

Gröna väggar

- En studie av fuktpåverkan i den bakomliggande konstruktionen



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Bygg- och miljöteknologi / Byggnadsmaterial**

Examensarbete:
Anna Ivanov
Katherina Wargren

© Copyright Anna Ivanov, Katherina Wargren

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2014

Sammanfattning

Gröna väggar är ett relativt okänt fenomen i Sverige. Tekniken är dock inte ny; den har använts under flera år i länder som Frankrike, men det är först på senare år som intresset för gröna väggar har ökat i Sverige. År 2013 uppfördes en av Sveriges första offentliga gröna väggar utomhus, på Sundstorget i Helsingborg. Dessutom har forskare från Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp år 2012 monterat två system för gröna väggar i Malmö som de har studerat sedan dess.

Att ha växter i stadsmiljö har många fördelar, bland annat kan de rena luften från föroreningar, dämpa buller, sänka lufttemperaturen i storstäder och öka den biologiska mångfalden. En grön vägg kan också påverka den bakomliggande konstruktionens temperatur genom att skugga den på sommaren och därmed sänka kylbehovet inomhus.

Det finns inte tillräckligt mycket forskning kring hur gröna väggar påverkar den bakomliggande konstruktionen, framförallt ur fuktsynpunkt. Syftet med detta examensarbete var därför att öka och sprida kunskapen kring gröna väggar i ett svenskt klimat, med fokus på fuktpåverkan i den bakomliggande konstruktionen. Två olika system, ett kommersiellt modulsystem och ett hemmabyggt ficksystem, studerades ingående med avseende på hur den relativa fuktigheten i konstruktionen bakom systemen påverkas.

Resultaten visade att gröna väggar kan skydda den bakomliggande konstruktionen från nederbörd. Detta gäller under förutsättning att systemet är välkonstruerat och rätt monterat. Den relativa fuktigheten i tegelväggen bakom det kommersiella systemet verkar inte påverkas negativt av den gröna väggen. Ett felkonstruerat system kan däremot ge en för hög relativ fuktighet som kan leda till fuktskador i fuktkänsliga konstruktioner.

Nyckelord: Grön vägg, fukt, relativ fuktighet, vertikal trädgård, hydroponisk växtvägg, levande väggsystem.

Abstract

In Sweden, green walls are relatively unknown. However, the technology in itself is not new; it has been used for several years in countries such as France, but it is only in recent years that the interest in green walls has increased in Sweden. In 2013, one of Sweden's first public green walls outdoors was built at Sundstorget in Helsingborg. Furthermore, scientists from the Swedish University of Agricultural Sciences in Alnarp built two green wall systems in Malmö, which they have been studying since 2012.

Having plants in an urban environment has many benefits, including cleaning the air of pollutions, reducing noise, reducing the air temperature in cities, and increasing biodiversity. A green wall can also affect the temperature of an exterior wall through shading in the summer, thus reducing the need for indoor cooling.

There is not enough research on how green walls affect the underlying structure, particularly regarding moisture. The purpose of this study was therefore to increase the knowledge of green walls in the Swedish climate. The main focus was to examine how the green wall can affect the underlying structure. Two different systems were studied; one commercial system based on modules and one homemade system based on pockets.

The results showed that the green wall sometimes protects the underlying structure from precipitation. This applies only if the system is properly constructed and installed. The relative humidity of the brick wall behind the commercial system does not seem to be adversely affected by the green wall. However, a poorly constructed system could lead to increased relative humidity, which can cause water damage within sensitive structures.

Keywords: Green wall, moisture, relative humidity, vertical garden, hydroponic wall, living wall system.

Förord

Utbildningen Byggt teknik med arkitektur på Lunds tekniska högskola, Campus Helsingborg, avslutas nu med ett examensarbete som omfattar 22,5 högskolepoäng. Examensarbetet har utförts på institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, avdelningen Byggnadsmaterial.

Arbetet har fördelats jämnt mellan oss båda. Anna har gjort en större del av litteraturstudien medan Katherina har sammanställt det mesta av mätdata. Båda är väl insatta i arbetet och pålästa inom ämnet.

Först och främst vill vi tacka vår handledare Maria Fredriksson på avdelningen för Byggnadsmaterial, som har hjälpt oss att genomföra arbetet och under hela tiden bidragit med tips och goda råd.

Vi vill även tacka Ann-Mari Fransson och hennes kollegor på Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp för möjlighet till samarbete och stort engagemang samt alla andra som vi har haft kontakt med under arbetets gång.

Till sist vill vi tacka våra familjer och vänner som stöttat oss under hela vår studietid.

Anna Ivanov och Katherina Wargren
Helsingborg, juli 2014

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Begrepp och definitioner	2
1.1.2 Fördelar och nackdelar med gröna väggar	3
1.1.3 Ytterväggens funktionskrav	4
1.1.3.1 Den gröna väggens funktion	5
1.1.4 Påverkan av fukt på tegel	5
1.1.5 Gröna väggar i nuläget	6
1.2 Syfte och målsättning	6
1.3 Avgränsningar	6
1.4 Metod	6
2 Problemformulering	9
3 Olika system	11
3.1 SLU Alnarp	11
3.2 Helsingborgs stad	12
3.3 The Vertical Garden	13
3.4 GSky	13
3.5 ELT Easy Green	14
3.6 Hagmanns	15
4 Fallstudie: Sveriges lantbruksuniversitet	17
4.1 Beskrivning av systemen	17
4.1.1 Modulsystemet	18
4.1.2 Ficksystemet	18
4.2 Tillgänglig data och mätpunkter	19
4.3 Utvärdering av data	21
5 Resultat	23
5.1 Generella resultat	23
5.2 Påverkan av nederbörd	26
5.3 Påverkan av bevattning	28
5.4 Effekt av att mattan skars av	30
5.5 Temperatur	32
6 Diskussion	35
6.1 Generella resultat	35
6.2 Påverkan av nederbörd	35
6.3 Påverkan av bevattning	36
6.4 Påverkan i bakomliggande konstruktion	37
6.5 Tegelväggen bakom ficksystemet	38
6.5.1 Effekt av att mattan skars av	38
6.6 Väggens funktionskrav	39

6.7 Förslag till fortsatt arbete.....	40
7 Slutsats	41
8 Referenser	43
Bilaga A: Relativ fuktighet i tegelväggen	47
Bilaga B: Relativ fuktighet i luftspalten	49
Bilaga C: Påverkan av nederbörd	51
Bilaga D: Påverkan av bevattning	55
Bilaga E: Temperatur i tegelväggen.....	57

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Urbaniseringen (befolkningsflytten från landsbygd till stad) är ett ständigt pågående fenomen; i dagsläget bor mer än hälften av världens befolkning i städer och andelen stadsbor förväntas öka (WHO 2014). Mellan åren 2011 och 2050 förväntas världens totala befolkning att öka med 2,3 miljarder, medan befolkningen i urbana områden förväntas öka med 2,6 miljarder (United Nations 2012). Det innebär inte bara att all förväntad befolkningstillväxt kommer att ske i städer, utan även att en del personer kommer att flytta från landsbygden till städer. Detta kräver att städer antingen växer eller förtätas för att skapa plats för det ökande invånarantalet. En förtätning kan innebära en negativ påverkan på städernas grönområden, då de tas i anspråk och andelen hårdgjord yta ökar (Boverket 2007). En studie utförd av Statistiska centralbyrån (2010) visar att andelen grönytor har minskat i de tio befolkningsmässigt största städerna i Sverige under åren 2000-2005. Många studier visar dock att öppna grönytor i städerna har en positiv effekt på invånarnas psykiska hälsa; personer som har nära tillgång till grönområden upplever en minskad stressnivå och har lättare för att återhämta sig efter utmattande händelser (Grahm och Stigsdotter 2003; Berto 2005; Alcock et al. 2014). En strategi för att införa mer grönska i städerna är att anlägga gröna väggar.

Att plantera på höjden och utnyttja en väggs stora vertikala ytor är en idé som har funnits länge. Redan på 1930-talet var professor Stanley Hart White engagerad inom ämnet. År 1938 fick White patent på en uppfinning han kallade "*Botanical bricks*" (Hindle 2012). I patentet, *Vegatation-bearing architectonic structure and system*, beskriver White teknologin bakom sin uppfinning samtidigt som han definierar en ny trädgårdstyp. Hans koncept har länge varit bortglömt och har därför ännu inte genomförts (Graham Foundation 2012). Idén om gröna väggar har dock alltid funnits kvar.

När den franska botanisten Patrick Blanc besökte regnskogarna i Sydostasien på 1970-talet lade han märke till att det finns ett stort antal växter som trivs på vertikala ytor, helt utan jord. Han insåg att jorden bara är ett mekaniskt stöd och att det endast är vattnet och näringsämnena i jorden som är nödvändiga för växterna. Dessa upptäckter ledde till att Blanc utvecklade sin idé som han kom att kalla vertikal trädgård. I slutet av 1980-talet ansökte han om patent för sitt koncept *The Vertical Garden (Mur Végétal)*. Blancs vertikala trädgård blev en succé efter att han visat upp den på trädgårdsfestivalen i Chaumont-sur-Loire 1994 (Blanc 2014). Han har sedan dess varit ett av de största namnen inom

vertikala trädgårdssystem, och har uppfört sitt system på många platser runt om i världen (Blanc 2008).

Det har under de senaste åren utvecklats många kommersiella system för gröna väggar. Systemen varierar i komplexitet och storlek men idén bakom är densamma, det vill säga att plantera växter vertikalt och utnyttja en fasads tomma ytor.



Figur 1.1: Grön vägg på Sundstorget i Helsingborg. (Foto: Anna Ivanov)

1.1.1 Begrepp och definitioner

Det finns många olika benämningar för fenomenet att odla vertikalt. På engelska definieras begreppet *green wall* som samtliga väggar med någon typ av vegetation. Väggar med klätterväxter, till exempel murgröna, kallas ofta *green facades* (GRHC 2014a). I Sverige, å andra sidan, innefattar begreppet *grön fasad* alla typer av vertikal vegetation och begreppet *grön vägg* syftar på komplexa system som monteras på en vägg och som inte kräver att växterna

växer i marken (Fransson et al. 2013), se Figur 1.1. Växterna planteras i moduler av plast eller metall, eller i fickor av filtmaterial som i sin tur monteras på väggen. Dessa system förekommer både inomhus och utomhus. De kräver någon form av bevattningssystem då växterna inte har kontakt med marken. Det engelska begreppet är *living wall* (GRHC 2014a). En del växtväggar använder en teknik som heter *hydroponik* som innebär att växterna inte planteras i jord. Istället planteras de i icke-nedbrytbara substrat, till exempel mineralull eller perlite, och får näring och vatten från näringslösningar (Dunnett och Kingsbury 2008).

I detta arbete syftar begreppet grön vägg på levande växtväggssystem som monteras utvändigt på fasadväggar, utan kontakt med marken. Klätterväxter beaktas alltså inte.

1.1.2 Fördelar och nackdelar med gröna väggar

Att plantera växter vertikalt gör det möjligt att få in mer grönska på en begränsad yta i ständigt växande städer. Precis som en park eller annat grönområde har de gröna väggarna en fördelaktig effekt på miljön och påverkar invånarnas psykiska hälsa positivt (Grahm och Stigsdotter 2003). Grönskan kan dessutom bidra med ett estetiskt värde.

Gröna växter hjälper till att rena stadsluften bland annat genom att absorbera och bryta ner många av de gasformiga föroreningarna som industri och trafik släpper ut (Dunnett och Kingsbury 2008). I tätorter finns en stor mängd värmeabsorberande ytor (Bolund och Hunhammar 1999) som leder till förhöjda luft- och yttemperaturer i tätorterna jämfört med den omgivande landsbygden, något som kallas urban heat island-effekten (Solecki et al. 2005). En fördel med växter är att de tar upp vatten (från marken eller bevattningen) som sedan avdunstar från löven – en process som kräver stora mängder energi. I städerna kan denna process bidra till att minska urban heat island-effekten, då energi från solen används till avdunstningsprocessen istället för att värma upp städernas ytor (Hough 1995).

Vid kraftiga skyfall rinner regnvatten längs med hårdgjorda ytor och ner i städernas avloppssystem, något som kan leda till översvämning. Växter absorberar en del av regnvattnet som sedan avdunstar från växternas löv, vilket minskar risken för översvämning (Dunnett och Kingsbury 2008). En stad med mycket grönska gynnar också den biologiska mångfalden då många djurarter gärna bor i städer så länge det finns lämpliga habitat (Dunnett och Kingsbury 2008). Gröna väggar kan alltså vara ett steg på vägen att nå ett av Sveriges sexton miljö kvalitetsmål – Ett rikt växt- och djurliv (Naturvårdsverket 2014).

Gröna väggar har även estetiska fördelar då de kan göra en kal fasadvägg utan utsmyckningar mer levande. Lambertini (2007) likställer gröna väggar med konstverk. I varma klimat är variationen av lämpliga växter stor vilket gör det möjligt att skapa olika uttryck över säsongerna. I Sverige provas fortfarande olika växter för att se vilka som klarar sig i en vertikal odling i ett svenskt klimat. Forskare från Sveriges lantbruksuniversitet har i sina gröna väggar planterat allt från vintergröna arter till olika typer av blommande växter. De har även planterat ätbara växter som örter, lingon och smultron, samt en del buskar (Fransson et al. 2013). Resultaten verkar påvisa att variationen av växter kan vara relativt stor även i Sverige. Ytterligare en fördel är att växter absorberar ljud (Dunnett och Kingsbury 2008) vilket gör att gröna väggar till viss mån är ljudisolerande och dämpar bullret från staden. Företag kan stärka sin gröna image genom att skriva sin logotyp med växter i en grön vägg. Den gröna väggen kan även bidra till extra meriter i miljöcertifieringssystem, som till exempel LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) (Sharp 2010).

Fördelarna med gröna väggar är många men det finns även en del nackdelar. En del system är mycket tunga (se till exempel avsnitt 3.4) vilket ställer krav på den bakomliggande väggens konstruktion. Infästningarna i väggen måste vara ordentligt utförda och för att förhindra att fuktskador uppstår måste de vara väl tätade. Ett vattentätt skikt bör finnas mellan bakomliggande vägg och system för ytterligare fuktsäkerhet. Konstbevattning är känslig för igentäppning av de mineraler som finns i vattnet och i näringslösningen, vilket gör att bevattningssystemet kan kräva mycket underhåll. Samtidigt som växterna kan minska risken för översvämning genom sin avdunstningsprocess, så kan vissna och nedfallna löv täppa till dagvattenbrunnar och på så sätt orsaka lokala översvämningar. Det kan förekomma vandalisering i form av nedrivning av växter. Vissna löv och nedrivna växter kan lätt göra att området ser skräpigt ut. En annan nackdel är att växter som får växa fritt kan växa över fönster och dörrar, och det finns risk att de växer för ventilationshåll. Det kräver regelbundet underhåll och tillsyn. Ytterligare en negativ aspekt är att de gröna väggarna inte går att vistas i på samma sätt som andra grönytor, till exempel parker, vilket innebär att även om de gröna väggarna tillför nya grönytor kan de aldrig ersätta en stads horisontella grönytor.

1.1.3 Ytterväggens funktionskrav

En yttervägg har många funktionskrav som måste uppfyllas för att säkerställa en tät och väl fungerande konstruktion. Några av funktionskraven är fuktskydd, vindskydd, skydd mot nederbörd, ljudisolering och värmeisolering. Ytterväggen ska också vara estetiskt tilltalande och en del ytterväggar ska ha en bärande funktion (Sandin 2010). Enligt BBR (Boverkets Byggregler) ska byggnader *”vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga*

värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kylanvändning och effektiv elanvändning” (Boverket 2013).

1.1.3.1 Den gröna väggens funktion

En studie (Ottele et al. 2011) föreslår att i en väggkonstruktion med skalmur kan den yttre muren ersättas med en grön vägg, då den gröna väggen fungerar som ett klimatskydd som skyddar den bakomliggande konstruktionen från nederbörd, vind och UV-strålning (GRHC 2014b). Det är dock viktigt att fuktbelastningen på den bakomliggande stommen inte ökar vid en sådan ersättning. Den gröna väggen kan även (beroende på vilket system som används) bidra med isolering både mot värme och mot kyla. Mellan en vägg och ett skikt av tät vegetation kan det finnas ett lager stillastående luft (oventilerad luftspalt), vilket har en isolerande effekt. Detta isolerande skikt saktar ner värmeöverföringen (som beror på temperaturskillnader) mellan insidan och utsidan av en vägg (Ottele 2011). I medelhavsklimat har det visat sig att gröna väggar kan kyla ner byggnader och sänka behovet av luftkonditionering och därmed energianvändningen (Ottele et al. 2011). Forskarna från Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp har undersökt energiflödet genom tegelväggen bakom en grön vägg i svenskt klimat. I mätningarna har de kommit fram till att den gröna väggen skuggar tegelväggen vilket skapar en kylande effekt, något som är positivt under sommaren men negativt under vinterhalvåret (Fransson et al. 2013). Systemen har ingen bärande förmåga, men de kan höja en byggnads estetiska värde om de underhålls på rätt sätt.

1.1.4 Påverkan av fukt på tegel

Tegel är ett keramiskt material med hög porositet och stora porer. Hygroskopiciteten hos tegel är liten, vilket innebär att absorptionen av vattenånga är mycket liten. Däremot är tegel kraftigt kapillärsugande och har en relativt hög ångpermeabilitet (Nevander och Elmarsson 2006). För en massiv tegelvägg kan detta bli ett problem då den kan drabbas av fuktgenomslag, det vill säga att väggen blir blöt ända in till insidan (Hamrin 1996). Fukt transporteras lätt genom teglet, vilket kan skada intilliggande konstruktionsdelar av till exempel trä, då det finns risk för mögelpåväxt och röta (Nevander och Elmarsson 2006). Själva teglet kan skadas av frost- eller saltsprängning samt missfärgas av saltutslag. Frostsprängning uppstår i porösa material när vatten i porerna fryser till is, vilket ökar vattnets volym med 9 % (Burström 2007). Denna volymökning är så kraftig att den kan spränga sönder material och stora bitar kan falla av. För att undvika skador måste vattnet ha möjlighet att utvidga sig, vilket det kan när materialets fuktinnehåll är lågt. Saltutslag orsakas av att salthaltigt vatten avdunstar från teglet och det lösa saltet kristalliserar på teglets yta, vilket skapar fula men ofarliga

missfärgningar. Om saltet istället kristalliserar i teglets porer kan tegelbitar flagna av, så kallad saltsprängning (Burström 2007).

1.1.5 Gröna väggar i nuläget

Eftersom gröna väggar är något som bara funnits i Sverige ett fåtal år finns det inte mycket svensk litteratur eller forskning kring ämnet. De flesta studier är i ett tidigt skede, och många fokuserar på växtvalet och hur det svenska klimatet i samband med den vertikala placeringen påverkar växterna. I andra länder med ett annorlunda klimat än Sverige ligger en stor del av fokus inom forskningen på hur gröna väggar påverkar miljön, byggnaders energiförbrukning och personers hälsa (Ottele et al. 2011; Alcock et al. 2014). Detta kan bero på att andra länder inte har lika stora temperaturvariationer som Sverige och därför är växtvalet inte ett lika stort problem. Forskning inom gröna väggars påverkan på den bakomliggande konstruktionen ur fuktsynpunkt är liten, både i Sverige och i utlandet.

1.2 Syfte och målsättning

Syftet med detta examensarbete är att öka och sprida kunskapen kring gröna väggar i ett svenskt klimat, med fokus på fuktpåverkan i den bakomliggande konstruktionen. Arbetet redovisar några system som finns tillgängliga idag. Två av dessa system, som ingår i ett forskningsprojekt vid Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp, har studerats mer ingående, med avseende på hur den relativa fuktigheten i tegelväggen bakom systemen påverkas.

1.3 Avgränsningar

Gröna väggar i form av klätterväxter kommer inte behandlas i detta arbete. Endast system som monteras på väggar och där växterna planteras utan kontakt med marken tas upp. Gröna väggar kan planteras både inomhus och utomhus. I detta arbete kommer endast utomhusinstallationer behandlas då det saknas kunskap om dessa i svenskt klimat. Arbetet berör inte heller växtval eller andra aspekter relaterat till växterna. Arbetet behandlar gröna väggar som lämpar sig på offentliga ytor och i större skala än i privata odlingar i hemmet eller liknande. Ytterligare en avgränsning är ekonomiska aspekter, då arbetet inte fokuserar på kostnader för montering eller underhåll.

1.4 Metod

Detta arbete har utförts med hjälp av dels en litteraturstudie och dels en fallstudie. Litteraturstudien har bestått av sökningar i databaser som LUBsearch, Scopus, Web of Science och Libris med flera samt sökningar på Google. Även en del kurslitteratur från utbildningen har använts.

Fallstudiens underlag har bestått av mätdata som tillhandahållits av forskare vid Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp, som har monterat gröna väggar i Malmö för att studera dessa närmare. Fallstudien innefattade även studiebesök på platsen där de gröna väggarna har monterats. Utförandet av fallstudien beskrivs mer utförligt i avsnitt 4.

2 Problemformulering

De frågor som ligger till grund för arbetet är:

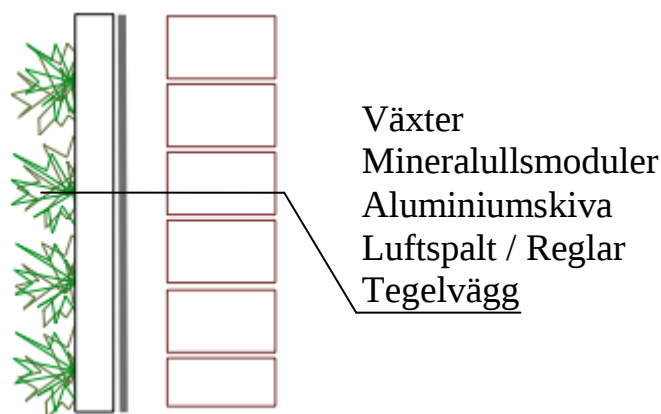
- Är konstruktionen bakom en grön vägg mindre utsatt för nederbörd än en väggkonstruktion utan en grön vägg?
- Påverkas den bakomliggande konstruktionens fukttillstånd av att den gröna väggen bevattnas?
- Påverkas den relativa fuktigheten i den bakomliggande konstruktionen av en felkonstruerad grön vägg?
- Vilket av de studerade systemen verkar lämpligast när det gäller relativ fuktighet i den bakomliggande konstruktionen?
- På vilka sätt kan en grön vägg uppfylla en ytterväggs funktionskrav?
- Vilka system finns tillgängliga idag?

3 Olika system

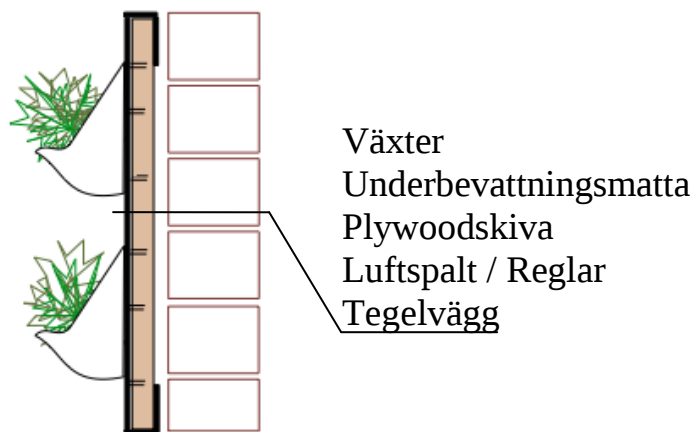
I Sverige är gröna väggar utomhus ett relativt nytt fenomen som fortfarande är under forskningsstadiet. De flesta gröna väggar som uppförts är provväggar som olika företag eller forskare har byggt för att testa lämpligheten i svenska förhållanden. Det finns många olika varianter av system för gröna väggar, men de flesta bygger på liknande principer. Nedan följer en beskrivning av några system som finns tillgängliga, både i Sverige och utomlands.

3.1 SLU Alnarp

Forskare från Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Alnarp undersöker två olika system för gröna väggar i Varvsstaden i Malmö, med syftet att se hur de fungerar i ett skandinaviskt klimat. De två systemen är uppbyggda på olika sätt. Det ena systemet är ett hydroponiskt system baserat på moduler som består av mineralullsplattor med ett hölje av plast (Figur 3.1). Systemet, som heter *Vertigreen*, är kommersiellt tillgängligt och tillverkas av företaget ZinCo i Tyskland. Växterna planteras i förborrade hål i mineralullen (Fransson et al. 2013). Systemet väger cirka 110 kg/m² när substratet inte är vattenmättat (ZinCo 2012). Det andra systemet är ett hemmabyggt system som består av fickor av underbevattningsmatta som häftats fast på en formplywoodskiva (Figur 3.2). Växterna planteras i fickorna i en blandning av pimpsten och kompost, vilket liknar en vanlig, grusig jord. De två systemen har olika hög vattenhållande förmåga. Mineralullspanelerna håller vatten mycket bättre än fickorna. Båda system bevattnas med ett droppbevattningssystem med reglerat vattenflöde som gödslas manuellt med flytande näringslösning (Fransson et al. 2013).



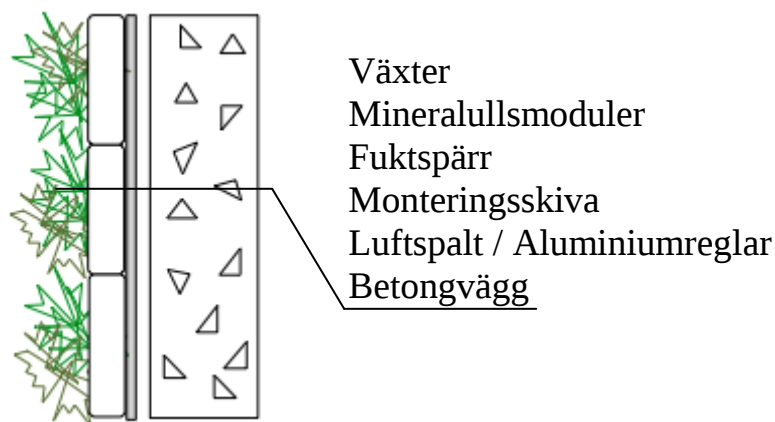
Figur 3.1: ZinCos Vertigreen. Figuren är inte skalenlig.
(Illustration: Katherina Wargren)



Figur 3.2: SLU:s ficksystem. Figuren är inte skalenlig.
(Illustration: Katherina Wargren)

3.2 Helsingborgs stad

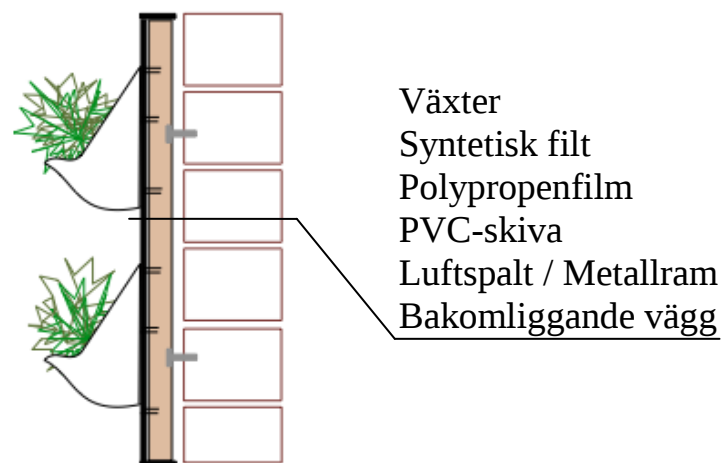
På Sundstorget i Helsingborg har Helsingborgs stad uppfört en av Sveriges första offentliga gröna väggar utomhus – ett 32 m² stort system som är monterat på ett pumphus med betongväggar. Systemet är uppbyggt av mineralullsmoduler med förgjorda hål för växterna (Figur 3.3). Modulerna, som är täckta av en syntetisk filt, är monterade på aluminiumreglar på den befintliga fasaden. Ett vattentätt skikt på baksidan av modulerna samt en luftspalt separerar växterna från betongväggen. Det vattentäta skiktet består av en typ av gummi. Växterna i modulerna förodlades av ett företag i Nederländerna under sex veckor innan de monterades i Helsingborg av företaget Greenworks. Systemets vattenmättade vikt är cirka 50 kg/m². Den gröna väggen bevattnas av ett automatiserat system med dricksvatten blandat med en flytande näringslösning. Helsingborgs stad monterade sin gröna vägg med förhoppningen att kunna inspirera fler aktörer till att våga bygga nya gröna väggar (Helsingborgs stad 2013).



Figur 3.3: Helsingborgs stads gröna vägg. Figuren är inte skalenlig.
(Illustration: Katherina Wargren)

3.3 The Vertical Garden

Patrick Blanc är en fransk botanist som har utvecklat ett eget system för gröna väggar som han uppfört på flera platser runt om i världen. *The Vertical Garden*, eller *Mur Végétal* som den heter på franska, består av tre delar; en metallram, en skiva av skummad PVC (polyvinylklorid) och en filt (Figur 3.4). Filten, som är gjord av återvunna bitar av akryltextil, fästs i två lager på PVC-skivan med häftklamrar av rostfritt stål. Det yttersta lagret skärs upp för att skapa horisontella öppningar för växterna. Mellan filten och PVC-skivan sitter en vävd polypropenfilm för att öka filtens hållfasthet. Den 10 millimeter tjocka PVC-skivan gör systemet stabilt och vattentätt. Skivan nitas fast i metallramen, som kan hängas upp på en vägg eller stå för sig själv. Ramen skapar en luftspalt som fungerar som ett värme- och ljudisoleringsystem (Blanc 2008). Den gröna väggen bevattnas ovanifrån, antingen av kranvatten som blandas med en svag näringslösning eller av regnvatten och gråvatten (avloppsvatten från bad, disk och tvätt). Hela systemet väger mindre än 30 kg/m², inklusive metallram och växter (Blanc 2014).

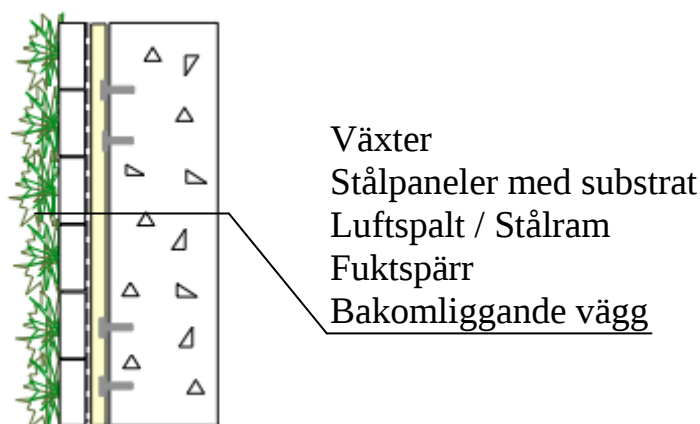


Figur 3.4: Patrick Blancs *The Vertical Garden*. Figuren är inte skalenlig.
(Illustration: Katherina Wargren)

3.4 GSKy

Det kanadensiska företaget GSKy tillverkar bland annat systemet *Pro Wall System* (GSKy 2010). Det är ett modulsysteem som enligt tillverkaren kan placeras på vilken utomhusvägg som helst i både varma och kalla klimat. Det är designat för att motstå starka vindar, slagregn och jordbävningar. Systemet är uppbyggt av 30x30 cm² stora paneler av rostfritt stål som monteras på en stålram på fasadväggen (Figur 3.5). Stålramen skapar en luftspalt på cirka fyra centimeter mellan panelerna och väggen. Panelerna är fyllda med ett icke-nedbrytbart odlingssubstrat. Växterna planteras i substratet flera månader före systemet monteras för att säkerställa att de inte blåser iväg under starka vindar eller skakas ut ur panelerna vid jordbävningar. Bevattningen sker med hjälp av ett fjärrstyrt vatten- och näringssystem. Bevattningssystemet har temperatur-

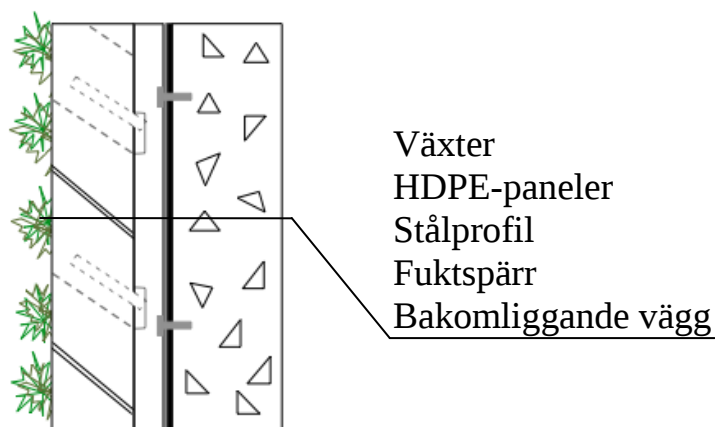
och fuktsensorer för att inte använda mer vatten än det behövs. Stålrampen gör det möjligt att paneler kan tas ned för inspektion vid behov (GSky 2010). Systemets vattenmättade vikt är $146,5 \text{ kg/m}^2$ (GSky 2013).



*Figur 3.5: GSkys Pro Wall System. Figuren är inte skalenlig.
(Illustration: Katherina Wargren)*

3.5 ELT Easy Green

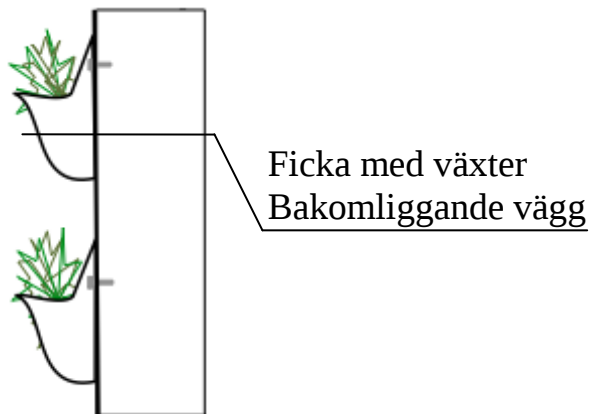
ELT Easy Greens *Living Wall System* är även det en modulbaserad grön vägg. Systemet liknar en låda med tio fack (celler) vari växterna planteras (Figur 3.6). "Lådan", eller panelen, är $30 \times 30 \text{ cm}^2$ stor och är gjord av svart HDPE (högdensitetspolyeten). Flera paneler monteras ihop för att skapa ett större system. Cellerna, som är 18 cm djupa och lutar bakåt med en vinkel på 30 grader, fylls av kompost och växter. Varje cell har skårar på botten för dränering och luftning. Skårorna sträcker sig inte hela vägen till bakdelen av cellen, vilket skapar en vattenhållande zon längst bak i varje cell och därmed minskar bevattningskravet. Överskottsvattnet från en cell kan rinna ner i cellen under. Systemets vattenmättade vikt är $73,2 \text{ kg/m}^2$ (ELT Easy Green 2011).



*Figur 3.6: ELT Easy Greens Living Wall System. Figuren är inte skalenlig.
(Illustration: Katherina Wargren)*

3.6 Hagmanns

För mindre installationer kan Hagmanns *Minificka* användas (Figur 3.7). Det är en ficka tillverkad av återvunna PET-flaskor som enkelt monteras på en vägg med skruv och plugg. Fickan är 33x20 cm² stor och har ett skyddande lager på insidan som förhindrar att fukt tränger ut, förutsatt att övervattning inte sker. Växter planteras i ett odlingssubstrat, till exempel pimpsten, i fickan (Hagmanns 2014). Flera fickor kan sättas upp på samma fasad för att skapa en större grön vägg, något Hagmanns gjorde på Högevallsbadet i Lund när det renoverades år 2013.



Figur 3.7: Hagmanns Minificka. Figuren är inte skalenlig.
(Illustration: Katherina Wargren)

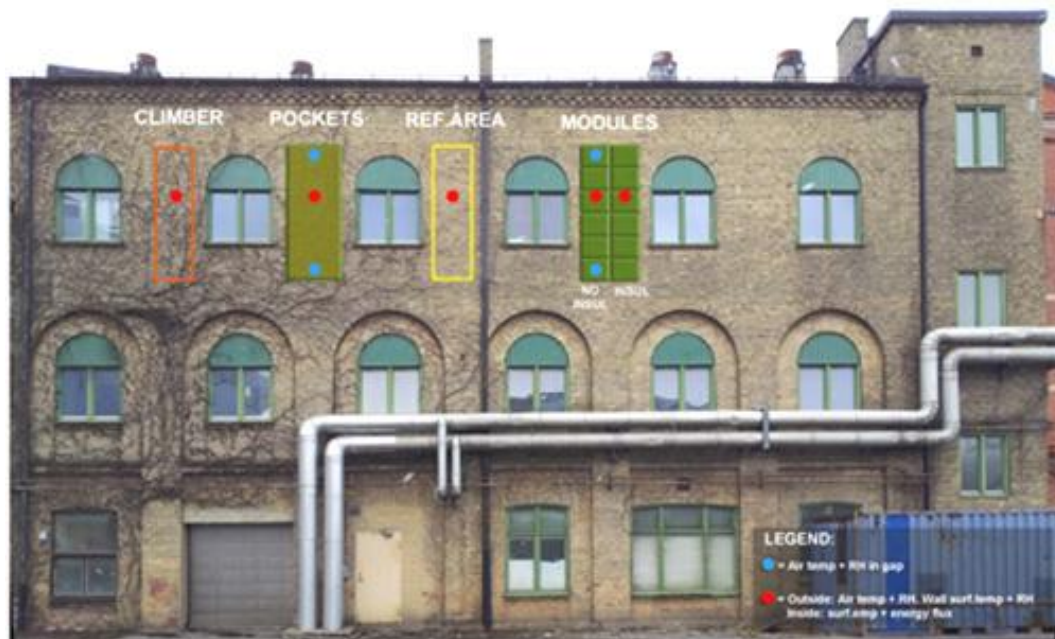
4 Fallstudie: Sveriges lantbruksuniversitet

Som nämnts tidigare undersöker forskare från Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Alnarp två olika system för gröna väggar. Denna fallstudie baseras på de mätningar som SLU har gjort mellan augusti 2012 och maj 2014.

4.1 Beskrivning av systemen

Systemen sitter på en byggnad i Varvsstaden i Malmö. Väggen vetter mot söder, som är det väderstreck med störst variationer i det lokala klimatet. Systemen sitter 8 meter upp för att inte skuggas någon gång under dagen. Båda systemen bevattnas med ett droppbevattningssystem med reglerat vattenflöde som gödslas manuellt med flytande näringslösning (Fransson et al. 2013). Systemen är monterade på en 400 mm tjock massiv gul tegelvägg (Mårtensson et al.). Det ena systemet, modulsystemet, är uppdelat i två varianter; med och utan isolering. I fortsättningen refereras det därför till tre system: *fickor*, *modul utan isolering* och *modul med isolering*.

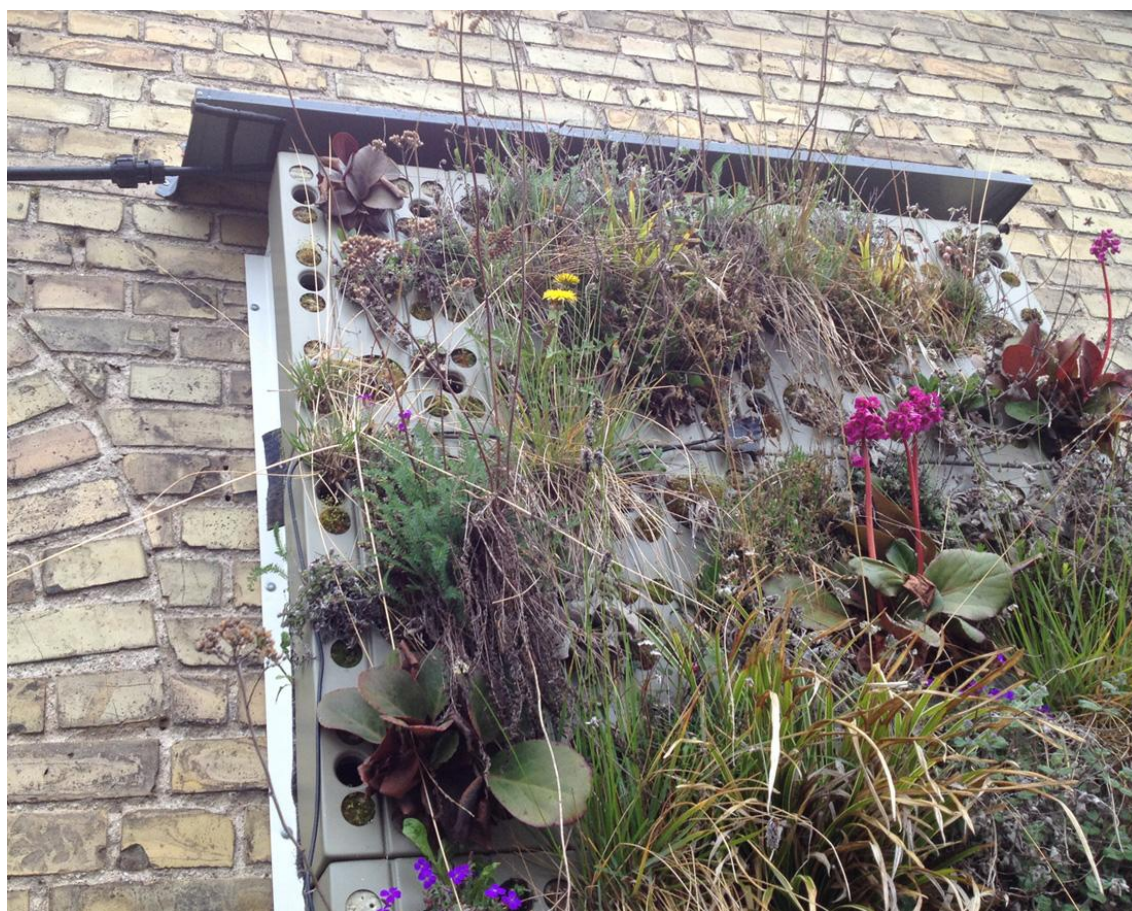
I Figur 4.1 syns de studerade systemens, ficksystemet (*pockets*) och modulsystemet (*modules*), placering på tegelväggen. Klätterväxterna (*climber*) behandlas inte i denna fallstudie. Prickarna indikerar sensorernas placering i höjddled. I Figur 4.1 syns även en referensyta (*ref. area*). Sensorerna och referensytan är beskrivna i avsnitt 4.2.



Figur 4.1: Systemens placering på tegelväggen.
(Illustration: Kronvall och Rosenlund 2014)

4.1.1 Modulsystemet

Det ena systemet är en mineralullsbaserad modul från företaget ZinCo i Tyskland (Figur 4.2). Modulerna består av mineralullsplattor med ett hölje av plast som har förborrade hål, i vilka växterna planteras (Fransson et al. 2013). Modulerna monteras på en konstruktion som består av konsoler som fästs i den bakomliggande väggen, balkar samt en aluminiumbeklädnad. Mellan den bakomliggande väggen och aluminiumskivan kan värmeisolering placeras (ZinCo 2012). SLU har valt att testa systemet både med och utan värmeisolering. Isoleringen är en 70 mm tjock mineralullsskiva som sitter tätt intill baksidan av modulen och bildar en 30 mm bred luftspalt mellan mineralullsskivan och tegelväggen. På delen utan isolering är avståndet mellan modulen och tegelväggen 100 mm (Mårtensson et al.).



Figur 4.2: Modulsystemet. (Foto: Katherina Wargren)

4.1.2 Ficksystemet

Det andra systemet är ett hemmabyggt system (Figur 4.3). Det är ett system med fickor av underbevattningsmatta som har häftats fast på en formplywoodskiva (Fransson et al. 2013). Mellan plywoodskivan och tegelväggen finns en luftspalt på 30 mm (Mårtensson et al.). Fickorna är fyllda med en blandning av pimpsten och kompost, vilket liknar en vanlig, mycket grusig jord (Fransson et al. 2013).



Figur 4.3: Ficksystemet. (Foto: Anna Ivanov)

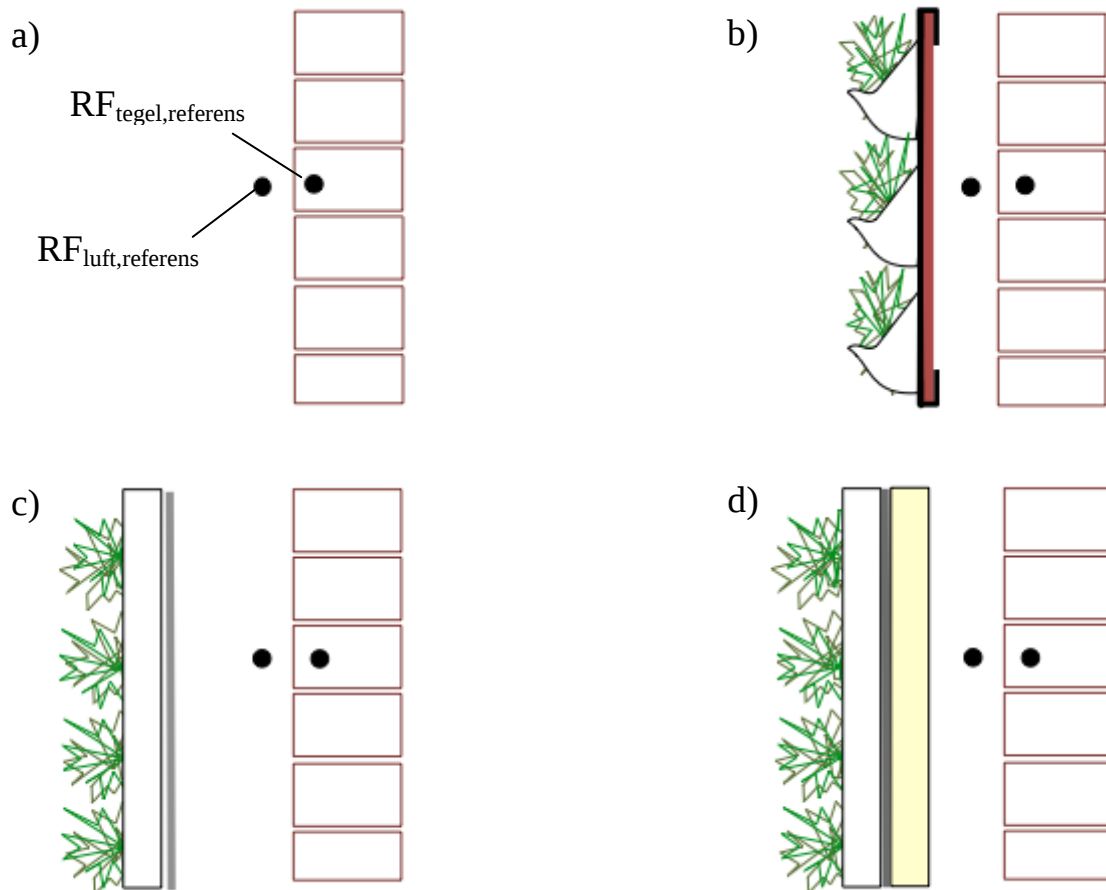
Både ficksystemet och modulsystemen har en skyddande plåt ett par centimeter över luftspalten för att hindra regn från att rinna in bakom systemen. De har dessutom en behållare längst ner som samlar upp överskottsvatten från bevattningen. Luftspalterna är ändå ventilerade eftersom plåten och uppsamlingsbehållaren inte täcker öppningarna varken upptill eller nedtill. På sidorna av systemen täcks luftspalterna av plåtar.

4.2 Tillgänglig data och mätpunkter

I anslutning till systemen sitter det sensorer som mäter relativ fuktighet (RF), temperatur, bevattningsmängd och värmefflöde. En väderstation som sitter på ett hustak cirka 120 meter bort från systemen mäter nederbörd, vindriktning, vindhastighet och solstrålning. Mätningarna har loggat värden var femte minut dygnet runt. I detta arbete har RF, bevattning, nederbörd och temperatur analyserats.

Sensorerna som mäter RF och temperatur är placerade 2-3 cm in i tegelväggen bakom systemen (benämns RF_{tegel} i fortsättningen) samt i luftspalten mellan respektive system och tegelväggen ($RF_{\text{luftspalt}}$), se Figur 4.4. Runt sensorerna i tegelväggen sitter en silikontätning. Sensorer har monterats bakom systemet

med fickor, bakom modulen utan isolering och bakom modulen med isolering. Det sitter även sensorer på en referensyta som representerar en tegelvägg utan någon grön vägg monterad, det vill säga "normalfallet" (Figur 4.5). Eftersom referensytan inte täcks av något system har den ingen luftspalt, men det sitter en sensor ett par centimeter ut från väggen som mäter RF i luften. Sensorerna har inte kalibrerats efter att de monterades på väggen. Enligt tillverkaren har sensorerna en felmarginal på $\pm 1,8 \%$ RF. Vid RF över 90 % är felmarginalen upp emot $\pm 4 \%$ (Sensirion 2011).



Figur 4.4: a) referensytan, b) ficksystemet, c) modulen utan isolering, d) modulen med isolering. Prickarna indikerar sensorernas placering. Figurerna är inte skalenliga. (Illustration: Katherina Wargren)

Datan är inte fullständig då det saknas klimatdata (nederbörd) för hela augusti, september och halva oktober 2012. Dessutom är bevattningsdatan felaktig fram till 17 juli 2013 på grund av att vattenhjulen inte snurrade som de skulle och datan går i och med det inte att använda. Mellan 27 november 2012 och 7 februari 2013 är referensytans RF_{tegel} 0 % och går därför inte att använda i kvotberäkningar.



Figur 4.5: Sensorn på referensytan. (Foto: Anna Ivanov)

4.3 Utvärdering av data

För att få en första generell överblick över datan sammanställdes dygnsmedelvärden för RF under varje dygn för hela perioden augusti 2012 till och med maj 2014. En jämförelse mellan RF i tegelväggen samt i luftspalten bakom respektive system och referensytans RF utfördes genom att beräkna kvoten mellan dygnsmedelvärdena enligt ekvation 1 och 2.

$$RF_{kvot,tegel} = \frac{RF_{tegel,system}}{RF_{tegel,referens}} \quad (\text{Ekv. 1})$$

$$RF_{kvot,luftspalt} = \frac{RF_{luftspalt,system}}{RF_{luft,referens}} \quad (\text{Ekv. 2})$$

Dessa kvoter ger ett mått på om RF i luftspalten respektive RF i väggen bakom systemen är högre än RF i omgivande luft respektive RF i väggen på referensytan.

För att utvärdera nederbördens påverkan på RF bakom systemen och på referensytan valdes dygn ut då det hade regnat mycket. Femminutersvärdena av $RF_{kvot,tegel}$, $RF_{kvot,luftspalt}$ (enligt ekvation 1 och 2) samt nederbörd för varje utvalt dygn plottades i diagram.

För att se om bevattningen påverkar RF bakom systemen sammanställdes diagram med dygnssummor av bevattningen för januari till och med maj 2014.

SLU har mätt både hur många liter vatten som tillförs systemen och hur många liter vatten som rinner ut ur systemen (det vill säga överskottet från bevattningen). För att se hur mycket vatten systemen håller kvar beräknades differensen mellan dessa två värden enligt ekvation 3. Detta gjordes eftersom det är vattnet som stannar kvar i den gröna väggen som har störst påverkan i luftspalten och i tegelväggen. Bevattningsdatan jämfördes med dygnsmedelvärden av $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ enligt ekvation 1 och 2. Diagrammen jämfördes med liknande diagram fast med dygnssummor av nederbörd istället för bevattning, för att kontrollera vilken fuktkälla som verkar ha störst påverkan.

$$Bevattning = Bevattning_{in} - Bevattning_{ut} \quad (\text{Ekv. 3})$$

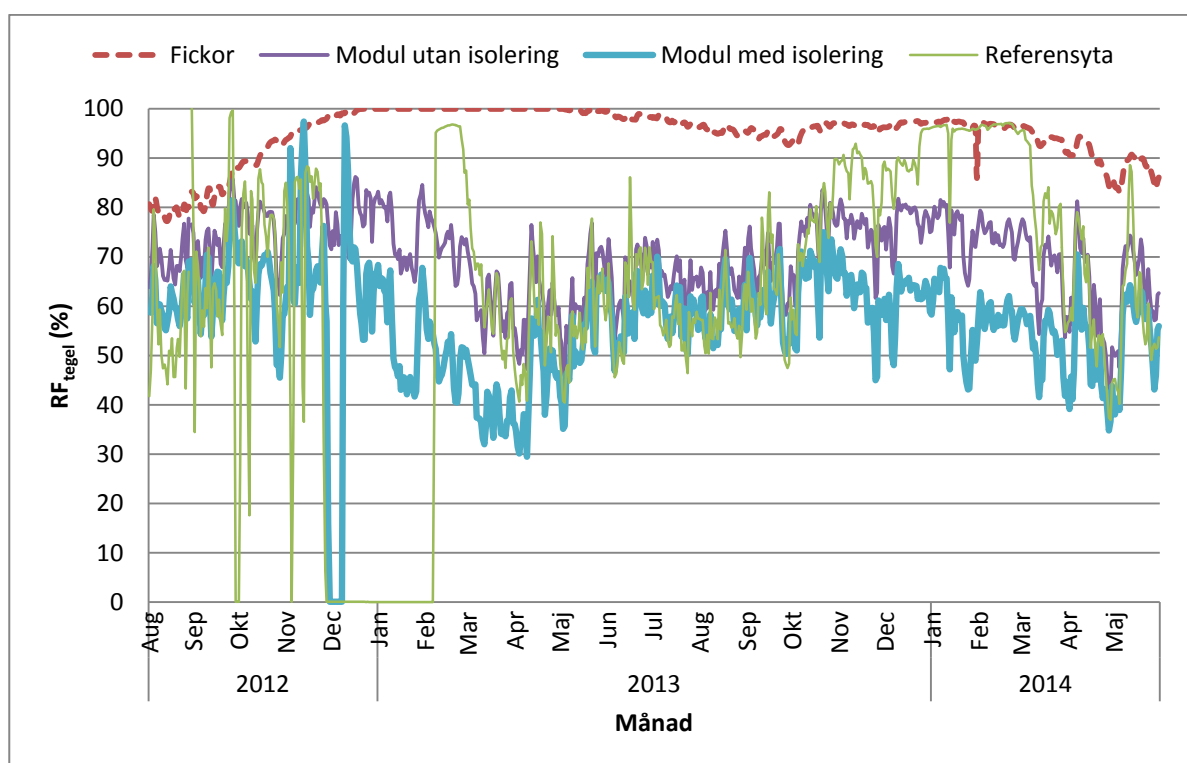
Forskarna på SLU har noterat att RF i tegelväggen bakom ficksystemet ligger väldigt högt jämfört med de andra systemen och referensytan. När underbevattningsmattan med fickorna monterades på formplywoodskivan veks mattan runt över- och underkanten på skivan, något som misstänks bidra till de höga RF-värdena bakom systemet. Därför skars mattan av i överkant den 5 mars 2014 för att undersöka om detta ger lägre RF i tegelväggen. För att kontrollera om RF i tegelväggen bakom ficksystemet påverkas av att filten skars av, gjordes ett diagram där $RF_{kvot,tegel}$ (ekvation 1) under perioden januari-maj 2013 jämfördes med samma period år 2014. Samma jämförelse gjordes även för modulsystemen.

För att se hur systemen påverkar temperaturen i tegelväggen bakom dem sammanställdes ett diagram med dygnsmedelvärden för hela mätperioden. För att förtydliga skillnaden mellan temperaturen under sommaren och vintern har en sommarmånad och en vintermånad valts ut för jämförelse (juni och december 2013).

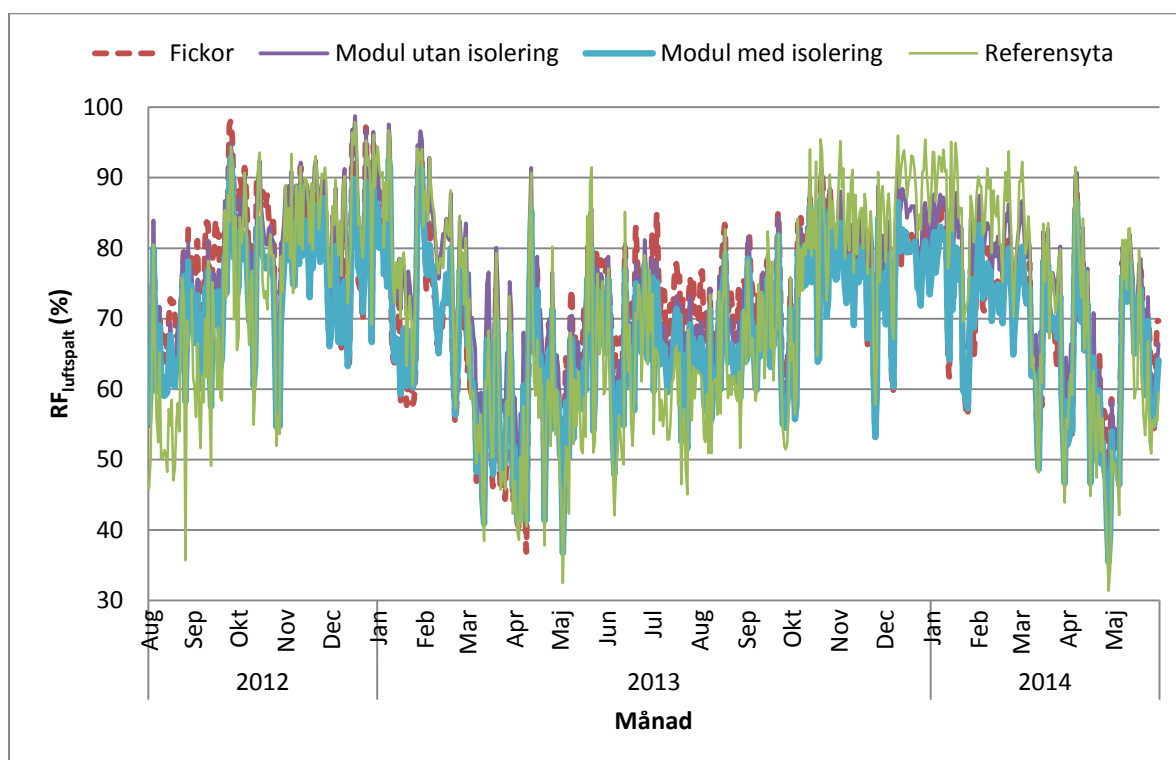
5 Resultat

5.1 Generella resultat

I Figur 5.1 och Figur 5.2 syns dygnsmedelvärden av RF i tegelväggen och i luftspalten under hela mätperioden för alla system och referensytan. RF i tegelväggen bakom ficksystemet ligger betydligt högre än de övriga systemen under hela mätperioden (Figur 5.1). RF i luftspalterna varierar också, men skillnaden är inte lika tydlig som i tegelväggen (Figur 5.2). Modulen med isolering har en något lägre RF i luftspalten än modulen utan isolering och ficksystemet. I bilagorna A och B finns separata diagram för respektive system och referensytan.

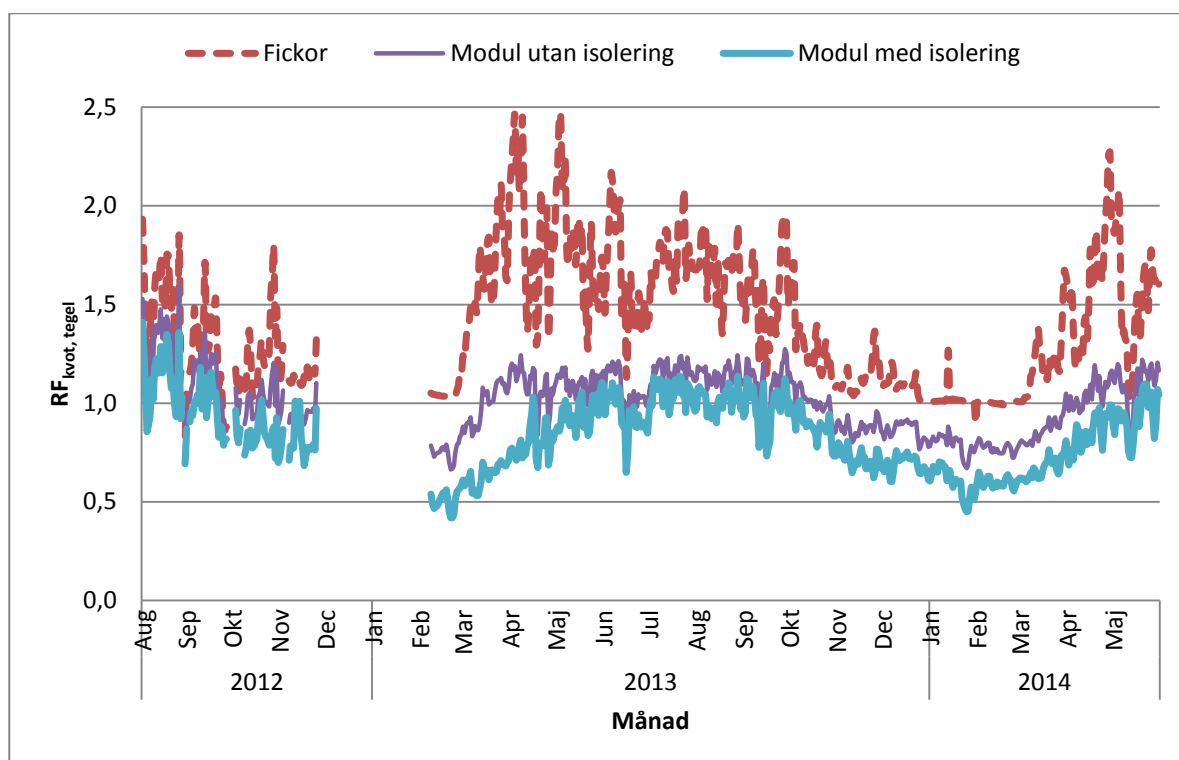


Figur 5.1: Dygnsmedelvärden av RF i tegelväggen under hela mätperioden för de tre systemen och referensytan.

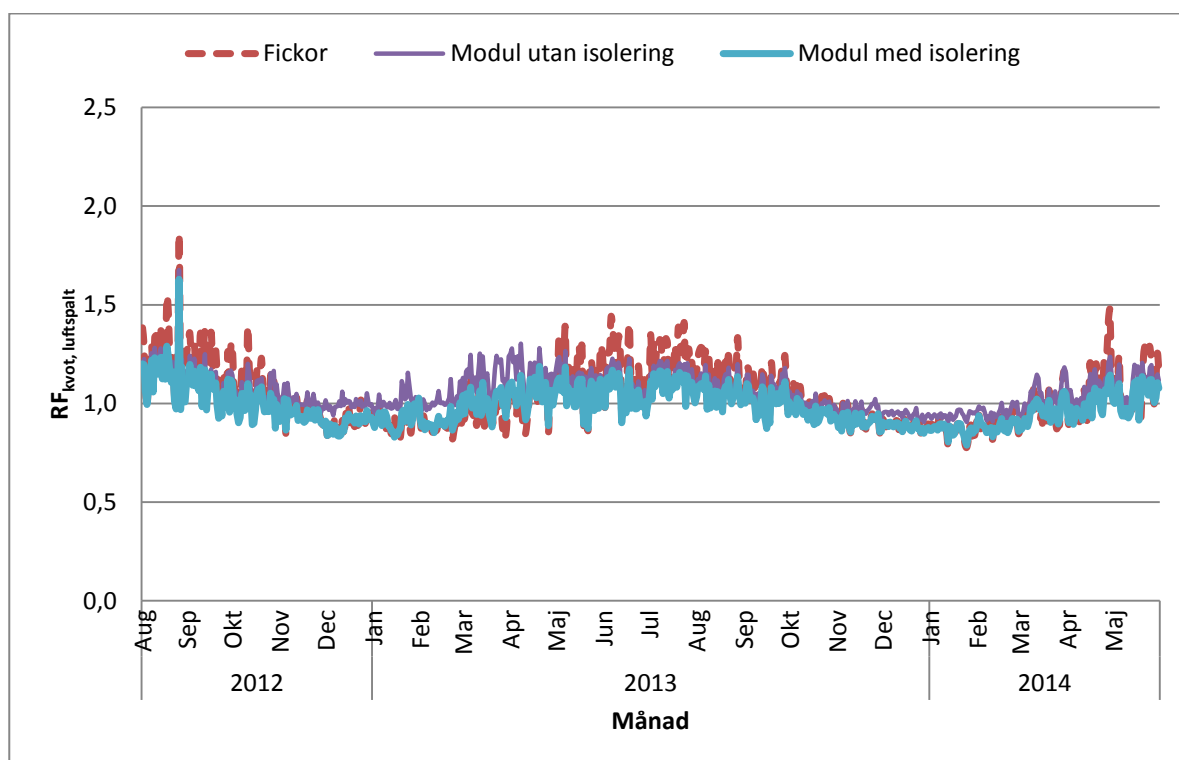


Figur 5.2: Dygnsmedelvärden av RF i luftspalten under hela mätperioden för de tre systemen och referensytan.

Figur 5.3 och Figur 5.4 visar $RF_{kvot, tegel}$ och $RF_{kvot, luftspalt}$ (enligt ekvation 1 och 2, avsnitt 4.3) mellan respektive system och referensytan under hela mätperioden. Modulerna med och utan isolering är relativt lika när det gäller tegelväggen (Figur 5.3). Modulen utan isolering har en något högre $RF_{kvot, tegel}$. Båda modulsystemen ligger under större delen av perioden under 1,0, vilket innebär att tegelväggen är generellt torrare bakom modulsystemen än vid referensytan. Systemet med fickor ligger mycket högre, vilket innebär att tegelväggen bakom det systemet har betydligt högre RF än referensytan. I Figur 5.3 saknas data under en period enligt avsnitt 4.2. I luftspalten är alla tre system relativt lika under hela perioden (Figur 5.4). Kvoten ligger något över 1,0 vilket innebär att RF i luftspalten bakom systemen är generellt lite högre än RF i luften vid referensytan. Ficksystemets $RF_{kvot, luftspalt}$ är något högre än modulsystemens, och går under vissa perioder nästan upp till 1,5.



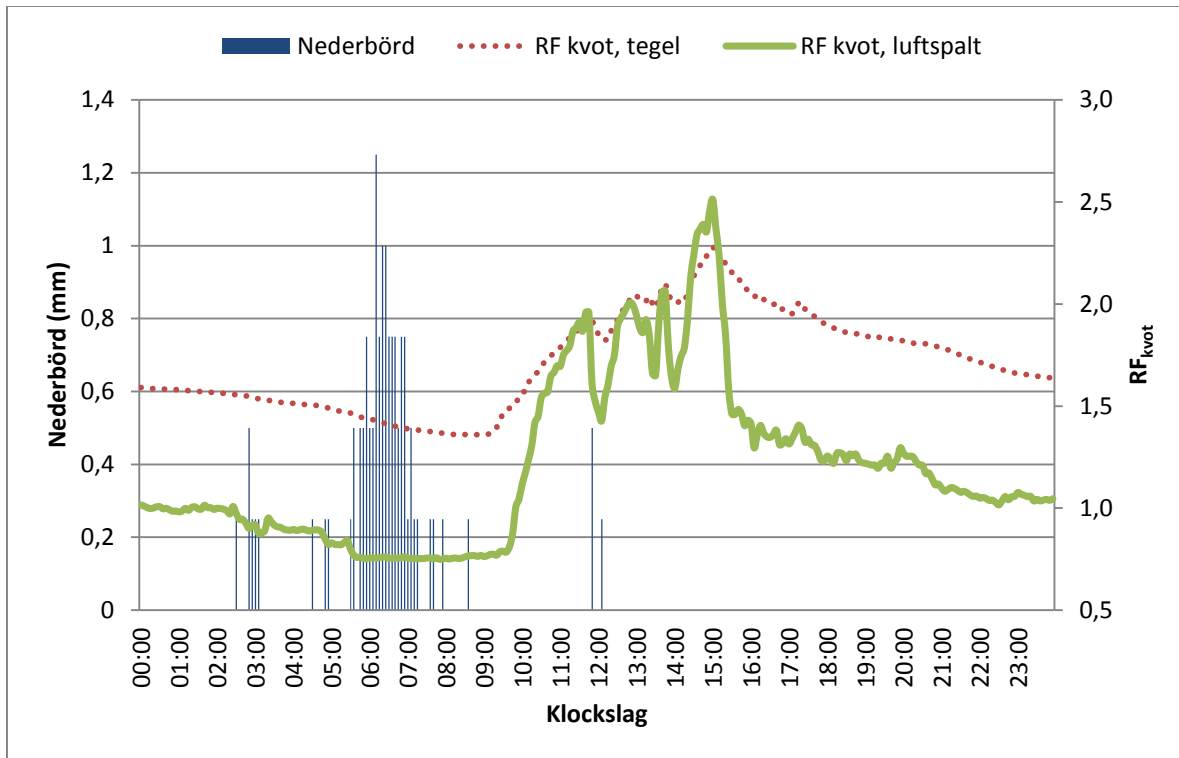
Figur 5.3: $RF_{kvot, tegel}$ för respektive system under hela mätperioden.



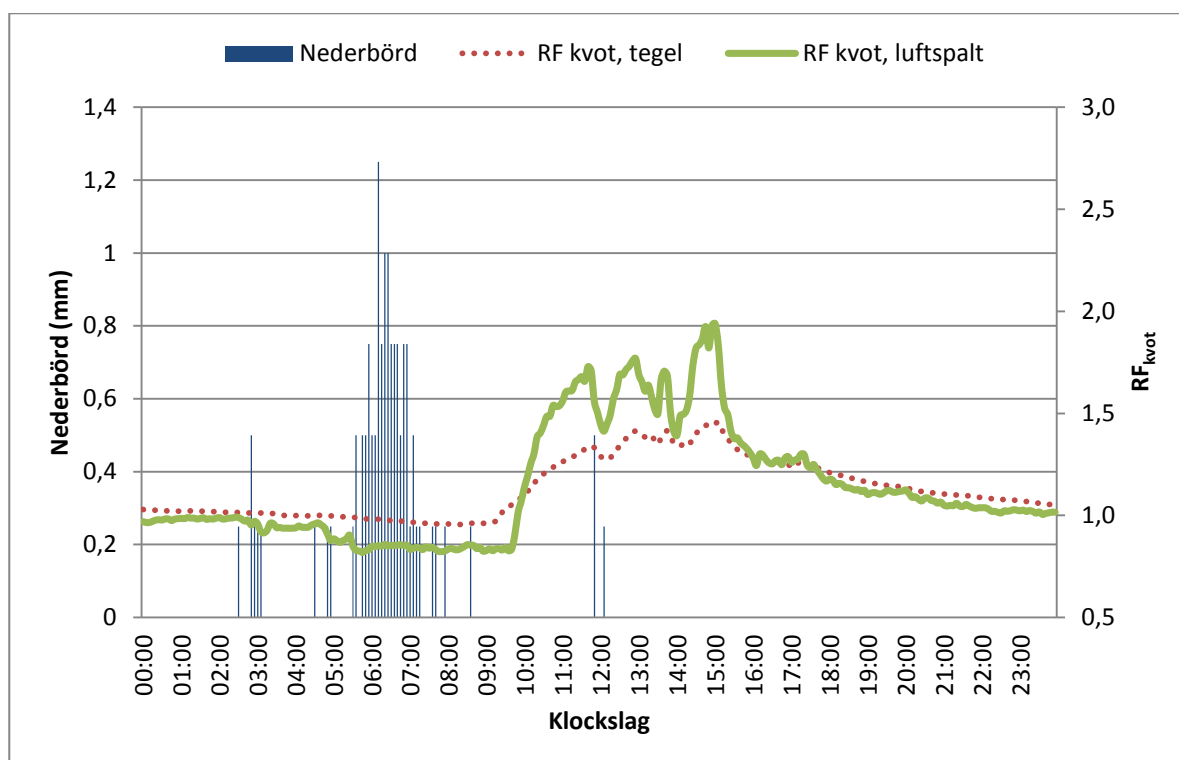
Figur 5.4: $RF_{kvot, luftspalt}$ för respektive system under hela mätperioden.

5.2 Påverkan av nederbörd

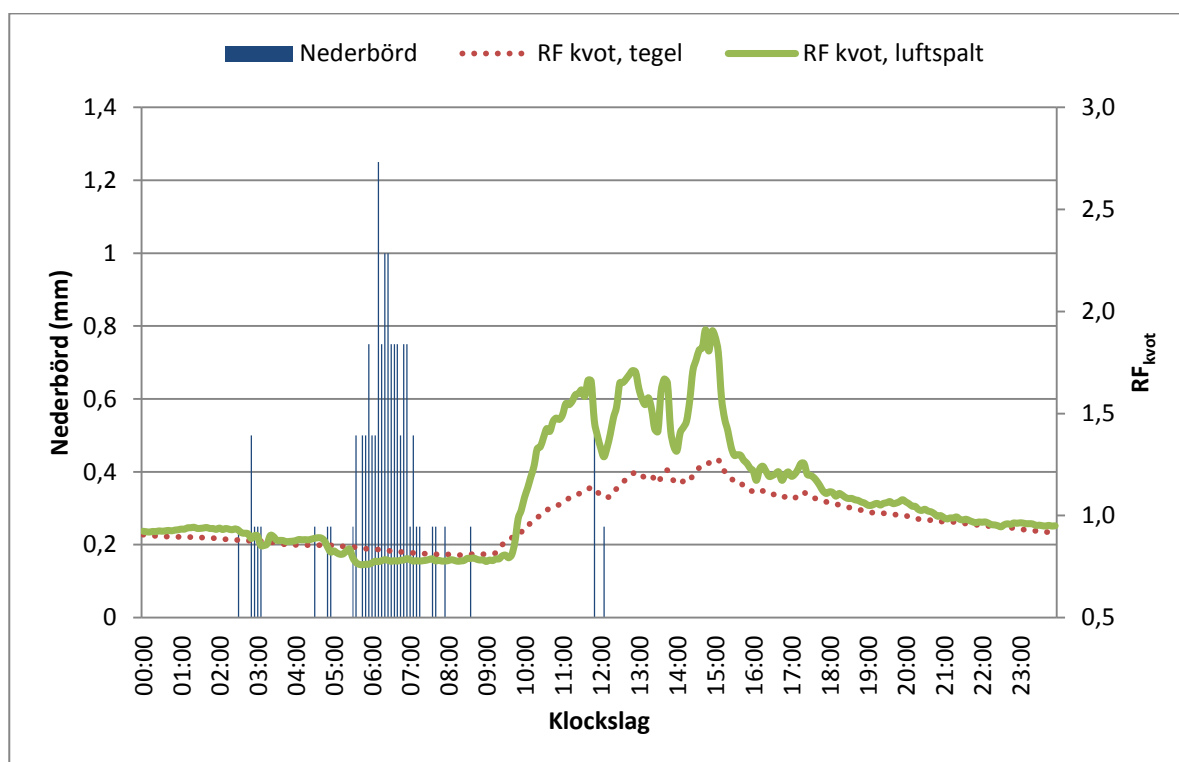
Figurerna 5.5-7 visar nederbörd, $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ den 31 juli 2013. Kvoten sjunker något då det regnar och stiger kraftigt några timmar senare. I bilaga C finns ytterligare exempel på studerade dagar. Övriga studerade dagar visar liknande resultat.



Figur 5.5: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för systemet med fickor under ett dygn, den 31 juli 2013.



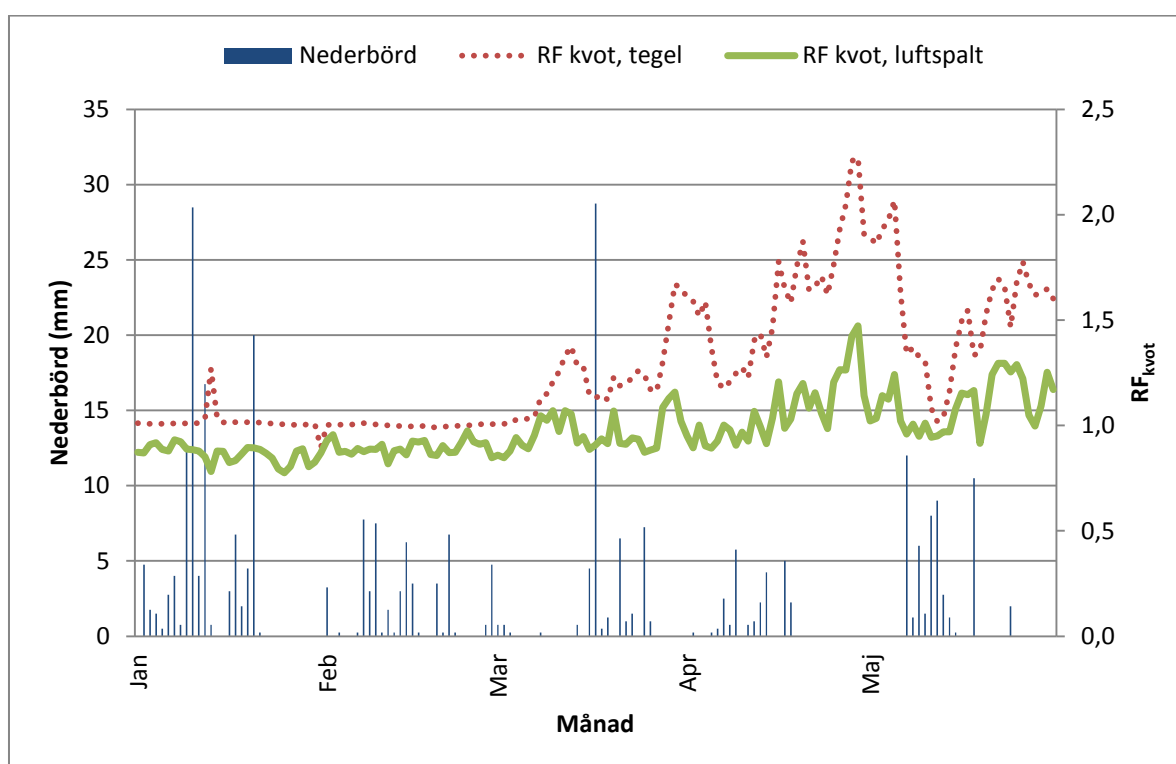
Figur 5.6: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen utan isolering under ett dygn, den 31 juli 2013.



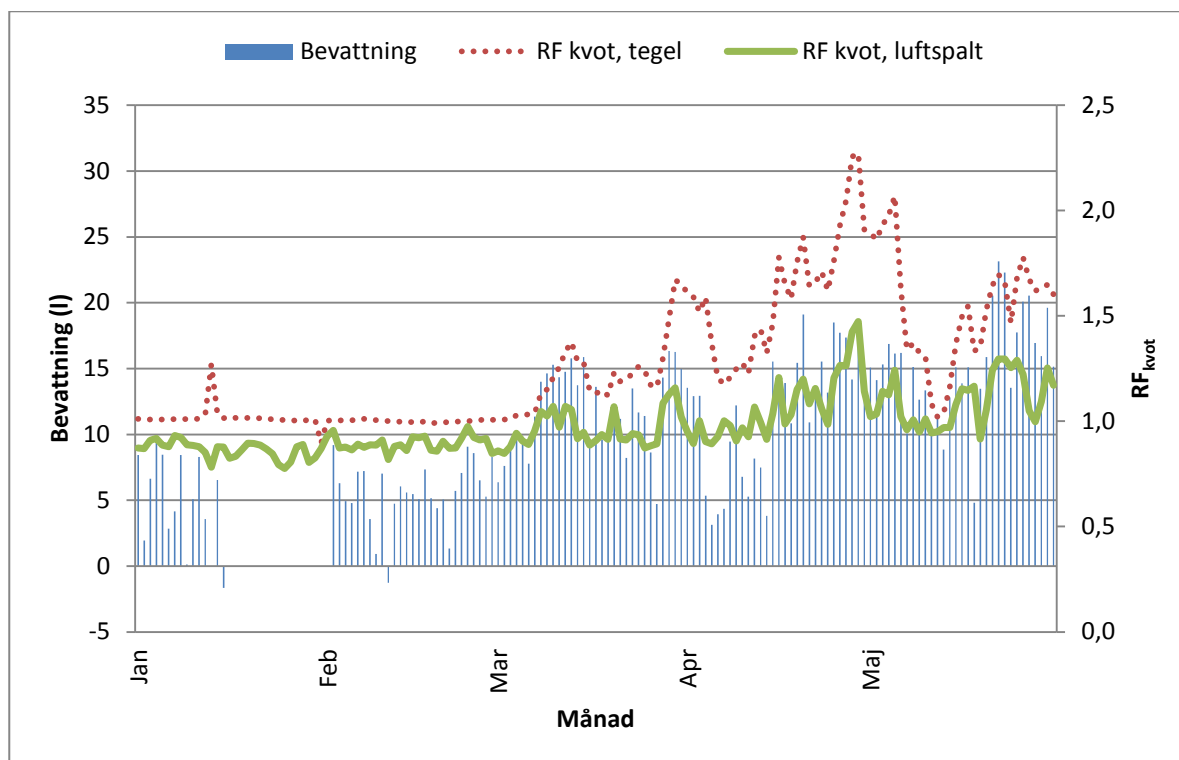
Figur 5.7: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen med isolering under ett dygn, den 31 juli 2013.

5.3 Påverkan av bevattning

Figur 5.8 och Figur 5.9 visar en jämförelse mellan dygnssummorna av nederbörd och bevattning under perioden januari-maj 2014, i förhållande till dygnsmedelvärden av $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för ficksystemet. Uppehållet i bevattningen i slutet av januari beror på att systemen inte vattnas då temperaturen i luftspalterna understiger 4°C , vilket den gör under denna period. Vissa dagar blir differensen negativ på grund av systemens vattenhållande förmåga, då det ibland dröjer ett tag innan överskottsvattnet rinner ut. $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ har räknats ut enligt ekvation 1 och 2 (avsnitt 4.3). Jämfört med bevattningen har nederbörden ingen märkbar påverkan på $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$. Motsvarande figurer för modulsystemen finns i bilaga D.



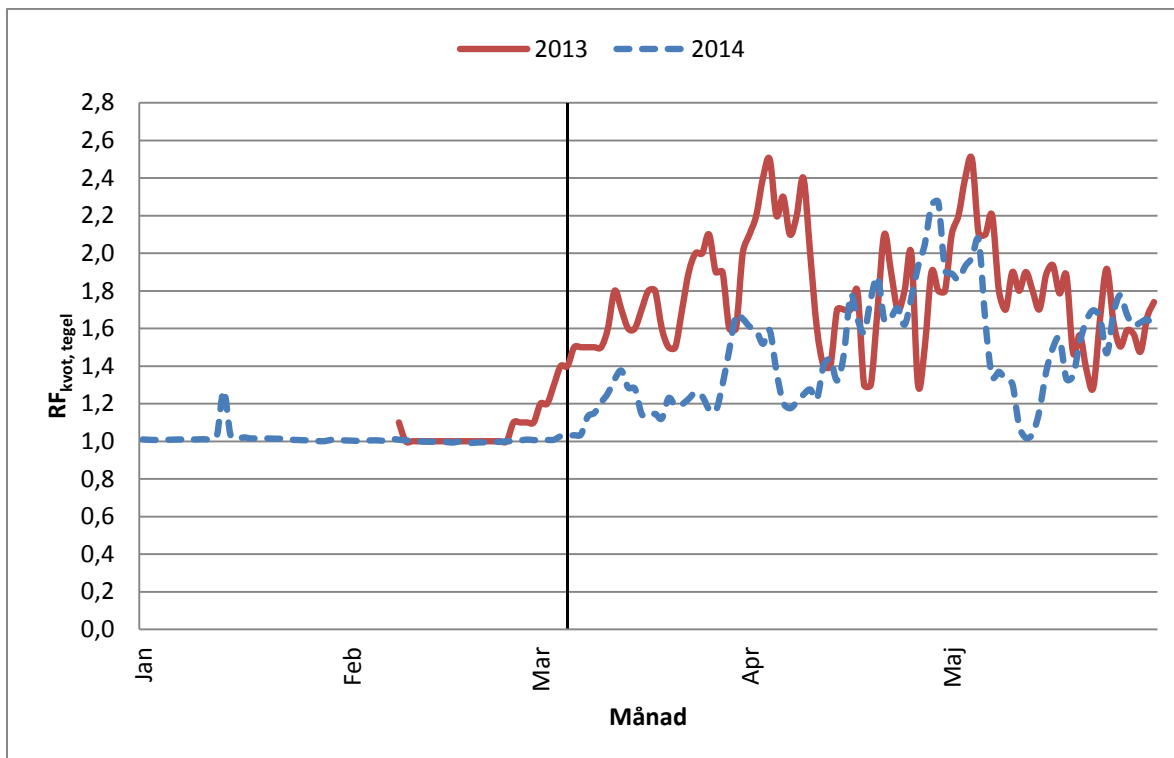
Figur 5.8: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för ficksystemet under perioden januari-maj 2014.



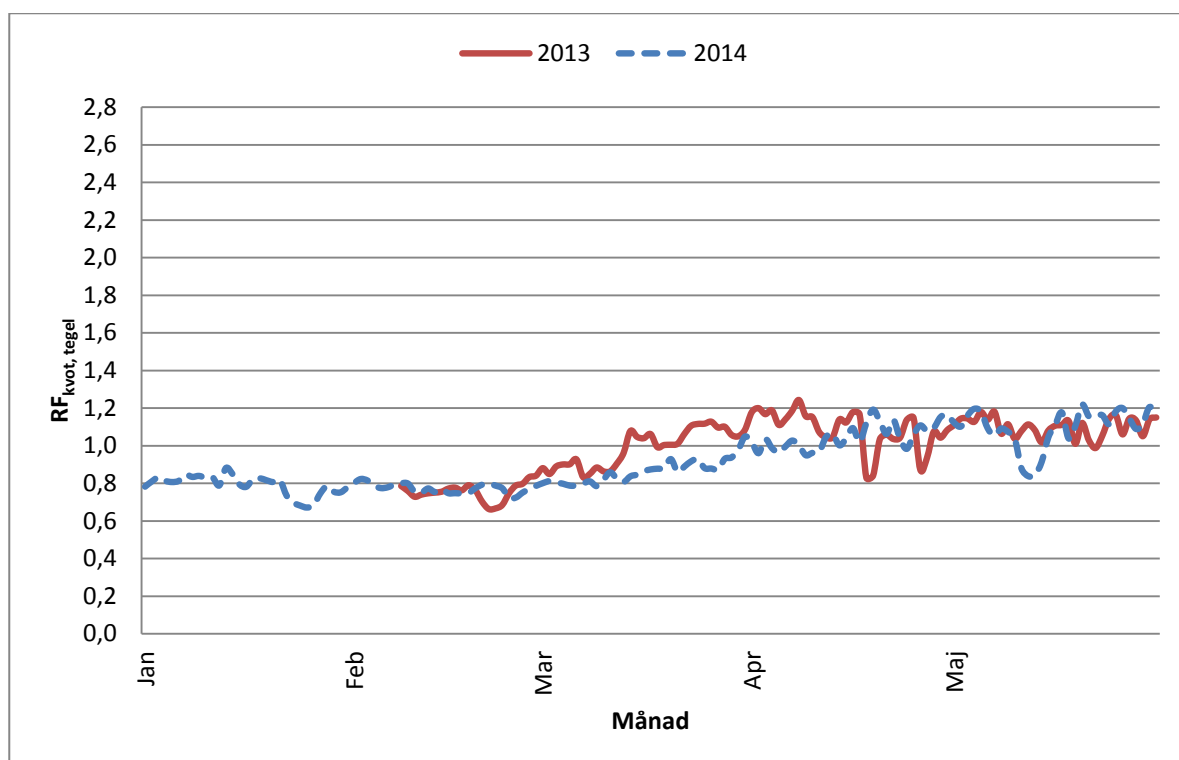
Figur 5.9: Bevattning samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för ficksystemet under perioden januari-maj 2014.

5.4 Effekt av att mattan skars av

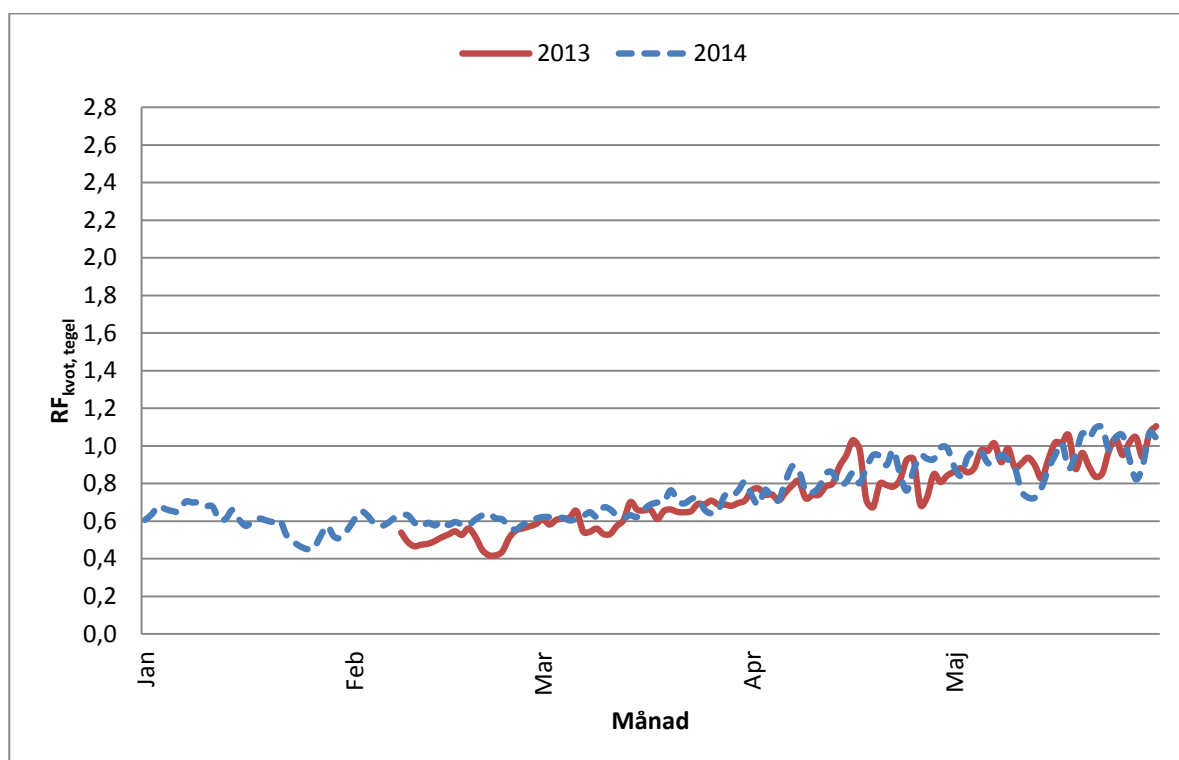
I Figurerna 5.10-12 syns en jämförelse av $RF_{kvot,tegel}$ mellan januari-maj 2014 och samma period 2013. Från 1 januari till 7 februari 2013 är referensytans RF_{tegel} 0 % enligt avsnitt 4.2, division med noll är odefinierat. Därför saknas en bit av kurvan för 2013. Ficksystemet visar en tydligare skillnad mellan åren än modulsystemen. $RF_{kvot,tegel}$ har räknats ut enligt ekvation 1 (avsnitt 4.3).



Figur 5.10: $RF_{kvot,tegel}$ för ficksystemet. Jämförelse januari-maj 2013 med januari-maj 2014. Det vertikala strecket markerar det datum underbevattningsmattan skars av; 5 mars 2014.



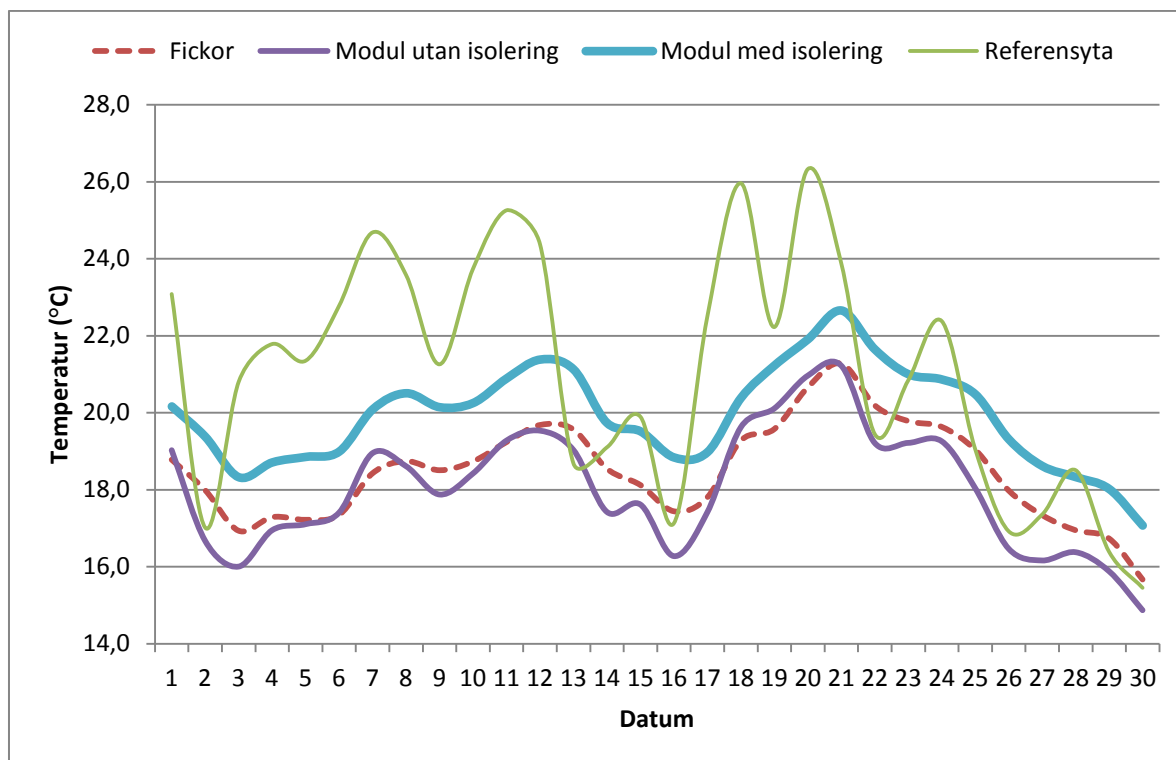
Figur 5.11: $RF_{kvot, tegel}$ för modulen utan isolering. Jämförelse januari-maj 2013 med januari-maj 2014.



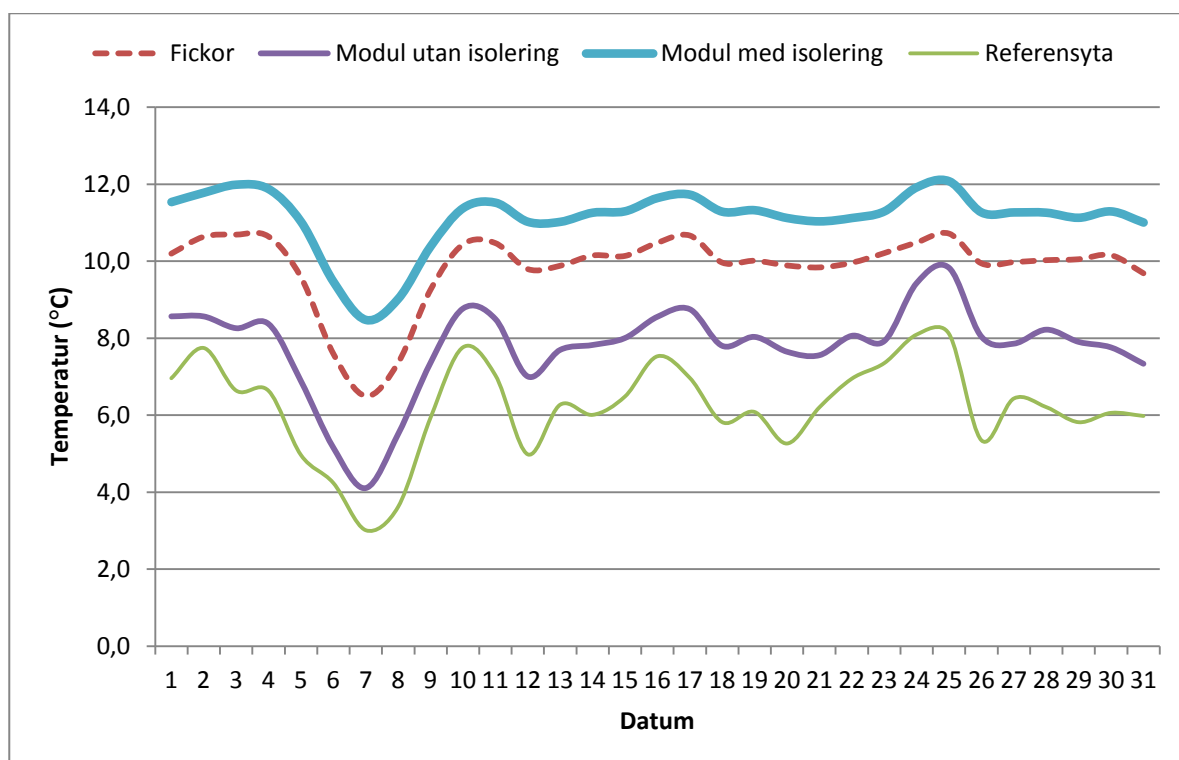
Figur 5.12: $RF_{kvot, tegel}$ för modulen med isolering. Jämförelse januari-maj 2013 med januari-maj 2014.

5.5 Temperatur

Figur 5.13 och Figur 5.14 visar dygnsmedelvärden för temperaturen i tegelväggen bakom de tre systemen och vid referensytan, under juni och december 2013. Observera att skalan på y-axeln inte är samma för de två figurerna. I bilaga E finns dygnsmedelvärden av temperaturen i tegelväggen för hela mätperioden.



Figur 5.13: Dygnsmedelvärden för temperaturen i tegelväggen under juni 2013, för samtliga system och referensytan.



Figur 5.14: Dygnsmedelvärden för temperaturen i tegelväggen under december 2013, för samtliga system och referensytan.

6 Diskussion

6.1 Generella resultat

RF i tegelväggen ser enligt Figur 5.1 väldigt olika ut för de studerade systemen och referensytan. Det förekommer en del extremvärden i figuren, som kan bero på en mängd olika faktorer. Exakt vad dessa värden beror på är svårt att säga eftersom vi inte har följt denna undersökning från början eller inte har haft kontroll över mätutrustning och eventuella fel i denna. Ficksystemets RF_{tegel} stiger successivt mot 100 %, ligger kvar där ett tag och börjar sedan sjunka igen. Att RF_{tegel} verkar ha fastnat runt 95-100 % under en längre period kan bero på sensorerna, som inte har kalibrerats någon gång under mätperioden. Det är ändå en mycket hög RF som behöver beaktas då mätningen kan vara korrekt. Resultatet visar att RF i tegelväggen skiljer sig väldigt mycket mellan systemen. Skillnaderna beror till viss del på att temperaturen i tegelväggen är olika för de olika systemen och referensytan. $RF_{\text{kvot,tegel}}$ (Figur 5.3) visar att modulsystemen är relativt lika och att de generellt ligger under 1,0, det vill säga att $RF_{\text{tegel,modul}}$ är lägre än $RF_{\text{tegel,referens}}$. Ficksystemet ligger däremot över 1,0 under hela perioden och överstiger även 2,0 vid vissa tillfällen. Detta resultat visar att när det gäller RF-nivån i den bakomliggande väggen är modulsystemet överlägset bättre än ficksystemet, något som kan bero på den diffusionstäta aluminiumskivan på modulernas baksida. Ficksystemets höga RF diskuteras i avsnitt 6.5.

RF i luftspalten varierar som förväntat över året; RF är högre under vinterhalvåret och lägre under sommarhalvåret (Figur 5.2). Modulen utan isolering har en något högre RF än modulen med isolering, vilket är väntat då temperaturen bakom modulen utan isolering är lägre. I Figur 5.4 syns att kvoten ligger nära 1,0 (vilket innebär att RF i luftspalten bakom systemet är samma eller nästan samma som RF i luften vid referensytan) under hela mätperioden, i alla fall för modulsystemen. Detta är ett positivt resultat som pekar på att de ventilerade luftspalterna bakom modulsystemen fyller sitt syfte och att de inte nämnvärt påverkas av bevattning eller nederbörd. Att kvoten ligger över 1,0 under sommarhalvåret beror troligen på att luftspalten bakom systemen skuggas och är därmed svalare än luften vid referensytan. Under vinterhalvåret är det motsatt effekt då luftspalten bakom systemen får en högre temperatur och kvoten ligger därför under 1,0. RF för ficksystemet ligger något högre; under sommarmånaderna är RF nästan 50 % högre i luftspalten bakom ficksystemet än i luften vid referensytan.

6.2 Påverkan av nederbörd

I Figurerna 5.5-7 syns $RF_{\text{kvot,tegel}}$, $RF_{\text{kvot,luftspalt}}$ och nederbörd under en utvald dag då det hade regnat mycket. Resultatet visar att under tiden det regnar sänks kvoterna något vilket kan innebära att de gröna väggarna skyddar den

bakomliggande väggen från nederbörd. Höjningen av kvoten som inträffar efter att det regnat kan bero på att solen värmt upp och torkat referensytan (och därmed sänkt RF), medan den skuggade väggen bakom systemen fortfarande är fuktig och kall efter regnet. Detta är rimligt på grund av årstiden och tid på dygnet (kl. 10-16 den 31 juli). Kvoten sjunker igen då luftspalterna och väggen bakom systemen så småningom börjar torka. Höjningen av $RF_{kvot,tegel}$ är lägre än höjningen av $RF_{kvot,luftspalt}$. Det beror antagligen på att fuktig luft tar sig in i den ventilerade luftspalten medan en skyddande fönsterbleckslignande plåt upptill hindrar regnvatten från att rinna längs med väggytan. $RF_{kvot,luftspalt}$ blir under vissa tidpunkter mycket hög; upp till 2,0 för modulsystemen och 2,5 för ficksystemet. Dock sänks kvoten väldigt fort och återgår till 1,0, vilket kan tyda på att påverkan av nederbörd inte är särskilt allvarlig. Undantaget är ficksystemets $RF_{kvot,tegel}$ som ligger högt (över 1,5) under hela dygnet. De två studerade dagarna som finns i bilaga C visar inte en lika drastisk höjning av kvoterna.

Hur RF -nivåerna i tegelväggen och i luftspalten bakom systemen påverkas av nederbörd verkar bero på bland annat hur fuktig den omgivande luften är när det börjar regna, vilken tid på året det är (temperatur i luften) och regnets intensitet. Resultaten visar att RF i luftspalten och i tegelväggen bakom systemen påverkas av att det regnar. Det betyder dock inte att påverkan är värre bakom systemen än på referensytan. Eftersom referensytan inte skyddas av någon grön vägg blir den direkt påverkad av förändringar i vädret. Om solen lyser på referensytan värms den upp och torkar ut, och när det regnar blir den fuktig. Bakom systemen är väggen skyddad från direktkontakt och därför går uppfuktnings- och uttorkningsprocesserna långsammare vilket kan leda till stora variationer i $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$. Att den ventilerade luftspalten påverkas mer än tegelväggen är ett positivt resultat då det tyder på att luftspalten fyller sitt syfte och att tegelväggen till viss del skyddas från nederbörd. RF i tegelväggen bakom ficksystemet ligger dock högt hela tiden och påverkas mer av nederbörd än RF i tegelväggen bakom modulsystemen.

I arbetet har inte slagregn beaktats eftersom väderstationen som mäter vindriktning och vindhastighet inte ligger i anslutning till tegelväggen där de gröna väggarna är monterade. I det här fallet skyddar modulsystemen antagligen den massiva tegelväggen som annars är känslig för slagregn eftersom regnvattnet kan transporteras rakt igenom väggen till insidan, så kallat fuktgenomslag.

6.3 Påverkan av bevattning

I Figur 5.8 och Figur 5.9 ser man tydligt att bevattningen har en större inverkan på RF_{tegel} och $RF_{luftspalt}$ bakom systemen än vad nederbörden har. Figur 5.9 visar tydligt att $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för ficksystemet följer

bevattningen, det vill säga att RF i väggen och i luftspalten ökar när bevattningen sker. Även för modulsystemen (se bilaga D) är korrelationen mellan RF och bevattning tydligare än mellan RF och nederbörd, men inte alls lika tydlig som den är för ficksystemet. Detta resultat kan bero på att modulsystemen har ett bättre vattentätt skikt mellan tegelvägg och system än ficksystemet har. Modulerna har en diffusionstät aluminiumskiva på baksidan som hindrar fukt från att ta sig igenom till den bakomliggande luftspalten och tegelväggen. Ficksystemets plywoodskiva är inte en lika vattentät lösning. Modulsystemens mineralull har en bättre vattenhållande förmåga än ficksystemets underbevattningsmatta. Det gör att mer vatten från bevattningen kan stanna kvar i modulsystemen än i ficksystemet. Resultatet visar att bevattningen påverkar tegelväggens RF men att det i detta fall inte innebär någon allvarligare risk, i synnerhet inte för tegelväggen bakom modulsystemen.

6.4 Påverkan i bakomliggande konstruktion

De uppmätta RF-nivåerna i tegelväggen bakom modulsystemen är troligen inte skadliga för teglet. Medelvärde för temperaturen i tegelväggen bakom modulen med isolering understiger aldrig 0°C och därför är risken för frostsprängning minimal då vattnet i teglet inte fryser. Medeltemperaturen i tegelväggen bakom modulen utan isolering går däremot under 0°C under vintern vilket ökar risken för frostsprängning. I tegelväggen bakom ficksystemet är medeltemperaturen högre än bakom modulen utan isolering, och därför borde risken för frostsprängning vara lägre i tegelväggen bakom ficksystemet. Däremot är RF-nivåerna, och därmed även fukttinnehållet, högre i tegelväggen bakom ficksystemet. Risken för till exempel fuktgenomslag blir i och med det större i tegelväggen bakom ficksystemet än bakom modulsystemen. Systemens läge, nära havet i Malmö, gör att det antagligen finns en påtaglig salthalt i luften. Om salt fuktig luft tar sig in i tegelväggen bakom systemen kan det leda till saltutslag eller saltsprängning. Risken för detta är dock troligen större vid referensytan än bakom systemen, då referensytan är direkt utsatt för den omgivande luften.

Om den bakomliggande konstruktionen är gjord av ett annat material än tegel ändras fuktskadekriterierna. RF-nivåerna som uppmäts i tegelväggen bakom systemen ligger generellt inom risknivån för röta och mögelpåväxt på trä. Träets hållfasthet och form påverkas också negativt av förhöjda fuktnivåer. Att montera systemen på en nybyggd eller befintlig trävägg rekommenderas därför inte. Innan ett system monteras på en vägg bör fuktnivåerna som uppstår bakom systemet i förhållande till vilka material väggen består av uppmärksammas. Resultaten visar att till och med bakom det kommersiella modulsystemet kan RF_{tegel} bli uppemot 90 %, en siffra som måste beaktas oavsett om systemet monteras på en befintlig eller nybyggd vägg. Oberoende

av vilket system och vilka väggmaterial som väljs bör det alltid finnas ett diffusionstätt skikt på baksidan av systemet.

6.5 Tegelväggen bakom ficksystemet

De gröna väggarna monterades i juni 2012, men mätningarna började inte loggas förrän i augusti samma år. Detta gör att vi inte känner till tegelväggens fukttillstånd innan och precis efter monteringen. Den höga relativa fuktigheten bakom systemet med fickor kan bero på att tegelväggen var fuktig redan när systemen sattes upp. Dock borde även tegelväggen bakom modulsystemen också visa en hög RF, vilket den inte gör. En annan teori kan vara att plywoodskivan i ficksystemet inte varit tillräckligt vattentät. Plywoodskivans egentliga användningsområde är att utgöra form vid gjutning av till exempel betong. Formplywood är belagd med en fenolfilm för att göra den mer vattentålig. Kanterna måste vara behandlade så inte vatten kan tränga in. Även om limmet i skivan kan vara vattenresistent är det inte troligt att limmet verkar som en fuktspärre, utan fukt kan transporteras mellan de enskilda skikten i plywoodskivan. Vid studiebesök på platsen noterade vi att plywoodskivan kändes mycket blöt. Underbevattningsmattan som växterna är planterade i är alltid fuktig och om plywoodskivan inte är tillräckligt diffusionstätt så kan det ske en fuktransport inåt den bakomliggande väggen. En tredje teori till den höga RF är att underbevattningsmattan som var vikt över plywoodskivans över- och underkant har lett vatten rakt in bakom systemet. Om denna teori stämmer borde en förbättring märkas efter att mattan skars av upptill. Det finns dock även en risk att de höga RF-nivåerna beror på drift hos sensorn som inte har kalibrerats någon gång under mätperioden. För pålitliga mätningar krävs regelbunden kalibrering av utrustningen.

6.5.1 Effekt av att mattan skars av

I resultatet kan vi notera en viss förbättring efter att mattan skars av. Det är definitivt skillnad på $RF_{kvot, tegel}$ mellan år 2013 och 2014 (Figur 5.10), och skillnaden är mycket större för ficksystemet än för modulsystemen. Olika förutsättningar i väderförhållanden gör att det blir skillnad i $RF_{kvot, tegel}$ mellan åren. Att skillnaden är så pass tydlig för ficksystemet än för modulsystemen kan innebära att den höga relativa fuktigheten i tegelväggen bakom ficksystemet har avhjälpats genom att underbevattningsmattan skars av i överkant. Det krävs dock fortsatta mätningar under en längre period för att säkert kunna säga att den vikta mattan var en del av orsaken till problemet med för hög RF och att RF_{tegel} sänks till en acceptabel nivå. Om vidare studier visar att systemet blir bättre ur fuktsynpunkt när mattan inte är vikt över plywoodskivans ovkant kan detta system utvecklas till ett bra alternativ till de kommersiella systemen som finns tillgängliga idag. Plywoodskivans ångtäthet behöver dock kontrolleras ytterligare. Om skivan blir genomblöt fort och behöver bytas ut ofta kan ficksystemet visa sig vara ett väldigt

omständligt och underhållskrävande system. En ständig fukttransport genom plywoodskivan kan även orsaka fuktskador i den bakomliggande konstruktionen, i synnerhet om det är en träkonstruktion. Eftersom systemet inte är uppbyggt av moduler kan stora delar av konstruktionen behöva monteras ner vid underhåll och utbyte av plywoodskivor. Ett alternativ är att ersätta plywoodskivan med ett annat mer diffusionstätt material, till exempel plast vilket många andra system använder idag.

6.6 Väggens funktionskrav

Som nämnts i avsnitt 1.1.3.1 kan en grön vägg skydda den bakomliggande konstruktionen från regn, vind och UV-strålning. Detta skydd kan öka konstruktionens livslängd. För att utvärdera möjligheten att använda den gröna väggen som ett klimatskydd, istället för till exempel en skalmur, behövs mer forskning inom området. Att byta ut en skalmur av tegel mot en grön vägg får inte öka fuktbelastningen på den bakomliggande stommen, något som är särskilt viktigt att beakta i Sverige där skalmurskonstruktioner med träregelstomme är vanligt.

På sommaren skuggar den gröna väggen den bakomliggande väggen och hindrar solen från att värma upp den, vilket sänker kylbehovet inomhus. Detta är mindre gynnsamt på vintern, då värmebehovet är som störst. Däremot kan den gröna väggen hindra blåsten från att kyla ner den bakomliggande väggen samtidigt som den i vissa fall kan verka värmeisolerande, något som i viss mån kan hjälpa till att sänka byggnadens uppvärmningsbehov. Resultaten från vår fallstudie visar att under sommarhalvåret är tegelväggen varmast vid referensytan, och under vinterhalvåret är tegelväggen varmast bakom modulsystemet med värmeisolering. Det var ett förväntat resultat då tegelväggen vid referensytan är exponerad för det omgivande klimatet och värms upp under sommaren. Under vintern skyddar de gröna väggarna tegelväggen bakom dem från att kylas ner. Ett mindre väntat resultat är att tegelväggen bakom ficksystemet är varmare än tegelväggen bakom modulsystemet utan isolering. Detta resultat kan bero på att den ventilerade luftspalten är bredare bakom modulsystemet än bakom ficksystemet (100 mm jämfört med 30 mm).

Av de system vi har studerat lämpar sig modulsystemen, framförallt det med isolering, bäst till att eventuellt ersätta något av ytterväggens skikt. Detta baseras på att modulsystemet med isolering generellt har en lägre RF, något som kan bero på själva värmeisoleringen som gör att tegelväggen är varmare bakom detta system. Eftersom ficksystemet har en så pass hög RF i tegelväggen bakom rekommenderar vi inte att den monteras direkt på till exempel en träkonstruktion.

6.7 Förslag till fortsatt arbete

Det saknas en del forskning om hur gröna väggar påverkar konstruktionen bakom systemet. Detta arbete har visat att innan en grön vägg monteras behöver fuktpåverkan i den bakomliggande konstruktionen beaktas. Ett välkonstruerat system innebär ingen allvarlig fuktpåverkan, men ett litet konstruktionsfel eller en ogenomtänkt detalj kan få stora konsekvenser. Det krävs dock mer forskning och fler undersökningar för att säkert kunna säga att en korrekt monterad grön vägg inte orsakar några fuktskador i den bakomliggande konstruktionen. Insidan av tegelväggen bör kontrolleras för till exempel fuktgenomslag. Fler studier bör genomföras där provsystem sätts upp på andra typer av väggkonstruktioner, som stålregelväggar eller betongväggar, för att se om fukttillståndet i dessa påverkas av en grön vägg. En annan intressant aspekt att undersöka är om den gröna väggen kan ersätta ett skikt i en yttervägg, till exempel en skalmur, utan att kompromissa väggens funktion med hänsyn till värmeisolering, klimatskydd, täthet etcetera. Forskarna på SLU kan prova att byta ut plywoodskivan i sitt ficksystem mot ett mer diffusionstätt material och sedan kontrollera ifall det ger lägre fuktnivåer i den bakomliggande konstruktionen.

7 Slutsats

Syftet med detta examensarbete har varit att öka kunskapen kring gröna väggar i ett svenskt klimat, med fokus på fuktpåverkan i den bakomliggande konstruktionen. Det finns många olika varianter av system för gröna väggar, men de flesta bygger på liknande principer. Växter planteras vertikalt i komplexa system som monteras på utsidan av ytterväggar, där de får vatten och näring från automatiserade bevattningssystem. En grön vägg kan eventuellt fungera som en del i en fasadkonstruktion genom att bidra med klimatskydd och till viss del isolering.

Resultaten visar att i tegelväggen bakom det hemmabyggda ficksystemet blir RF väldigt hög, något som troligen beror på ett fel i systemets konstruktion. Modulsystemen, som har ett diffusionstätt skikt på baksidan, påverkar inte fukten i den bakomliggande tegelväggen lika mycket. I förhållande till den exponerade referensytan sänks RF i tegelväggen och i luftspalten bakom systemen då det regnar, vilket kan tolkas som att den gröna väggen skyddar den bakomliggande tegelväggen från direkt nederbörd. Bevattningen visar en påverkan på den bakomliggande tegelväggens RF. Utslaget över en längre period ser bevattningen ut att ha större påverkan än nederbörd på RF-nivåerna. Resultaten visar dock ingen allvarlig påverkan på RF i luftspalterna och i tegelväggen bakom modulsystemen samt i luftspalten bakom ficksystemet. RF i tegelväggen bakom ficksystemet påverkas betydligt mer, något som kan innebära risk för fuktskador.

Av de studerade systemen är modulsystemet med värmeisolering det mest lämpliga, baserat på att RF i tegelväggen bakom detta system är generellt lägre än RF i tegelväggen vid referensytan. Ficksystemet kan fungera om konstruktionen ses över och förbättras. Det kan ha hjälpt att skära av underbevattningsmattan upptill, men det behövs en längre tids mätdata för att säkert kunna säga att RF sjunker till en acceptabel nivå. Eventuellt behöver plywoodskivan bytas ut för bättre resultat. Resultaten visar tydligt att den gröna väggens utformning i hög grad påverkar vilka fuktförhållanden som uppkommer i den bakomliggande konstruktionen. För att få pålitliga resultat är det dock viktigt att mäta rätt – det vill säga att använda rätt mätutrustning, att kalibrera samt att förstå svårigheterna med långtidsmätningar av RF.

8 Referenser

Alcock, I., White, M. P., Wheeler, B. W., Fleming, L. E. & Depledge, M. H. (2014). Longitudinal Effects on Mental Health of Moving to Greener and Less Green Urban Areas. *Environmental Science & Technology* 48(2):1247-1255.

Berto, R. (2005). Exposure to restorative environments helps restore attentional capacity. *Journal of Environmental Psychology* 25(3):249-259.

Blanc, P. (2008). *The Vertical Garden: from nature to the city*. New York: W.W. Norton.

Blanc, P. (2014). *The Vertical Garden – A Scientific and Artistic approach*. (Elektronisk). Tillgänglig:
<<http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/documents>> (2014-03-03).

Bolund, P. & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29(2):293-301.

Boverket (2007). *God bebyggd miljö - fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet 2007*. Tillgänglig:
<http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2008/God_bebyggd_miljo_fordjupad_2007.pdf> (2014-05-28).

Boverket (2013). *Boverkets byggregler - föreskrifter och allmänna råd, BBR (Konsoliderad version)*. Tillgänglig:
<http://www.boverket.se/Global/Lag_o_ratt/Dokument/Boverkets-Forfattningssamling/BBR-konsoliderad-BFS2011-6-tom-BFS2013-14.pdf> (2014-06-10).

Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial - uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur.

Dunnett, N. & Kingsbury, N. (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls*. London: Timber Press, Inc.

ELT Easy Green (2011). *Specification ELT EasyGreen - Living Wall System*. (Elektronisk). Tillgänglig:
<<http://www.eltlivingwalls.com/LinkClick.aspx?fileticket=oC2woJrwYf4%3d&tabid=80>> (2014-05-15).

Fransson, A.-M., Emilsson, T., Mårtensson, L.-M., Rosenlund, H., Månsson, K. & Kronvall, J. (2013). *Movium Fakta #6: Gröna väggar i skandinaviskt klimat*. Movium. SLU Alnarp.

Graham Foundation (2012). *Reconstructing the 'Vegetation-Bearing Architectonic Structure and System (1938)'*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.grahamfoundation.org/grantees/4834-reconstructing-the-vegetation-bearing-architectonic-structure-and-system-1938>> (2014-04-14).

Grahn, P. & Stigsdotter, U. A. (2003). Landscape planning and stress. *Urban Forestry & Urban Greening* 2(1):1-18.

GRHC (Green Roofs for Healthy Cities) (2014a). *About Green Walls*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://greenroofs.org/index.php/about/aboutgreenwalls>> (2014-05-26).

GRHC (Green Roofs for Healthy Cities) (2014b). *Green Walls Benefits*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.greenroofs.org/index.php/about/green-wall-benefits>> (2014-05-29).

GSky (2010). *Pro Wall System (for Exteriors)*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://gsky.com/green-walls/pro/>> (2014-05-19).

GSky (2013). *GSky 2013 Brochure*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://gsky.com/wp-content/uploads/GSky-Brochure-2012-Electronic-Distribution.pdf>> (2014-05-20).

Hagmanns (2014). *Hagmanns Minificka*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.hagmanns.se/userfiles/file/hagmanns%20minificka.pdf>> (2014-05-20).

Hamrin, G. (1996). *Byggteknik: Del B Byggnadsfysik*. Göteborg: Hamrin.

Helsingborgs stad (2013). *Vertikal trädgård på Pumphuset*. (Elektronisk). Tillgänglig: <http://www.helsingborg.se/ImageVaultFiles/id_46062/cf_2/vertikaltradgard_folder_2013_webb.pdf> (2014-03-03).

Hindle, R. L. (2012). A vertical garden: origins of the Vegetation-Bearing Architectonic Structure and System (1938). *Studies in the History of Gardens & Designed Landscapes: An International Quarterly* 32(2):99-110.

Hough, M. (1995). *Cities and Natural Process*. London: Routledge.

Kronvall, J. & Rosenlund, H. (2014). *Hygro-thermal and Energy Related Performance of Vertical Greening on Exterior Walls - A Field Measurement Study*. (Konferenspaper). NSB 2014. Lund.

Lambertini, A. (2007). *Vertical gardens: bringing the city to life*. London: Thames & Hudson.

Mårtensson, L.-M., Emilsson, T. & Fransson, A.-M. Plant Performance in Living Wall Systems in the Scandinavian Climate. *Submitted*.

Naturvårdsverket (2014). *Ett rikt växt- och djurliv*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/16-Ett-rikt-vaxt--och-djurliv/>> (2014-05-21).

Nevander, L. E. & Elmarsson, B. (2006). *Fukthandbok: praktik och teori*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

Ottele, M. (2011). *The green building envelope: vertical greening*. Diss. Delft University of Technology.

Ottele, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M. & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems. *Energy and Buildings* 43(12):3419-3429.

Sandin, K. (2010). *Praktisk byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur.

Sensirion (2011). *Datasheet SHT7x (SHT71, SHT75)*. (Elektronisk). Tillgänglig: <http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokument/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT7x_Datasheet_V5.pdf> (2014-06-02).

Sharp, R. (2010). *6 Things You Need to Know About Green Walls*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.bdcnetwork.com/6-things-you-need-know-about-green-walls>> (2014-05-14).

Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J. & Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Environmental Hazards* 6(1):39-49.

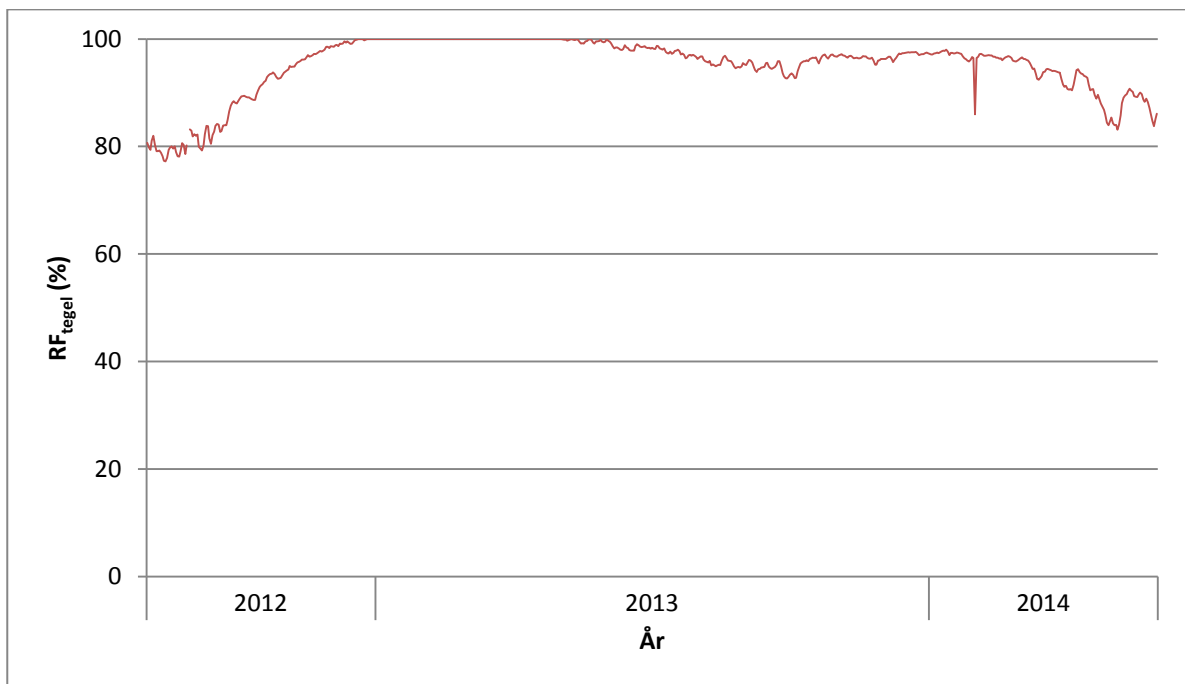
Statistiska centralbyrån (2010). *Förändring av vegetationsgrad och grönytor inom tätorter 2000-2005*. Tillgänglig:
<http://www.scb.se/Statistik/MI/MI0805/2005A01X/MI0805_2005A01X_SM_MI12SM1003.pdf> (2014-05-28).

United Nations (2012). *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision - Highlights*. Tillgänglig:
<http://esa.un.org/unup/pdf/WUP2011_Highlights.pdf> (2014-06-02).

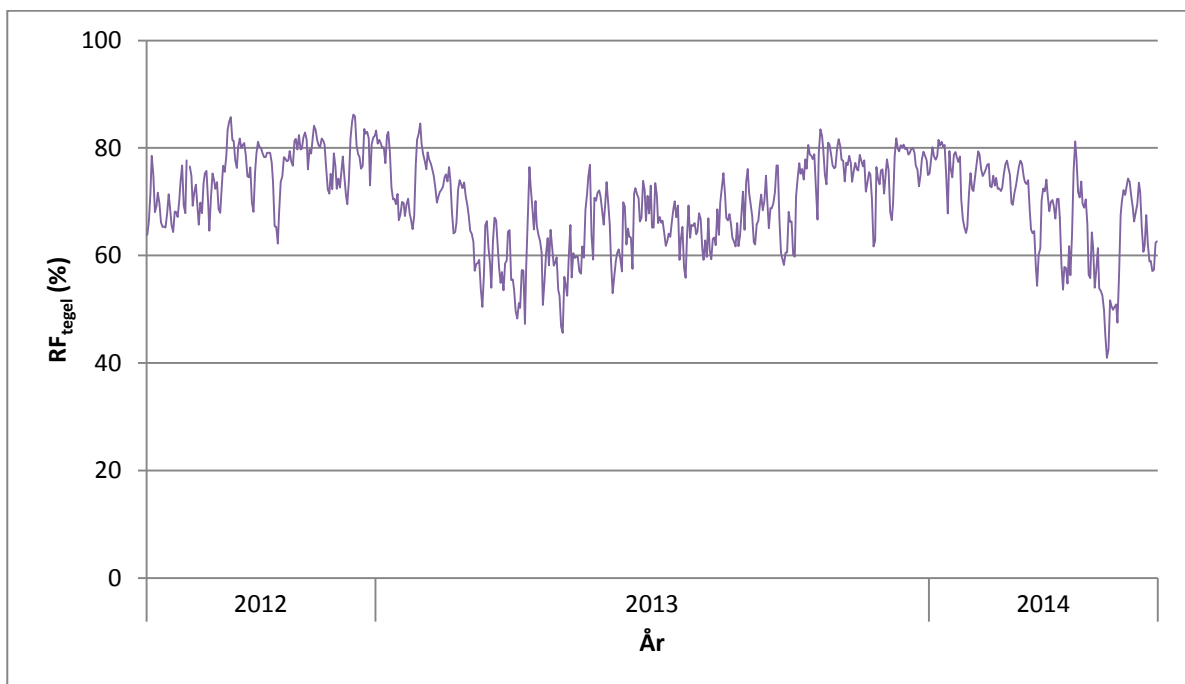
WHO (World Health Organization) (2014). *Urban population growth*. (Elektronisk). Tillgänglig:
<http://www.who.int/gho/urban_health/situation_trends/urban_population_growth_text/en/> (2014-05-21).

ZinCo (2012). *Vertigreen – Facade greening for indoor and outdoor areas*. (Elektronisk). Tillgänglig:
<http://zinco.ca/ZinCo_Brochure_Vertigreen_engl.pdf> (2014-03-20).

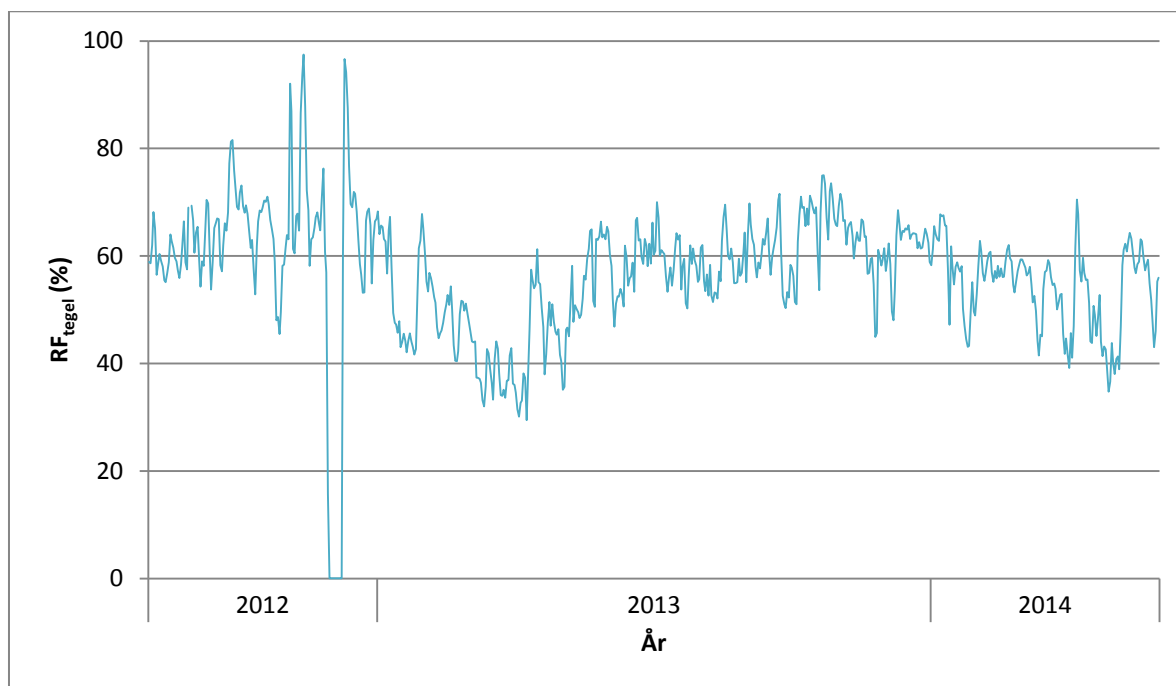
Bilaga A: Relativ fuktighet i tegelväggen



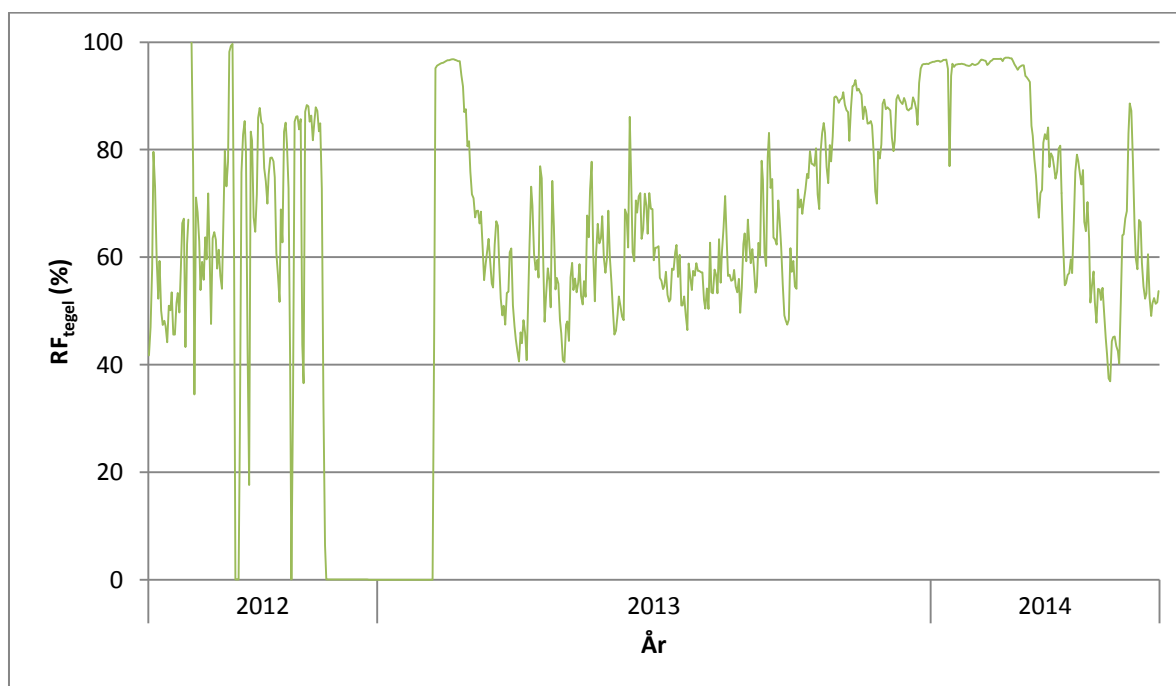
Figur A.1: Relativ fuktighet i tegelväggen bakom ficksystemet, dygnsmedelvärden för hela mätperioden.



Figur A.2: Relativ fuktighet i tegelväggen bakom modulen utan isolering, dygnsmedelvärden för hela mätperioden.

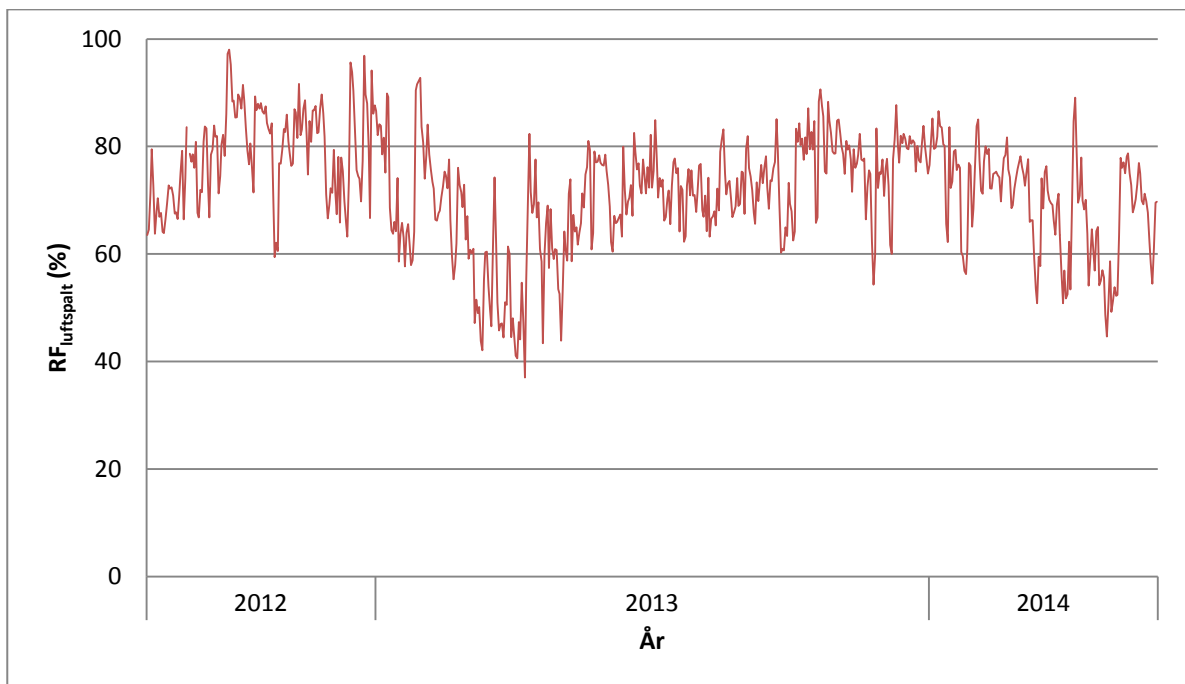


Figur A.3: Relativ fuktighet i tegelväggen bakom modulen med isolering, dygnsmedelvärden för hela mätperioden.

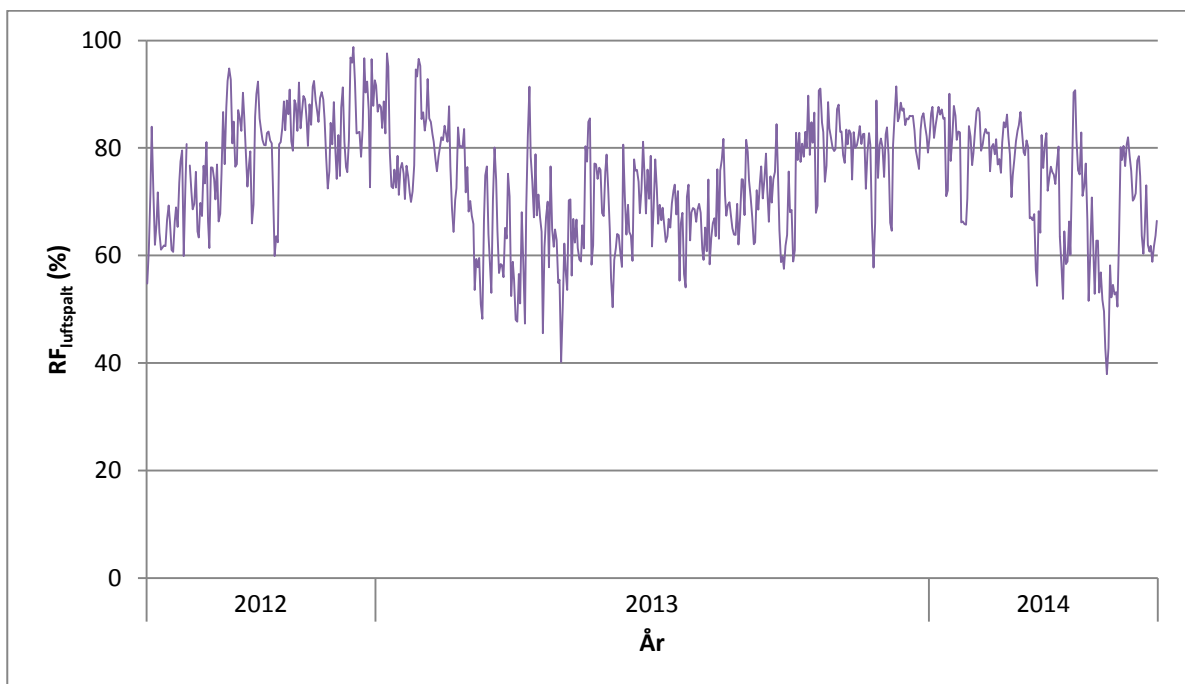


Figur A.4: Relativ fuktighet i tegelväggen vid referensytan, dygnsmedelvärden för hela mätperioden.

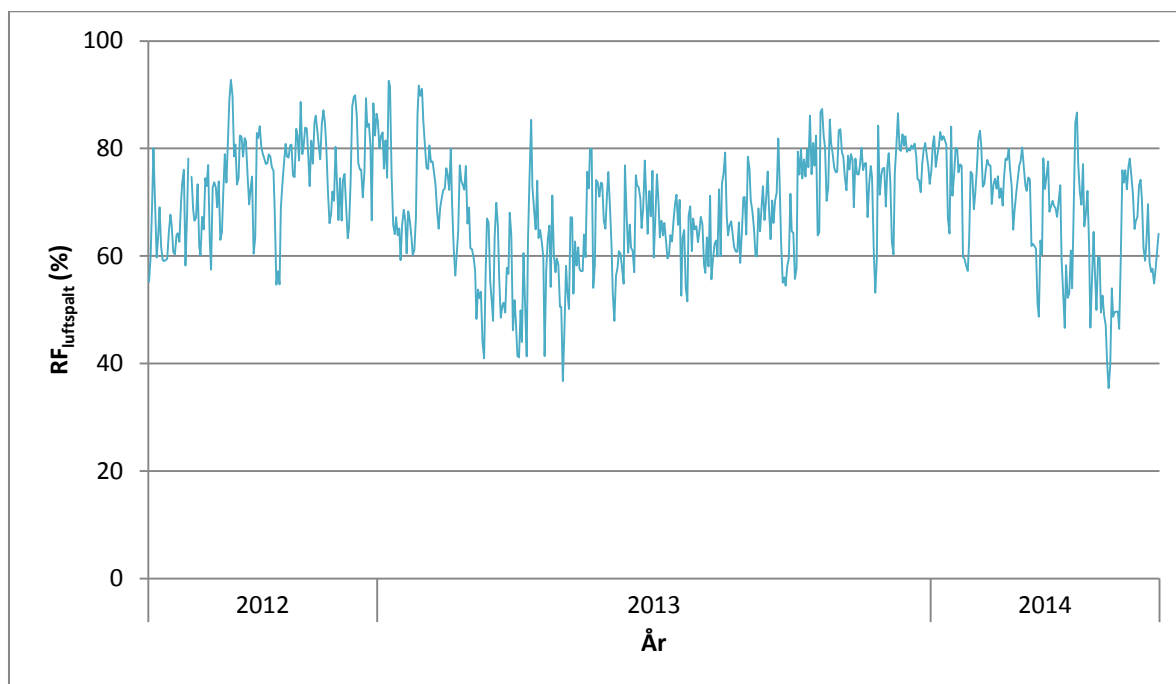
Bilaga B: Relativ fuktighet i luftspalten



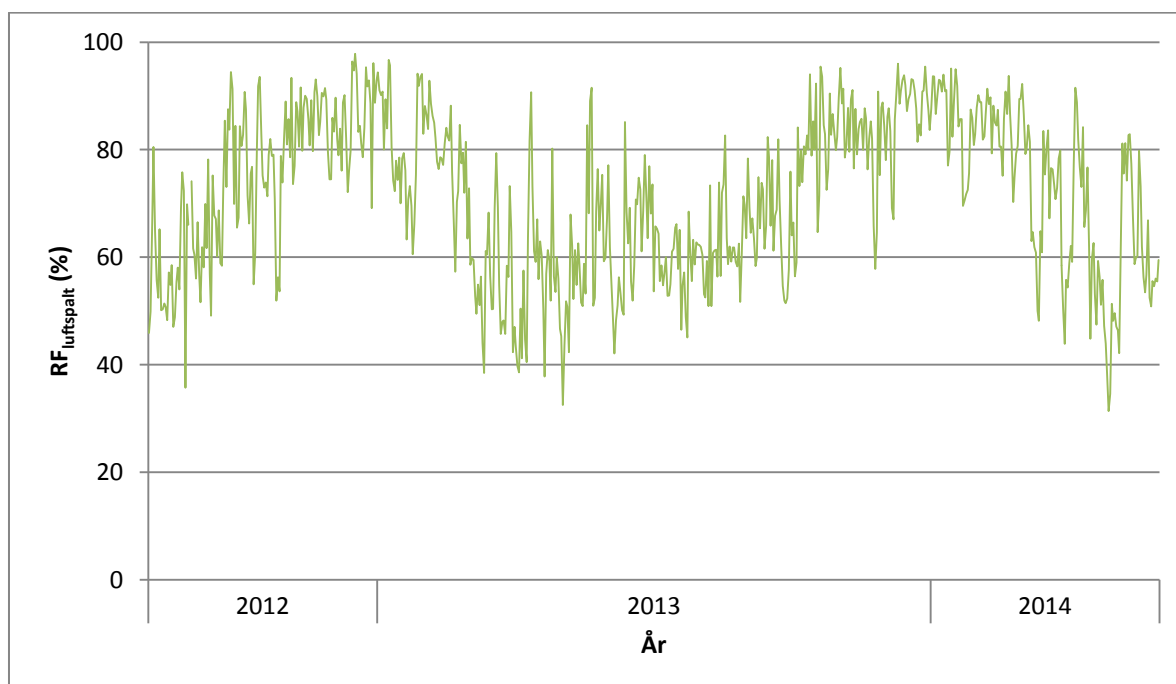
Figur B.1: Relativ fuktighet i luftspalten bakom ficksystemet, dygnsmedelvärden för hela mätperioden.



Figur B.2: Relativ fuktighet i luftspalten bakom modulen utan isolering, dygnsmedelvärden för hela mätperioden.

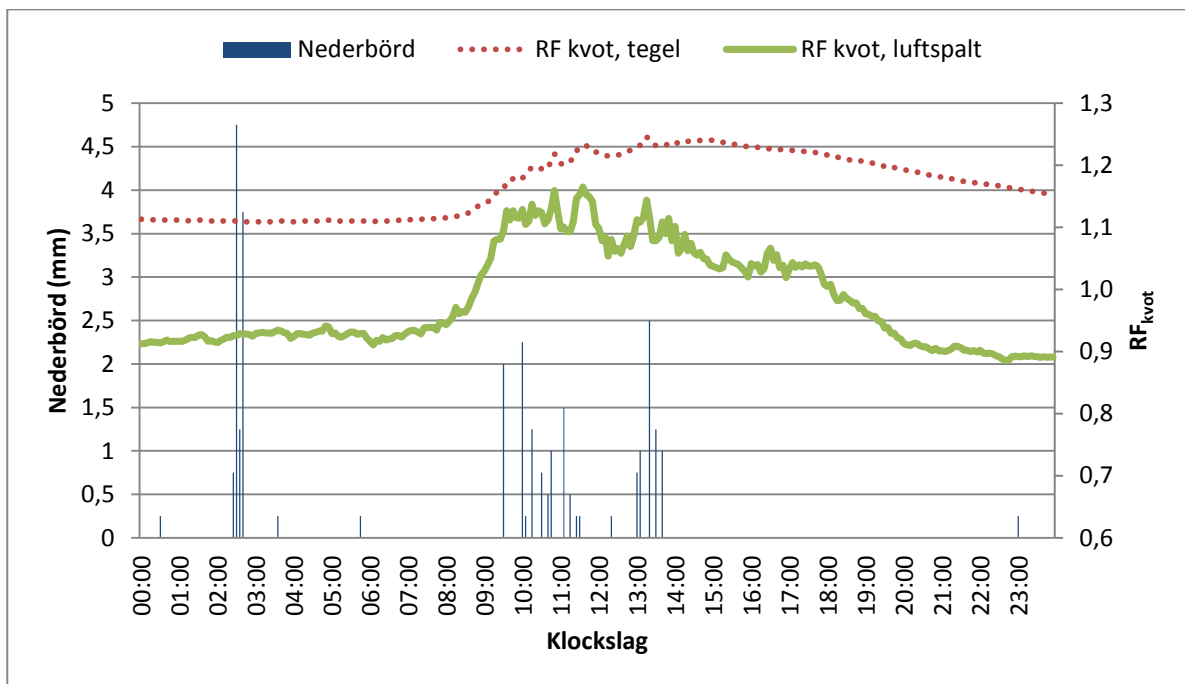


Figur B.3: Relativ fuktighet i luftspalten bakom modulen med isolering, dygnsmedelvärden för hela mätperioden.

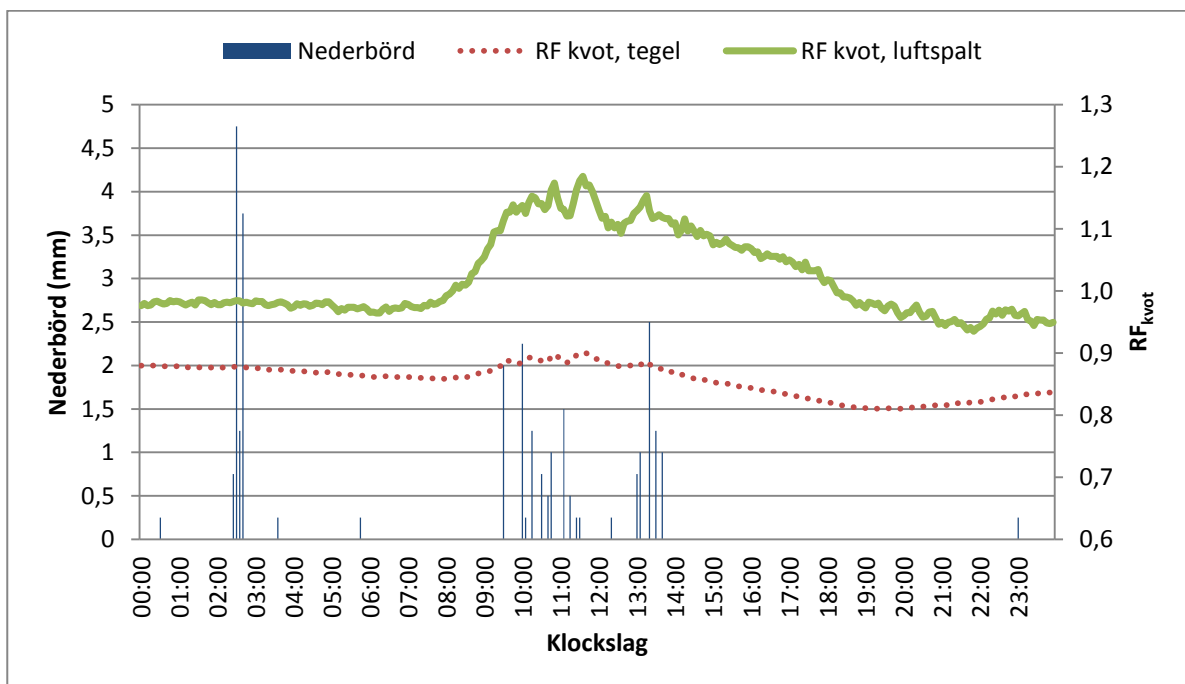


Figur B.4: Relativ fuktighet i luften vid referensytan, dygnsmedelvärden för hela mätperioden.

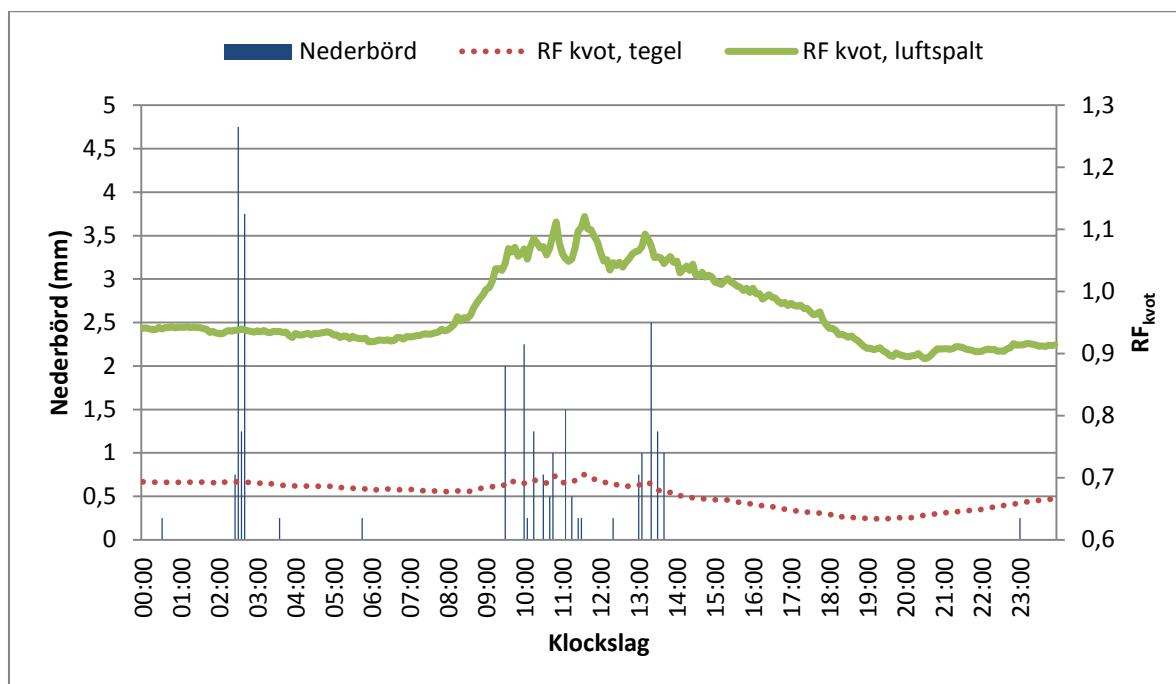
Bilaga C: Påverkan av nederbörd



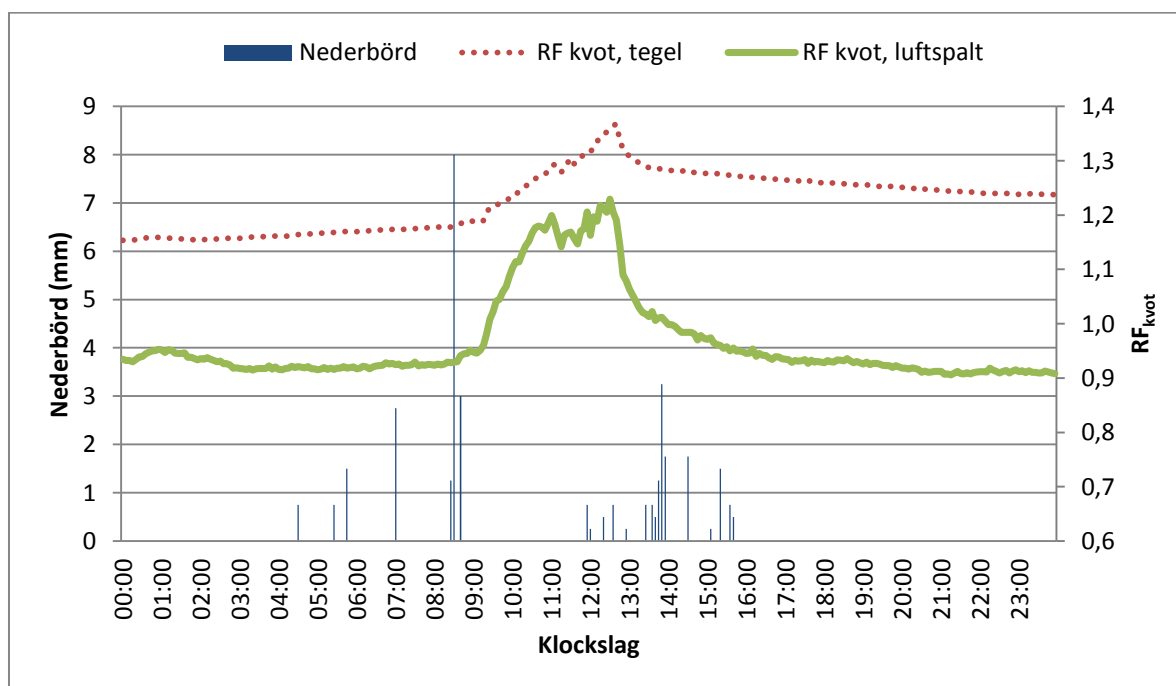
Figur C.1: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för systemet med fickor under ett dygn, den 17 mars 2014.



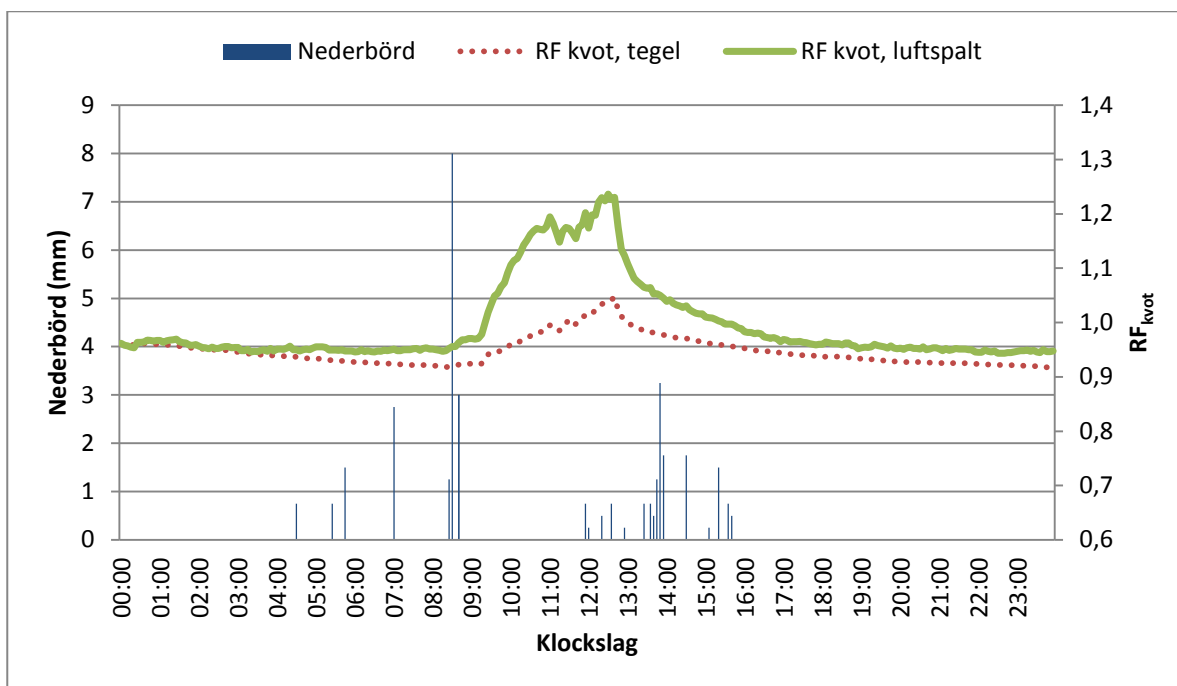
Figur C.2: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen utan isolering under ett dygn, den 17 mars 2014.



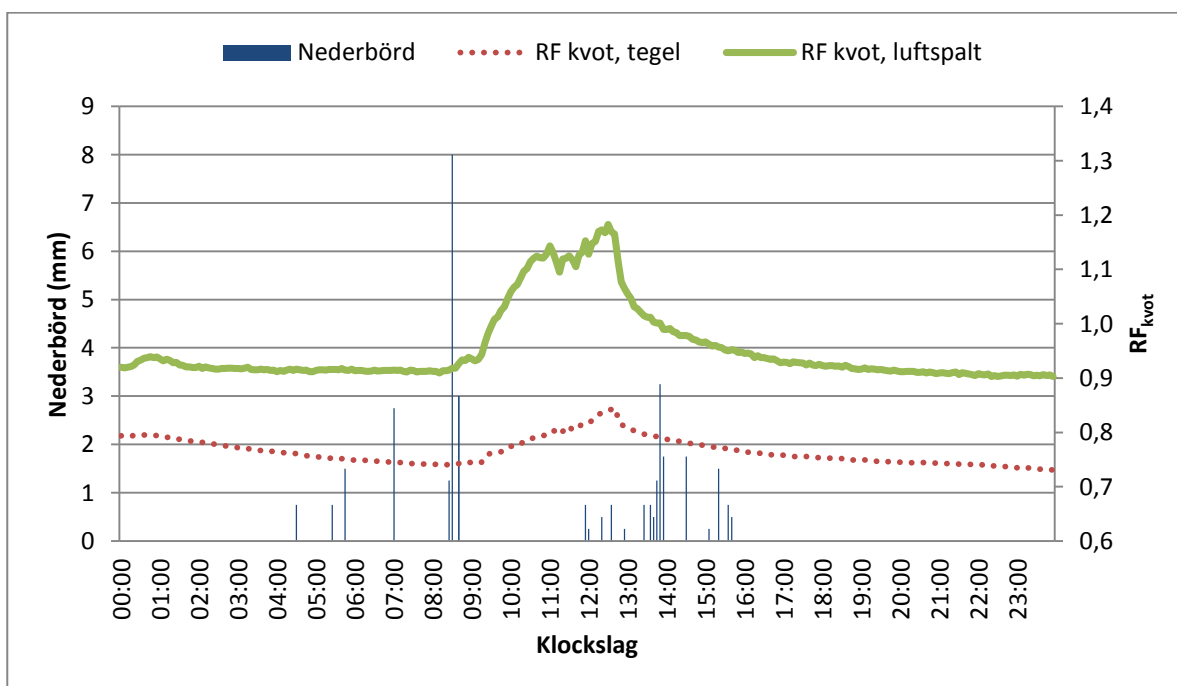
Figur C.3: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen med isolering under ett dygn, den 17 mars 2014.



Figur C.4: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för systemet med fickor under ett dygn, den 28 november 2013.

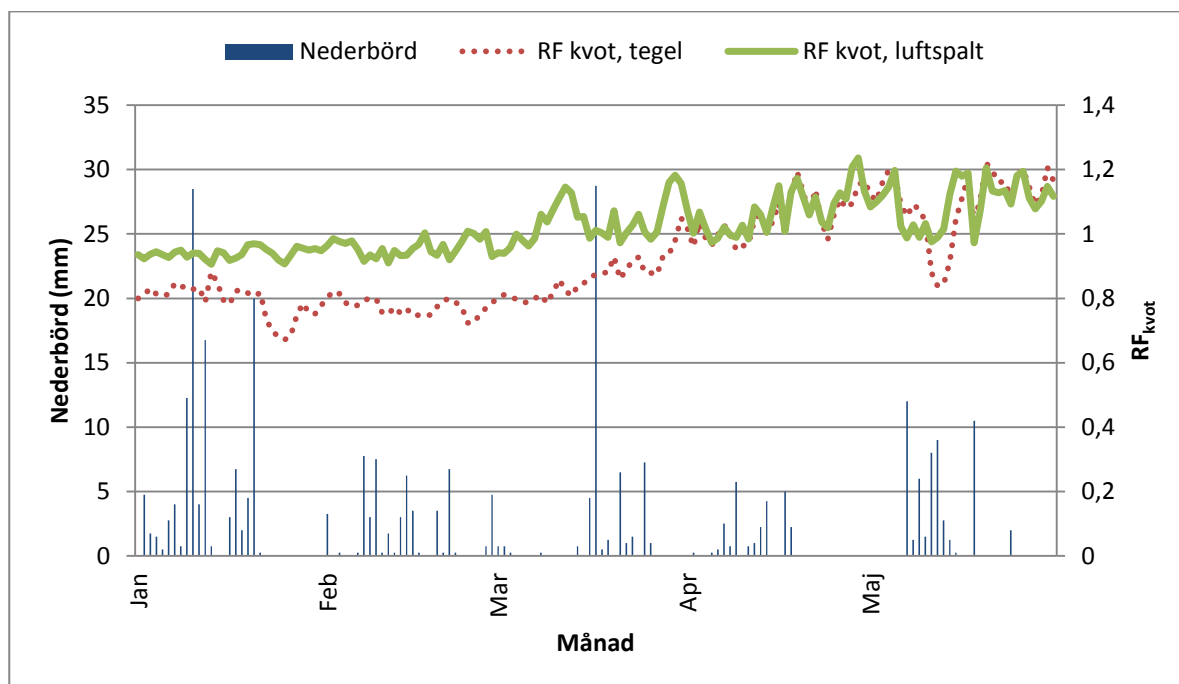


Figur C.5: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen utan isolering under ett dygn, den 28 november 2013.

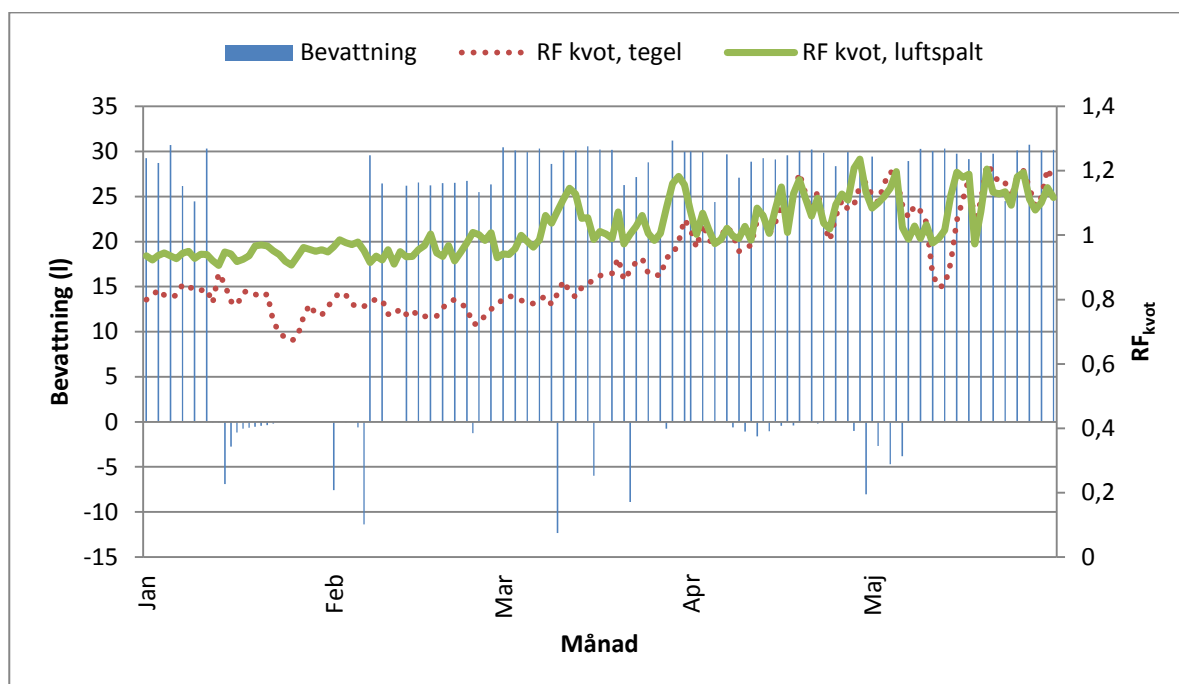


Figur C.6: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen med isolering under ett dygn, den 28 november 2013.

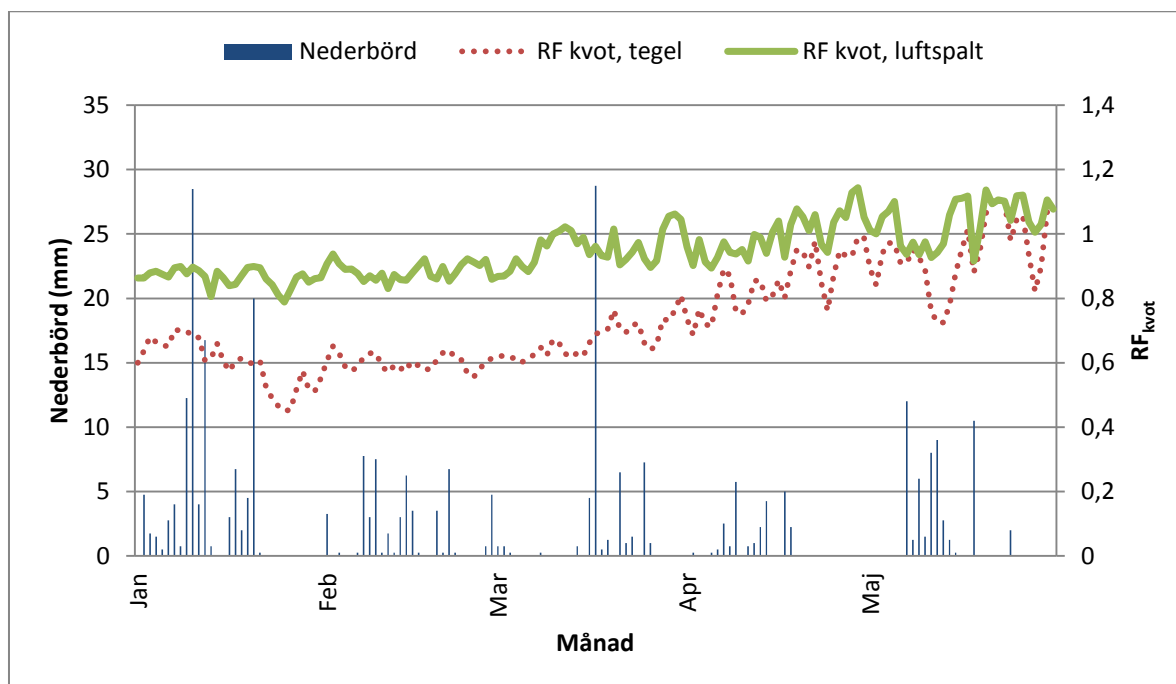
Bilaga D: Påverkan av bevattning



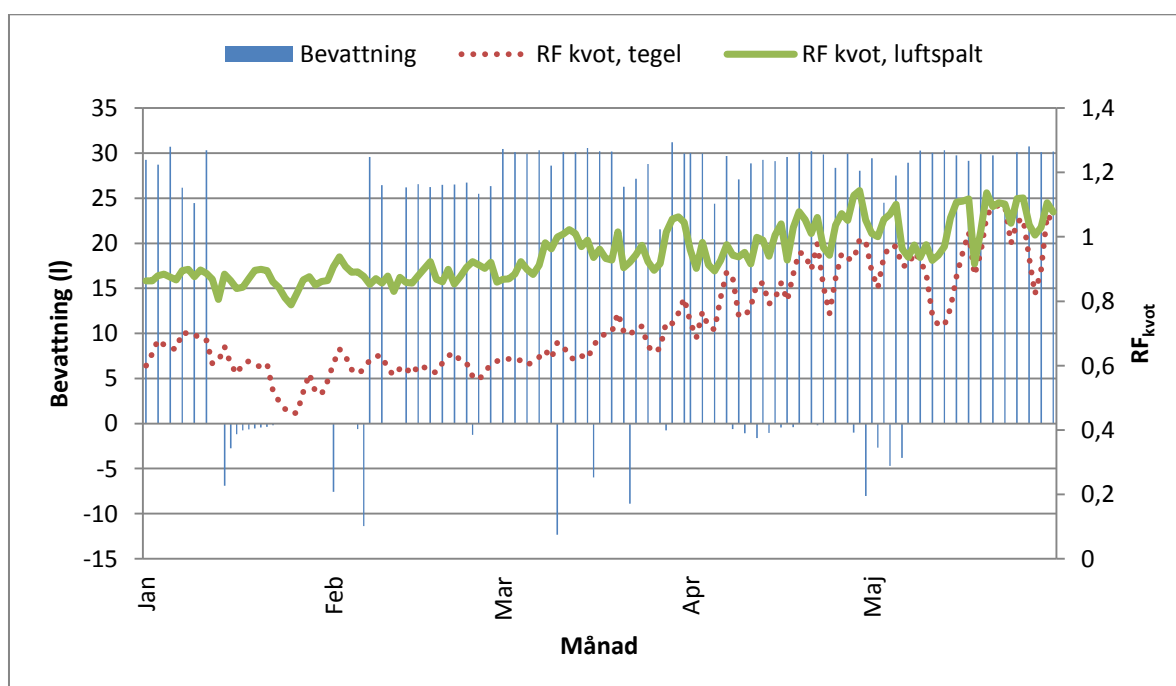
Figur D.1: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen utan isolering under perioden januari-maj 2014.



Figur D.2: Bevattning samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen utan isolering under perioden januari-maj 2014.

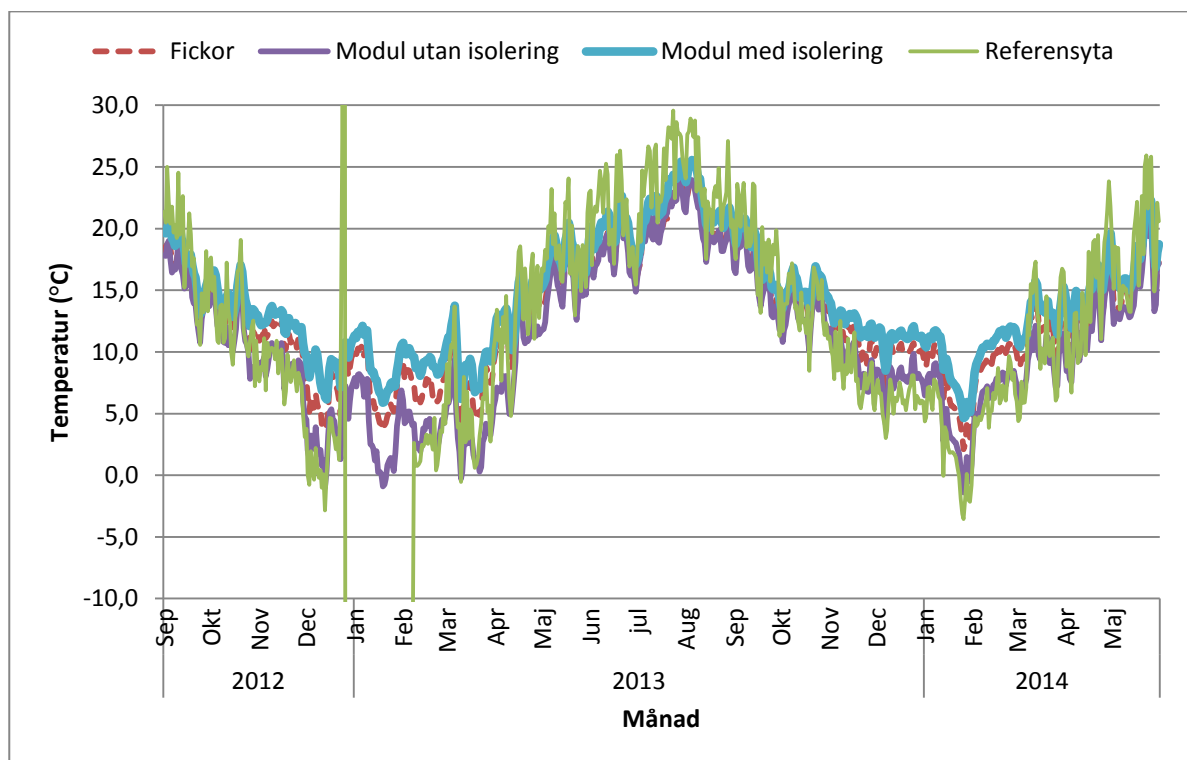


Figur D.3: Nederbörd samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen med isolering under perioden januari-maj 2014.



Figur D.4: Bevattning samt $RF_{kvot,tegel}$ och $RF_{kvot,luftspalt}$ för modulen med isolering under perioden januari-maj 2014.

Bilaga E: Temperatur i tegelväggen



Figur E.1: Dygnsmedelvärden av temperaturen i tegelväggen under hela mätperioden. Extremvärden på -40°C och $+190^{\circ}\text{C}$ förekommer i resultatet men de har skalats bort för bättre läsbarhet.