks effekt att minska
flödesbelastningen på ledningsnätet

Mathias von Scherling

Brita Stenvall

RISE Rapport 2022: 150

Utvärdering av gröna taks effekt att minska flödesbelastningen på ledningsnätet

Mathias von Scherling

Brita Stenvall

Abstract

Evaluation of the effect of green roofs to reduce the risk of flooded networks

A short study has been performed in order to assess the potential effect of green roofs concerning reduced demands for pipe dimension. The study has been performed using hydraulic models of the stormwater network. The stormwater model is fictitious even though it is a model of a real network the amount of impermeable surfaces connected to the network are augmented to make them critical to changes i.e. that increased loads causes flood. Two different types of roofs have been tested at two different climate conditions from Sweden.

The study was performed with Mike Urban (Dhigroup.com) a market leading modeling software in Sweden. The modeling software has tools for supporting calculations of different SUDS (sustainable urban drainage systems) such as green roofs, bio retention cells and infiltration trenches. The tools are quite similar to the tools included in another software SWMM (EPA)

The build-up of the roofs in the model are modelled after a real roof in Kiruna. One roof consists of a thicker sedum-herbs-grassroof with a thickness of approximately 110-140 mm and the other 40 mm thick. None of the roofs had any technical constructions under in order to delay the runoff. Only water absorbing mats for the vegetation.

Two different climates were simulated using precipitation, and temperature calculated evaporation using open data from the Swedish Meteorological and Hydrologic Institute, SMHI. The locations chosen was from Kiruna in the north of Sweden and from Malmö. Only summer periods were studied.

The main mechanisms for stormwater reduction and detention are

1. Reduction of the total runoff due to wetting of the material. When the water content in the soil is under the field capacity there will be an additional loss for saturating the material to make it drip through.
2. Slowing the runoff for more intense rains by detention. Green roof substrates are quite permeable but for heavier rains it can be limiting and thus leading to temporary storage in the pores. Sometimes there can be underlying constructions for detention.

First yearly simulations were performed for the two different types of roofs at two locations. In the study yearly runoff was evaluated which differs between different roofs and different climates. Furthermore, the variation of saturation of the roofs were analysed. Secondly development was simulated by increasing the connected impermeable surfaces connected to the model by 10% and 40%. Then design rains with a return time of 10 year was simulated with floodings as a result (since the models were altered to be critical). Then the number of green roofs were increased until the flooding vanished. Different initial saturations were tested.

For 30-70% of all rains >6mm in summertime in Kiruna no runoff was calculated. For Malmö the result was between 50-95%. The cause of the reduction is due to storage in unsaturated soils which has been dried up between rains. The increased area connected impermeable surfaces had to be matched with a little more than an equal number of green roofs.

The main and in a way an obvious conclusion was that a warmer climate results in a roof that dries up more often thus allowing it to absorb all water from many smaller rain events. Another conclusion was that a thicker roof has more capacity than a thinner roof to absorb water. It is also quite logical that an increase of permeable surfaces has to be matched against the same number of green roofs to remain at status quo.

Key words: green roof, stormwater, network, flooding

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2022: 150

ISBN: 978-89757-40-0

Uppsala 2022

Innehåll

| | |
|--|-----------|
| Abstract | 1 |
| Innehåll | 3 |
| Sammanfattning | 4 |
| 1 Inledning | 6 |
| 1.1 Bakgrund | 6 |
| 1.2 Syfte | 6 |
| 1.3 Avgränsningar | 6 |
| 2 Metod | 6 |
| 2.1 Beskrivning av de gröna tak som ska studeras | 7 |
| 2.2 Dagvattenmodell för studien..... | 8 |
| 2.3 Förarbete – modellen görs ”kritisk” | 8 |
| 2.4 Modellverktygets funktion | 9 |
| 2.5 Faktorer som påverkar magasinering och avrinning | 10 |
| 2.6 Valda parametervärden i modellen | 11 |
| 2.6.1 Permeabilitet | 11 |
| 2.6.2 Dimensioner och vattenhållande förmåga | 12 |
| 2.6.3 Klimatdata | 13 |
| 2.7 Försöksuppställning | 15 |
| 2.7.1 Test av takens prestanda under olika klimatförhållanden – mättnadsgrad när regnet kommer | 15 |
| 2.7.2 Nödvändig implementering av gröna tak för att uppväga effekten av förtätning | 16 |
| 3 Resultat | 16 |
| 3.1 Mättnadsgrad när regnet kommer..... | 16 |
| 2.8 Nödvändig implementering av gröna tak för att uppväga effekten av förtätning | 18 |
| 3. Slutsatser och diskussion | 20 |
| 4. Övriga noter | 21 |

Sammanfattning

En kort studie har genomförts för att bedöma den potentiella effekten av gröna tak som åtgärd för att minska behovet av uppgraderade rördimensioner vid nyexploatering. Studien har utförts med hjälp av en hydraulisk modell över dagvattenledningsnätet. Två olika typer av gröna tak har testats vid två olika klimatförhållanden från Sverige.

Studien utfördes med Mike urban (Dhigroup.com) som är en marknadsledande modellprogramvara i Sverige. Modelleringsmjukvaran har verktyg för att stödja beräkningar av olika SUDS (sustainable urban drainage systemes) såsom gröna tak, bioretentionsceller och infiltrationsdiken. Verktygen är ganska lika de verktyg som ingår i en annan programvara SWMM (EPA)

Taken som beskrivs i modellen finns på ett riktigt tak på det ”7:e huset” i Kiruna. Den ena delen av taket består av ett tjockare sedum-ört-grästak med en tjocklek på cirka 110-140 mm. Det andra är ett tunnare sedumtak, 40 mm tjockt. Inget av taken hade några tekniska konstruktioner under för att fördröja avrinningen.

För att kunna uppskatta takens mätnadsgrad vid häftiga regntillfällen behövs information om avdunstningen, vilken beräknas från långa tidserier över temperatur och regnmängd i Kiruna och Malmö. Data inhämtades från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institutet, SMHI. Endast sommarperioder studerades.

De två viktigaste mekanismerna med gröna tak för att minska avrinningen och kunna magasinera dagvatten är:

1. Minskning av den totala avrinningen på grund av vätning av materielen. Så länge vattenhalten i substratet är under fältkapaciteten finns det plats för mer vatten innan det börjar droppa igenom och avrinningen börjar.
2. Bromsa avrinningen för mer intensiva regn genom kvarhållande i den dränerbara porvolymen. Gröna taks substrat är ganska genomsläppliga, men för kraftigare regn kan det vara begränsande och därmed leda till tillfällig lagring i porerna. Ibland kan det finnas underliggande konstruktioner för ytterligare magasinering.

Simuleringar genomfördes för de två olika typerna av tak på två platser. I studien utvärderades hur den årliga avrinningen skiljer sig mellan olika tak och olika klimatzoner, Kiruna och Malmö. Även variationen i takens mätnad analyserades.

Därefter belastades modellen med tillkommande hårdgjorda ytor om 10 respektive 40 % för att beskriva en framtida exploatering. Genom simulering med ett CDS-regn med 10-års återkomsttid utvärderas sedan i vilken utsträckning gröna tak måste tillämpas för att undvika att befintligt dagvattensystem måste dimensioneras upp.

För 30-70 % av alla regn >6 mm på sommaren i Kiruna beräknades ingen avrinning. För Malmö var resultatet mellan 50-95%. Orsaken till minskningen beror på lagring i omättade jordar som har torkat upp mellan regnen. För att sen kompensera för de översvämningar som sker till följd av förtätning så måste andelen av arealen som har gröna tak ökas. Det ser ut som att det krävs lika stora ytor med gröna tak som den ökning som skett av hårdgjorda ytor i samband med exploatering.

Den huvudsakliga och på sätt och vis självklara slutsatsen var att ett varmare klimat resulterar i ett tak som torkar oftare, vilket gör att det absorberar allt vatten från många mindre regnhändelser. En annan slutsats var att ett tjockare tak har mer kapacitet än ett tunnare tak att absorbera vatten. Det är också ganska logiskt att en ökning av hårdgjorda ytor måste matchas mot samma mängd gröna tak för att förbli i status quo.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

För projektet *Environmental Return of Investments* har gröna tak studerats ur ett hydrauliskt perspektiv. Det har undersökts vilken fördröjande effekt gröna tak har på mottagande ledningssystem för dagvatten.

Gröna tak är numera ett väletablerat inslag i stadsmiljön, från tunna sedumtak till parkmiljöer på bjälklagsgårdar. De är särskilt populära på fastigheter i tätbebyggda stadsdelar där många olika funktioner behöver finnas på en liten yta.

Väl fungerande gröna tak kan bidra med reduktion av dagvattenvolymer och fördröjning av flödestoppar. Detta sker genom en ökad avdunstning och transpiration (så kallad evapotranspiration), ökande magasinering och trögare avrinning av vatten med hjälp av substratet (Mentens et al. 2006; Fioretti et al. 2010), förbättrad dagvattenkvalitet (Berndtsson et al. 2009), bättre mikroklimat och luftkvalitet (Yang et al. 2008; Doug et al. 2005), samt förbättrat inomhusklimat, och minskning av operativ energianvändning (Fioretti et al. 2010; Santamoris et al. 2007).

1.2 Syfte

Studien syftar till att utvärdera hur dagvattenavrinningen påverkas vid implementering av olika typer av gröna tak. Detta görs ur ett avrinningsområdesperspektiv, där hela dagvattensystemet med gröna tak, hårdgjorda ytor och ledningsnätet innefattas i modellbeskrivningen.

Potentialen för gröna tak att minska flödesbelastning på dagvattenledningsnätet ska studeras i samband med förtätningar i befintliga områden.

Frågan som ska besvaras i studien är om gröna tak kan bidra till att förnyelse (uppdimensioneringar) av ledningsnätet kan undvikas vid ökad andel av hårdgjorda ytor.

1.3 Avgränsningar

Studien fokuserar på toppflöden vid häftiga regn. Den utvärderar inte förbättrad reningseffekt i eventuella dagvattenanläggningar. Inte heller effekten av minskad tillskottsvattenmängd på bräddningar och utsläpp från reningsverk i kombinerade system, även om det kan konstateras att minskning av toppflöden även har effekt i dessa avseenden.

2 Metod

Studien genomförs med hjälp av simuleringar av olika scenarier för ett hypotetiskt avrinningsområde som utsätts för olika regnserier ifrån olika klimatzoner i Sverige (Kiruna i Norr och Malmö i södra Sverige) för att kunna bedöma den potentiella effekten från gröna tak för olika delar av landet. Modellverktyg är Mike Urban.

2.1 Beskrivning av de gröna tak som ska studeras

I studien ingår varianter av gröna tak från "7:e huset" i Kiruna. Halva taket har ett tunnare mossa-sedumtak medan det andra taket är ett lite tjockare sedum-örtgrästak. Takytan är totalt ca 250 m². Taklutningen är 6 grader.



Figur 1. 7:e huset i Kiruna.

Mossa-Sedum-taket (västra halvan samt de nedre taken)

30 mm Sedummatta bestående av Sedum och bjälklagsjord (60% vattenhållande förmåga, fältkapacitet): [Sedummatta - Veg Tech AB](#)

10 mm tjockt vattenhållande filt-lager (VT-filt: vikt 1280 g/m², vattenhållande förmåga: 8 l/m² (80%))

[VT-filt - Veg Tech AB](#)

System för lutande tak XMS 2-27°

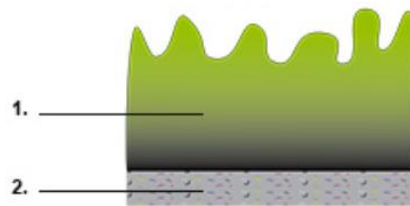
Vikt vattenmättad: 50 kg/m²

Vattenhållande förmåga: mindre än 20 l/m²

Bygghöjd: 40 mm

1. 30 mm Xeroflor Moss-Sedum

2. 10 mm VT-filt



Figur 2. Figur från Vegtech på takets uppbyggnad.

Sedum-Ört-Gräs (östra halvan)

100 mm bjälklagsjord planterad med blandning av ängsväxter, gräs och Sedum

Bjälklagsjord har vattenhållande förmåga på 60% enligt (Krebs et al.)

40 mm Grodan (mineralullslager), Vattenhållande förmåga: 34 l/m² (85%)

[Grodan PP formstabil - Veg Tech AB](#)

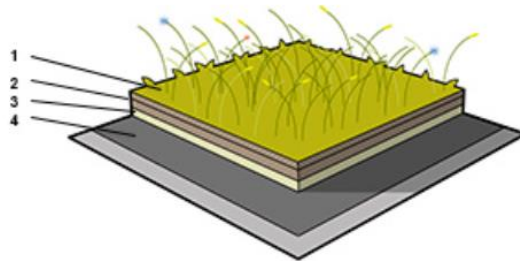
Lutande tak 5-14°

Vikt vattenmättad: 130-190 kg/m²

Vattenhållande förmåga: 65-100 l/m²

Bygghöjd: 110-140 mm

1. Torrängsmatta
2. Veg Tech takjord
3. Grodan - vattenhållande skikt
4. Rotskydd 80



Figur 3. Figur på takets uppbyggnad från Vegtech

2.2 Dagvattenmodell för studien

En dagvattenmodell för ett villaområde i Karlstadstrakten har använts för att genomföra simuleringarna. Den verkliga platsen för modellen saknar betydelse då klimatförutsättningarna förändras.



Figur 4. Dagvattenmodell över ett område i Karlstadstrakten som använts i studien.

2.3 Förarbete – modellen görs ”kritisk”

För att underlätta utvärdering av gröna taks effekt i studien har modellen gjorts ”kritisk” genom att de ytor som bidrar med dagvattenavrinning successivt har justerats för att modellen precis ska klara ett tioårsregn utan att ge marköversvämning (det ska understrykas att modellen från början inte var kalibrerad).

På så sätt får en ökad exploatering i form av mer belastande hårdgjorda ytor ett direkt genomslag i form av översvämningar vid tioårsregnet.

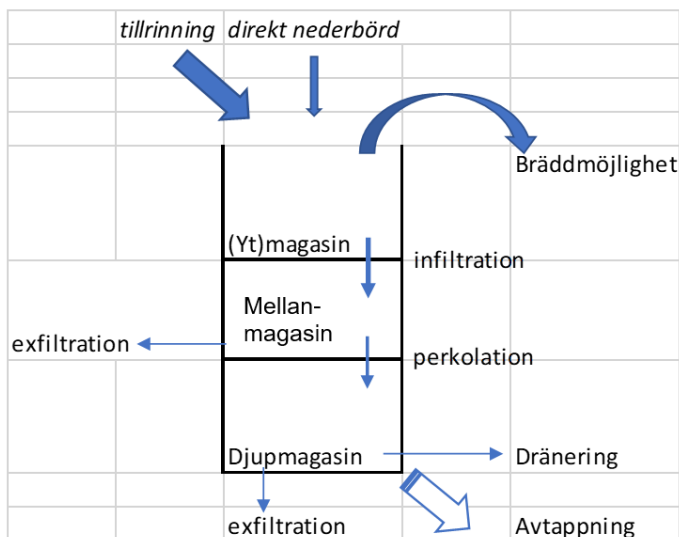
Tabell 1. Justeringar av ursprungsmodellen för att "precis" klara tioårsregnet med ledningsnätet utan uppdamning över mark.

| | Före justering (ha) | Efter justering (ha) |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| Total yta | 96 | 96 |
| Hårdgjord ansluten yta | 19 | 13 |

2.4 Modellverktygets funktion

För studien har modelleringsverktyget Mike Urban använts. Verktöget har funktioner för att simulera olika åtgärder för trög avvattningsområde som i modellverktyget går under benämningen LID (Low Impact Development). De funktioner som finns för att beskriva hållbar dagvattenhantering motsvarar i stort de verktyg som finns i SWMM (<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>).

Förenklat kan LID-funktionerna beskrivas som att avrinningen för den andel av respektive avrinningsområde som förses med LIDs beräknas separat vid sidan om avrinningsberäkningen för resterande område. Sedan sker beräkningen av flödet i ledningsnätet. En åtgärd beskrivs som ett antal kopplade magasin med olika mäktigheter och egenskaper och däremellan definierade värden på maximala flödes hastigheter (mm/h) liksom utflöden.



Figur 5. Konceptuell bild av hur en fördröjningsåtgärd implementeras i modelleringsverktyget. Olika åtgärder skiljer sig åt avseende vilka möjliga flöden som är möjliga och vilka magasin som finns.

2.5 Faktorer som påverkar magasinering och avrinning

Fysikaliska egenskaper hos substratet som påverkar magasinering och avrinning från taket vid regn beskrivs nedan.

- Porositet [%]. Den totala hålrumsvolymen i substratet.
- Vattenhalt vid fältkapacitet [%]. Kapillärt bundet vatten i substratet när överskottsvatten runnit bort.
- Dränerbar porositet [%]. Den porvolym i växtbädden som aldrig kan vara fylld med kapillärt bundet vatten, men som temporärt kan fyllas med regnvatten och sedan snabbt dräneras av.
Dränerbar porositet [%] definieras som: skillnaden mellan porositeten och vattenhalten vid fältkapacitet.
- Vattenhalt vid vissningsgräns [%]. Den undre gränsen för hur torrt ett substrat kan bli.
- Avrinningsförlust [mm]. Vid regn måste taket växtsubstratet och eventuellt andra vattenhållande lager bötas upp till fältkapacitet innan vattnet kan börja rinna av. Hur stor avrinningsförlusten blir vid ett aktuellt regntillfälle styrs av tjockleken på taket, fältkapaciteten samt hur fuktigt taket är när regnet börjar
Avrinningsförlusten [mm] definieras som: takets tjocklek * (fältkapacitet – aktuell vattenhalt)
Ju tjockare material och ju större skillnad mellan fältkapacitet och aktuell vattenhalt, desto större avrinningsförlust kan det bli.
- Mättnad(vatten) av tak [%]. I denna rapport definieras det som:
(aktuell vattenhalt – vissningspunkt)/(fältkapacitet – vissningspunkt)
Om taket är i fältkapacitet blir således mättnaden 1, eller 100 %. Vid ytterligare regn kan övriga hålrum (den dränerbara porositeten) börja fyllas på, varvid mättnaden blir större än 100 %.
- Utjämningsvolym [mm]. När det regnar sker först en avrinningsförlust, dvs att substratet fylls upp till fältkapacitet. Därefter börjar resterade porer, den dränerbara porvolymen, att fyllas med vatten.
Utjämningsvolymen [mm] definieras som: takets tjocklek * dränerbar porositet
- Permeabilitet [mm/h]. Med vilken hastighet i mm/h som den dränerbara porvolymen har kapacitet att ta emot vatten. Ett annat ord för permeabilitet är infiltrationskapacitet. Vid högintensiva regn kan det hända att intensiteten på regnet överstiger substratets infiltrationskapacitet, varvid en del av regnet rinner av på ytan (bräddning).

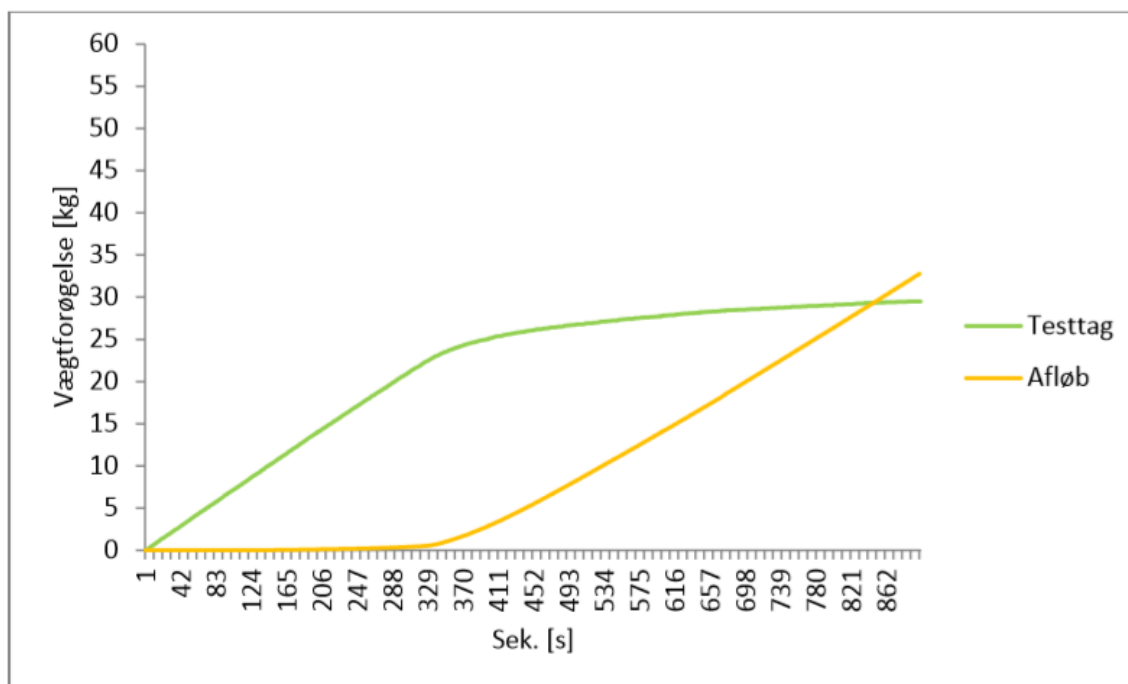
I modellen anges parametervärden för de olika lagrens mäktighet, deras porositet och vattenhållande förmåga. Det anges också parametrar för permeabiliteten.

2.6 Valda parametervärden i modellen

2.6.1 Permeabilitet

Det är lätt att hitta värden för gröna taks uppbyggnad och vissa materialspecifika åtgärder såsom vattenhållande kapacitet för extra vattenhållande lager. Däremot är det svårare att finna uppgifter kring porositet, fältkapacitet och vissningsgräns för olika växtsubstrat. Ännu svårare är det att få fram uppgifter kring hur substratets (och övriga lagars) permeabilitet/konduktivitet ser ut.

En dansk undersökning från AgroTech¹ studerade effekten från mättade gröna tak i avseende på hur stor andel av det som regnar med intensiteten 230 l/s/ha (83 mm/h) som avrinner på 10 respektive på 15 minuter. Taket och avrinningen vägdes under försöket. Efter 15 minuter avbröts försöket och resten av avrinningsförloppet redovisas ej. Då taken var mättade kan man dock anta att andelen efter en viss tid ändå borde ha gått upp till 1. En stor del av förloppet var dock en ren tidsfördröjning, se figur nedan.



Figur 6. Exempel på försök med gröna tak. AgroTech 2013.

Något som inte analyseras i försöken var permeabiliteten men det går att dra slutsatser från graferna enligt figuren ovan. Om man studerar lutningen på den gula avrinningskurvan i figuren så ser man att den inte riktigt når upp till samma lutning som viktökningen som beror av regnandet. Maximal lutning på den gröna kurvan motsvarar

¹ Bastian Junker. AgroTech A/S. 2013. Håndtering af Regnvand.

230 l/s/ha och man kan också räkna ut lutningen på den gula kurvan och översätta den i en maximal permeabilitet. Detta har genomförts för ett antal tak i rapporten av varierande tjocklek och uppbyggnad vilket redovisas i tabellen nedan.

Tabell 2. Utvärdering av avrinningsgrafer för olika gröna tak från en rapport (AgroTech, 2013. Håndtering af regnvand)

| Tak varunamn | Taklutning grader | Total tjocklek (mm) | Max permeabilitet efter 15 min (mm/h) |
|--------------|-------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Diaflow | 15 | 150 | 55 |
| Diaflow | 5 | 150 | 35 |
| Diadem 50 | 2 | 55 | 77 |
| Diadem 100 | 2 | 95 | 81 |
| DiaCell 95 | 15 | 95 | 82 |

Taken är olika i sin uppbyggnad och det är svårt att dra generella slutsatser annat än att permeabiliteten kan variera mellan olika tak samt att en högre lutning verkar kunna ge högre permeabilitet (de två första taken som är identiska förutom lutning). En permeabilitet på 80 mm/h motsvarar ungefär max regnintensitet under 10 minuter för ett tioårsregn.

2.6.2 Dimensioner och vattenhållande förmåga

Taken i Kiruna har flera vattenhållande lager med olika fältkapacitet som kan kombineras till ett enda mellanlager enligt Figur 2 och 3

2.6.2.1 Taket med Mossa-sedum

31 mm växtsubstrat, antagen porositet, fältkapacitet och vissningspunkt 56%, 37% respektive 10% + 10 mm vattenhållande filt med 80% fältkapacitet. Sammantaget simulerades taket med 41 mm tjocklek, 64% porositet, 47% fältkapacitet samt 8% i vissningspunkt – totalt 16,4 mm i vattenhållande förmåga, se tabell nedan

Tabell 3. Data för taket med mossa-sedum.

| Lager | Tjocklek [mm] | Porositet [%] | Fältkapacitet [%] | Vissningspunkt [%] | Vattenhållande förmåga [mm] |
|--|---------------|---------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|
| Växtsubstrat | 31 | 56 | 37 | 10 | 8,4 |
| Vattenhållande filt | 10 | - | 80 | - | 8 |
| Totalt, data för mellanlagret i modellen | 41 | 64 | 47 | 8 | 16,4 |

Taket gavs en permeabilitet på 80 mm/h (utifrån Agrotech rapportens undersökningar) och med en konduktivitetsslutning på 40 och ett ”suction head”² och en rapport som kalibrerat parametrar i SWMM för simulering av gröna tak i nordiskt klimat³.

2.6.2.2 Taket med sedum-ört-gräs

96 mm växtsubstrat, antagen porositet, fältkapacitet och vissningspunkt 56%, 37% respektive 10% + 40 mm vattenhållande mineralullslager med 85% fältkapacitet. Sammantaget simulerades taket med 136 mm tjocklek, 66% porositet, 51% fältkapacitet samt 7% i vissningspunkt – totalt 59,9 mm i vattenhållande förmåga, se tabellen nedan.

Tabell 4. Data för taket med sedum-ört-gräs.

| Lager | Tjocklek [mm] | Porositet [%] | Fältkapacitet [%] | Vissningspunkt [%] | Vattenhållande förmåga [mm] |
|--|---------------|---------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|
| Växtsubstrat | 96 | 56 | 37 | 10 | 25,9 |
| Mineralull | 40 | - | 85 | - | 34 |
| Totalt, data för mellanlagret i modellen | 136 | 66 | 51 | 7 | 59,9 |
| | | | | | |

Takets gavs en permeabilitet på 38 mm/h med en konduktivitetsslutning på 40 och ett ”suction head”⁴ på 61,3 mm.

2.6.3 Klimatdata

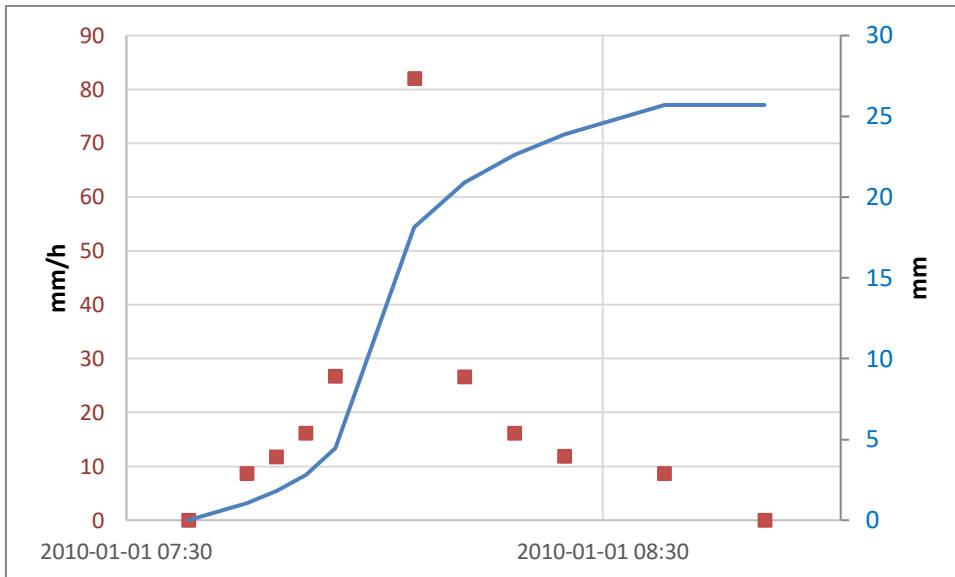
2.6.3.1 Regn

För test av effekten från åtgärderna vid dimensionerande situationer används ett CDS regn med 10 års återkomsttid, ett centralt block på 10 minuter samt 60 minuters total varaktighet. Total volym för regnet är 25 mm

² Denna parameter har ingen märkbar påverkan på resultatet.

³ Krebs, Kuoppamäki, Kokkonen, Koivusalo. 2016. *Simulation of green roof test bed run off*. Hydrological processes.

⁴ Denna parameter har ingen märkbar påverkan på resultatet.



Figur 7. Använt CDS-regn. Blå kurva = ackumulerad nederbördsmängd, orangea punkter = blockintensiteter för regnet. Figuren är något missvisande då intensiteten ändras i block. Det centrala blocket motsvarar 13,5 mm på tio minuter

2.6.3.2 Temperatur och avdunstning

För utvärdering av effekten vid ett enstaka häftiga regntillfällen spelar inte temperatur och avdunstning någon roll och har därför utelämnats.

För att kunna uppskatta takens mättnadsgrad vid häftiga regntillfällen behövs information om avdunstningen, vilken beräknas från långa tidserier över temperatur och regnmängd i Kiruna och Malmö.

Avdunstningen beräknas enligt *Grundvattenbildning i svenska typjordar* (2004, Rodhe et al):

$$E_{pot} = B(t) \cdot T \quad \text{för } T > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$E_{pot} = 0 \quad \text{för } T \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$B(t) = (1 + A \cdot \sin(2\pi \frac{t + \Psi}{365} - \frac{\pi}{2})) \cdot C_E$$

t = dagnummer på året

A = amplitud

Ψ = fasförskjutning (dagar)

C_E = avdunstningsparameter ($\text{mm d}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

Tabell 4. Parametervärden som använts vid beräkning av grundvattenbildningen i Sverige.

| Parameter | Värde |
|-----------------|---|
| C_E | $0,19 \text{ mm d}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ |
| A | 0,5 |
| Ψ | 45 dygn |
| F_c grov jord | 70 mm |
| F_c morän | 244 mm |
| F_c fin jord | 366 mm |

Tabell 5. Regndata för Rensjön (nära Kiruna) och Malmö (SMHIs stationer).

| Regn | | | | | | | | | | | |
|---------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mm | | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Rensjön | Totalt | 309 | 449 | 589 | 567 | 541 | 346 | 466 | 509 | 614 | 339 |
| | Sommar | 223 | 317 | 388 | 347 | 377 | 233 | 291 | 313 | 376 | 243 |
| | | | | | | | | | | | |
| Malmö | Totalt | 518 | 725 | 725 | 569 | 585 | 879 | 778 | 573 | 746 | 468 |
| | Sommar | 203 | 372 | 476 | 216 | 252 | 414 | 311 | 286 | 313 | 140 |

Tabell 6. Beräknad potentiell avdunstning för Rensjön (nära Kiruna) och Malmö från temperaturdata (SMHIs stationer).

| Potentiell avdunstning | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mm | | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Rensjön | Totalt | 316 | 277 | 348 | 259 | 357 | 337 | 285 | 326 | 269 | 343 |
| | Sommar | 306 | 265 | 324 | 249 | 344 | 322 | 272 | 313 | 261 | 329 |
| | | | | | | | | | | | |
| Malmö | Totalt | 518 | 725 | 725 | 569 | 585 | 879 | 778 | 573 | 746 | 468 |
| | Sommar | 203 | 372 | 476 | 216 | 252 | 414 | 311 | 286 | 313 | 140 |

2.7 Försöksuppställning

2.7.1 Test av takens prestanda under olika klimatförhållanden – mätnadsgrad när regnet kommer

Likformiga områden konstrueras där hela ytan implementeras med gröna tak av två olika typer samt i två olika klimat, Lappland och Skåne. Sedan simuleras takens effekt med ett 10-årigt CDS-regn och avdunstningsserie för 2009–2018, enligt tabell 8 ovan.

Testet används för att svara på hur mättat taket är när regnet inträffar? (frekvensfördelning för mätnadsgrad vid regnets start tas fram)

Endast sommarhalvåret utvärderas av två orsaker:

1. Sannolikheten för häftiga konvektiva regn som är dimensionerande för dagvattensystemet är absolut störst under sommarhalvåret (maximala snösmältningssintensiteter är betydligt lägre än de intensiteter som regn kan uppgå till)
2. Takets funktion under snö och is är inte känd.

Vidare kan det nämnas att vintertid så är avdunstningen så pass låg att vattenmättnaden blir generellt hög vilket också minskar effekten.

2.7.2 Nödvändig implementering av gröna tak för att uppväga effekten av förtätning

För att simulera en förtätning av området i framtiden ska den totala andelen av hårdgjorda ytor ökas i modellen med 10 % respektive 40%.

Samtidigt ska gröna tak implementeras i modellen. Även dessa gröna tak fördelas jämnt över avrinningsområdet.

Genom simulering med CDS-regn utvärderas det i vilken utsträckning gröna tak måste tillämpas för att undvika att befintligt dagvattensystem måste dimensioneras upp. Mängden gröna tak ökas tills det når dimensioneringskriteriet, vilket är att undvika marköversvämning vid ett CDS-regn⁵.

Det inses att initial vattenmättnad i de gröna taken när regnet börjar har stor betydelse för deras effekt. Därför testas CDS-regn under olika initiala förhållanden – helt omättade, 50% mättade samt totalt mättade förhållanden. Med hjälp av långtidsregnserien, (se kapitel 2.6.3.2) görs en analys för hur sannolikt de olika initiala förhållandena är.

För att utvärdera graden av marköversvämning vid de olika simuleringarna användes ledningslängd, med trycket är över marknivå som indikatorparameter.

3 Resultat

3.1 Mättnadsgrad när regnet kommer

Studier av mättnadsgrad vid regnstart har visat att sannolikheten är hög för att det gröna taket kan rymma hela regnets volym utan att det blir så mättat att avrinning sker.

För ett grönt tak i Kiruna under sommarmånaderna maj-september var sannolikheten 73 respektive 84 % för ett mosa-sedumtak respektive grästak att kunna rymma hela regnet. Om regntillfällena filtreras till att endast omfatta regn > 6 mm⁶ så blir utfallet istället 28 respektive 68%.

För ett grönt tak i Malmö under sommarmånader maj-sep så befanns sannolikheten till 87 respektive 99 % för ett mosa-sedumtak respektive grästak att kunna rymma hela regnet. Om regntillfällena filtreras till att endast omfatta regn > 6 mm så blir utfallet istället 48 respektive 94%.

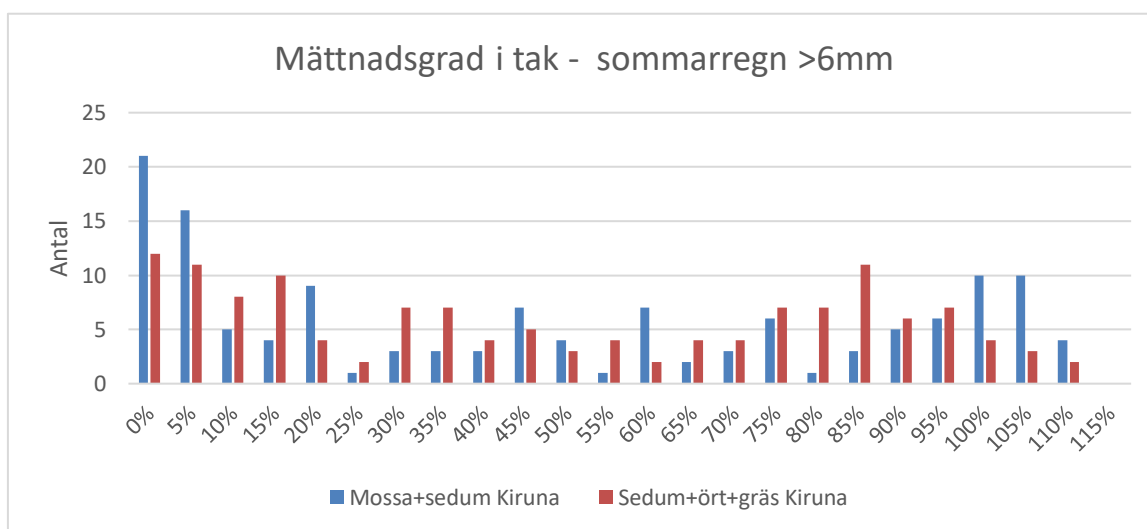
⁵ Olika återkomsttider på regnet är dimensionerande för olika förhållanden. I och med att studien är hypotetisk på en anpassad modell så har godtyckligt 10-årsregnet valts för utvärderingen.

⁶ Valet av 6 mm har gjorts genom att det statistiskt sett (enligt Dahlström 2010) ungefärligt motsvarar såväl ett 1-månadsregn med 60 min varaktighet som ett 1-årsregn med 10 minuters varaktighet. Alltså antingen "vanligt, volymrikt och relativt långvarigt" eller "ovanligt, intensivt och kortvarigt"

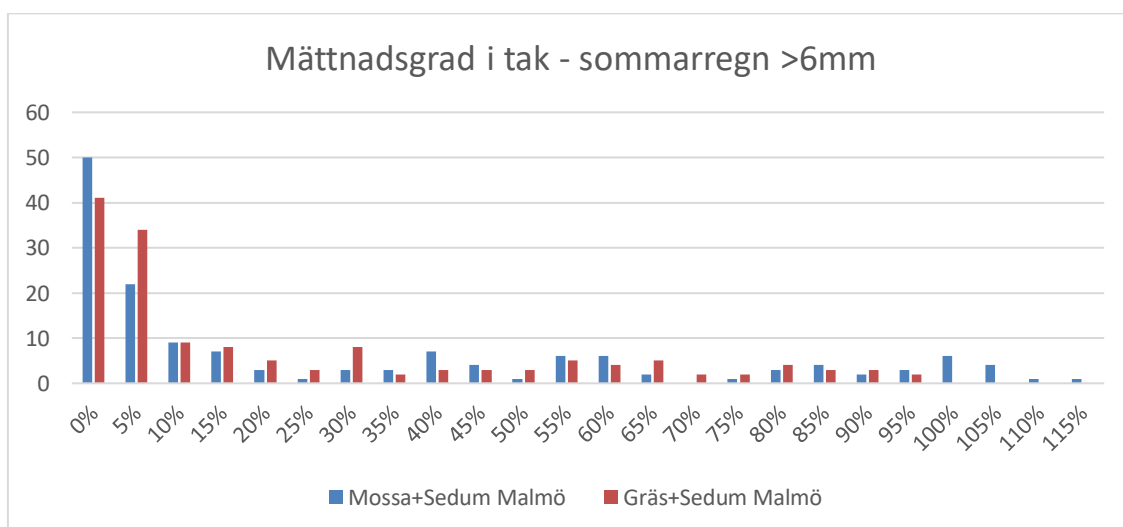
Tabell 7. Sannolikhet att ett sommarregn (maj-september) helt "ryms" i det gröna taket och ej kommer att ge någon avrinning.

| Sannolikhet att "rymma" hela regnet | Kiruna | | Malmö | |
|-------------------------------------|----------------|---------|----------------|---------|
| | Mossa-Sedumtak | Grästak | Mossa-Sedumtak | Grästak |
| Alla sommarregn | 73% | 84% | 87% | 99% |
| Sommarregn>6mm | 28% | 68% | 48% | 94% |

För att svara på frågan hur sannolikt det är med olika mättnadsgrader vid regn så har frekvensen för mättnad vid regnstart studerats och delats in i olika klasser.



Figur 8. Frekvensfördelning för mättnadsgraden i gröna tak vid regnets start i Kiruna. Sommarregn>6mm maj-september. Blå staplar för mossa+sedumtak, orangea för sedum+ört+grästak. En mättnad > 100% innebär att taket vid regnets start redan är mättat över fältkapacitet och alltså redan rinner av.



Figur 9. Frekvensfördelning för mättnadsgraden i gröna tak vid regnets start i Malmö. Sommarregn>6mm maj-september.

Klasserna i figurerna ovan grupperades för att ge en sannolikhet för omättade, halvmättade och helmättade förhållanden. Se Tabellerna nedan.

Tabell 8. Fördelning av mättnadsgrad när regnet startar för gröna tak i Kiruna 2009-2018 vid över 6 mm nederbörd under sommaren maj-sep.

| Klass | Mossa+Sedum | Gräs+Sedum |
|---------|-------------|------------|
| 0-20% | 41% | 34% |
| 25-70% | 25% | 31% |
| 75-115% | 34% | 35% |

Tabell 9. Fördelning av mättnadsgrad när regnet startar för gröna tak i Malmö 2009-2018 vid över 6 mm nederbörd under sommaren maj-sep. i Tre klasser: Låg upp till 20%, medel 20-70%, hög 70-över 100%

| Klass | Mossa+Sedum | Gräs |
|---------|-------------|------|
| 0-20% | 62% | 65% |
| 25-70% | 22% | 26% |
| 75-115% | 16% | 9% |

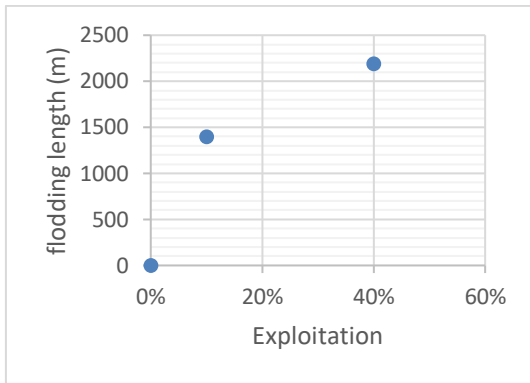
Även effekten på total avrinning från gröna tak har jämförts i olika klimat. Effekten här beräknad som (reduktion av avrinning)/(avrinning utan åtgärd), se Tabellen nedan. Anledning till att effekten här är mindre än den som ses i Tabell 8 är att även en hårdgjord yta har en effekt i form att ytan måste vätas innan avrinning kan ske. I modellen går 0,6 mm av varje regn åt för vätning.

Tabell 10. Effekt på total avrinning från ett grönt tak jämfört med en hårdgjord yta under sommarmånader (maj t.o.m. september).

| Effekt Sommar | Mossa+Sedumtak | Sedum+Ört+Gräs |
|---------------|----------------|----------------|
| Kiruna | 57% | 81% |
| Malmö | 73% | 94% |

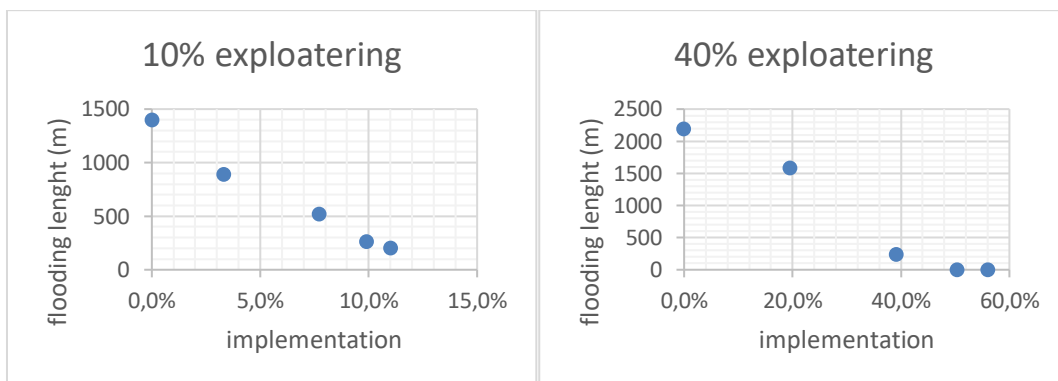
2.8 Nödvändig implementering av gröna tak för att uppväga effekten av förtätning

Förtätning orsakar att den kritiska modellen får marköversvämning, d.v.s. att trycklinjen i ledningarna överstiger marknivån, se figuren nedan. Ökningen av översvämning med ökad exploateringsgrad verkar inte vara linjär.



Figur 10. Ledningslängd med tryck över marknivå vid olika exploateringsgrad. Inga gröna tak implementerade.

För att kompensera för de översvämningar som sker till följd av förtätning måste andelen av arealen som har gröna tak ökas. Det ser ut som att det krävs lika stora ytor med gröna tak som den ökning som skett av hårdgjorda ytor i samband med exploatering. Faktiskt verkar det som att det krävs lite mer. Se figur nedan. Ingen skillnad kunde ses mellan ett tunnare mossa-sedumtak mot ett tjockare sedum-ört-grästak, varför bara en serie visas i graferna.



Figur 11. Kompensering av översvämningar med hjälp av gröna tak vid 10 % respektive 40 % exploatering. Implementerad mängd gröna tak (x-axeln) mot översvämmad ledningslängd (y-axeln) visas i graferna. Initial mättnad är 0 %.

Med en ökad initial mättnad av taken kommer avrinningsförlusterna minskas och därmed ökar längden ledningssträcka som översvämmas, se Tabellen nedan.

Tabell 11. Effekten (i form av ledningslängd med marköversvämning) av initial mätnad studerades för några fall; exploateringsgrad 10% och implementeringsgrad 8%

| Initial mätnad | Mossa Sedumtak (m översvämmad ledningssträcka) | Sedum+ört+grästak (m översvämmad ledningssträcka) |
|--|--|---|
| 0% | 518 | 518 |
| “50%”: 72%/67%* | 926 | 518 |
| 100% | 1207 | 801 |
| *p.g.a. olika definition av mätnadsgrad i mike urban och i denna rapport så kom de tänkta inställningarna i modellen av mätnadsgrad att motsvara 72 respektive 67 % för mossa+sedum respektive sedum+ört+grästaket | | |

3. Slutsatser och diskussion

En mycket stor del av sommarnederbörden kommer aldrig att bilda avrinning från de gröna taken. Effekten är större för Malmö än för Kiruna. Detta beror av en högre avdunstning i Malmö än i Kiruna vilket leder till att det finns volym i taket att ta emot många av regnen som inträffade. Sambandet mellan blockregnsvolym och mätnad i taket undersöktes (ej redovisat här) men inget signifikant förhållande för att det t.ex. skulle vara större sannolikhet med ett torrt än ett blött tak när skyfallet kommer kunde bekräftas.

Fördelningen för mätnadsgrad när regnet kommer är jämnt fördelat för Kiruna för regnen – till synes är det lika sannolikt att det är omättat, halvmättat som helmättat. För Malmö är det en övervikt mot låg mätnad när regnet kommer. Se tabell 10-11.

Inte oväntat så konstateras att förtätning i ett område måste vägas upp med samma mängd gröna tak (figur 11). Det förstås genom att ett tak inte kan ha större inverkan än andelen som den hårdgjorda ytan den ersätter hade. Det verkar till och med så att man måste överkompensera och lägga till lite mer gröna tak än vad man exploaterat. Vad den senare effekten beror av har inte analyserats. Man skulle kunna spekulera att det kan bero på att andelen tak (särskilt för den låga exploateringsgraden) som placerats ut inte hamnat jämnt fördelat eftersom varje tak i modellen är 125 m² och i det fall hårdgjord yta i området är mindre än 125 m² så kan inget grönt tak placeras där utan får fördelas på övriga områden.

Om taket redan är delvis mättat när regnet kommer så finns det mindre volym tillgänglig som kan ta emot regnet. Dock kan taket ändå ha så pass mycket volym kvar att regnet ändå kan hanteras. Se tabell 13 där inte alla ökning av mätnadsgrad resulterade i en ökning av översvämmad ledningslängd.

4. Övriga noter

Mättnadsgraden som testades i försöken var tänkt till 0, 50 och 100% - sent i försöken så upptäcktes det att mättnadsgraden i Mike urban inte definierades på samma sätt som det gjordes i denna rapport. Resultatet av detta blev att de tänkta mättnadsgraderna på 0, 50 och 100% i stället blev 0, 72 och 100 % respektive 0, 67 och 100% för mossa+sedumtaket respektive gräs+ört+sedumtaket enligt definitionen från denna rapport. Denna rapport definition innebär också att mättnadsgraden kan bli över 100% vilket innebär att vattenhalten är över fältkapaciteten det vill säga att dränering av taket pågår.

De två olika taken hade olika permeabilitet där det tunnare mossa+sedumtaket getts en högre permeabilitet i likhet med undersökningarna från AgroTech medan det tjockare gräs+ört+sedumtaket fick en mer måttlig permeabilitet. I principen innebär det att det tjockare taket – även om det är mättat till fältkapacitet borde kunna ha en effekt på t.ex. tioårsregnet där permeabiliteten bromsar regnflödet. Vid försök att utvärdera detta på tioårsserien (som bara räknade på dräneringen från taken och inget flöde i ledningarna) upptäcktes att det tunnare taket uppträdde nyckfullt och vid vissa fall kunde ge högre dräneringsflöde än vad regnet under tillfället hade i intensitet. Det antogs att detta var en felaktighet i inställningar av parametrar för det tunnare taket och vidare analyser genomfördes ej. Vid tioårsregnet upptäcktes inga sådana effekter. Det bedöms vidare att samtliga slutsatser som har med takets effekter utifrån tillgänglig volym står sig.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Urban Water
Management
RISE Rapport 2022: 150
ISBN: