



GRÖNA KLIMATSKAL FUKT OCH BRAND

INLEDNING

Den här redogörelsen utfördes inom C/O City steg 3 och består av två separata delar; Byggnadsfysikaliska egenskaper hos gröna tak samt Brandegenskaper hos gröna tak.

Projektet C/O City har till syfte att lyfta fram värdet av naturen i staden. De ekologiska, sociala och ekonomiska värdena beaktas. Målet med C/O City är att ta fram verktyg och metoder för kvantifiering, värdering och synliggörande av ekosystemtjänster. C/O City är en konstellation av aktörer från olika organisationer och branscher. C/O City är ett projekt med finansiering från bland annat Vinnova (UDI) och projektleds av Stockholm Stad. Delen Byggnadsfysikaliska egenskaper hos gröna tak har genomförts med finansiering även från SBUF genom projektet Ventilerade gröna tak - kunskapsuppbyggnad med avseende på fuktsäkerhetsaspekter.

Idag föreskrivs i allt större omfattning miljöstadsdelar med olika gröna lösningar som kan bevara eller öka biologisk mångfald, skapa resiliens och möta klimatförändringar men även som mötesplatser för rekreation. Därmed åläggs byggherrar att bygga med gröna anläggningar för att klara städernas krav på grönyta. Stockholms stad har under 2017 exempelvis infört krav på grönytefaktor genom deras hållbarhetskrav vid byggande på stadens mark. Vi ser ett ökat intresse bland byggherrar och fastighetsägare i hela Sverige att bygga och förvalta byggnader som har gröna ytor på tak och även väggar. Med det ökande intresset ökar behovet av att bygga kunskap kring de gröna klimatskalens inverkan på bl a fukt- och temperaturförhållanden i konstruktioner, energianvändning och inte minst brandkrav för byggnaden.

INNEHÅLL

1	Byggnadsfysikaliska egenskaper hos gröna tak	Sid. 3
2	Brandegenskaper hos gröna tak	Sid. 22

BYGGNADSFYSIKALISKA EGENSKAPER HOS GRÖNA TAK

Carl-Magnus Capener
Lukas Lång

SAMMANFATTNING

Genom projektet C/O City har gröna tak och väggar utvärderats med avseende på hygrotermiska egenskaper, bland annat med mätningar på både väggar och tak men även med simuleringar. I denna rapport presenteras de resultat som RISE utvärderat under C/O City steg 3 men även vissa resultat från steg 2 tas med som information och bakgrund, se vidare under rubrik SAMMANFATTNING AV TIDIGARE RESULTAT FRÅN C/O CITY STEG 2.

Kortfattat visar resultaten som redovisas i rapporten att:

- Som i den tidigare studien i C/O City steg 2, visas att gröna väggar med växtsubstrat ger en tydlig temperaturutjämnande effekt som till största del beror på växtsubstratets termiska massa. Mätdata som inhämtats från samma vägg i steg 3 styrker detta.
- Den temperaturutjämnande effekten från vägg- och taks substrat påverkar konstruktionens yttre del, både för tak och för väggar med modulsystem, på så sätt att väggen eller taket kan vara varmare under vissa perioder och kallare under andra jämfört med en referenskonstruktion utan grön yta.
- För fallstudien Stora Sjöfallet där ett biotoptak anlagts, visar simuleringsresultat, som bl a studerats i denna rapport, att den gröna överbyggnaden inte påverkar den underliggande konstruktionen negativt eller leder till mögelpåväxt på råsponten under tätskiktet under tiden mätningarna genomförts. Mätningarna i fallstudien styrker detta då uppmätt fuktkvot i råspont under tätskiktet för både grus- och grönytor visar på värden under kritisk nivå. Även omgivande temperatur och relativ fuktighet i luften under råsponten på vinden har mätts och simulerats.
- Resultaten visar heller inte på någon skillnad i temperatur och relativ fuktighet mellan grus- och grönytor under tiden mätningarna genomförts. Detta kan till viss del förklaras av att de solcellspaneler som planerats ej monterats på taket vilket hade kunnat ge skugg effekter som i sin tur påverkar konstruktionen nedanför.
- Jämförelse mellan mätresultat och simuleringar av det gröna taket visar att simuleringar kan genomföras för att undersöka en specifik konstruktionsdel vad gäller trender i temperatur och relativ fuktighet, men att hänsyn måste tas till material-, randvillkor och klimatdata som har stor inverkan på simuleringens resultat, varför en viss försiktighetsprincip bör tillämpas.

BAKGRUND OCH SYFTE

Inom ramen för detta projekt har mätningar och simuleringar utförts där kunskapen byggts vidare bland annat för ventilerade gröna väggar och tak vilket redovisas i denna rapport. Rapporten innehåller även vissa slutsatser och resultat kring byggnadsfysikfrågor och kvalitetssäkring från projektets tidigare fas, C/O City steg 2, vilka redovisas i sin helhet i SP Rapport 2014:53 [1]. Även valda delar från den nyligen publicerade *Grönatakhandboken - Vägledning* [2] som tagits fram genom Vinnovaprojektet *Kvalitetssäkrade systemlösningar för gröna anläggningar/tak på betongbjälklag med nolltolerans mot läckage* har inkluderats för att illustrera gröna taks funktion och uppbyggnad men även fördelar som ofta lyfts fram.

Syftet med de nya mätningar som utförts genom C/O City steg 3 har varit att bygga vidare på den kunskap som togs fram i steg 2 med nya gröna lösningar för tak och väggar som används på klimatskal i Sverige.

PRINCIPER FÖR GRÖNA KLIMATSKAL

Nedan följer en kort beskrivning av gröna klimatskal och deras principer för uppbyggnad. För en utförligare beskrivning av gröna tak med ingående komponenter och systemuppbyggnad hänvisas till *Grönatakhandboken - Vägledning* [2].

Begreppet gröna väggar avser både väggar klädda med klätterväxter så som murgröna på husfasader och växter på vadersystem utmed fasaden till levande väggar uppbyggda med modulsystem där växterna inte växer från marken utan planteras i modulväggarna vilka monteras på fasadens utsida, se Tabell 1 nedan. Modulsystemen kräver oftast en aktiv bevattning medan klätterväxterna och vadersystemen har växtlighet som växer från marken. Den typ av modulsystem som utvärderats genom C/O City beskrivs vidare längre fram i denna rapport.

Tabell 1, Gröna väggar, egenskaper och kännetecken.

	Gröna väggar			
Huvudgrupper	Gröna fasader		Levande väggar	
Kännetecken	Växer längs med fasaden uppåt från marken/kruka eller nedåt från kruka. <ul style="list-style-type: none"> • Klätterväxter • Klängväxter • Hängväxter 		Växer i olika typer planteringskärll fastsatta på fasaden	
Undergrupper	Direkt vegetation	Indirekt vegetation	Jordbaserade	Hydroponisk lösning
	<ul style="list-style-type: none"> • Fäster direkt i fasaden och klättrar längs den 	<ul style="list-style-type: none"> • Klättrar längs med nät, vajer eller ställning framför fasaden 	<ul style="list-style-type: none"> • Planteras i jord 	<ul style="list-style-type: none"> • Planteras i t ex fickor av filt eller mineralull • Vattnas med näringslösning (mineraler)

Med gröna tak avses definitionsmässigt inte bara hustak utan också motsvarande för terrasser, innergårdar och t ex parkanläggningar på bjälklag som försetts med en växtbädd med vegetation av mossor, sedum, örter och gräs och/eller buskar och träd, så kallad överbyggnad. Under växtligheten finns alltid någon form av tätskikt- och isoleringssystem, inklusive rotskydd som ofta är en mycket viktig del i systemuppbyggnaden. Generellt kan ett grönt tak avse allt från mycket tunna sedumväxtbäddar som anläggs på vanliga hustak, till tjocka växtbäddar med buskar och träd som anläggs på mycket kraftiga bjälklagskonstruktioner.

Ofta brukar gröna tak indelas i definitionen extensiva och intensiva anläggningar vilket traditionellt varit kopplat till den skötselnivå som behövs men även utseende på det gröna taket. Intensiva gröna tak avser vegetation och substrat där flera skötselinsatser kan krävas varje år för att behålla vegetationens funktion och artsammansättning. Ett extensivt tak däremot avser vegetationsskikt där skötsel inte behövs lika ofta även om det ibland kan vara nödvändigt.

I denna rapport har bl a ett biotoptak studerats vilket avser ett vegetationssystem där en specifik biotop efterliknas genom bjälklagets växtsammansättning och utseende. Biotoptak kan bl a ingå som en del i en ekologisk kompensationsåtgärd. I de projekt där biotoptak föreskrivs eftersträvas ofta även en hög biologisk mångfald, både för flora och för fauna. Biotoptak kan anläggas med färgskillnader, mönster och former, ofta med sektionering av taket med olika substratdjup för att främja biologisk mångfald. Biotoptaket som studerats i denna rapport beskrivs vidare under rubrik STUDERADE GRÖNA TAK OCH VÄGGAR.

SAMMANFATTNING AV TIDIGARE RESULTAT FRÅN C/O CITY STEG 2

Av resultaten från C/O City steg 2 kan nämnas att:

- Den gröna väggen med växter planterade i kassetter innehållande växtsubstrat har en tydligt temperaturtjämnande effekt som till stor del beror på den termiska massan hos växtsubstratet i väggmodulerna
- Den temperaturtjämnande effekten påverkar konstruktionens yttre del på så sätt att den gröna väggen kan vara varmare under vissa perioder och kallare under andra jämfört med en referensvägg utan grön fasad.
- Den värmelagrande effekten hos det gröna klimatskalet innebär också att den relativa fuktigheten påverkas så att den blir högre under vissa perioder, exempelvis under perioder då växtsubstratet lagrar kyla från kalla nätter. Under andra perioder kan effekten bli motsatt, exempelvis då växtsubstratet lagrar värme från varma och soliga dagar.
- Värmeflödet genom ett välisolerat klimatskal i en lågenergibygnad som inte är försedd med kyla påverkas enligt de genomförda beräkningarna inte positivt av gröna klimatskal. Dock behöver ytterligare simuleringar göras även för byggnader som är försedda med kyla, för byggnader med andra typer av växtsubstrat, substratuppbyggnader osv för att dra mer generella slutsatser.
- Energianvändningen för en byggnad i ett varmare klimat än Sverige (Florida i vårt beräkningsexempel) med mindre mängd värmeisolering och försedd med kyla minskar om ett grönt klimatskal används. Detta förutsätter dock en viss mängd nederbörd (alternativt bevattning).
- Intervjuer med aktörer som varit inblandade i byggprojekt med gröna tak visar på erfarenheter som kan vara värdefulla för andra som planerar att anlägga gröna tak. Bland annat kan nämnas att en fuktsäkerhetsprojektering bör göras, att produktionen måste planeras väl så att tätskiktet inte skadas under byggtiden samt vikten av en drifts- och skötselrutin.



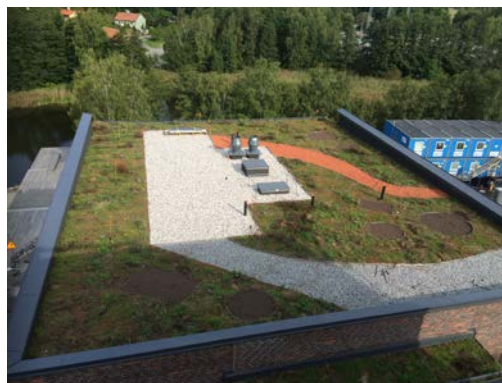
Figur 1. Exempel på grön vägg i Madrid [Foto: Eva-Lotta Kurkinen].

STUDERADE GRÖNA TAK OCH VÄGGAR

I den här rapporten ingår fallstudier för tre gröna klimatskal som alla är placerade i Sverige, ett tak och två fasader. Nedan följer en kort beskrivning av varje fallstudie följt av mät- och beräkningsresultat.

Stora Sjöfallet, Stockholm

Fallstudien Stora Sjöfallet i Norra Djurgårdsstaden, uppfört av NCC, är del av en miljöstadsdel och har stort miljöfokus, vilket bl a innebär att en grönytefaktor om minst 0,6 behöver uppnås. De studerade husen i fastigheten Stora Sjöfallet 1 byggdes i två fristående byggnader med totalt 64 lägenheter och 2 lokaler. Den byggnad som användes som fallstudie var ett 5-våningshus med ett tak med biotop- och grusytor där solceller planeras, se Figur 2. Dessa var dock ej installerade under den aktuella perioden då taket utvärderades.



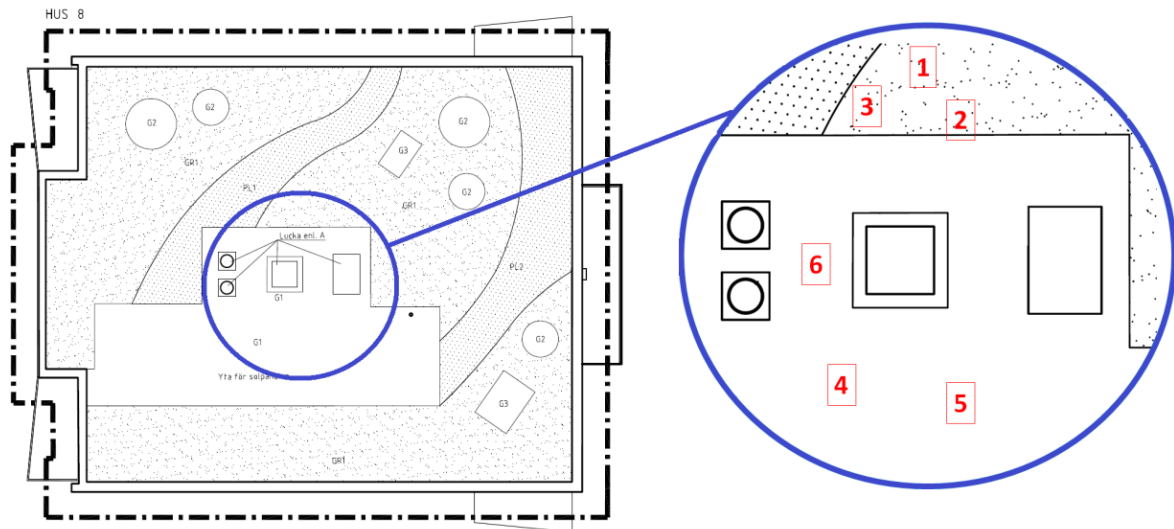
Figur 2. Fastigheten Stora Sjöfallet 1 i Norra Djurgårdsstaden. Det studerade biotoptaket som visas i bilden till höger är placerat på den lägre byggnaden, i förgrunden på bilden till vänster [Foto: Carl-Magnus Capener].

I det gröna taket, Stora Sjöfallet, i Stockholm har totalt 6 stycken trådlösa sensorer placerats ut enligt Figur 3. Sensorerna har loggat omgivande temperatur och relativ fuktighet samt fuktkvot i trämaterial. Mätpunkterna beskrivs i Tabell 2 nedan. Klimatet har loggats från augusti 2016 och framåt. Mätpunkterna är samtliga placerade i råsponten under gröna takets tätskikt, Figur 4.

Under tiden mätningarna har genomförts, har inga solpaneler varit monterade. Det innebär att de punkter som beskrivs "med solpanel" i mätdata motsvarar en vanlig grusad yta. Gruset består av 40 mm tvättad singel, fraktion 16-32.

Tabell 2. Mätpunkter med beskrivning av ovanföriggande takyta, Stora Sjöfallet.

Mätpunkt	Beskrivning
1	Ört-sedum-gräs
2	Ört-sedum-gräs
3	Ört-sedum-gräs
4	Grusyta (med solpanel)
5	Grusyta (med solpanel)
6	Grusyta



Figur 3. Placering av mätpunkter för biotoptak, Stora Sjöfallet.



Figur 4. Exempel på trådlös sensor använd vid Stora Sjöfallet för avläsning av omgivande lufttemperatur och relativ fuktighet samt fuktkvot i råspont under takyta (tv) och takets utseende vid mätperiodens avslutande september 2017 (th).

RISE Gröna vägg, Borås

Den gröna väggen i Borås monterades 2013 och har därefter studerats av RISE och ingått i projektet C/O City under steg 2 och steg 3. Mätdata som presenteras är från tidigare nämnda SP Rapport 2014:53 vilken beskriver resultaten från C/O City steg 2. Under C/O City steg 3 skiljde sig utomhusklimatet dessvärre inte avsevärt från mätperioden under steg 2 varför endast tidigare data presenteras.

Gröna väggens uppbyggnad framgår av Figur 5 och beskrivs vidare i SP Rapport 2014:53. Väggen är placerad på en fasad i söderläge i Borås av lätt träregelstomme med utanpåliggande lockpanel. Lockpanelen har på den gröna ytan ersatts av den gröna väggens växtkassetter i vilka olika pluggplantor planterades. Mätpunkter har placerats på inre stående regler invid ånspärren och vid liggande läkt mot vindskyddet samt i luftspalten. Samtliga mätpunkter placerades på motsvarande sätt i referensväggen (gulmarkerad yta i Figur 5). I Figur 6 visas foton på väggen från juni 2014 och juni 2017.



Figur 5. Modulerad grön vägg, RISE Borås.



Figur 6. Foton på RISE gröna vägg vid två olika tillfällen, juni 2014 och juni 2017 [Foto: Carl-Magnus Capener].

NCC:s Gröna vägg, Stockholm

Den gröna väggen på NCCs huvudkontor uppfördes hösten 2015, är 3600x4000 mm och består av tre fack som vardera är 1200 mm breda. Fackens utseende visas i Figur 7. Nedan beskrivs facken från vänster till höger:

1. Vänster. Växtsubstrat med täckande sträckmetall
2. Mitten. Växtsubstrat med täckande klöverplåt
3. Höger. Tät låda i botten från vilken det växer upp klätterväxter på spaljé.



Figur 7. Grön vägg, NCC huvudkontor Stockholm [Illustrationer tillhandahållna av NCC].

Givare placerades i övre och undre del i lufspalten (35-40mm bred) bakom varje fack för att se hur de olika väggelementen påverkar luftspaltens klimat. Utöver mätpunkterna i luftspalten, mättes relativ fuktighet och temperatur för både inne- och uteklimatet.



Figur 8. Grön vägg utanför NCCs huvudkontor i Solna, oktober 2015 [Foto: Charlotte Bejersten Nalin].

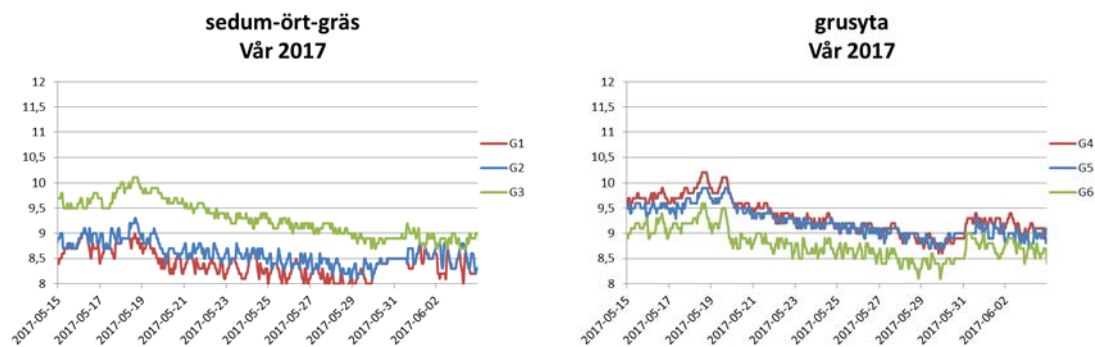
MÄTRESULTAT OCH SLUTSATSER

Nedan presenteras mätresultat och slutsatser från fallstudierna i C/O City. Det visade sig vara svårt att hålla växtligheten vid liv på väggen på NCCs huvudkontor. Testväggen avslutades därför våren 2016 och inga användbara mätdata kunde hämtas. Därför presenteras enbart mätresultat för den gröna väggen i Borås och Stora Sjöfallets gröna tak i Stockholm.

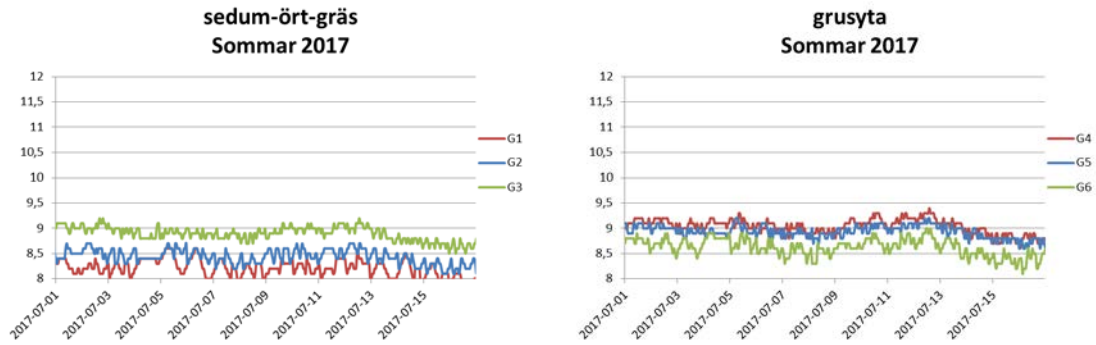
Mätresultat, Stora Sjöfallet, Stockholm

Figur 9 till Figur 12 nedan visar att ingen avsevärd skillnad i fuktkvot kan urskiljas på råsponten under grusgångar och grönytor. Under tiden som mätdata togs fram, var inte solpanelerna monterade. Någon skuggningseffekt kan därför inte urskiljas mellan grusade ytor och ytor med solpaneler. Till vänster och höger visas fuktkvot för gröna respektive grusade ytor för representativa delar för varje årstid. Den relativa fuktigheten och temperaturen i Figur 13 visar inte heller på någon skillnad mellan de olika ytbeläggningarna. De nedre diagrammen, Figur 13, visar temperatur och relativ fuktighet precis under råsponten för motsvarande ytor våren 2017. Under resterande årstider följer klimatet under grus- och gräsytorna kurvor som inte heller skiljer sig avsevärt åt.

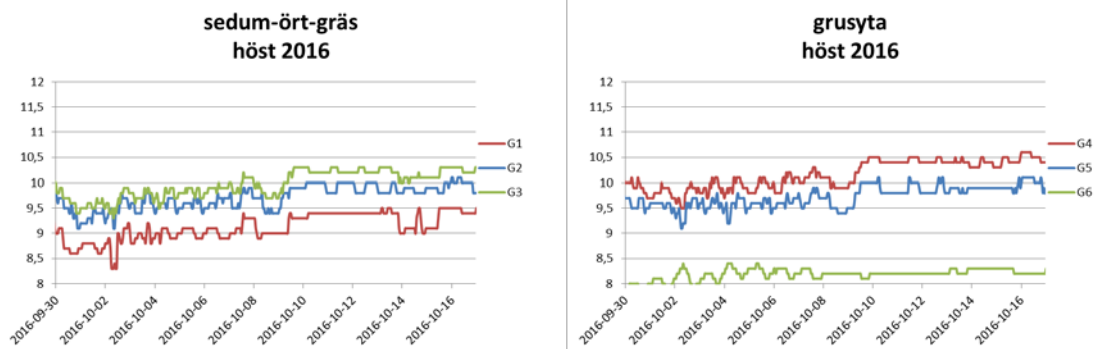
Att grus- och grönytor visar likvärdiga resultat kan bero på grusets termiska massa i kombination med att gruset också håller en viss del vatten efter regn. Det kan förklara att det hygrotermiska klimatet i råsponten inte skiljer sig under grus- och grönytor. Ytterligare en förklaring kan vara att solcellspaneler ej var monterade under mätperioden och då ej bidrog med någon skuggande effekt på takytan.



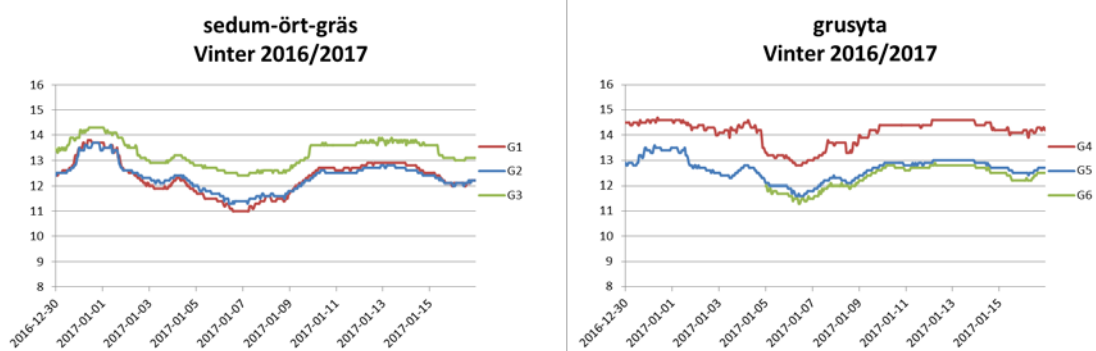
Figur 9. Fuktkvot råspont, vår. Vänster; grönyta. Höger; grusyta.



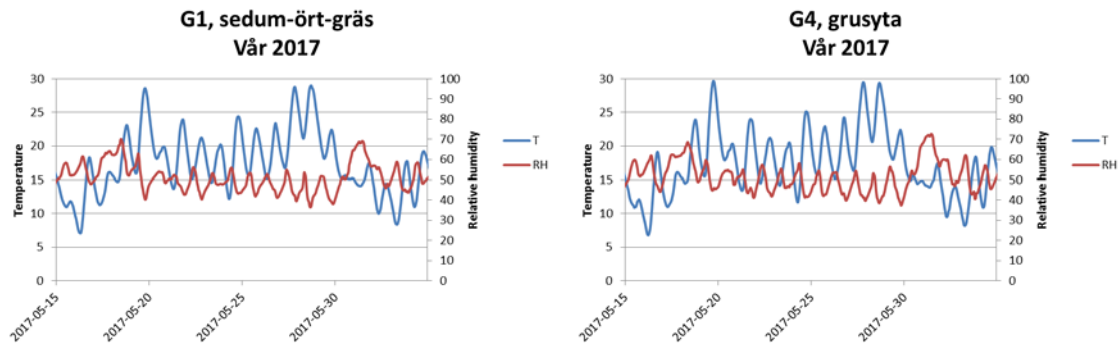
Figur 10. Fuktkvot råspont, sommar. Vänster; grönyta. Höger; grusyta.



Figur 11. Fuktkvot råspont, höst. Vänster; grönyta. Höger; grusyta.



Figur 12. Fuktkvot råspont, vinter. Vänster; grönyta. Höger; grusyta.



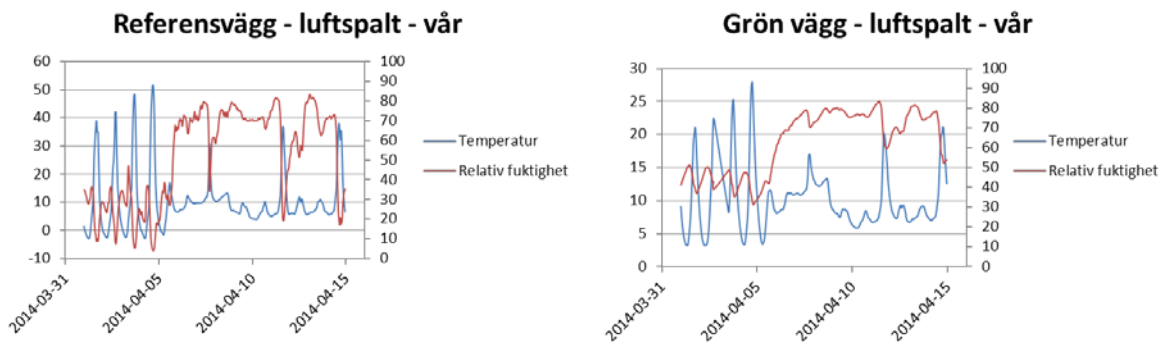
Figur 13. Temperatur/relativ fuktighet luftspalt, vår. Vänster; grönyta. Höger; grusyta.

Mätresultaten visar att substrat och övrig uppbyggnad av det gröna biotop-taket inklusive grusade ytor, i den här studien och med aktuell konstruktionsuppbyggnad, inte borde medföra temperaturer och relativ fuktighet som orsakar någon omfattande mögelpåväxt på råsponten in mot luftspalten.

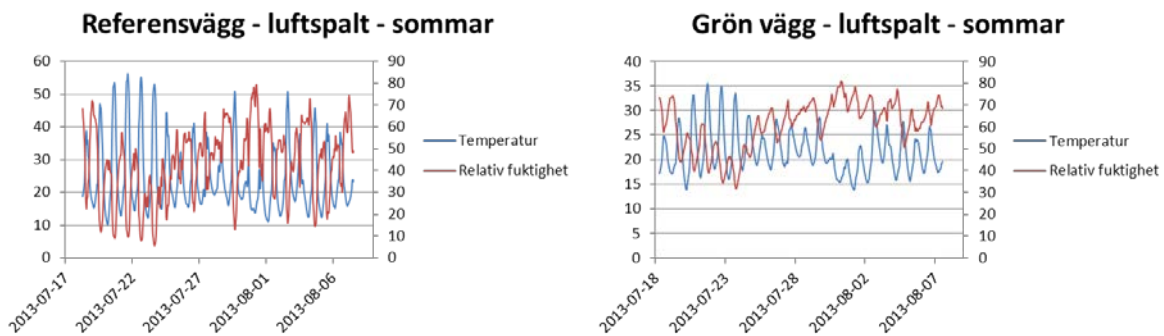
Mätresultat och kommentarer, Grön vägg, Borås

Tidigare studier visar hur den gröna väggen i Borås ger temperaturdämpande effekt och på så vis minskar och ökar toppar respektive dalar i temperaturen innanför substratet i jämförelse med referensväggen, Figur 14 till Figur 17 se även SP Rapport 2014:53 [1]. Till vänster visas klimatet i referensväggens luftspalt och till höger visas den gröna väggens luftspalt. Observera att y-axlarnas skalor skiljer sig mellan diagrammen. Den temperaturdämpande effekten beror till stor del på växtsubstratets termiska massa.

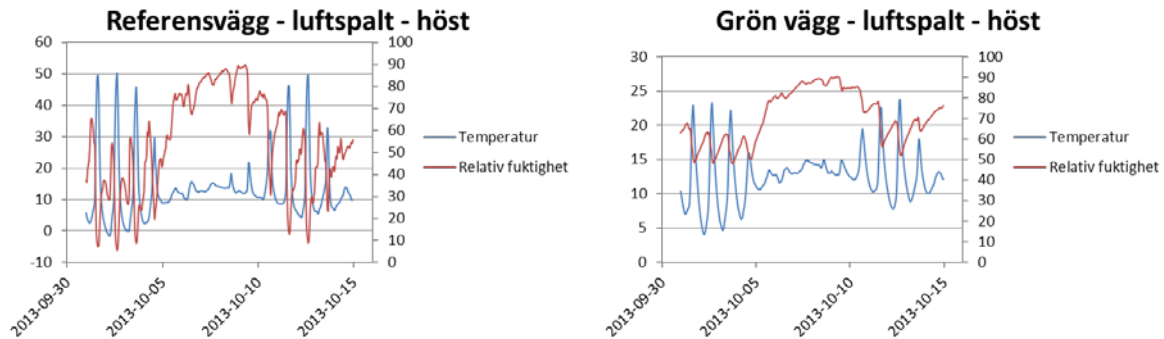
Nya mätningar har utförts under C/O City steg 3, vilka visar på likvärdiga resultat, då uteklimatet inte skiljt sig avsevärt från tidigare mätningar. Som i den tidigare studien kan det konstateras att den gröna väggen stabiliserar klimatet i luftspalten mellan den isolerande konstruktionen och den gröna kassetten i förhållande till klimatet i luftspalten på referensväggen. Det innebär att den isolerande delen av väggen inte får en lika varierande temperatur, när den täcks av det gröna skiktet. Nedan visas endast tidigare utfall då den nya mätperioden inte gav några nya resultat.



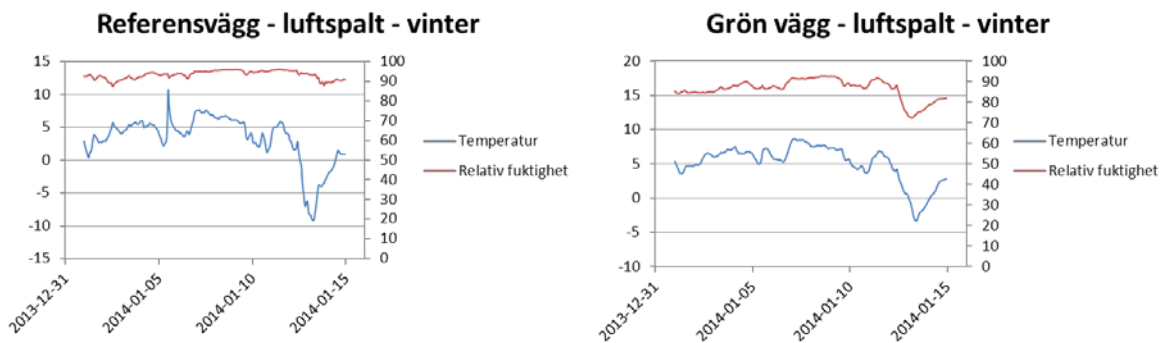
Figur 14. Temperatur/relativ fuktighet, luftspalt, vår. Vänster; referensvägg. Höger; grön vägg.



Figur 15. Temperatur/relativ fuktighet, luftspalt, sommar. Vänster; referensvägg. Höger; grön vägg.



Figur 16. Temperatur/relativ fuktighet, luftspalt, höst. Vänster; referensvägg. Höger; grön vägg.



Figur 17. Temperatur/relativ fuktighet, luftspalt, vinter. Vänster; referensvägg. Höger; grön vägg.

SIMULERING OCH SLUTSATSER FÖR STORA SJÖFALLET

Målet med att beräkna det gröna taket på Stora Sjöfallet är att jämföra råspontens beräknade fuktillstånd med det faktiskt uppmätta.

Simuleringar har utförts i WUFI Pro 5.3. Randvillkor, fuktkällor och materialdata har satts utifrån WUFIs klimatdatabas och enligt WUFIs guide för beräkning av extensiva gröna tak. Materialen och lagerföljden har till viss del modifierats från WUFIs standardvärden för att spegla Stora Sjöfallets uppbyggnad.

Eftersom representativ strålningsdata för Stora Sjöfallets placering inte finns i SMHI:s databas, har uteklimatet satts utifrån WUFIs klimatdatabas. Det faktiska klimatet har skiljt sig något från WUFIs klimatdatafil; bland annat var det färre kalla perioder med riktigt låga temperaturer och även färre varma somrardagar uppmättes, se även längre ned under rubrik Jämförelse mellan WUFI:s och SMHI:s .

Tabell 3 visar materialdata och lagerföljd samt fukt-, värme- och luftomsättningskällor. Även andra beräkningsförutsättningar anges längre ned under tabellen.

Tabell 3, material- och lagerdata, simulering Stora Sjöfallet

Lager	Material	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m ³]	Värme-konduktivitet [W/(mK)]	Diffusionsfaktor [-]	Källa (fukt, värme, luftomsättning)
1	Ört-sedum-gräs ^[1]	10	1500	0,2	5,0	-
2	Substrat ^[2]	40	912	0,4	3,4	40 % andel av slagregn i lagrets nedre 2 cm
3	Vattenhållande lager ^[3]	40	115	0,043	3,4	40 % andel av slagregn i hela lagret
4	Filtermatta ^[4]	1	83	0,035	1,0	-
5	Profilerad matta ^[5]	1	130	2,3	1000	-
6	Luftspalt i profilerad matta ^[6]	10	1,3	0,071	0,73	-
7	Rotskydd ^[7]	4	83	0,035	1,0	-
8	Tätskikt ^[8]	1	130	2,3	100000	-
9	Råspont ^[9]	22	400	0,086	552	-
10	Luftspalt ^[10]	600	1,3	2,4	0,07	2,5 l/h luftomsättning
11	Isolering ^[11]	300	21	0,04	1,0	-
12	Tätskikt ^[8]	1	130	2,3	100000	-

[1] Från WUFIs materialdatabas för gröna tak i Fraunhofers katalog. Optigreen Nature Roof 1 (grasses) 1-5.

[2] Från WUFIs materialdatabas för gröna tak i Fraunhofers katalog. Optigreen Nature Roof 1 (substrate type E) 2-5.

[3] Från WUFIs materialdatabas i Fraunhofers katalog. Mineral Insulation Board.

[4] Från WUFIs materialdatabas för gröna tak i Fraunhofers katalog. Optigreen Nature Roof 1 (filter mat) 3-5.

[5] Från WUFIs materialdatabas i Fraunhofers katalog. Vapour retarder (sd = 1m).

[6] Från WUFIs materialdatabas i allmänna material. Air layer 10 mm, without additional moisture capacity.

[7] Från WUFIs materialdatabas för gröna tak i Fraunhofers katalog. Optigreen Nature Roof 1 (protection mat) 5-5.

[8] Från WUFIs materialdatabas i Fraunhofers katalog. Vapour retarder sd = 100m.

[9] Från WUFIs materialdatabas i Nordamerikansk katalog. Spruce.

[10] Modifierad luftpalt från WUFIs materialdatabas under allmänna material. Värmeledningsförmåga ändrad enligt Hagentoft [3].

[11] Från WUFIs materialdatabas under katalogen Fraunhofer. ISOVER GW Integra ZKF - 035

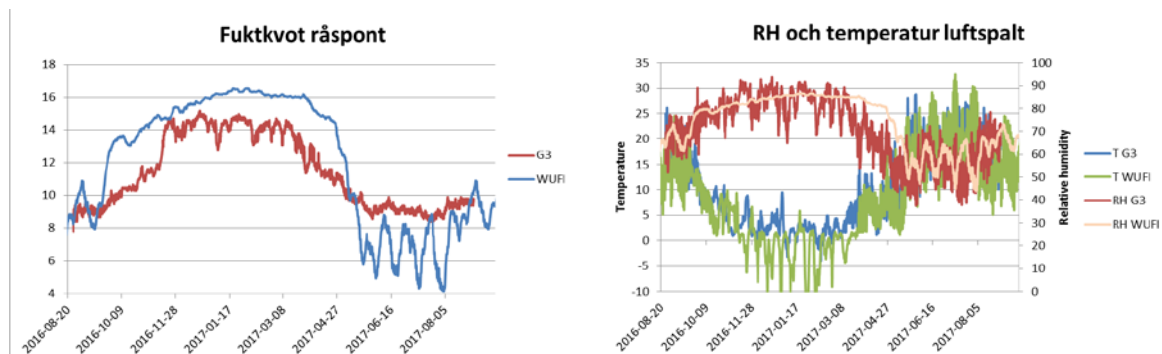
Övriga beräkningsförutsättningar

- Uteklimat; klimatort är Stockholm (LTH data)
- Inneklimat; användardefinierat (medeltemperatur = 21°C, amplitud = 2°C och RH-medel = 50%, amplitud = 10%)
- Värmeövergångskoefficient; utsida 0,0526 m²K/W, insida 0,125 m²K/W
- Strålning; kortvågig strålning 0,6 och långvågig strålning 0,9
- Beräkningstid; 2 år

SIMULERINGSRESULTAT OCH KOMMENTARER FÖR STORA SJÖFALLET

Figur 18 nedan visar den uppmätta fuktkvoten i mätpunkt 3 och den beräknade fuktkvoten i råsponten under det gröna taket. Det simulerade resultatet visar fuktkvoten 2 mm ned i råsponten, som skall motsvara det djup som givaren mäter.

På grund av bland annat skillnader i klimatdata, ger beräkningen något avvikande resultat i jämförelse med det faktiskt uppmätta. Trots detta överensstämmer beräkningen relativt väl med den faktiska trenden för fuktinnehåll och temperaturer i studerade punkter. Det visar att det borde vara möjligt att simulera trender och studera kritiska punkter för ett grönt tak av typen biotop-tak. Faktiska klimatvärden för enskilda tidpunkter, exempelvis kyliga vinterdagar och varma sommardagar, samt specifika materialegenskaper och luftomsättning i materialskikt visar sig däremot ge en stor inverkan på resultatet. Det är därför viktigt att materialdata, luftomsättning och klimat undersöks och dokumenteras samt att utfallet av olika varianter beaktas vid utvärdering av resultaten som en försiktighetsprincip.

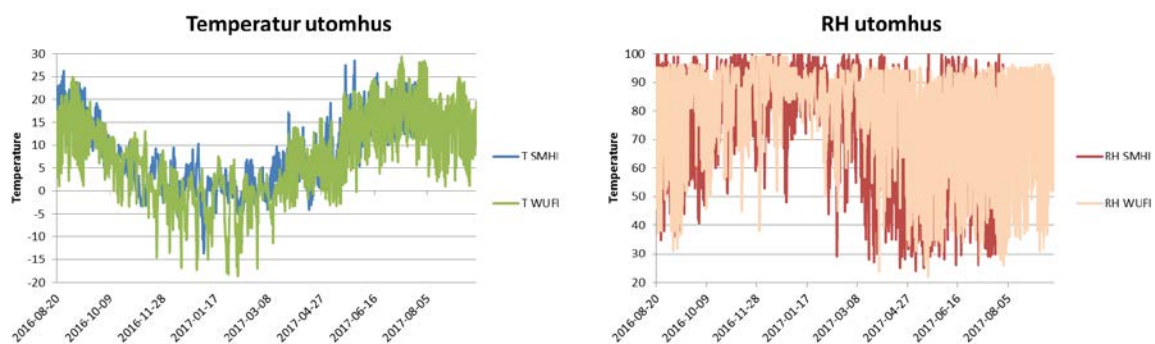


Figur 18. Vänster; Fuktkvot i råspont. Höger; relativ fuktighet och temperatur i luftspalt.

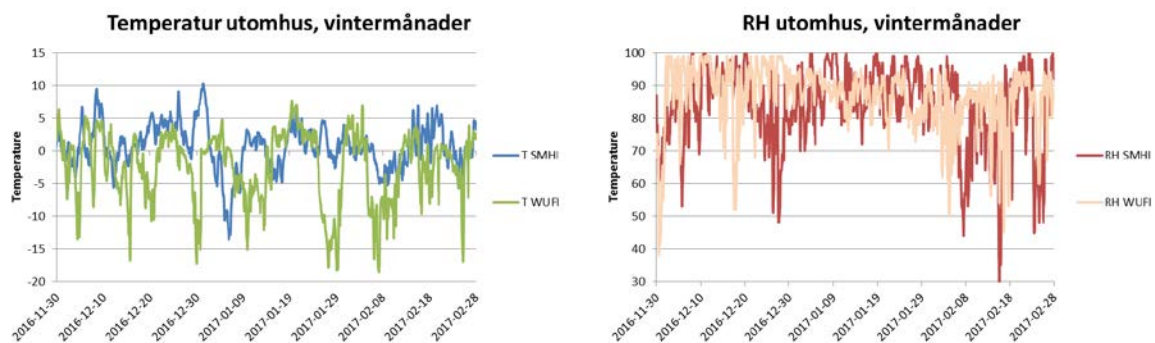
Jämförelse mellan WUFI:s och SMHI:s uteklimat

Eftersom fullständig klimatdata för orten inte var representerat i SMHI:s databas, kunde beräkningen inte genomföras med de verkliga randvillkoren. För att se hur WUFI:s temperatur och relativ fuktighet skiljer sig från SMHI:s uppmätta för tiden för mätningarna, plottas de båda klimaterna nedan.

Figur 19 visar temperatur och relativ fuktighet för WUFI:s Stockholmsklimat och SMHI:s Stockholmsklimat vid samma tidpunkt. Figur 20 visar samma information zoomat till vintermånaderna.



Figur 19. Vänster; temperatur. Höger; relativ fuktighet.



Figur 20. Vänster; temperatur vintermånader. Höger; relativ fuktighet vintermånader.

Simulering av risk för mögelpåväxt, Stora Sjöfallet, WUFI bio

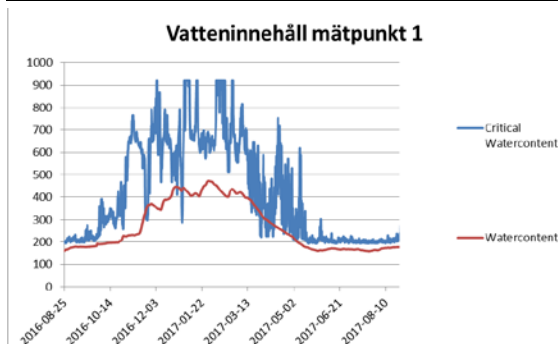
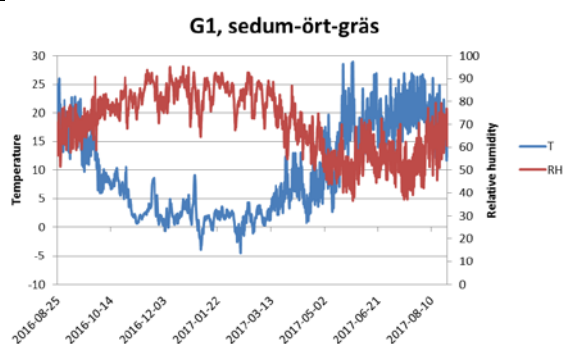
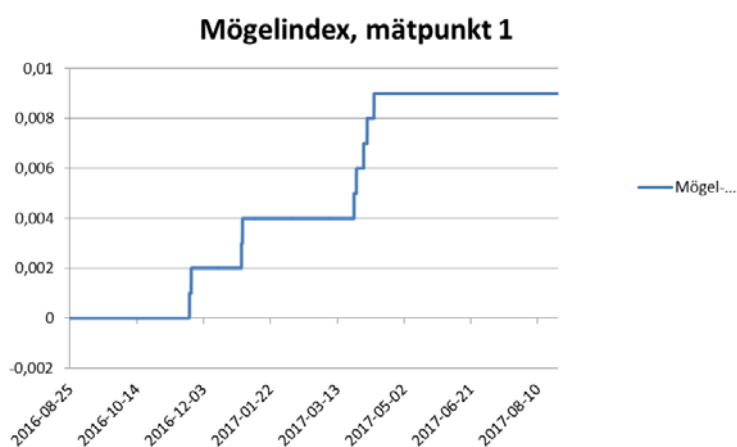
Råspontens uppmätta klimat i de olika punkterna har körts för prediktering av mögelpåväxt i WUFI bio. Samtliga klimat resulterar i mögelindex långt under kritiskt värde.

Tabell 4 visar mögelindex för respektive mätpunkt. Råsponten antas tillhöra substratklass I. Ett mögelindex på 1 motsvarar i WUFI Bio att viss påväxt kan urskiljas i mikroskop. Samtliga simuleringar resulterar i mögelindex under 0,01.

I Figur 21 presenteras relativ fuktighet, temperatur vatteninnehåll och kritiskt vatteninnehåll i mätpunkt 1. Eftersom diagrammen för övriga mätpunkter inte skiljer sig avsevärt åt, presenteras bara diagram för punkt 1.

Tabell 4. Mögelindex från WUFI Bio för samtliga mätpunkter med uppmätt mätdata, 1-6, på Stora Sjöfallet. Diagram för mätpunkt 1. Rad nummer 7 är mögelindex för de hygrotermiska simuleringens föregående stycke.

Mätpunkt	Mögelindex
1	0,009
2	0,003
3	0,009
4	0,009
5	0,006
6	0,0
7 (Hygrotermisk simulering)	0,015



Figur 21. Vänster; temperatur och relativ fuktighet för mätpunkt 1. Höger; kritiskt vatteninnehåll och vatteninnehåll i råspont vid mätpunkt 1

Det kan konstateras att temperaturen och relativa fuktigheten som råder vid råsponten, enligt WUFI Bio, mycket sällan överskrider kritiska värden. Enligt resultaten är risken för mögelpåväxt i det närmaste obefintlig enligt de uppmätta värdena.

Resultaten från hygrotermiska simuleringar visar, likt uppmätt mätdata från fallstudien, att substrat och övrig uppbyggnad av det gröna biotaket inte borde medföra temperaturer och relativ fuktighet som orsakar någon omfattande mögelpåväxt på råsponten in mot luftspalten. Detta styrks även av simulering av risk för mögelpåväxt som beräknades med WUFI Bio, ej redovisat här.

Jämförelse mellan simuleringsresultat och mätresultat visar att det troligtvis är möjligt att göra predikterande undersökningar av konstruktionsdelar i ett grönt tak. Det skall dock understrykas att val av materialdata och klimat påverkar resultatet i stor utsträckning.

BRANDEGENSKAPER HOS GRÖNA TAK

Johan Anderson

INLEDNING

Tre av samhällets största kommande utmaningar är klimatförändringar, minskad biologisk mångfald och ökande urbanisering. Om vi förmår att ta vara på ekosystemtjänster i och kring städer så har dessa mycket stor förmåga att minska de negativa konsekvenserna av dessa utmaningar. Ett sätt kan vara att utöka användandet av gröna klimatskal där användningen av gröna tak (Se figur 22.) blir mer och mer populärt både utomlands men även i Sverige.

Anledningarna är bland annat att det finns temperaturdämpande effekter i varma urbana miljöer, större biologisk mångfald i stadsmiljön och bättre dagvattenhantering. Gröna tak har en förmåga att binda upp regnvatten i sitt växtsubstrat och, så länge växtsubstratet inte blir mättat på vatten, hindra vattenavrinning från taket. Detta sker genom så kallad evapotranspiration där vattnet dels tas upp av växterna för att från dem avges som vattenånga och dels avdunstar till luften utan att ha passerat genom växterna. Generellt sett kan man säga att ett grönt tak minskar den totala avrinningen under längre perioder jämfört med konventionella tak, men hur det är enskilda regnskuror och störtregn som påverkar belastningen av bebyggelsens dagvattensystem i högst grad.

Det finns några metoder för hållbarhetsbedömningar bland annat BREEAM och LEED för planeringsprojekt, infrastruktur och byggnader med en livscykelanalys som tar hänsyn till nybyggnation, renovering och användning. Implementeringen av gröna klimatskal styrs av de svenska byggreglerna enligt BBR [4], där taktäckning bland annat ska utformas så att antändning försvåras, brandspridning begränsas och att den endast kan ge ett begränsat bidrag till branden. Brandreglerna syftar till att minimera risken för spridning till angränsande byggnader men också att förhindra att brännbart biologiskt material kan brinna genom substratet och antända isoleringen under.



Figur 22. Exempel på gröna tak och fasader (Bildmontage Peter Karlsson RISE/Safety).

METODER FÖR ATT BRANDTESTA GRÖNA TAK

Brandskyddstekniska krav på taktäckning behandlas i föreskrift 5:62 i BBR [4] där kravet är formulerat enligt:

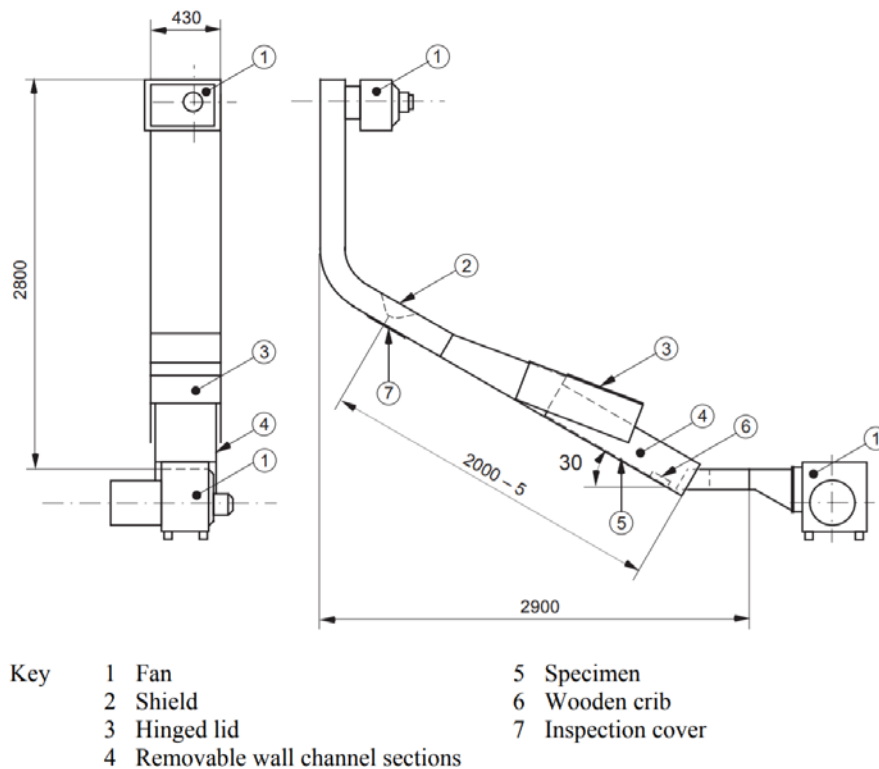
"Taktäckning på byggnader ska utformas så att antändning försvåras, brandspridning begränsas samt att den endast kan ge ett begränsat bidrag till branden."

Till kravet finns det allmänna rådet:

"Med försvårad antändning avses exempelvis skydd mot flygbränder eller gnistor. Taktäckning bör utformas med material av klass A2-s1,d0 alternativt med material av lägst klass B_{ROOF} (t2) på underliggande material av klass A2-s1,d0. Brännbar taktäckning, i lägst klass B_{ROOF} (t2), kan användas på brännbart underlag på byggnader som är belägna minst 8 m från varandra eller på småhus. Brännbar taktäckning på brännbart underlag bör inte förekomma på byggnader, förutom småhus, inom 8 m från en skorsten ansluten till värmepanna med förbränning av fasta bränslen.

På småhus kan material av lägst euroklass E användas som taktäckning på tak över uteplats, skärmtak eller liknande. Regler om skydd mot brandspridning från intilliggande tak finns i avsnitt 5:536 och detta gäller även mellan byggnader. (BFS 2011:26)."

Gröna tak hamnar i kategorin brännbar taktäckning och skall därför provas i flygbrandtestet klassas B_{ROOF}(t2) enligt EN 13501-5, även om taktäckningen i de flesta fall består av oorganiskt material som inte utgör någon brandrisk. Eftersom det inte går att utesluta att det föreligger en risk för brandspridning beroende på typen av växtlighet som finns måste det därför klassas. Metoden består av en kammare med en sluttande yta som representerar ett sluttande tak, se figur 23.



Figur 23. Testmetoden (ENV 1187 test 2).

Taktäckningen och dess underlag monteras i testkammaren med en liten träribbstapel som tändkälla. Testet genomförs för två olika vindhastigheter 2 m/s och 4 m/s med tre prov för varje vindhastighet. Provkroppen är 400 mm x 1000 mm stor där provkroppens lutning vid testet är 30°, vilket är en större lutning än vad som rekommenderas för de flesta typer av gröna tak. Därefter antänds en träribbstapel som placeras direkt ovanpå provkroppen. Testet avslutas när branden självslocknat, alternativt efter 15 minuter vilket är maximal tid för testet. Efter försöket mäts längden (från brandkällan och framåt) på det skadade materialet på provkroppen, taktäckning och

underlag för sig. 0,55 m är den maximalt skadade längd som medför godkänt provningsresultat och således B_{ROOF} (t2) klassificering. För att få till ett värsta fall och god repeterbarhet så har EGOLF (European Group of Organisations for Fire Testing, Inspection and Certification) bestämt att provföremålen bör torkas ut vid 105 °C och därefter konditioneras enligt standard 23±2 °C och 50±5 % relativ fuktighet. På det viset undviker man problematiken med variationer i provningsresultat beroende på varierande grad av mängd fukt.

FÖRSÖK

I projektet har flygbrandtester genomförts enligt beskrivningen ovan. Utöver det har värmeeffektutveckling uppmätts genom konkallorimetertester på underlag, där substratet är 40 mm tjockt.

Provobjekten konditionerades på två olika vis för att visa skillnader mellan hur det ser ut enligt standard jämfört med ett varmt och torrt klimat. När provkropparna kom till RISE innehöll de mycket fukt och lades inomhus i 25 dagar innan de kunde läggas i konditioneringsrummet med väl kontrollerat klimat. Den första provkroppen låg 10 dagar i konditioneringsrum (med 23 °C och 50 % relativ luftfuktighet) medan den andra torkades ut i 105 °C tills provkroppen stabiliserats i vikt och därefter lagts i konditioneringsrum. Båda provkropparna förlorade en del mängd fukt under processen, se tabell 5 nedan.

Tabell 5. Vikt (kg) och förändring (%) under konditioneringen.

Mätning	Torkad provkropp		Konditionerad provkropp	
	Vikt (kg)	Förändring (%)	Vikt (kg)	Förändring (%)
1	11.94		12.47	
2	11.89	0.43	12.37	0.77
3	11.82	0.55	12.32	0.45
4	11.79	0.28	12.28	0.34
5	11.76	0.09	12.24	0.42
6			12.23	0.07

Den uttorkade provkroppen återfår sedan 1.3 % fukt när den ligger i konditioneringsrummet med 50 % luftfuktighet.

Provkropparna placerades på CaSi-skivor under testen. Resultatet av testen blev att den uttorkade provkroppen klarade BROOF(t2)-klassning medan den som endast konditionerats inte kunde klassas för att branden spred sig över hela längden. På den uttorkade provkroppen påverkades 450 mm av brandkällan. Resultat kan förstås genom att studera bilderna i figurerna 24 och 25 som visar provkropparna innan, under och efter testen. Figur 24, visar den uttorkade provkroppen och visar att ängsmattan torkat ihop och ligger ned mot underlaget medan i figur 25 visas provkroppen som endast konditionerats och som visar mycket mera brännbart material som

dessutom står upp. Det andra fallet kan jämföras med villkoren för en varm och torr augusti och brinner naturligtvis av väldigt fort. I försöket med den torkade provkroppen ligger gräset mot underlaget och det blir en väldigt begränsad spridning även fast den högre vindhastigheten användes. Det här resultatet är i mycket det motsatta jämfört med observationerna i det examensarbete som nyligen presenterades av A. Elias och D. Håkansson i Lund [5].



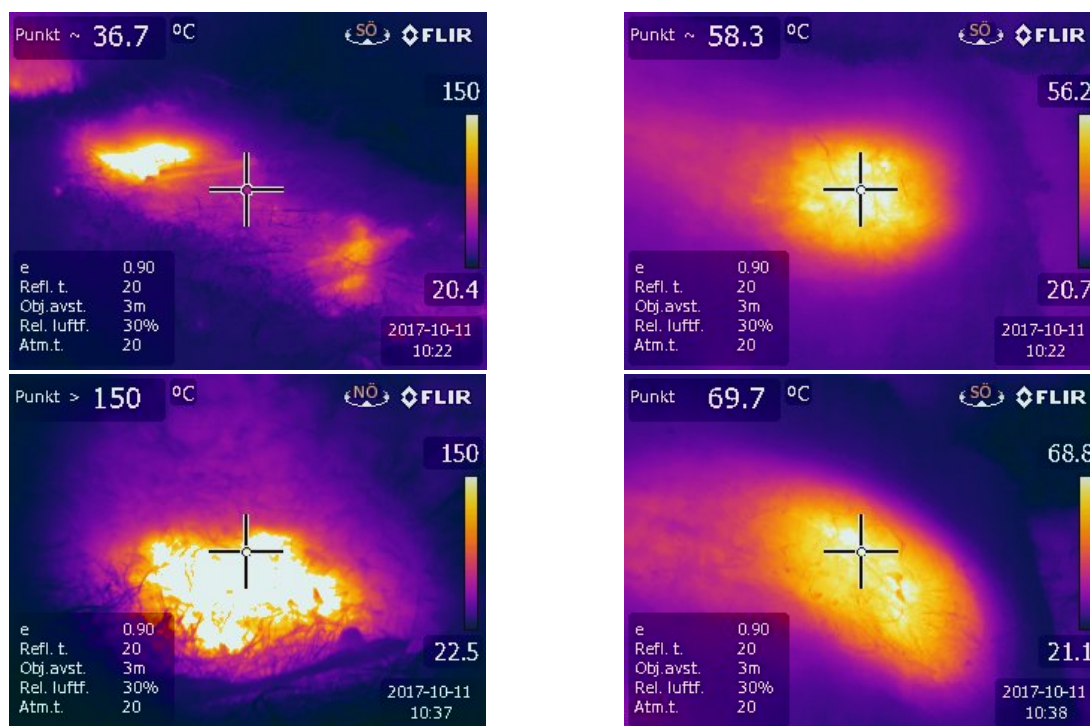
Figur 24. Uttorkad provkropp före, under och efter prov.



Figur 25. Konditionerad provkropp före, under och efter prov.

I Referens [5], observerades det att prov som torkats ut vid 105 °C stor utsträckning misslyckas med att klara BROOF (t2) klassningen.

En annan viktig fråga är om branden på det organiska materialet kan påverka underlaget. Kan det brinna genom substratet eller kan det antända underliggande isolering. I metoden klassas ängsmattan med underlag och ett alternativ kan då vara att lägga provobjektet på en isolering, exempelvis EPS.



Figur 26. Bilder från värmekamera på brandutsatta sida och undersidan av provkroppen direkt efter testerna. Första raden visar den uttorkade provkroppen och undre raden visar den konditionerade provkroppen. Bilderna till vänster är tagna på brandutsatta sidan och bilderna till höger på undersidan.

Kort efter försöken termograferades (bilder tas med värmekamera) provkropparna på båda sidorna, alltså på den brandutsatta sidan och på undersidan av provkroppen. Bilderna visar tydlig hotspots där träribbstapeln placerats på ca 150 °C men även på några andra ställen där det fanns ansamlingar av brännbart material. I första raden syns en hotspot på motstående sida där brandkällan låg på ca 58 C och i andra raden en på motsvarande sida för den konditionerade på nästan 70 C. Ansamlingar av brännbart material verkar alltså kunna leda till betydligt förhöjda temperaturer, vilket illustrerar vikten av att göra tre upprepade försök på samma material vid i övrigt samma förhållanden

MATERIALTESTER MED KONKALORIMETER

Konkalorimetern är en försöksuppställning där provobjektet belyses med en förutbestämd strålningsnivå och där de pyrolysgaser som bildas antänds med en pilotgnista. Avgiven värmeutveckling och rökutveckling mäts med uppställningen enligt metoden beskriven i ISO 5660. Efter antändning samlas rökgaserna upp med en huv och analyseras. Massförlust, rökutveckling och rökens syrgasnivå mäts vilket ger en uppskattning av värmeeffektavgivning (Heat Release Rate - HRR) och totalt utvecklad mängd värme. Begränsningen med konkalorimetern är att det är en småskaletest och försök utförs bara på provbitar om 100 mm x 100 mm. Det är en klart avgörande faktor på tydligt inhomogena material som sedum och ängsmatta.

I de försöken användes strålningsnivån 25 kW/m^2 och en pilotgnista. Liknande försök gjordes i referens [5] men det fanns möjlighet att samla in mera data på materialets egenskaper som HRR, massförluster och totalt avgiven energi.

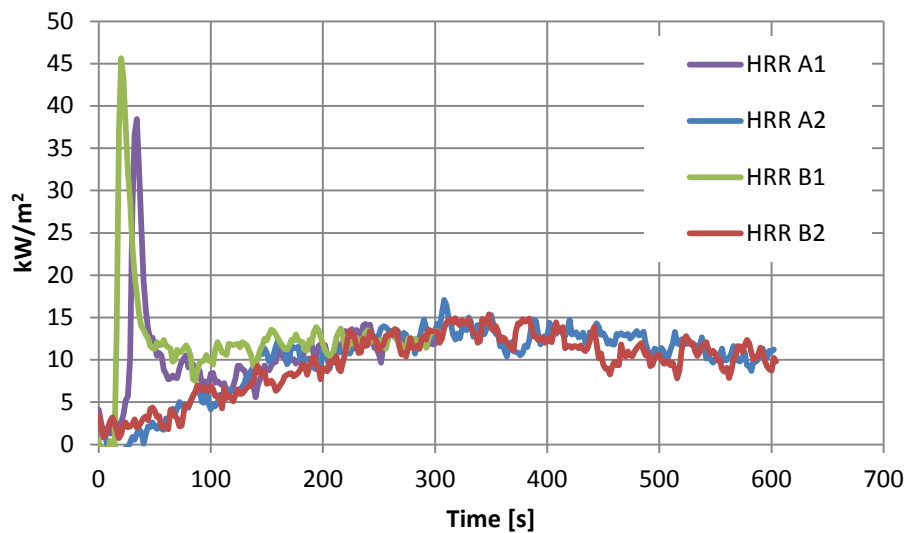


Figur 27. Bild före och efter konkalorimeter testen för konditionerad provkropp.

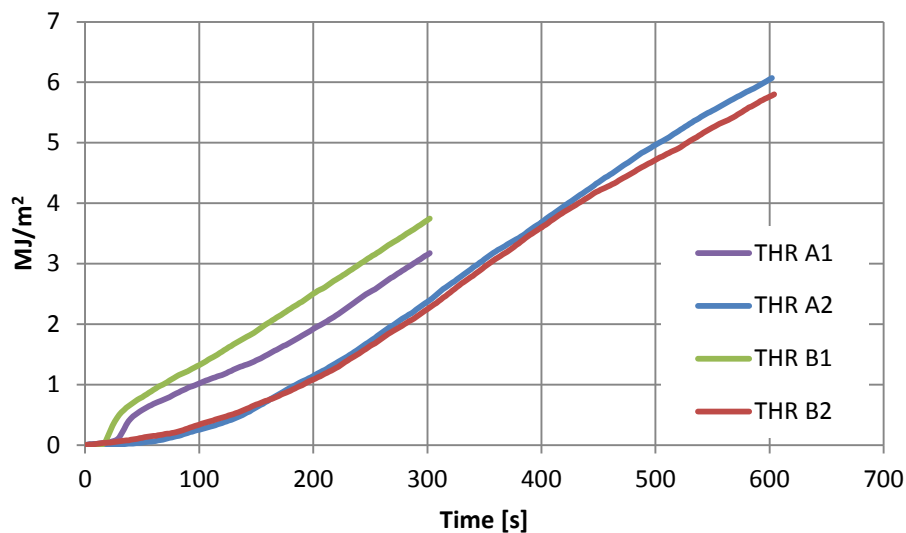
Testerna visar att spridningen i brandförloppet kan vara stor även när provkroppen är uttorkad och testet gör i en kontrollerad miljö. I Figur 28 finns försök A1 och A2 för de uttorkade provkropparna och B1 och B2 för endast konditionerade provkropparna. Figuren visar den avgivna effekten som funktion av tiden där två olika brandförlopp syns. Alla provbitar har ungefär samma mängd brännbart material men att beroende på t.ex. fuktkvot och hur lätt materialet pyrolyserar kommer förloppen att vara olika. Försöken (figur 28-30) visar att det i huvudsak finns två huvudförlopp ett snabbt flammande och ett långsamt glödande (nästan helt utan flammor)

men att den totala effektutvecklingen och energin per areaenhet (m^2) är måttlig. Vi noterar att båda förloppen uppkommer för både uttorkat och endast konditionerat.

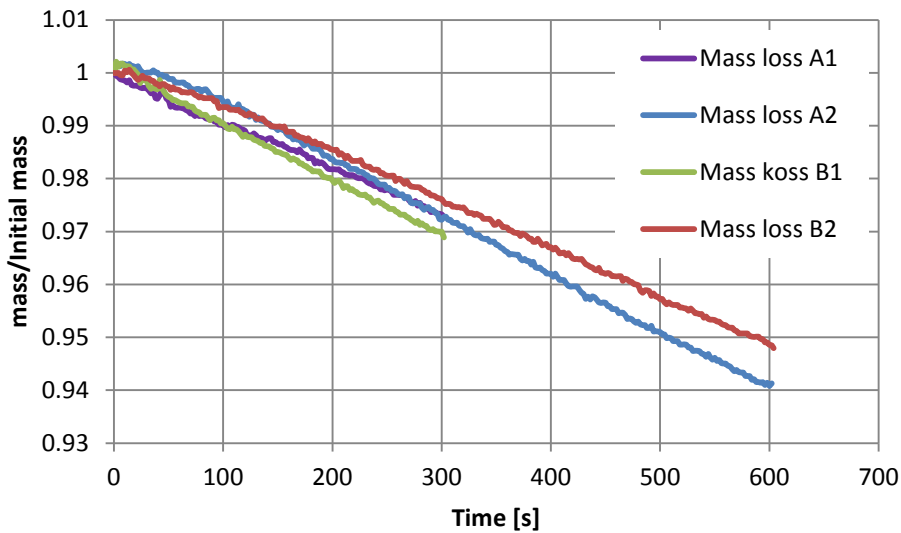
I två av försöken är förloppet snabbt och två tydliga topp effekter syns men de är båda under 50 kW/m^2 .



Figur 28. HRR som funktion av tiden för de fyra provkropparna.



Figur 29. Total värmeenergi för de fyra provkropparna.



Figur 30. Massförlust som funktion av tiden för de fyra provkropparna.

Den totalt avgivna värmeenergin som funktion av tiden visas i figur 29, det är den avgivna värmeeffekten som uppmättes i figur 28 integrerad över tiden. I figur 30 visas viktförlusten normerad mot startvikten, se tabell 6.

Tabell 6. Startvikt för de olika provkropparna.

Provkropp	Startvikt (gram)
A1 (Uttorkad)	182,35
A2 (Uttorkad)	161,07
B1 (Konditionerad)	179,33
B2 (Konditionerad)	178.52

BRANDREGLER I ANDRA LÄNDER

I referens [5] finns en kort sammställning av regler för gröna tak som gäller för Norge, Tyskland, USA och Kanada som kan summeras i tabell 7. Många länder refererar till den tyska koden FLL som grund och har då krav på brandgator eller skyddsavstånd, se tabell 7.

Tabell 7. Regelsammanfattning för andra liknande länder.

Land	Norge	Tyskland (FLL)	Storbritannien (GRO)	USA (FMGlobal)	USA (ANSI)	Sverige
Sektionering	≤40m	≤40m	≤40m	≤1450m ²	≤1450m ²	-
Utformning av brandgata	1 m eller 0,3 m barriär	1 m per 40 m	1 m per 40 m	0,9 m	1,8 m	-
Skyddsavstånd runt öppningar och vertikala element	500 mm	500 mm	500 mm	500 mm	500 mm	-
Krav på bröstningshöjd	-				Ja	-
Substratets djup	-	30 mm	80 mm			-
Andel organiskt material	≤20 %	≤ 65g/l	≤ 65g/l			-
Inspektioner och underhåll	2 ggr/år	2-4 ggr/år	≥2 ggr/år	≥2 ggr/år		-
Brandklass	B _{ROOF} (t2)	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t4)	Klass A eller B	Klass A eller B	B _{ROOF} (t2)

Klassningen är också väldigt olika som B_{ROOF} (t1), B_{ROOF} (t2) och B_{ROOF} (t4). Testmetoden för de olika klassifikationerna här väsentliga likheter där alla bygger på ENV 1187 men B_{ROOF} (t1) utförs utan vindpåverkan. Metoden för att klassificera enligt B_{ROOF} (t4) är att förutom den direkta påverkan av en brandkälla utsätts även provet för värmestrålning, där provet sker i två steg.

I USA används Klass A och B, där Klass A står för "Avstånd i horisontal till närliggande byggnad är 0 till 6 m, eller byggnad dimensionerad för fler än 300 personer" och Klass B är för "Alla andra byggnader där människor vistas", se tabell 7.

Många spektakulära lösningar för gröna tak finns i Asien eller Oceanien, delvis beroende på klimatskillnader men också på grund av annorlunda regelverk. Här kommer en kort diskussion om vad som är avvikande i de regelverken.

Singapore

Norge, Tyskland, Storbritannien och Sverige har krav på en klassificering som är direkt kopplad till en testmetod för gröna tak, se tabell 7, vilket inte gäller för Singapore se [6]. I Singapore bygger kraven på brandmotstånd (konstruktionen uppfyller uppställda kriterier under ett visst

tidsintervall under definierade provningsförhållanden) hos undertaket och angränsande väggar. Det finns krav på begränsad brandspridning mellan delar och närliggande byggnader.

Australien

Australien har flera olika klimatzoner vilket gör att en sammanhängande kravspecifikation är svår att uppnå. Det finns ännu inget relevant brandregelverk för gröna tak men det finns checklistor på lämplig växtlighet (t.ex. frågor om det ansamlar mycket torrt biologiskt material). Lämpligheten hos de tyska byggreglerna, som kräver en 600 mm brandgata efter 40 m beklädnad, nämns dock. I flera lokala rekommendationer nämns sprinklerlösningar och så finns lagkrav på underhåll av det gröna taket [7].

DISKUSSION

Brandegenskaperna för gröna tak har kommit högt upp på agendan eftersom många kommuner vill öka byggandet av gröna tak och öka grönytefaktorn i kommande projekt. Det finns dock ett antal oklarheter med hur gröna taklösningar ska implementeras i den önskvärda skalan. I det allmänna rådet från BBR finns att läsa att brännbar taktäckning ska klassas enligt BROOF(t2). Kravet är dock ställt som att taktäckning på byggnader ska utformas så att antändning försvåras, brandspridning begränsas samt att den endast kan ge ett begränsat bidrag till branden. Det kan i praktiken finnas flera sätt att uppnå den här säkerhetsnivån exempelvis genom sektionering med brandgator eller vertikala bröstningar som fysiskt hindrar brandspridning men också begränsar strålning till närliggande byggnader. Brandegenskaperna hos gröna tak är mycket beroende av det aktuella vädret och fukten, både i applikation och vid provtillfället. Därför har det beslutats att all taktäckning skall torkas ut innan prov. Eftersom gröna tak naturlig innehåller en stor mängd fukt och då är ganska svårantändliga påverkas egenskaperna till ett extremfall. Växtlighetens topologi är avgörande för brandförloppet, med hur det sprider sig och hur vilket värmeeffektutveckling som branden får. Det måste alltså ofta till extra skyddsåtgärder som bestäms enligt en särskild utredning av det aktuella fallet. Det önskvärda är om det utvecklas en beräkningsmetod för hur en sådan särskild utredning kan göras eller en branschpraxis hur en sådan utredning kan gå till.

REFERENSER

- [1] E. Sikander och Carl-Magnus Capener, Gröna klimatskal – fuktförhållanden, energianvändning och erfarenheter, SP Rapport 2014:53.
- [2] Carl-Magnus Capener et al, GRÖNA TAKHANDBOKEN – Vägledning, VINNOVA
- [3] Carl-Eric Hagentoft, Introduction to Building Physics, Lund: Studentlitteratur, 2001, s. 45.
- [4] Boverket, Boverkets byggregler 2016, BBR 23, (föreskrifter och allmänna råd), BFS 2016:6
- [5] A. Elias och D. Håkansson, "Örtsedumtak – En kartläggning av ett örtsedumtaks brandegenskaper och utformning med avseende på brand", Examensarbete i riskhantering vid Lunds tekniska högskola, Rapport 5531, Lund 2016.
- [6] A concise guide to Safe Practices for Rooftop Greenery, Singapore Civil Defense Force – Fire Code 2013.
- [7] Australian Government – Rural Industries and Development Corporation publication " Living Wall and Green Roof Plants for Australia", RIRDC Publ. No 11/175, 2012.