

Gröna klimatskal - fuktförhållanden, energianvändning och erfarenheter

Eva Sikander, Carl-Magnus Capener

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



Gröna klimatskal - fuktförhållanden, energianvändning och erfarenheter

Eva Sikander, Carl-Magnus Capener

Abstract

In Sweden, we see an increased interest from developers and property owners to build and manage buildings with green space on the roof, and even walls. With the increasing interest the need to build knowledge increases regarding the green building envelopes impact on, among other things, moisture and temperature conditions in the construction and energy use for the building. Within the framework of this project, measurements and simulations have been carried out and built on the knowledge for, among other things, ventilated green walls and roofs. Interviews were also conducted, particularly concerning green roofs where experiences from completed projects has been collected.

Among the results can be mentioned that

- The green wall with plants planted in modules containing plant substrate has a clear temperature-equalizing effect largely depending on the thermal mass of substrate in the wall modules.
- The temperature-equalizing effect influences the structural outer part so that the green wall can be warmer in some periods and colder in others compared to a reference wall without a green façade.
- The heat- (and cold-) storing effect by the thermal mass of the green building envelope substrate also means that the relative humidity is affected so that it will be higher during certain periods, such as periods when the substrate layer has cooled down during cold nights. During other periods, the effect may be the opposite, such as when the substrate layer stores heat from hot and sunny days.
- The heat flow through a well-insulated building envelope in a low-energy building, which is not equipped with cooling, is not affected positively by green building envelopes, according to the calculations performed. However, additional simulations and measurement are required for buildings that are air conditioned, for buildings with other types of plant substrates, substrate build-up etc. to draw more general conclusions.
- Energy use for a building in a warmer climate than Sweden (Florida in our calculation example) with less insulation and equipped with cooling decreases when a green building envelope is used. However, this requires a certain amount of rainfall (or irrigation).
- Interviews with stakeholders who have been involved in construction projects with green roofs show experiences that can be valuable to others who are planning to construct green roofs. In particular, a moisture safety design and evaluation should be performed, production must be planned well so that the waterproofing is not damaged during construction and the importance of operating and maintenance routines are highlighted from the interviews.

Key words:

Hygrothermal properties of green building envelopes, moisture safety design, energy, humidity, experiences from stakeholders, green roofs, green facades

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2014:53
ISBN 978-91-87461-97-2
ISSN 0284-5172
Borås 2014

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
1 Förord	5
2 Sammanfattning	6
3 Bakgrund	7
4 Syfte	8
5 Avgränsningar	9
6 Principer för gröna klimatskal	10
6.1 Principer för gröna tak	10
6.2 Principer för gröna väggar	10
7 Genomförande mätningar	12
8 Genomförande simuleringar	15
8.1 Bakgrundsdata	15
8.2 Simuleringar av gröna väggar	17
8.3 Simuleringar av gröna tak	17
9 Resultat mätningar och simuleringar	19
9.1 Grön vägg – uppmätta värden från fältundersökningen	19
9.2 Simulerade värden för provväggarna	26
9.3 Simulering av välisolerad vägg	28
9.4 Gröna tak – simulerade värden	28
9.5 Värmeflöden genom gröna väggar och tak – resultat från simuleringar	32
10 Slutsatser från mätningar och simuleringar av gröna klimatskal	33
11 Erfarenhetsåterföring från produktion och förvaltning av gröna tak	36
11.1 Genomförande av intervjuer – gröna tak	36
11.2 Erfarenheter från byggande och förvaltning av gröna tak	37
12 Förslag till fortsatta studier	42
13 Andra studier	43

1 Förord

Detta projekt har genomförts med finansiering från SBUF, företagen inom FoU-Väst samt från Vinnova via UDI-projektet C/O city.

Resultaten har tagits fram i samverkan med två arbetsgrupper (se nedan) och referensgrupp har utgjorts av företagen inom FoU-Väst samt parter i projektet C/O city.

Arbetsgruppen för simuleringar och mätningar har utgjorts av:

- Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier
- Claes Engström, Skanska
- Kristina Gabriellii, Peab
- Carl-Magnus Capener, SP (utfört mätningar och simuleringar)
- Eva Sikander, SP

Arbetsgruppen för att samla in erfarenheter från projekt med gröna tak har utgjorts av följande parter i C/O city, WP3:

- Karina Antin, White
- Göran Gerth, NCC
- Charlotte Bejersten Nalin, NCC
- Ella Wessén, NCC
- Marie Åslund, WSP Group
- Eva Sikander, SP

Peter Karlsson, SP, har tagit fram underlag för och arbetat med kapitel ”Principer för gröna klimatskal”.

Projektet C/O city, som detta projekt är en del av, 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.

Ett stort tack till samarbetspartners, personer och företag som ställt sina kunskaper och projekt till förfogande samt till finansiärer!

2 Sammanfattning

I Sverige ser vi ett ökat intresse bland byggherrar och fastighetsägare 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 samt energianvändning för byggnaden. Inom ramen för detta projekt har mätningar, simuleringar utförts där kunskapen byggts vidare bland annat för ventilerade gröna väggar och tak. Även intervjuer har utförts, framförallt vad gäller gröna tak där erfarenheter från genomförda projekt har samlats.

Bland resultaten kan nämnas att

- Den gröna väggen med växter planterade i kassetter innehållande växtsubstrat har en tydligt temperaturutjämnande effekt som till stor del beror på den termiska massan hos växtsubstratet i väggmodulerna
- Den temperaturutjämnande 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.



3 Bakgrund

I Sverige ser vi ett ökat intresse bland byggherrar och fastighetsägare att bygga och förvalta byggnader som har gröna ytor på tak, och även väggar. Det finns många motiv till att använda gröna ytor på klimatskal. Några av dessa motiv är att toppbelastningen på dagvattennätet minskar i samband med störtregn, den biologiska mångfalden i städer ökar, gatuklimatet kan påverkas av ändrade ljud-, vind- och temperaturförhållanden osv. Även sociala aspekter lyfts såsom ökad trivsel bland brukare.

Det finns också drivkrafter såsom miljöcertifieringssystem (LEED och BREEAM) där man kan få poäng för gröna ytor. Vid markanvisningar och i krav från byggherrar kan ibland krav på grönytefaktor förekomma.

Det finns erfarenheter i Sverige och internationellt främst med att bygga gröna ytor på tunga oventilerade konstruktioner. Det finns också genomförda studier avseende gröna ytor på tunga konstruktioner där fokus ligger på tätskiktets funktion. Ett exempel avseende tak är det nyligen avslutade SBUF-projektet ”Kvalitetssäkring av sedumtak” som bland annat studerat tätskikt, dränering och taklutning. Eftersom vi i Sverige har en byggtradition med att bygga lätta konstruktioner och i trä så är det viktigt att genomlys hur gröna ytor på väggar och tak eventuellt kan appliceras på dessa konstruktioner samt att identifiera möjliga gynnsamma effekter av detta respektive eventuella utmaningar och svårigheter.

4 Syfte

Projektet syftar till att ge byggherrar, projektörer och entreprenörer en insikt i hur växter på väggar och tak kan komma att inverka på byggnaden, dess fuktsäkerhet och energianvändning. Genom mätningar, simuleringar och intervjuer har vi samlat kunskap som bidrar till ett kvalitetssäkrat byggande.

Projektet belyser speciellt gröna ytor på lätta konstruktioner (t ex lätta konstruktioner med träreglar). Lätta konstruktioner i klimatskalet är vanligt i Sverige, dock med träpanel, skivor eller tegel som fasadbeklädnad respektive tegelpannor, papp eller plåt som takbeklädnad. Då intresset för växter på klimatskalen kan komma att bli vanligare finns möjligen ett ökat intresse av att tillämpa sådana gröna lösningar som tak- eller fasadbeklädnad. Erfarenheterna och kunskapen om hur denna typ av klimatskal fungerar är inte lika beprövad och kartlagd som gröna ytor utvändigt tunga konstruktioner (t ex med bjälklag i betong eller murade ytterväggar). Syftet med projektet är således även att ge kunskap om fördelar och eventuella nackdelar med denna lösning. Genom denna ökade kunskap kan brister i byggnadens fuktsäkerhet och beständighet förebyggas.

5 Avgränsningar

Projektet avser byggnadsfysik och framförallt fukt- och temperaturförhållanden i byggnadsskalet. Vid användning av gröna klimatskal är ju även andra aspekter viktiga såsom t ex användning av vatten för eventuell bevattning, avlastning av dagvattennätet vid skyfall, den gröna ytans utformning såsom växtval och skötsel, brandsäkerhet m m. Dessa aspekter ingår dock inte i denna studie. Kostnadsaspekter ingår heller inte inom ramen för detta projekt.

Det finns också andra typer av vägglösningar som vi inte har beaktat i denna studie såsom klätterväxter, planteringslådor på distans (t ex på balkonger) eller växthus.

6 Principer för gröna klimatskal

6.1 Principer för gröna tak

Gröna tak är takkonstruktioner som är bevuxna med någon form av vegetation. Vilken typ av vegetation beror på vad taket skall användas till och hur mycket jord eller växtsubstrat som underliggande konstruktion tål att belastas med. Det finns tre grupper av gröna tak; extensiva, semi-intensiva och intensiva, se tabell nedan. Intensiva kräver mer underhåll, semi-intensiva lite mindre och extensiva allra minst. För enkelhets skull brukar dock indelningen göras efter hur djupt växtsubstratlagret i taket är.

Tabell 1 Indelning av gröna tak. Källa Green Roof Guide.

	Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
Djup på växtsubstrat	< 10 cm	10-20 cm	>20 cm
Andra egenskaper	<ul style="list-style-type: none"> • Lågt underhåll (vanligtvis inte ens bevattnade) • Begränsad vattenbindning • Inkluderar både för-odlade "vegetationsmattor" och substrat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräver måttligt underhåll och behöver ibland vattnas • Binder regnvatten • Försörjer vegetationen • Kan vara bevuxet av fler växttyper än de extensiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräver mycket underhåll och behöver vattnas • Gräsmatta eller takträdgård • Rekreativ område • Binder vatten

Extensiva tak väger mindre än de andra och när en befintlig byggnad utrustas med ett grönt tak så finns ofta ingen annan möjlighet än att välja ett extensivt. I vissa fall kan det vara möjligt att förstärka underliggande konstruktion och på så vis möjliggöra användandet av ett tyngre tak.

6.2 Principer för gröna väggar

Den vanligaste typen av gröna väggar ser vi på de hus som har klättrväxter längs fasaden, men det finns flera olika typer av gröna väggar. Grundindelningen görs mellan två huvudgrupper; gröna fasader och levande väggar.

Gröna fasader är när en växt är planterad antingen nedanför fasaden, i mark eller kruka, eller ovanför och den sedan vuxit längs med väggen. Levande väggar däremot har växter planterade i fasaden på ett liknande sätt som de mest sluttande gröna taken.

Det finns även en del undergrupper och de separeras exempelvis av om växten växer på eller framför fasaden eller varifrån den får sitt vatten och sin näring, se Tabell 2. Inom ramen för detta projekt har vi studerat levande gröna väggar.

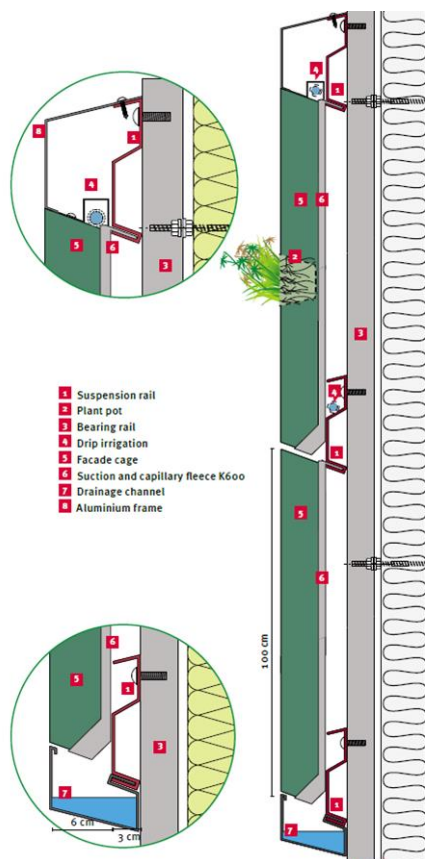
Tabell 2 Gröna väggar, egenskaper och kännetecken.

	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 planteringskärl 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)

7 Genomförande mätningar

Framtidens klimat i Sverige kan med klimatförändringar medföra högre temperaturer och ökad nederbörd med fler skyfall. Gröna klimatskal är en viktig del i städernas strategier för klimatanpassning och är fördelaktiga att använda vid miljöcertifiering av byggnader och områden. Gröna tak kan med rätt uppbyggnad fördröja dagvattenavrinning och hjälper till

att undvika lokala översvämningar genom att minska trycket på dagvattensystem. Gröna klimatskal inklusive gröna väggar bidrar till en ökad grönytefaktor, ekosystemtjänster, buller-reduktion och ger ett bättre mikroklimat vid gatunivå. Även estetiska skäl kan vara en orsak till val av gröna klimatskal.



Figur 1. Uppbyggnad av växtkassetter utanpå befintlig vägg. Källa: Optigreen UK.

Med ett ökat intresse för gröna klimatskal och i synnerhet gröna väggar krävs robusta konstruktioner och en ökad kunskap kring fuktsäkerhet för tag och väggkonstruktioner med gröna anläggningar. Gröna tak har använts en längre tid i Sverige men det finns en brist på kunskap kring gröna väggar deras hygrotermiska förhållanden under olika klimatförhållanden. I det här kapitlet presenteras en fullskalig fältstudie av en grön vägg på en träreglyttervägg placerad i Borås.

Det finns flera kommersiella system för gröna väggar tillgängliga, främst lösningar baserade på kassettsystem med planteringsfickor men även olika klätterväxsystem. I studien har ett tyskt system med aluminiumkassetter och automatiskt bevattningssystem använts, se Figur 1. Den gröna väggen består av fyra kassetter med vardera 18 planteringshål som placerats på en befintlig vägg vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB. Lämpliga växter för studien har valts ut och levererats av Sveriges Lantbruksuniversitet SLU.

I fältundersökningen har den befintliga väggen instrumenterats med fukt- och temperaturgivare innan den gröna väggen monterades och som referens har delar av den befintliga väggen instrumenterats för att kunna jämföra den hygrotermiska inverkan av växtkassetterna, se Figur 2.

Förväntade effekter av den gröna väggen på mikroklimatet i luftspalten och väggkonstruktionen bakom växtkassetterna inkluderar både svalare sommarförhållanden men även något varmare vinterförhållanden tack vare växter men även substratet som består av pimpsten och lavsten. Enbart den termiska massan av växtsubstratet väntades ge ett trögare system och evaporation från växter och substrat kan ge en avkylande effekt under varma somrardagar. Då luftspalten bakom växt-



Figur 2. Demontering och instrumentering av befintlig vägg.

kassetterna är ventilerad fås i stort sett samma ånghalt i luftspalten som uteklimatet men annorlunda temperaturer kan ge förhöjda relativa fuktigheter under vissa perioder med ökad risk för biologisk påväxt i väggen.



Figur 3. Placering av grön vägg samt referensvägg (gulmarkerad).



Figur 4. Återuppbyggnad av befintlig vägg efter inbyggnad av sensorer.

denna rapport. Mätningarna förväntas avslutas under hösten 2014 men kan aktiveras igen så länge som givarna fortsatt är monterade och den gröna väggen finns kvar. Det kan exempelvis vara intressant att starta mätningen igen vid en riktigt kall vinter eller varm höst för att fånga upp beteenden som inte uppvisats under det gångna året som mätningarna varit igång.

I studien används en söderfasad på en kontorsbyggnad vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB, se Figur 3, och väggen har instrumenterats med kalibrerade trådlösa hygrotermiska givare från GE HygroTrac, se Figur 2 ovan. Dessa mäter både fukt och temperatur och är placerade dels i luftspalten bakom växtkassetterna utanför vindskyddet men även inuti den befintliga väggen på olika djup.

Vid monteringen av den gröna väggen demonterades den utvändiga träpanelen och väggen öppnades upp när givarna installerades. Givare är placerade dels vid den invändiga stående träregeln mot ångspärr men även vid liggande läkt mot vindskyddet vilket troligen är den mest fukt känsliga och utsatta delen av den befintliga konstruktionen. På samma sätt öppnades referensväggen upp och givare monterades på samma positioner där för att kunna jämföra fukt- och temperaturförhållanden vid samma klimatpåverkan, Figur 4.

Mot vindskiva och baksidan av aluminiumkassetterna monterades även ytemperaturgivare av termoelement. Inneklimatet i rummet innanför den gröna väggen och referensväggen loggas med samma system som används för givarna i väggen. I studien beaktas inte risken för läckage av regn eller från bevattningssystemet men om detta skulle uppstå kan givarna detektera en förhöjd fuktnivå och varna så att åtgärder kan vidtas.

Växter i listan nedan valdes ut av SLU och planterades den 1 juli 2013 varefter bevattningssystemet justerades. Mätningar startades i slutet av juli 2013 och pågår fortfarande vid författandet av

Följande växter används på den gröna väggen, se planteringsschema i Figur 5: *Lingon*, *praktnäva*, *ilex*, *bergenia*, *storfryle*, *edelweiss*, *smultron*, *stäppsalia* samt *gräslök*.

2 (6)	2	5	2	4	8 (5)	Växter 1. Lingon 2. Praktnäva 3. Ilex 4. Bergenia 5. Storfryle 6. Edelweiss 7. Smultron 8. Stäppsalia 9. Gräslök
1	1	2	3	1	4	
1 (6)	7	6	4	8	9	
8	7	5	1	3	2	
3	2	8	8	7	9	
7	1	5	8	3	1	
7	9	9	7	9	6	
2 (5)	6	2	8	5	4	
1	9	7	7	1	1 (6)	
8	5	5	6	3	3	
3	8	4	3	4	2	
9	9	1	3	2	6	

Figur 5. Planteringsschema för växter på grön vägg vid SP. (Växter inom parentes har ersatts).

Ett år efter planteringen, Figur 6, trivs många av växterna och SLU kommer att utvärdera dessa för att ge rekommendationer kring val av växter på gröna väggar.



Figur 6. Växterna 1 år efter planteringen, slutet av juni 2014.

8 Genomförande simuleringar

Målsättningen med simuleringarna är att utforska användandet av gröna klimatskal, dels vid applicering på befintliga konstruktioner men även för nybyggnation. Exempel ges på olika konstruktionslösningar för väggar och tak och i kapitel 9 redovisas hur gröna klimatskal inverkar på värmeflödet genom klimatskalet jämfört med referensklimatskal. Väggarna vid fältundersökningen har simulerats med klimatdata från WUFIs klimatdatabas och jämförs mot uppmätta värden.

Som nämnts tidigare finns en brist på kunskap kring gröna väggar och tak och deras hygrotermiska förhållanden under olika klimatförhållanden. I det här kapitlet redovisas genomförandet av simuleringar av olika gröna väggar och tak. Dels simuleras samma gröna vägg som använts i fältmätningen beskriven i tidigare kapitel och även motsvarande referensvägg men även en välisolerad traditionell vägg jämförs mot vägg med grönt klimatskal. Exempel med gröna tak på lätt respektive tung konstruktion visas inklusive ett ventilerat tak. Bakgrundsdata från litteraturstudier och materialegenskaper för gröna klimatskal redovisas och ger läsaren möjlighet att använda för egna studier av konstruktioner med andra uppbyggnader än de som redovisas nedan.

Avsikten med simuleringarna är att utforska byggnadstekniska möjligheter med gröna klimatskal och att hitta robusta och säkra tillämpningar. Fasad- och taklösningar utnyttjande gröna/växt- ytskikt utsatta för normala klimatbelastningar analyseras. I beräkningarna tas ingen hänsyn till någon typ av inläckande vatten. Tätskikt förutsätts ha fullgod funktion (detta studeras inom ramen för andra projekt).

I studien undersöks även gröna taks inverkan på värmeflöden genom konstruktioner för både nordiska klimat men även för varma och fuktiga klimat där ett grönt tak tros få en större inverkan på energiförbrukningen genom en minskning av värmeflöde genom takkonstruktionen till en luftkonditionerad byggnad.

8.1 Bakgrundsdata

Beräkningar har utförts med programmet WUFI Pro 5.3 (endimensionell beräkning) för att studera konstruktioners hygrotermiska förhållanden. Materialdata för byggnads-material har valts enligt Tabell 3 och för gröna klimatskal enligt Tabell 4. Övriga relevanta förutsättningar redovisas nedan. Övriga data som använts i beräkningarna är hämtade ur WUFI's materialdatabas. Nedanstående förutsättningar gäller för beräkningarna om inte annat anges.

- Uteklimat; klimatort är Oslo (NBI/NTNU Data) för väggar respektive Oslo och Miami (LTH Data och WUFI Miami, FL warm year) för tak.
- Inneklimat enligt EN15026, Normal moisture load. (Treat as indoor surface). Min innetemperatur är då 20 °C men kan öka periodvis beroende på uteklimat. Vid utomhustemperaturer upp till 10 °C hålls en min temperatur av 20 °C inomhus, från 10 till 20 °C utomhus ökar inomhustemperaturen linjärt från 20 °C till 25 °C för att därefter stanna vid 25 °C. Även den relativa fuktigheten inomhus påverkas av utomhusklimatet enligt en algoritm som specificeras i EN15026. För luftkonditionerad byggnad har ASHRAE-standard 160 använts där inneklimatet kyls till 23 °C och värms vid behov till 21 °C.
- Värmeöverföringskoefficienter; heat transfer coefficients, utsida 0,0588 (vägg) respektive 0,0526 (tak) [$\text{m}^2\text{K/W}$] vindberoende, insida 0,125 [$\text{m}^2\text{K/W}$].

- Strålning; Short-Wave Radiation Absorptivity, 0,6 (tak) och 0,5 (vägg) [-], Long-Wave Radiation Emissivity, 0,9 [-] för grönt klimatskal och 0,8 [-] respektive [0,9] för ett tak med svart kulör.
- Beräkningstid; 1 år för väggar och 5 år för tak.

Tabell 3 Materialdata för simulerade byggnadsmaterial och allmänna material.

Material	Densitet ρ [kg/m ³]	Porositet [-]	Värmekonduktivitet λ [W/mK]	Diffusionsmot- ståndsfaktor μ [-]
Gran ^[1]	430	0,73	0,14	83,3
Luftspalt ^[2]	1,3	0,999	0,13	0,56
Träfiberskiva ^[3]	959	0,41	0,13	227
Mineralull ^[4]	25,2	0,95	0,038	1,0
Ångspärr ^[5]	130	0,001	2,3	50000
Gipsskiva ^[6]	625	0,73	0,2	8,33
Takmembran ^[7]	2400	0,001	0,5	50000
Cellplast ^[8]	30	0,95	0,04	50
OSB-skiva ^[9]	595	0,9	0,13	165
Betong ^[10]	2220	0,18	1,6	248

- [1] Gran, tangentiell. Gran från södra Sverige Ref: Hedenblad, G., 1996, Materialdata för fukttransportberäkningar, T19:1996, ISBN 91-540-5766-3, Byggeforskningsrådet, Stockholm.
- [2] Materialdata hämtat ur WUFI's materialdatabas för allmänna material, "Air layer 20 mm; without additional moisture capacity. Effective basic material data include effect of convection and radiation. Air layer has to be inserted in component assembly using real thickness." För andra storlekar på luftspalter gäller andra värden. Även dessa har hämtats ur WUFIs materialdatabas för allmänna material men redovisas inte specifikt här.
- [3] Träfiberskiva hård Ref: Hedenblad, G., 1996, Materialdata för fukttransportberäkningar, T19:1996, ISBN 91-540-5766-3, Byggeforskningsrådet, Stockholm.
- [4] Mineralull. Materialdata från WUFIs databas.
- [5] Ångspärr. PE-folie 0,2 mm. Materialdata hämtat ur WUFIs materialdatabas. 1 mm tjocklek används vid simulering.
- [6] Gipsskiva invändig. Materialdata från WUFIs databas.
- [7] Materialdata skapat från WUFIs amerikanska materialdatabas och materialet Roof Membrane V13. Z-värde har uppskattats till motsvarande Z=2 000 000 s/m.
- [8] EPS. Materialdata från WUFIs databas.
- [9] Oriented Strand Board. Materialdata från WUFIs databas.
- [10] Concrete, C35/45. Materialdata från WUFIs databas.

Tabell 4 Materialdata för simulerade gröna klimatskal.

Material	Densitet ρ [kg/m ³]	Porositet [-]	Värmekonduktivitet λ [W/mK]	Diffusionsmot- ståndsfaktor μ [-]
Växtlager ^[11]	1500	0,5	0,2	5,0
Extensivt lättviktssubstrat ^[12]	405	0,82	0,4	3,0
Extensivt enskiktssubstrat ^[13]	900	0,65	0,4	3,3

- [11] Allmänt planteringslager för ett gröna tak och väggar. Ref: IBP-Bericht HTB-13/2013, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen.
- [12] Extensivt lättviktssubstrat för ett grönt tak. Extensiv-Leichtsubstrat Typ L - Fa. Optigreen. Ref: IBP-Bericht HTB-13/2013, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen.
- [13] Extensivt enskiktssubstrat för ett grönt tak. Extensiv-Einschichtsubstrat Typ M - Fa. Optigreen. Ref: IBP-Bericht HTB-13/2013, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen.

8.2 Simuleringar av gröna väggar

Följande fall har studerats, konstruktioner beskrivs från utsida och in:

1. Lätt träregelvägg enligt fältstudie vid SP, referensvägg utan grönt klimatskal
Träpanel gran/luftspalt 20 mm (ventilerad, 2 ACH)/träfiberskiva/mineralull 140 mm (träreglar och utvändigt liggande läkt försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,21 W/m²K
2. Lätt träregelvägg enligt fältstudie vid SP, med grönt klimatskal
Växtlager 10 mm/växtsubstrat 60 mm/diffusionstätt membran motsvarande aluminiumskikt/luftspalt 20 mm (ventilerad, 100 ACH)/träfiberskiva/mineralull 140 mm (träreglar och utvändigt liggande läkt försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,21 W/m²K
3. Välisolerad lätt träregelvägg, referensvägg utan grönt klimatskal
Träpanel gran/luftspalt 20 mm (ventilerad, 2 ACH)/träfiberskiva/mineralull 350 mm (träreglar och utvändigt liggande läkt försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,1 W/m²K
4. Välisolerad lätt träregelvägg, med grönt klimatskal
Växtlager 10 mm/växtsubstrat 60 mm/diffusionstätt membran motsvarande aluminiumskikt/luftspalt 20 mm (ventilerad, 100 ACH)/träfiberskiva/mineralull 350 mm (träreglar och utvändigt liggande läkt försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,1 W/m²K

För de första två fallen, Fall 1 och 2, vilket motsvarar fältundersökningen vid SP (dock med klimatdata från WUFIs klimatdatabas), redovisas temperatur och relativ fuktighet för fyra årstider på samma sätt som för de uppmätta resultaten. För de välisolerade väggarna i Fall 3 och 4, där isoleringen utökats jämfört med fältundersökningen, redovisas den relativa fuktigheten i varaktighetsdiagram för de mest utsatta punkterna i konstruktionen, dvs motsvarande liggande läkt bakom vindskydd. Fall 3 och 4 jämförs även mot Fall 1 och 2.

8.3 Simuleringar av gröna tak

Följande fall har studerats, konstruktioner beskrivs från utsida och in:

5. Lätt oventilerad konstruktion med grönt tak
Växtlager 10 mm/växtsubstrat (extensivt lättviktssubstrat) 30 mm/takmembran (rotskydd)/cellplast 40 mm/OSB-skiva/mineralull 214 mm (träreglar försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,15 W/m²K
6. Tung konstruktion med grönt tak
Växtlager 10 mm/växtsubstrat (extensivt enskiktssubstrat) 80 mm/takmembran (rotskydd)/cellplast 255 mm/takmembran/betong 200 mm; U-värde 0,15 W/m²K
7. Lätt oventilerad konstruktion med svart tak
Takmembran/cellplast 40 mm/OSB-skiva/mineralull 214 mm (träreglar försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,15 W/m²K
8. Tung konstruktion med svart tak
Takmembran/cellplast 255 mm/takmembran/betong 200 mm; U-värde 0,15 W/m²K

9. Tung konstruktion med grönt tak – luftkonditionerad byggnad, uteklimat Miami, FL, USA
Växtlager 10 mm/växtsubstrat (extensivt enskiktssubstrat) 80 mm/takmembran (rotskydd)/cellplast 80 mm/takmembran/betong 200 mm; U-värde 0,4 W/m²K
10. Tung konstruktion med svart tak – luftkonditionerad byggnad, uteklimat Miami, FL, USA
Takmembran/cellplast 80 mm/takmembran/betong 200 mm; U-värde 0,4 W/m²K
11. Lätt ventilerad konstruktion med grönt tak, 10 ACH
Växtlager 10 mm/växtsubstrat (extensivt lättviktssubstrat) 30 mm/takmembran (rotskydd)/cellplast 40 mm/luftspalt 30 mm (ventilerad, 10 ACH)/OSB-skiva/mineralull 207 mm (träreglar försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,15 W/m²K
12. Lätt ventilerad konstruktion med svart tak, 10 ACH
Takmembran/cellplast 40 mm/luftspalt 30 mm (ventilerad, 10 ACH)/OSB-skiva/mineralull 207 mm (träreglar försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,15 W/m²K
13. Lätt ventilerad konstruktion med grönt tak, 100 ACH
Växtlager 10 mm/växtsubstrat (extensivt lättviktssubstrat) 30 mm/takmembran (rotskydd)/cellplast 40 mm/luftspalt 30 mm (ventilerad, 100 ACH)/OSB-skiva/mineralull 207 mm (träreglar försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,15 W/m²K
14. Lätt ventilerad konstruktion med svart tak, 100 ACH
Takmembran/cellplast 40 mm/luftspalt 30 mm (ventilerad, 100 ACH)/OSB-skiva/mineralull 207 mm (träreglar försummat)/ångspärr/gipsskiva; U-värde 0,15 W/m²K

För de lätta takkonstruktionerna, Fall 5, 7 11, 12, 13 och 14, undersöks temperatur och relativ fuktighet för den mest utsatta punkten i konstruktionerna motsvarande utsidan av OSB-skivan. Värmeflöden genom klimatskal utvärderas för samtliga beräkningsfall.

9 Resultat mätningar och simuleringar

Från den genomförda fältundersökningen beskriven i Kapitel 7 och de simulerade fallen i Kapitel 8 har stora mängder data samlats in och analyserats. I det här kapitlet redovisas resultaten för den gröna väggen avseende uppmätta och simulerade hygrotermiska egenskaper och jämförs mot referensvägg och det teoretiska fallet med en mer välisolerad yttervägg. Även de simulerade gröna taken redovisas och effekten av det gröna klimatskalet jämfört med ett svart tak belyses.

9.1 Grön vägg – uppmätta värden från fältundersökningen

Ett stort antal mätpunkter och värden har loggats både från den gröna väggen och referensväggen beskriven i Kapitel 7 och nedan visas ett urval av resultaten avseende temperatur och relativ fuktighet för de mest utsatta positionerna i väggen. För att förtydliga resultaten har representativa och intressanta perioder från de fyra olika årstiderna under mätperioden valts ut.

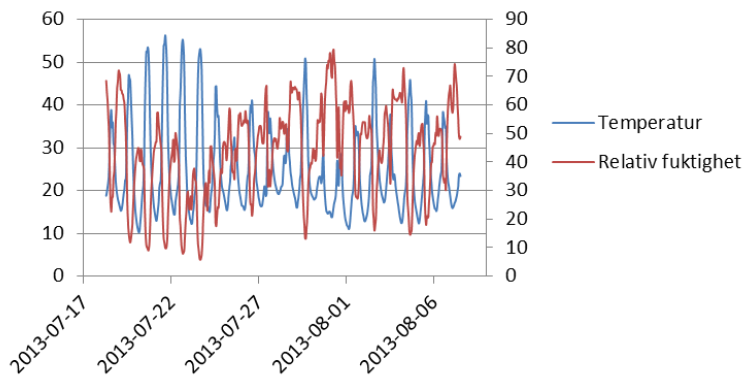
9.1.1 Sommaren 2013

Sommarperioden med varma och soliga dagar är intressant då den visar på den starkt temperaturdämpande effekten den gröna väggen uppvisar jämfört med referensväggen, detta syns speciellt i luftspalten framför vindskivan men även i mineralullen bakom vid liggande läkt. Kombinationen av den termiska massan hos växtsubstratet och de gröna växterna ger både lägre temperaturopppar och håller värmen under temperaturdalar vilket jämnar ut temperaturkurvan. Då den undersökta träregelväggen har ett relativt högt U-värde kan de gröna växtkassetterna bidra till en förbättrad invändig komfort genom att sänka yttemperaturen på väggens insida, se termografering, Figur 7. Med ett bättre (och lägre) U-värde så som för väggar i svenska lågenergihus så minskar den här effekten.



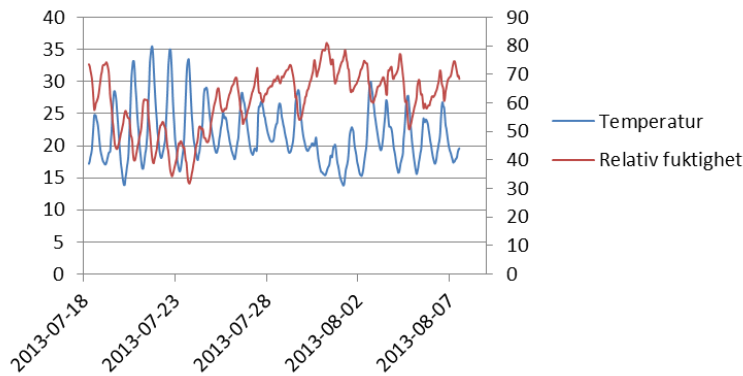
Figur 7. Termografering av väggs insida från fältundersökningen. Bilden visar yttemperaturer vid en varm solig sommardag efter flera timmars exponering. Bakom den vänstra halvan av väggen finns det gröna klimatskalet och bakom den högra referensväggen. De mörkare lodräta linjerna visar träreglarna.

Referensvägg - luftspalt - sommar



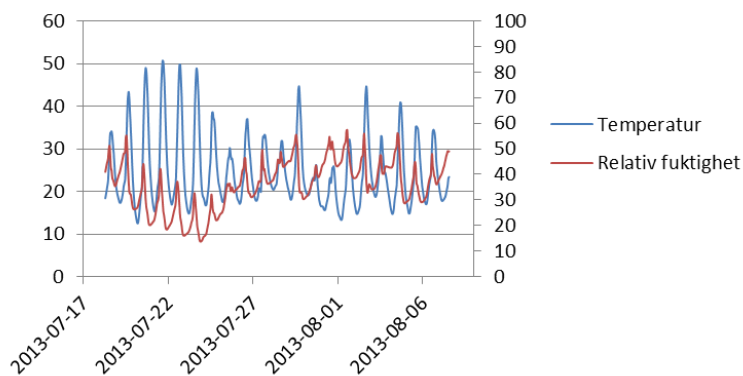
Figur 8. Temperatur och relativ fuktighet i luftspalt bakom träpanel hos referensvägg. Figuren visar två veckor under sommaren 2013.

Grön vägg - luftspalt - sommar

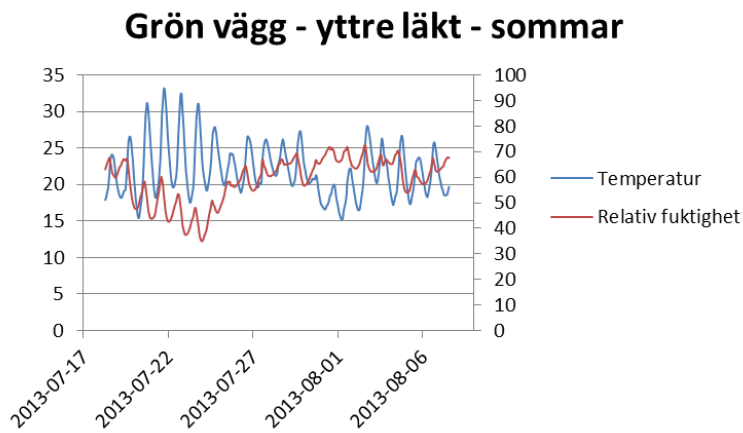


Figur 9. Temperatur och relativ fuktighet i luftspalt bakom växtkassetter hos grön vägg. Figuren visar två veckor under sommaren 2013.

Referensvägg - yttre läkt - sommar



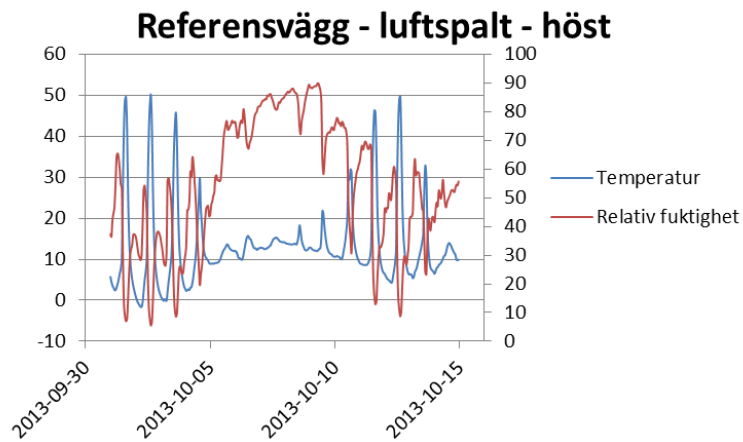
Figur 10. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg (motsvarande position för yttre läkt). Figuren visar två veckor under sommaren 2013.



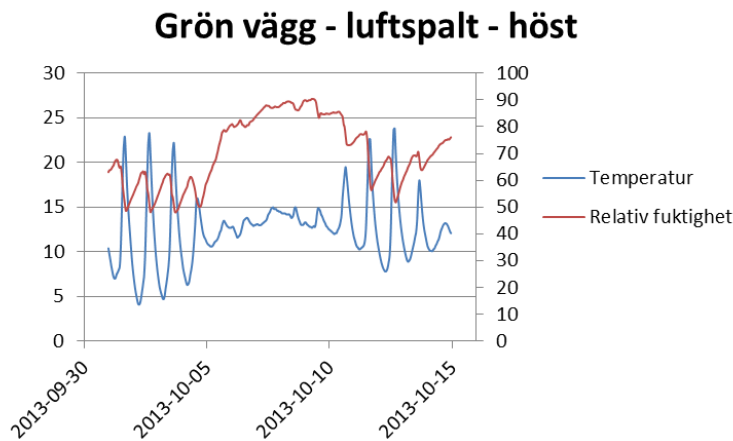
Figur 11. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva (motsvarande position för yttre läkt) hos grön vägg. Figuren visar två veckor under sommaren 2013.

9.1.2 Hösten 2013

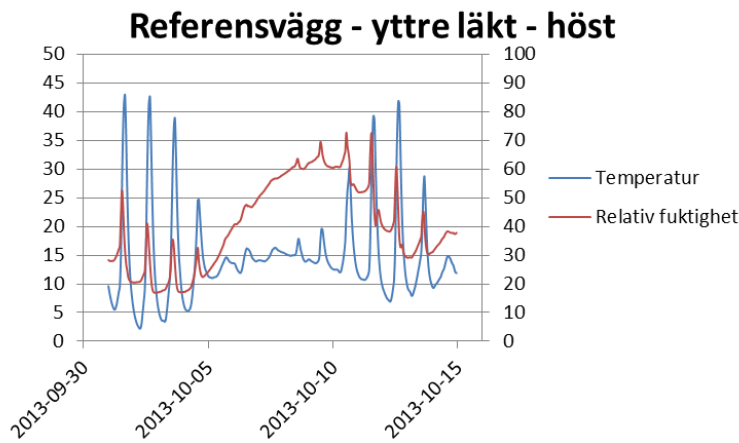
Höstperioden uppvisar liknande varma och soliga dagar motsvarande vissa sommardagar men även fuktigare perioder. Återigen kan den temperaturdämpande effekten ses men även betydligt högre relativa fuktigheter hos referensväggen och den gröna väggen i luftspalt och bakom vindskivan.



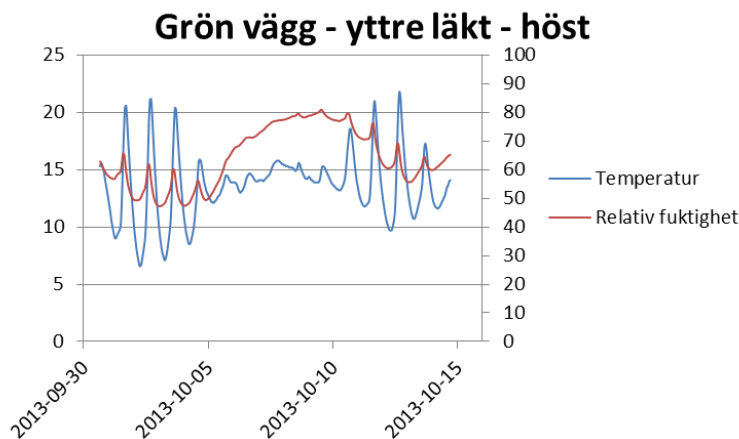
Figur 12. Temperatur och relativ fuktighet i luftspalt bakom träpanel hos referensvägg. Figuren visar två veckor under hösten 2013.



Figur 13. Temperatur och relativ fuktighet i luftspalt bakom växtkassetter hos grön vägg. Figuren visar två veckor under hösten 2013.



Figur 14. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg (motsvarande position för yttre läkt). Figuren visar två veckor under hösten 2013.

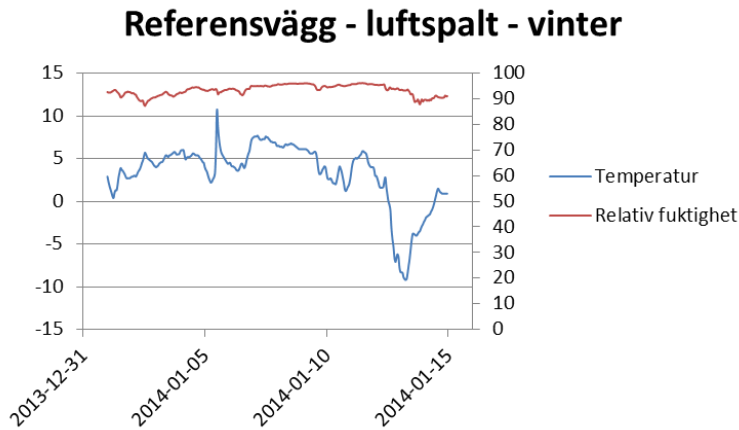


Figur 15. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva (motsvarande position för yttre läkt) hos grön vägg. Figuren visar två veckor under hösten 2013.

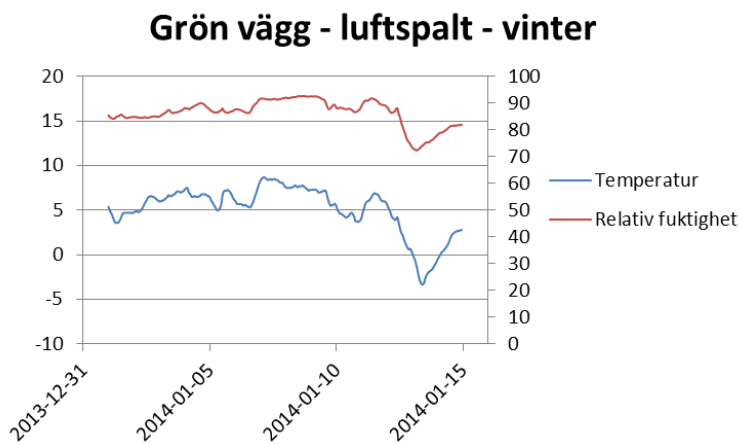
Resultaten av mätningarna visar att temperaturer och relativa fuktigheten i yttre delen av väggen "dämpas" på så sätt att temperaturerna är både högre och lägre i referensväggen jämfört med den gröna väggen. Som en följd av detta är den relativa fuktigheten under korta perioder både högre (upp till 80% RF) och lägre i den yttre delen av den gröna fasaden än i referensfasaden.

9.1.3 Vintern 2013/2014

Vintern visar upp betydligt färre soliga dagar och pekar på en jämnare relativ fuktighet i väggarna. Även om höga relativa fuktigheter uppvisas i luftspalterna så sammanfaller dessa med låga temperaturer. En viss temperaturdämpande effekt kan ses i slutet av perioden under en kortare köldknäpp där den gröna väggen visar på högre temperaturer än referensväggen i luftspalt och bakom vindskiva.

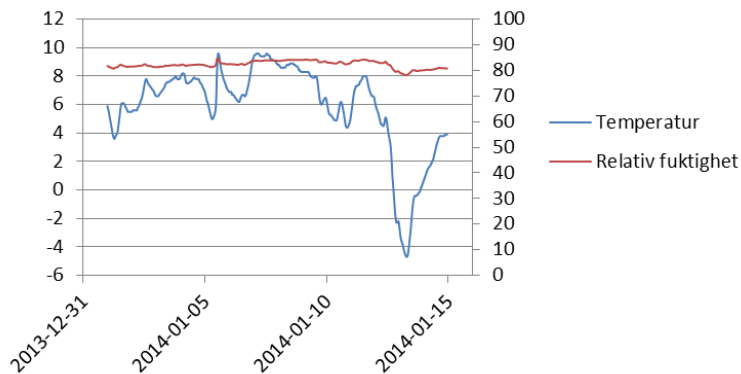


Figur 16. Temperatur och relativ fuktighet i luftspalt bakom träpanel hos referensvägg. Figuren visar två veckor under vintern 2013/2014.



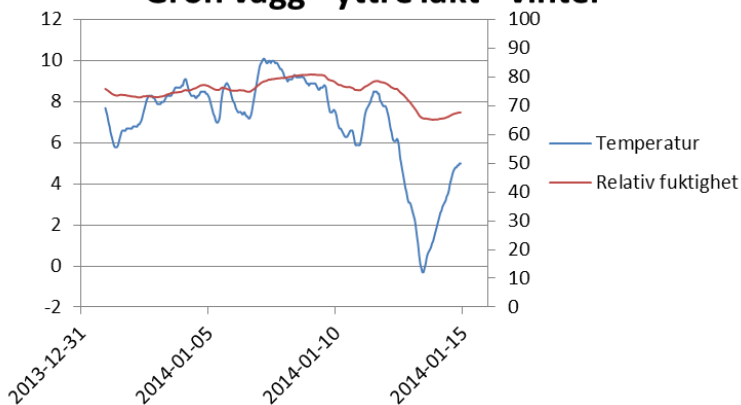
Figur 17. Temperatur och relativ fuktighet i luftspalt bakom växtkassetter hos grön vägg. Figuren visar två veckor under vintern 2013/2014.

Referensvägg - yttre läkt - vinter



Figur 18. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg (motsvarande position för yttre läkt). Figuren visar två veckor under vintern 2013/2014.

Grön vägg - yttre läkt - vinter

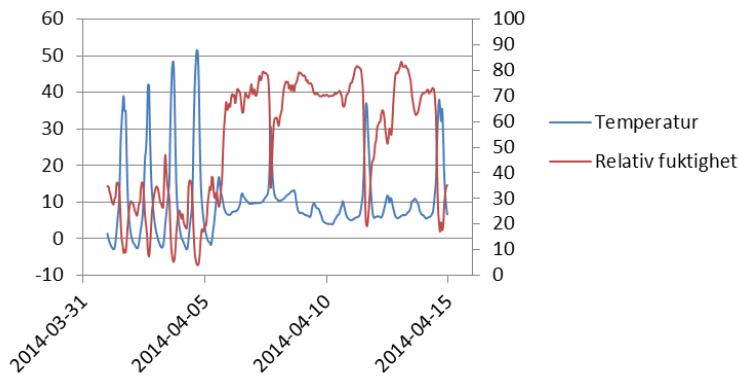


Figur 19. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva (motsvarande position för yttre läkt) hos grön vägg. Figuren visar två veckor under vintern 2013/2014.

9.1.4 Våren 2014

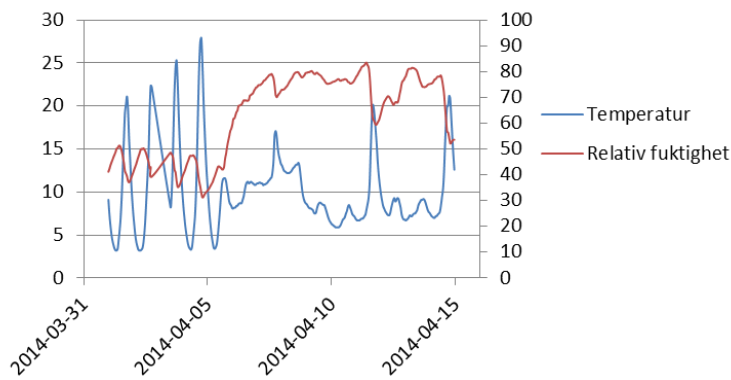
Våren uppvisar liknande varma och soliga dagar motsvarande vissa sommardagar men även mindre soliga perioder liknande höstperioden, dock i det här fallet med lägre relativa fuktigheter. Återigen kan den temperaturdämpande effekten ses men även periodvis något högre relativa fuktigheter hos referensväggen och den gröna väggen i luftspalt och bakom vindskivan. En intressant klimatfall som vi inte kunde uppmäta under våren 2014 (men som sannolikt inträffade våren 2013) är då växtsubstratet fryser och det sker ett väderomslag då varmare och fuktigare luft ventileras in i luftspalten bakom växtkassetterna och riskerar att orsaka kondens.

Referensvägg - luftspalt - vår



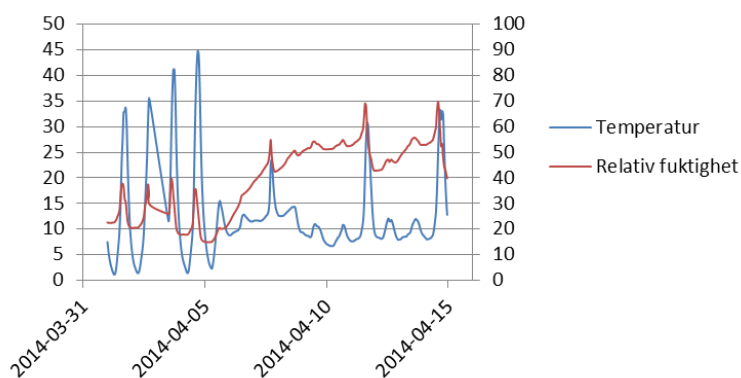
Figur 20. Temperatur och relativ fuktighet i luftspalt bakom träpanel hos referensvägg. Figuren visar två veckor under våren 2014.

Grön vägg - luftspalt - vår

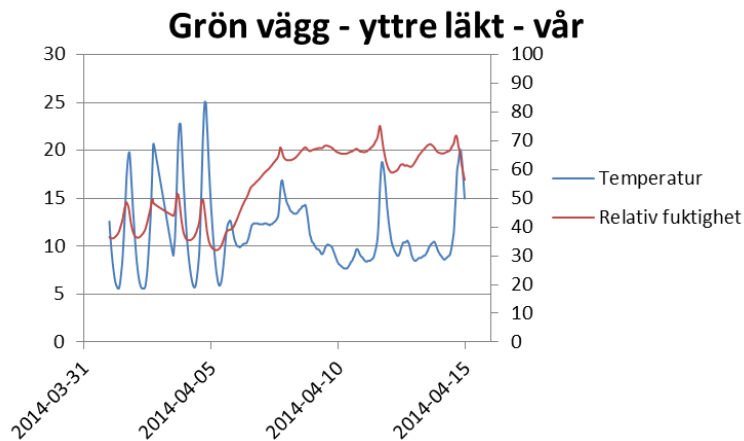


Figur 21. Temperatur och relativ fuktighet i luftspalt bakom växtkassetter hos grön vägg. Figuren visar två veckor under våren 2014.

Referensvägg - yttre läkt - vår



Figur 22. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg (motsvarande position för yttre läkt). Figuren visar två veckor under våren 2014.



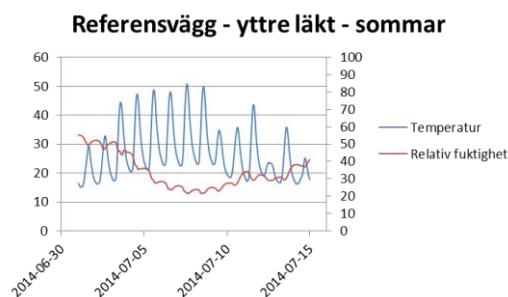
Figur 23. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva (motsvarande position för yttre läkt) hos grön vägg. Figuren visar två veckor under våren 2014.

9.2 Simulerade värden för provväggarna

Från simuleringarna av den gröna väggen och referensväggen visas ett urval av resultaten avseende temperatur och relativ fuktighet för de mest utsatta positionerna i väggen på samma sätt som för de uppmätta värdena ovan. För att förtydliga resultaten har representativa och intressanta perioder från de fyra olika årstiderna under mätperioden valts ut. Då det inte är klimatet från fältundersökningen som använts för simuleringarna skiljer sig resultaten från de uppmätta men avsikten med simuleringarna är att visa på om det är möjligt att prediktera ett liknande beteende hos simulerade gröna klimatskal som hos det uppmätta. För de simulerade fallen visas resultaten avseende punkt motsvarande bakom vindskiva (position för liggande läkt) och de simulerade fallen för referensvägg och grön vägg jämförs sida vid sida.

Jämförelse mellan uppmätta och simulerade värden visar att simuleringar har god överensstämmelse med verkligheten, även om det också finns tecken på att exempelvis luftomsättning i luftspalten har betydelse och är svår att förutsäga. Ytterligare studier kan behövas kring detta.

9.2.1 Sommarperiod



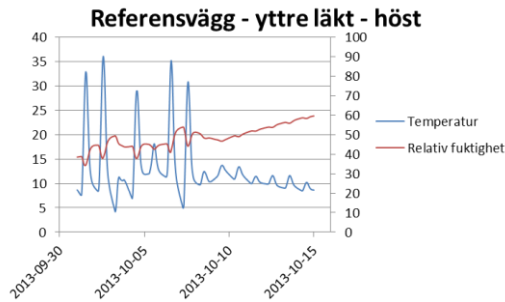
Figur 24



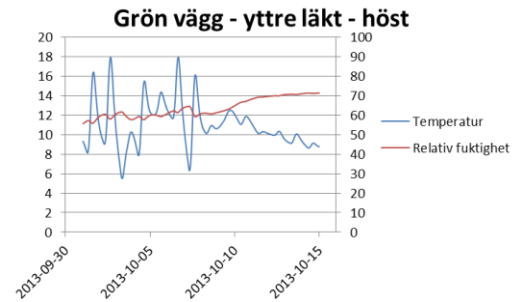
Figur 25

Figurer 24 och 25. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg respektive grön vägg (motsvarande position för yttre läkt). Figuren visar två veckor under sommaren.

9.2.2 Höstperiod



Figur 26



Figur 27

Figurer 26 och 27. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg respektive grön vägg (motsvarande position för yttre läkt). Figuren visar 2 veckor under hösten.

9.2.3 Vinterperiod



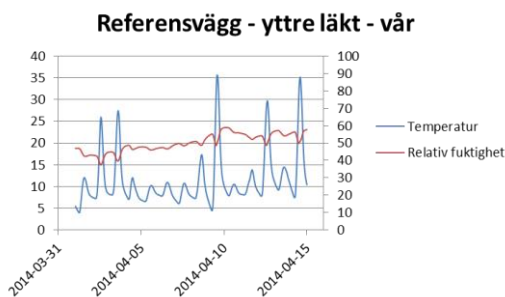
Figur 28



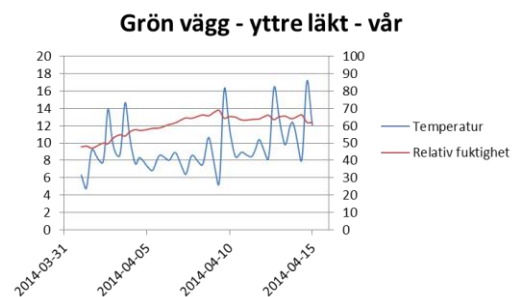
Figur 29

Figurer 28 och 29. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg respektive grön vägg (motsvarande position för yttre läkt). Figuren visar 2 veckor under vintern.

9.2.4 Vårperiod



Figur 30

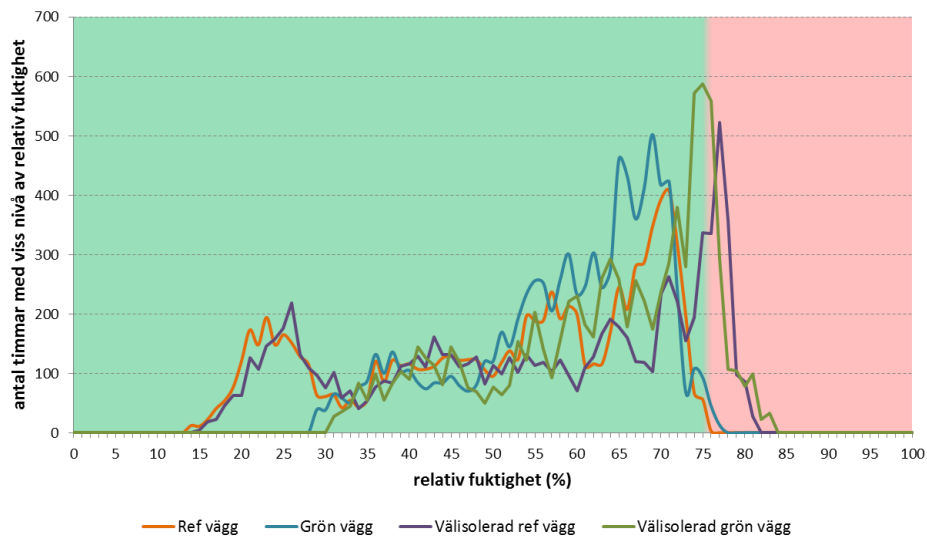


Figur 31

Figurer 30 och 31. Temperatur och relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg respektive grön vägg (motsvarande position för yttre läkt). Figuren visar 2 veckor under våren.

9.3 Simulering av välisolerad vägg

Även två fall med mer välisolerade konstruktioner simulerades; Fall 3 och 4 enligt Kapitel 8. I Figur 32 nedan visas ett varaktighetsdiagram för den relativa fuktigheten i Fall 1-4 motsvarande för punkt bakom vindskiva (placering av liggande läkt). Här blir det tydligt att med en ökande isolertjocklek och minskande U-värde fås en förskjutning av relativa fuktigheter mot högre värden, både för referensväggen och för den gröna väggen. Eftersom den gröna väggen verkar utdämpande avseende temperaturer i konstruktionens yttre delaren visar det sig också att den relativa fuktigheten som en följd av detta kan förväntas vara något högre i den gröna väggens yttre delar. Den relativa fuktigheten blir något högre under perioder då den gröna väggen verkar ”avkylande” och något lägre då den gröna väggen verkar ”uppvärmande”.

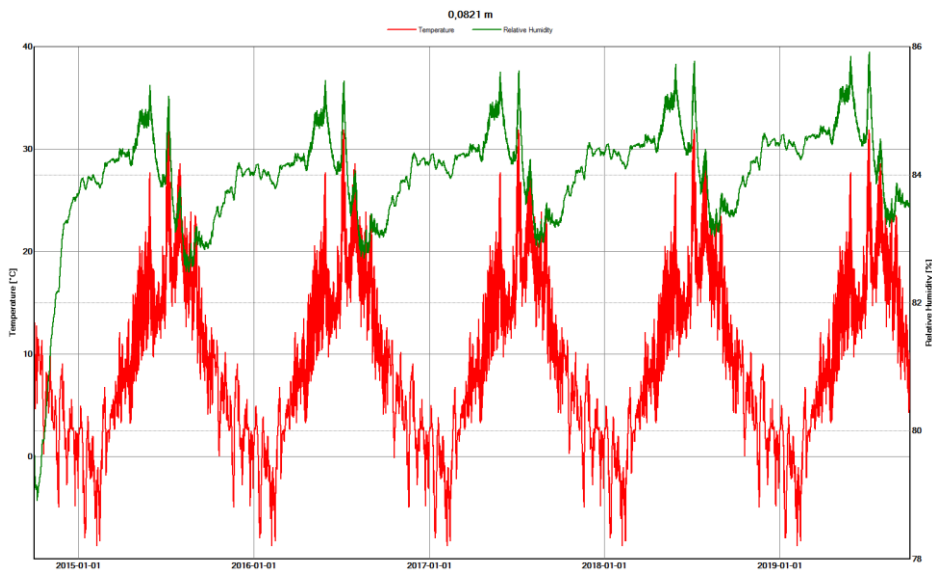


Figur 32 Antal timmar med viss nivå av relativ fuktighet i mineralull bakom vindskiva hos referensvägg (Fall 1) respektive grön vägg (Fall 2) samt för de mer välisolerade fallen, Fall 3 och 4. Figuren visar fördelning under 1 års simulering, totalt 8760 timmar.

9.4 Gröna tak – simulerade värden

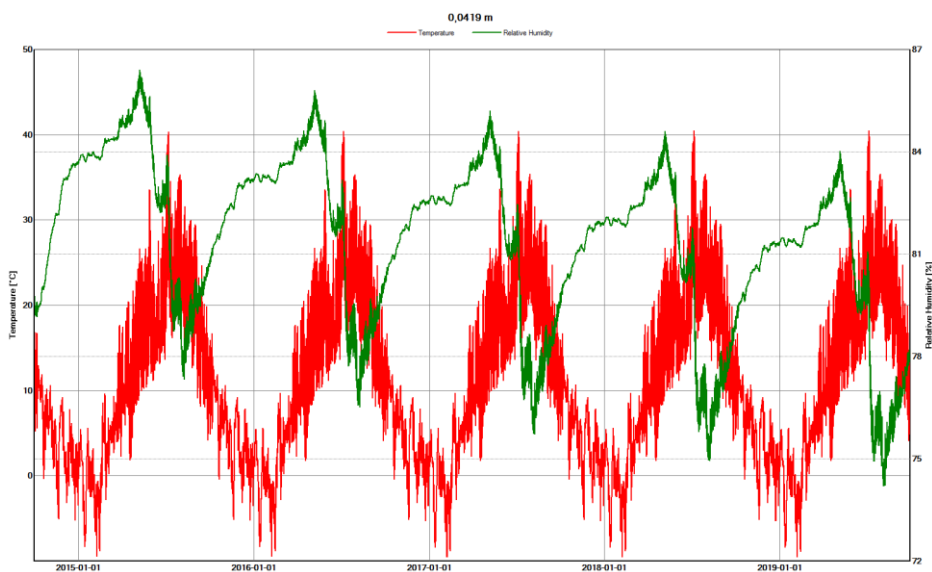
Från simuleringarna av de lätta gröna taken visas ett urval av resultat avseende temperatur och relativ fuktighet för de mest utsatta positionerna i konstruktionerna, motsvarande OSB-skivans yttersta position.

9.4.1 Lätt oventilerad konstruktion med grönt tak



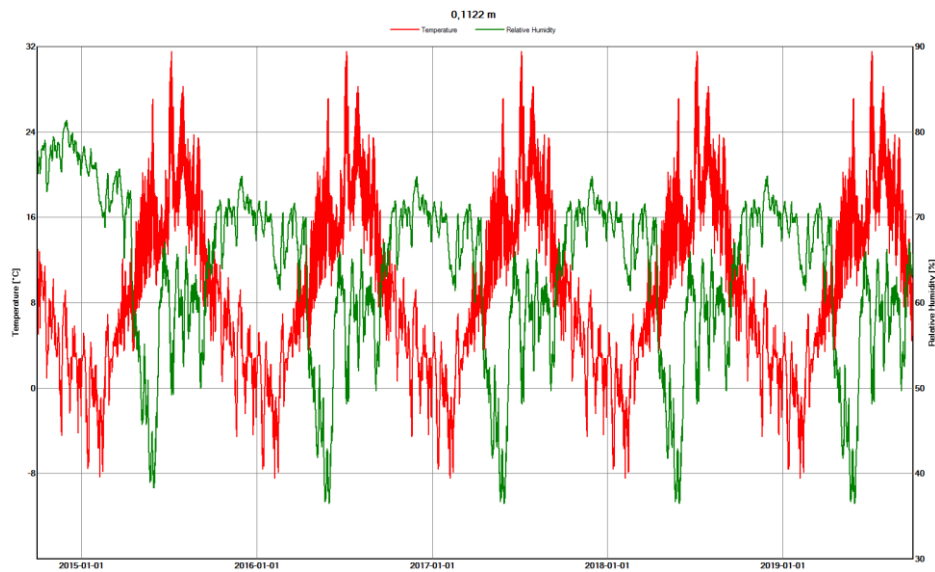
Figur 33 Fall 5, temperatur och relativ fuktighet hos OSB-skiva i konstruktion med grönt tak, 5 års simuleringstid.

9.4.2 Lätt oventilerad konstruktion med svart tak



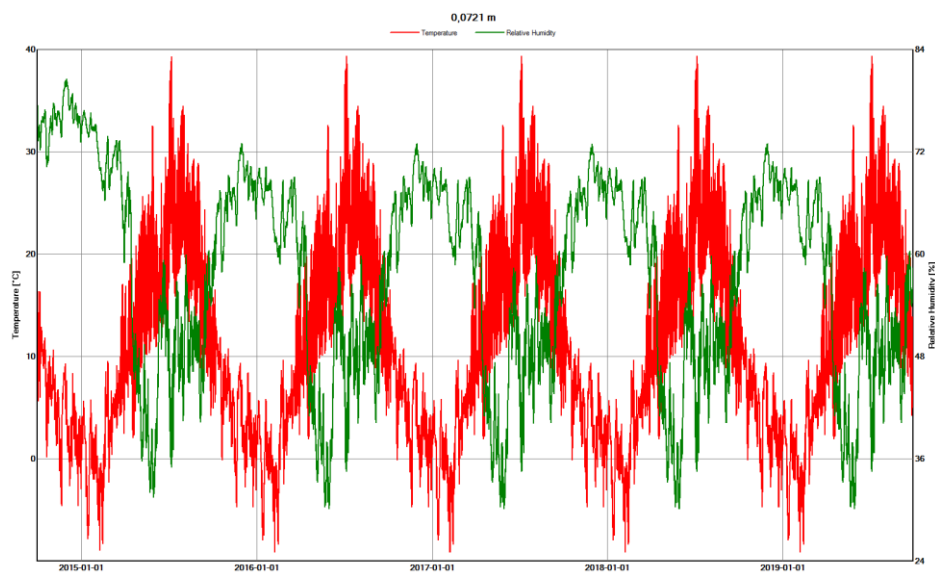
Figur 34 Fall 6, temperatur och relativ fuktighet hos OSB-skiva i konstruktion med svart tak, 5 års simuleringstid.

9.4.3 Lätt ventilerad konstruktion med grönt tak – 10 ACH



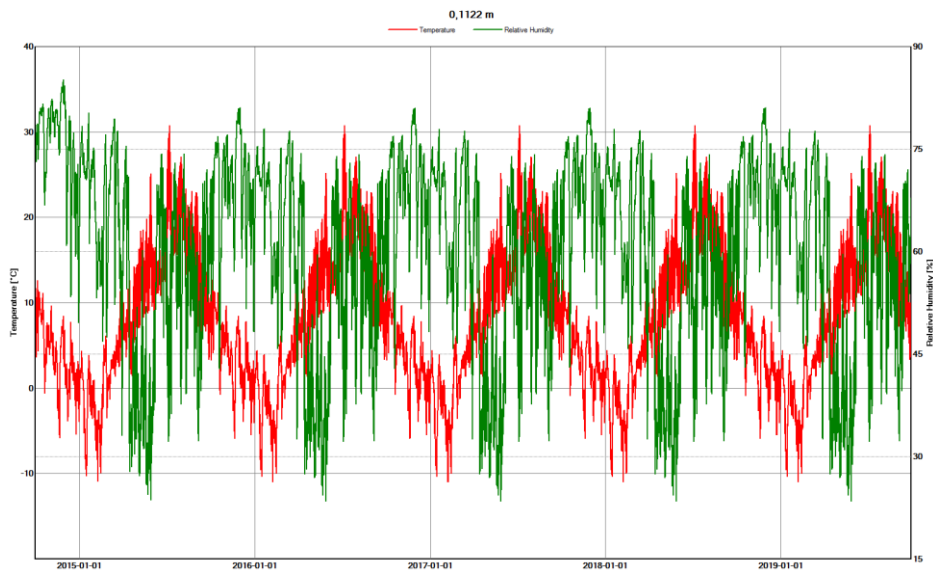
Figur 35 Fall 11, temperatur och relativ fuktighet hos OSB-skiva i lätt ventilerad konstruktion med grönt tak, 5 års simuleringstid, 10 luftomsättningar per timma.

9.4.4 Lätt ventilerad konstruktion med svart tak – 10 ACH



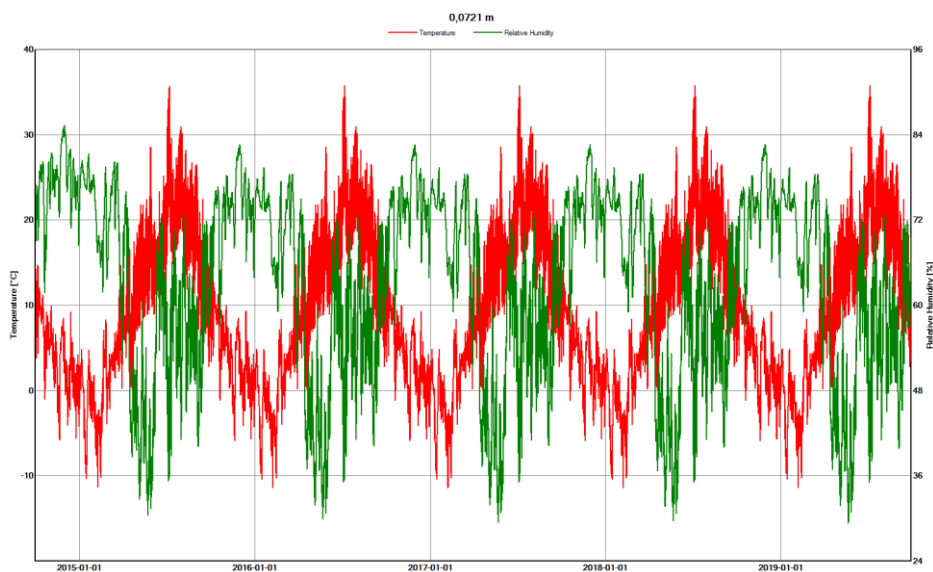
Figur 36 Fall 12, temperatur och relativ fuktighet hos OSB-skiva i lätt ventilerad konstruktion med svart tak, 5 års simuleringstid, 10 luftomsättningar per timma.

9.4.5 Lätt ventilerad konstruktion med grönt tak – 100 ACH



Figur 37 Fall 13, temperatur och relativ fuktighet hos OSB-skiva i lätt ventilerad konstruktion med grönt tak, 5 års simuleringstid, 100 luftomsättningar per timma.

9.4.6 Lätt ventilerad konstruktion med svart tak – 100 ACH



Figur 38 Fall 14, temperatur och relativ fuktighet hos OSB-skiva i lätt ventilerad konstruktion med svart tak, 5 års simuleringstid, 100 luftomsättningar per timma.

9.5 Värmeflöden genom gröna väggar och tak – resultat från simuleringar

I Tabell 5 och Tabell 6 nedan så visas simulerade värmeflöden genom väggar, Fall 1-4, och tak, Fall 5-14. Värdena redovisas som årliga värmeflöden per kvadratmeter klimatskal. En intressant fortsatt studie hade varit att undersöka effekten vid olika årstider för att se eventuella fördelar under sommar respektive vinterperiod samt under vår/höst.

Tabell 5. Värmeflöde genom undersökta väggkonstruktioner.

Beräkningsfall	U-värde [W/m ² K]	Årligt värmeflöde [MJ/m ²]
Grön vägg vid SP	0,21	84,1
Referensvägg vid SP	0,21	66,3
Välisolerad grön vägg	0,10	38,8
Välisolerad ”referensvägg”	0,10	30,4

Tabell 6. Värmeflöde genom undersökta takkonstruktioner.

Beräkningsfall	U-värde [W/m ² K]	Årligt värmeflöde [MJ/m ²]
Lätt oventilerad konstruktion med grönt tak	0,15	67,2
Tung konstruktion med grönt tak	0,15	68,0
Lätt oventilerad konstruktion med svart tak	0,15	56,8
Tung konstruktion med svart tak	0,15	56,9
Tung konstruktion med grönt tak – luftkonditionerad byggnad, uteklimat Miami, FL, USA	0,4	23,9
Tung konstruktion med svart tak – luftkonditionerad byggnad, uteklimat Miami, FL, USA	0,4	118,1
Lätt ventilerad konstruktion med grönt tak, 10 ACH	0,15	68,6
Lätt ventilerad konstruktion med svart tak, 10 ACH	0,15	59,0
Lätt ventilerad konstruktion med grönt tak, 100 ACH	0,15	74,4
Lätt ventilerad konstruktion med svart tak, 100 ACH	0,15	70,0

10 Slutsatser från mätningar och simuleringar av gröna klimatskal

Nedan följer ett antal slutsatser och kommentarer som gäller de beräkningsfall och konstruktioner som undersökts. Att dra generella slutsatser från de beräknade fallen och applicera på nya konstruktioner kan ge missvisande slutsatser och därför bör alltid en fuktsäkerhetsprojektering utföras för aktuell konstruktion och klimat.

Mätningar i provvägg visar på temperaturutjämnande effekt

Resultaten från fältförsöket med den gröna väggen vid SP har gett intressant information och värdena bedöms vara rimliga. Den gröna väggen har en tydligt temperaturutjämnande effekt som till stor del beror på den termiska massan hos växtsubstratet i väggmodulerna men till viss del även troligen av den skuggande effekten och viss evaporation från växterna.

Gröna fasadbeklädnadens temperaturutjämnande effekt och inverkan på temperatur i konstruktion

Den temperaturutjämnande effekten påverkar konstruktionens yttre del på så sätt att den gröna väggen kan vara varmare under vissa perioder och kallare under andra. För en sämre isolerad vägg kan det här ha betydelse för termisk komfort invändigt då yttemperaturen på insidan av väggen blir något lägre under varma och soliga dagar vilket även kunde ses vid fältundersökningen, se Figur 7. En bättre isolerad vägg så som används i svenska lågenergihus torde minska den här effekten och därmed ha mindre betydelse på invändig komfort.

Temperaturutjämnande effektens inverkan på relativ fuktighet i konstruktionen

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) och lägre under andra perioder (exempelvis då växtsubstratet lagrar värme från varma och soliga dagar) jämfört med referensväggen. Under året som försöket har pågått så har de hygrotermiska förhållandena i väggen sett förväntade ut med hänsyn till detta.

Här är det viktigt att poängtera att det klimatet under året som försöken har pågått inte nödvändigtvis speglar det värsta fallet och att det kan förekomma år med både bättre och sämre klimat ur fuktsynpunkt. Exempelvis har vi under det gångna året inte kunnat visa effekten av klimatförutsättningar där växtsubstratet är fruset och luften efter ett väderomslag blivit varmare och fuktigare.

Jämförelse mellan uppmätta värden och simulerade värden

Uppmätta värden från fältförsöket har en god överensstämmelse med simulerade värden och samma tendenser kan ses vid liknande klimat. Då det faktiska klimatet från fältförsöken givetvis skiljer sig mot det simulerade klimatet fås inte samma hygrotermiska beteende vid exakt samma tidpunkt, men simuleringar kan användas för att efterlikna verkligheten med god överensstämmelse. Resultaten ger god kännedom om hygrotermiska tendenser vid användning av gröna klimatskal men de absoluta värdena i denna studie kan inte användas rätt av då det finns vissa osäkerheter i indata och en variation av konstruktionsuppbyggnad kan ge nya förutsättningar.

Det kan även noteras att vid vinterklimat så fås en lägre relativ fuktighet i konstruktionen jämfört med vad som uppmätts vid fältförsöken; en möjlig förklaring till detta kan vara att den modellerade luftomsättningen skiljer sig från den faktiska i luftspalten bakom grön vägg och panel i referensvägg. Vid en fuktsäkerhetsprojektering är det då viktigt med en parameterstudie som bland annat varierar luftomsättningar i spalt bakom den gröna fasadbeklädnaden för att fånga upp eventuella problem som annars kan missas.

Jämförelse mellan en väl värmeisolerad konstruktion och en sämre isolerad konstruktion (simulering)

En ökad mängd värmeisolering i väggen ger högre relativa fuktigheter i den yttre delen av ytterväggen. Detta gäller både med grön och traditionell fasadbeklädnad och resultaten var förväntade då temperaturen längre ut i väggen därmed sänks som förväntat med en ökad mängd värmeisolering.

Jämförelse mellan grönt och ett traditionellt svart tak (simulering)

Från simuleringarna av gröna taken noteras en försämring i hygrottermiska egenskaper för de gröna taken jämfört med de svarta taken. Högre relativa fuktigheter kan ses i konstruktionen med gröna tak jämfört med det traditionella svarta taket. Orsaken torde vara periodvis lägre temperaturer i det gröna taket och en minskad temperaturgradient vilket också minskar fuktomvandlingen under dygnet.

Jämförelse mellan ventilerat och oventilerat tak (simulering)

Det oventilerade välisolerade taket fungerade bättre ur fuktsynpunkt med svart takbeklädnad jämfört med det gröna taket vid de aktuella klimat- och konstruktionsförhållandena.

De ventilerade välisolerade taken i sin tur fungerar bättre ur fuktsynpunkt än de oventilerade, detta gäller både för gröna och svarta tak. När luftomsättningen ökades från 10 till 100 ACH (luftomsättningar per timma) så ökade den relativa fuktigheten. Här är det viktigt med en parameterstudie för att fånga upp olika fall då en exakt luftomsättning i ventilerade tak (och ventilerade luftspalter) är omöjligt att förutspå. En annorlunda konstruktionstyp kan ge helt nya förutsättningar och av denna anledning rekommenderas alltid en fuktsäkerhetsprojektering för aktuell konstruktion och klimat.

Gröna klimatskal och inverkan på energianvändning (simulering)

Slutsatserna som redovisas nedan gäller för de tak och väggkonstruktioner som simulerats och mätts inom ramen för detta projekt, se Kapitel 7 och 8. Det finns många varianter av gröna tak och väggar och generella slutsatser om andra lösningar bör studeras för att dra slutsatser om deras inverkan på energianvändning.

Ur energisynpunkt och från de fall som beräknats för väl värmeisolerade konstruktioner (såsom vid lågenergihus) så verkar inte gröna klimatskal ha något positiv effekt på värmefflöde genom väggar och tak för byggnader som kräver uppvärmning i nordiska klimat. Tvärtom så ses ett högre värmefflöde genom de gröna klimatskalen jämfört med referensklimatskalen för de fall som simulerats med klimatdata från Oslo. I detta fall har beräkningarna utförts för byggnader som inte kyls vid eventuell hög temperatur inne, tex bostadshus i Sverige. För hus med dålig värmeisolering och höga U-värden som kräver kylning under sommarhalvåret kan den temperaturutjämnande effekten som sågs vid fältundersökningen och simuleringar bidra till en minskad användning av energi för kylning. Dock har detta inte studerats inom ramen för det här projektet.

Den stora fördelen ur energisynpunkt kan ses i andra länder med byggtradition med mindre mängd värmeisolering, med ett varmt, fuktigt och regnrikt klimat simuleras och då luftkonditionering används inomhus. Här ses en markant förbättring och reduktion i energiflöde genom det gröna taket jämfört med det traditionella svarta taket. Till stor del beror detta på att mindre solstrålning absorberas men även av den vattenkvarhållande effekten och evaporationen från gröna växter och deras substrat. Det här har stora fördelar på invändig termisk komfort men även på energiförbrukningen då mindre energi behövs till luftkonditionering.

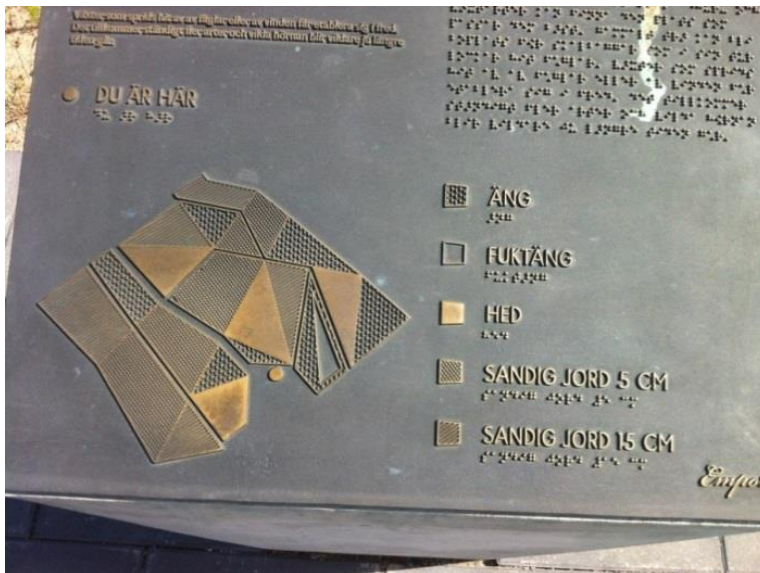
11 Erfarenhetsåterföring från produktion och förvaltning av gröna tak

11.1 Genomförande av intervjuer – gröna tak

Eftersom intresset ökar för att tillämpa tekniker med växter på utsidan av klimatskalet avser denna studie att visa på några erfarenheter som finns bland de aktörer som redan har arbetat inom byggprojekt med gröna takytor på tunga betongbjälklag. Erfarenheterna från byggprojekt med gröna väggar ingår inte i denna delstudie. Erfarenheter ligger till grund för en kort vägledning av vad man som byggherre, entreprenör eller projekt bör beakta då en byggnad med grönt tak skall uppföras.

Erfarenheter har hämtats från byggherrar, entreprenörer, projektörer samt förvaltare genom intervjuer. Intervjuerna har genomförts med öppna frågor såsom:

- Argument för val av gröna ytor på klimatskal
- Motiv till att inte välja gröna ytor på klimatskal – vilka är de eventuella hindren?
- Vad behöver man tänka på för att lyckas under tidig planering, projektering, byggande, förvaltning?
- Uppfyller de gröna ytorna dina förväntningar? (till aktörer där frågan är motiverad)
- Andra erfarenheter du vill förmedla?
- Om förvaltare eller brukare: upplevelse av termisk komfort, ljud, ljus, rekreation, upplevelse, andra mervärden.



Figur 39 Taklandskapet på shoppingcentret Emporia har flera lösningar för att skapa ett varierande grönt taklandskap.

De som intervjuades representerar byggherre, entreprenör, projektör, förvaltare och brukare (se vidare i tabell nedan).

Tabell 7 Erfarenheter har hämtats via intervjuer med aktörer som deltagit genomförda byggprojekt. De intervjuade har haft olika roller så som framgår av tabellen.

Byggprojekt	Byggherre	Projektör	Entreprenör	Förvaltare	Brukare
Katsan		x			x
KI Aulan	x		x		
Emporia	x		x	x	



Figur 40 KI-aulan i Stockholm är försett med ett sedumtak. Huvudmotiver till att välja grönt tak var att utjämna belastningen på dagvattennätet i samband med kraftiga regn. Foto: Eva Sikander

11.2 Erfarenheter från byggande och förvaltning av gröna tak

De genomförda intervjuerna ger en insikt i de erfarenheter som man fått i just de aktuella projekten, men kan ändå vara värda att beakta även i andra projekt. Man skall dock vara medveten om att varje projekt har sina utmaningar och erfarenhetsbanken kan behöva byggas upp ytterligare då erfarenheterna från ett större antal byggprojekt kan samlas.



Figur 41 Taklandskapet på Katsan erbjuder en rekreationsyta för personalen i kontorshuset. Bild Eva Sikander.

11.2.1 Motiv och osäkerhetsfaktorer för val av gröna tak

Motiven som angavs till att man valt gröna tak var framförallt:

- Varumärkesbyggande
- Bidrag till biologisk mångfald
- Ger fina sociala ytor för exempelvis informella möten och rekreation
- Bidrar till att uppfylla krav på grönytefaktor
- Möjlighet till bättre klassning inom miljöklassningssystem såsom BREEAM och LEED
- Utjämning av belastningen på dagvatten nätet i samband med kraftiga regn

Några osäkerhetsfaktorer som framkommit under intervjuerna är bland annat:

- Risken för svårupptäckta läckage som kan vara svåra att åtgärda utan omfattande ingrepp.
- Beständighet hos tätskikt
- Brandsäkerheten för vissa typer av tak som inte är gröna utan periodvis mer torra
- Tyngden som belastar bjälklaget, speciellt vid tjocka växtsubstrat och om träd planteras.
- Uppkomst av skugga och skymd utsikt

11.2.2 Erfarenheter från planering och projektering

Följande erfarenheter och synpunkter framkom i samband med intervjuerna, där dessa även kan utgöra en bruttolista för vägledning inför projektering av andra framtida projekt med gröna tak på framförallt betongbjälklag:

- Någon påtalade att låglutande tak är svåra med hänsyn till läckagerisk, inte endast då det är täckt med gröna ytor.
- Genomföringar är känsliga punkter ur fuktsynpunkt. Planera därför för så få genomföringar som möjligt. Dessa måste också nogsamt beskrivas och dokumenteras så att de erbjuder fuktsäkerhet under bygg- och förvaltningstiden.
- Planera väl för avvattningen av taket där antalet brunnar och placering av dessa är viktigt. Brunnar vid balkar och pelare riskerar att hamna i högpunkter. De placeras dock ofta här eftersom avvattningen/stuprör gärna placeras vid pelare.
- Man lyfte även frågan om åldringsbeständiga material och materialkombinationer där tätskiktets beständighet är viktig ur fuktsynpunkt.

Kommentar från projektgruppen: Många av de ovanstående punkterna kan sammanfattas i att en fuktsäkerhetsprojektering av den gröna takkonstruktionen behöver utföras och dokumenteras. En fuktsäkerhetsprojektering kan utföras med den generella ledning som finns i ByggaF – en metod för att bygga fuktsäkert. Mätningar och simuleringar av gröna klimatskal som redovisas i separata kapitel i denna rapport visar också att simuleringar och fuktsäkerhetsprojektering behöver utföras för fuktsäkra lösningar. Växtsubstratens och växternas temperaturdämpande och värmelagrande egenskaper kan inverka på bl a fuktsäkerheten.



Figur 42 Projektering av brunnar och genomföringar är viktiga för att undvika risk för läckage. Fuktsäkerhetsprojektering skall dokumentera fuktsäkra lösningar. Foto: Eva Sikander

Därtill noterades även följande erfarenheter:

- Planera bärigheten för taket med hänsyn till de transporter av material och maskiner som måste finnas på taket under produktionstid och eventuellt under driften. Bärigheten måste även planeras med hänsyn till växternas belastning då de är fullt utvecklade samt belastning från tillfällena när växtsubstratet är vattenmättat. Det fanns kommentarer som pekar på att det finns en viss osäkerhet kring vilka laster man skall räkna med vad gäller t ex träd.
- I något fall lyftes brandsäkerhetsfrågan som ett område där man känner viss osäkerhet. Exempelvis vid perioder då det kan vara torra växter på takytan.
- Vid tidig planering – tänk på skuggförhållanden som valda växter kan ge, liksom risken att utsikt kan störas av dessa större växter.
- Avseende växtval behöver robusta och tåliga växter som är anpassade för den aktuella miljön väljas. Växtvalet bör också ske med hänsyn till vilken ekosystemtjänst/er man vill stärka/skapa
- För en fungerande drift och skötsel i ett senare skede bör växtvalet göras i samband med anvisningar för skötseln (eller tvärt om)
- Eventuellt bevattningssystem planeras i samband med resten av den gröna takytan.
- Utforma bevattningssystemet så att störande ljud/vibrationer inte uppstår



Figur 43 För att kunna bygga kullar på taket på Emporia utvecklade NCC en teknik som fungerade ur produktionssynpunkt. Kullarna är bl a uppbyggda med cellplast och lecakulor. Foto: Eva Sikander

11.2.3 Erfarenheter från byggskede

Följande erfarenheter och synpunkter framkom i samband med intervjuerna, där dessa även kan utgöra en bruttolista för vägledning inför produktion av andra framtida projekt med gröna tak på betongbjälklag:

- Viktigt med utförandet vid genomföringar, anslutningar och skarvar för att undvika läckage
- Kontrollera leveranser av material att det är rätt material. En felleverans kan medföra stora brister i kvalitet och vattentäthet.
- Verifiera att tätskiktet är vattentätt genom provtryckning
- Det finns en stor risk att tätskiktet skadas vid transporter över taket av material, maskiner, passage m m. Skydda/avskärma därför en tät, verifierad/provtryckt yta så att denna inte skadas.
- Planera byggprocessen väl avseende i vilken ordning takytan/tätskiktet färdigställs, hur transporter sker osv.
- Planera byggprocessen avseende tidpunkten för installation av den gröna ytan så att färdigställd yta inte skadas av den fortsatta byggprocessen (att man går på ytan t ex).
- Gör gärna provtytor för att följa upp hur vissa lösningar och arbetsmoment fungerar innan dessa görs i stor skala. Då kan förbättringar genomföras.

11.2.4 Erfarenheter från förvaltning

Följande erfarenheter och synpunkter framkom i samband med intervjuerna, där dessa även kan utgöra en bruttolista för vägledning inför driften av andra gröna tak:

- Driften av den gröna ytan måste planeras och underhåll göras regelbundet
- Driften har i några fall köpts av leverantören
- Viktigt med regelbunden kontroll av avvattningsmöjligheter/brunnar
- Bevattningssystem – rutiner för avstängning/tömning inför vinter och igångsättning under våren. Hänsyn tas till växternas behov och risken för sönderfrysning av vattenledningar.
- Erfarenheten är att de flesta läckage som härrör från byggtiden upptäcks direkt efter färdigställandet.



11.2.5 Byggherrens styrning för väl fungerande grönt klimatskal

Byggherren som gör upphandlingen och beställningen av det gröna klimatskalet bör så långt som möjligt ställa krav och beskriva vad som förväntas av den gröna konstruktionen. Utifrån erfarenheterna som påtalats ovan kan en byggherre till exempel ställa krav på att:

- aktören kan uppvisa referensprojekt eller annat som visar kompetens inom området
- det gröna taket (eller klimatskalet) skall fuktsäkerhetsprojekteras så att inga fuktskador uppstår till följd av läckage, eller annan fukt inifrån eller utifrån.
- material och materialkombinationer skall väljas så att funktionen är fullgod under byggnadens livslängd (alternativt anges antalet år)
- konstruktionen, val av växtsubstrat samt växter skall uppfylla även andra krav som t ex brandsäkerhet och bärighet hos byggnadsdelen
- växtval, växtsubstrat, rotskydd, bevattningssystem mm skall väljas utifrån den ambitionsnivå som byggherren har på driften/skötselns omfattning, användningen av ytan och hur den gröna ytan förväntas åldras.
- kontroller av kritiska moment och arbetsutföranden skall utföras och dokumenteras under byggtid. T ex täthetskontroll av tätskikt, att arbetet planeras så att tätskiktet inte skadas under produktionen, att levererade material överensstämmer med föreskrivna/projekterade
- en drift- och skötselanvisning skall upprättas



Figur 44 Ett höstligt grönt tak som erbjuder utsikt över staden. Foto: Eva Sikander

12 Förslag till fortsatta studier

De genomförda mätningarna, simuleringarna och erfarenheterna inom ramen för detta projekt har gett kunskaper som är användbara för att undvika vissa risker avseende fuktsäkerhet i gröna klimatskal och belyst möjligheter att få energieffektiva byggnader i några simuleringsfall. Erfarenhet från gröna tak har också samlats. Med bakgrund mot de ökade insikter som denna studie, tillsammans med andra genomförda studier, har gett så har behov av ytterligare studier identifierats. Detta för att nå en bredare och mer generell kunskap inför byggande av gröna klimatskal.

Exempelvis föreslås följande studier:

- 1 Utökad studie där olika typer av lågenergibyggnader med gröna klimatskal utvärderas. Inom ramen för detta projekt har konstruktion för lågenergibyggnad utan kylning inomhus utvärderats avseende energianvändning. Även de gröna ytornas inverkan på t ex kontorsbyggnader med behov av kylning bör studeras mer ingående.
- 2 Framtagning av materialegenskaper för några idag inte så kända material för att få bättre indata till simuleringar. Framförallt behövs mer data om växtsubstrat, men även klätterväxter. Parameterstudie bör utföras av olika växtsubstrat och dess tjocklek avseende inverkan på byggnadens fuktförhållanden och energianvändning.
- 3 Parameterstudie av ventilerade lösningar och dess inverkan på fuktsäkerhet. Olika ventilationsgrad utvärderas med hjälp av simuleringar.
- 4 Fältundersökning avseende fuktförhållanden i befintliga gröna tak, framförallt ventilerade taklösningar. Både nyproducerade och äldre konstruktioner bör studeras.
- 5 Ta fram en tilläggsmodul till ByggaF rörande gröna klimatskal och som bygger vidare på erfarenheter, mätresultat och simuleringsresultat från denna genomförda studie och kompletterat med punkter ovan. Tilläggsmodulen kan bland annat utgöra en checklista för planering i tidiga skeden.
- 6 Utvärdera gröna klimatskal och funktionen vid framtida ändrade klimatscenarier med ökande vindförhållanden, ökad mängd regn under kort tid, starkare vindstyrkor, ökad RF och ökad temperatur periodvis.

Utöver gröna klimatskal finns även intresse för stadsnära odling där inglasningar invid byggander eller på byggander kan komma mer i fokus. En inledande studie om de frågeställningar som kan uppkomma i samband med detta föreslås. T ex bör kartläggning ske av fuktförhållanden, temperaturförhållanden, termisk komfort, energianvändning m m vid eventuella växthus invid och på byggnader.

13 Andra studier

Några exempel på andra studier inom området för gröna klimatskal är följande:

Kvalitetssäkring av sedumtak

Rapporten ger exempel på och vägledning för lösningar och produktion av sedumtak och har tagits fram inom ramen för SBUF. Författare Per Danielsson, Skanska.

BiodiverCity – gröna fasader

Två paper visar på resultat från mätningar och beräkningar avseende fukt- och temperaturförhållanden hos gröna klimatskal på massiva tegelväggar. Projektet har utförts inom ramen för BiodiverCity. Författare är Johnny Kronvall samt Hans Rosenlund.

Biologisk mångfald på gröna tak – Exjobb

Inom exjobbet har den biologiska mångfalden på några gröna tak i Stockholmsregionen undersökts och dokumenterats. Författare är Michaela Lundberg.

Urbana ekosystemtjänster – Utmaningar och möjligheter med stödjande fastighetsrelaterade insatser - Exjobb

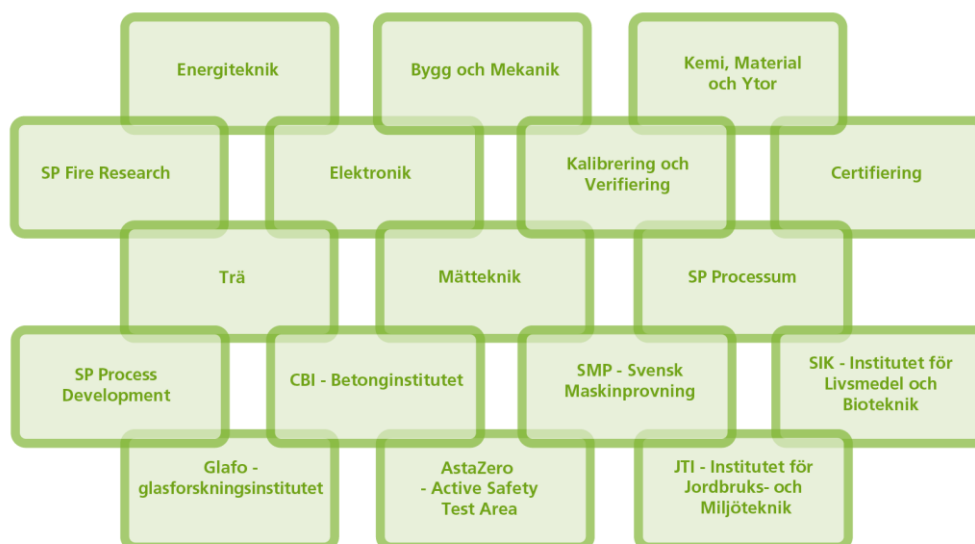
Arbetet utgör en del av underlaget till framtida utformning av NCCs nya kontor i Stockholm. Författare är Susanna Garcia Hagman.

Kvalitetssäkrade systemlösningar för gröna anläggningar/tak på betongbjälklag med nolltolerans mot läckage - Vinnova UDI-projekt nyligen påbörjat. Koordineras av CBI i Stockholm.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

Energiteknik

SP Rapport 2014:53

ISBN 978-91-87461-97-2

ISSN 0284-5172