

Simuleringar av fukttillståndet i väggar isolerade med halmbalar.

- En studie av fukttillståndet i ventilerade samt oventilerade ytterväggar isolerade med halmbalar i ett sydsvenskt klimat.



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete:
Per Jeppsson
David Ramberg

© Copyright Per Jeppsson, David Ramberg

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

Det finns ett växande behov av miljömedvetet byggande. Halmbalshus är potentiellt ett led i denna utveckling. Materialet halm är närproducerat, klimatneutralt samt energieffektivt i brukarfasen. Dock finns det risker med halm som byggnadsmaterial.

Syftet med studien var att undersöka fuktproblematiken i halmbalskonstruktioner, vilket i förlängning innebär att undersöka förutsättningarna för mögeltillväxt. Genom datorgjorda simuleringar i programmet Wärme und Feuchte Instationär (WUFI) undersöktes fuktillståndet och temperatur i ventilerade, samt oventilerade halmbalsytterväggar i ett skånskt klimat. Det övergripande syftet har varit att undersöka om det finns konstruktioner som ej påvisar risk för mögeltillväxt.

Det gjordes en litteraturgenomgång för att inhämta kunskap om halmbalsbyggande samt mögel. Tidigt i arbetets gång insågs behovet att utföra en parameterstudie. Studien behövdes för att få klarhet över de påverkande parametrarna för dels halmbalar men även konstruktions- och noggrannhetsparametrar. Tillvägagångssättet för parameterstudien var att simulera ett spann av värden för att sedan analysera dess inverkan. För att undersöka benägenheten för mögeltillväxt användes tre olika mögelmodeller, Isopleth-, Folos 2D-, samt Mould Resistance Design (MRD)-modellen.

För simulering av konstruktionslösningar valdes 3 stycken oventilerade samt 3 stycken ventilerade konstruktioner. Valet av konstruktionslösningar gjordes utifrån vanligt förekommande halmbalskonstruktioner, men även okonventionella lösningar.

Studien visar på att vanligt förekommande halmbalskonstruktioner har stor risk för mögeltillväxt. Ventilerade, icke vanligt förekommande halmbalskonstruktioner har mindre risk för mögeltillväxt.

Nyckelord: Halmbal, WUFI, mögel, mögelmodeller, parametrar, oventilerad, ventilerad, RF, temperatur

Abstract

There is a growing need for climate conscious constructions. Straw bale buildings are potentially a step in this direction. The material straw is locally produced, carbon neutral with good energy efficiency. However, there are risks with straw as a building material.

The purpose of this study was to investigate the moisture problem in straw bale constructions, which also means to investigate the conditions for mould growth. Through computer simulations in the software WUFI the moisture level and temperature in vented and unvented exterior straw bale walls was examined in a Scania climate. The primary objective was to investigate whether there are constructions that have no risk for mould growth.

A literature review was made to gain knowledge of straw bale constructions and mould. Early on in the study it was apparent of the need to execute a parametric study. The study was needed to ascertain the most sensitive parameters for straw bales and also design- and accuracy parameters. The approach of the parameter study was to simulate a range of values and then analyze their effect. To examine the susceptibility for mould growth, three different mould models were used: Isopleth-, Folos 2D- and Mould Resistance Design (MRD)-model.

For the simulation of design solutions, 3 vented and 3 unvented constructions were used. The choice of design solutions was based on common straw bale constructions, but also unconventional solutions.

The study shows that common design solutions of straw bale constructions are likely to have a risk for mould growth. Ventilated, infrequently used straw bale constructions have less risk for mould growth.

Keywords: Straw bale, WUFI, mould, mould models, parameters, unvented, vented, relative humidity, temperature

Förord

Det här examensarbetet har utförts på institutionen för byggt teknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola (LTH). Studien är skrivet för LTH utan inblandning av utomstående företag eller förening. Examensarbetet är den avslutande delen för högskoleingenjörsutbildningen Byggt teknik med Arkitektur på Campus Helsingborg.Handledare för studien har varit Petter Wallentén som vi speciellt vill tacka för att ha givit oss goda råd vid diskussioner om fuktproblematik. Ett tack till Erik Jeppsson för utbildning av Matrix Laboratory (MATLAB) samt Louise Larsson, Johannes Jeppsson och Eva Ekström för korrekturläsning. Arkitekt Lillemor Husberg tackas för sin gästvänlighet under ett besök i hennes halmbalshus. Vi vill även tacka alla underbara bibliotekarier på en mängd olika institutioner för deras gedigna arbete. Båda medverkande har varit lika delaktiga av alla moment under studiens gång.

Lund, maj 2014

Per Jeppsson & David Ramberg

Preface

This bachelor thesis has been conducted on the institution for civil engineering at Lund Faculty of Engineering, LTH. The thesis is written for LTH without the involvement of outside companies or association. The thesis is the final part of the bachelors degree of civil engineering at Campus Helsingborg. The thesis was supervised by senior lecturer Petter Wallentén who has given us sound advice in discussion regarding hygrothermal issues. Thank you to Erik Jeppsson for teaching us Matrix Laboratory (MATLAB), Louise Larsson, Johannes Jeppsson and Eva Ekström for proofreading. Thank you also goes to architect Lillemor Husberg who welcomed us in her straw bale house. We want to give a special thank you to all wonderful librarians at a wide variety of institutions for their fantastic work. Both of the authors have been similarly involved with all parts of the thesis.

Lund, May 2014

Per Jeppsson & David Ramberg

Nomenklatur

1D	1 Dimension
2D	2 Dimensioner
Hygrotermik	Innefattar både temperatur- och fukttillstånd
IBP	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
LIM	Lowest Isopleth for Mould
LTH	Lunds Tekniska Högskola
MATLAB	Matrix Laboratory
MRD	Mould Resitance Design
RF	Relativ Luftfuktighet
SP	Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
WUFI	Wärme und Feuchte Instationär

Innehållsförteckning

1 Inledning	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte	2
1.3 Metod	2
1.3.1 Litteraturstudie	2
1.3.2 Parameterstudie.....	3
1.3.3 Konstruktionsval.....	3
1.3.4 Case Study	3
1.4 Avgränsning	3
2 Halmbalar som byggnadsmaterial	4
2.1 Bakgrund	4
2.2 Råmaterial	5
2.3 Energi	6
2.4 Ljudreduktion	6
2.5 Konstruktioner	7
2.5.1 Självbärande halmbalsvägg.....	7
2.5.2 Träregelevägg isolerad med halm	8
2.6 Risker	9
2.6.1 Allmänt	9
2.6.2 Bärighet.....	9
2.6.3 Brand	9
2.6.4 Ohyra	10
2.6.5 Fukt.....	11
2.6.5.1 <i>Mikrobiologisk påväxt</i>	11
2.6.5.2 <i>Mögelarter</i>	11
2.6.5.3 <i>Kritisk temperatur och RF för halm</i>	12
2.6.5.4 <i>Putsade enstegstätade fasader</i>	12
3 Teori	14
3.1 Mögelmodeller	14
3.1.1 Bakgrund.....	14
3.1.2 Isopleth-modellen.....	14
3.1.3 Folos 2D.....	18
3.1.4 Utvärderingsskala för mögeltillväxt	19
3.1.5 Mould Resistance Design-modellen	19
3.2 Hantering av mögelmodeller	22
3.2.1 Isopleth-modellen.....	22
3.2.2 Folos 2D.....	22
3.2.3 MRD-modellen	22
3.3 WUFI	23
3.3.1 Allmänt	23

4	Identifiering av parametrar	26
4.1	Bakgrund	26
4.2	Metod	26
4.3	Parametrar för material	26
4.3.1	Materialparametrar för halmbalar	26
4.3.1.1	<i>Tjocklek</i>	26
4.3.1.2	<i>Skrymdensitet</i>	26
4.3.1.3	<i>Kompaktdensitet</i>	27
4.3.1.4	<i>Porositet</i>	27
4.3.1.5	<i>Specifik värmekapacitet</i>	27
4.3.1.6	<i>Värmeledningsförmåga</i>	27
4.3.1.7	<i>Fuktberoende värmeledning</i>	28
4.3.1.8	<i>Diffusionsmotstånd</i>	28
4.3.1.9	<i>Referens vatteninnehåll</i>	28
4.3.1.10	<i>Fri vattenmängd</i>	29
4.3.1.11	<i>Vattenabsorptionskoefficient</i>	29
4.3.1.12	<i>Byggfukt</i>	30
4.3.2	Parametervärden för övriga material	30
4.4	Konstruktionsparametrar	30
4.4.1	Luftomsättningar.....	30
4.4.2	Vindberoende	30
4.4.3	Sd-värde (in- och utsidan)	30
4.4.4	Absorption för kortvågig strålning	30
4.4.5	Emittans för långvågig strålning	31
4.4.6	Explicit strålningsbalans	31
4.4.7	Terräng kortvågig reflektionsförmåga (Albedo)	31
4.4.8	Absorptionstal för regnvatten på fasad.....	31
4.4.9	Begynnelsefuktighet i byggnadsdel	31
4.4.10	Läckage	31
4.5	Noggrannhetsparametrar	31
4.5.1	Tidssteg	31
4.5.2	Ökad noggrannhet & konvergensförbättring	32
4.5.3	Gitter.....	32
4.6	Övriga parametrar	32
4.6.1	Datum och tider	32
4.6.2	Orientering.....	32
4.7	Klimat utomhus	32
4.7.1	Val av ort	32
4.7.2	Klimatdata	32
4.7.2.1	<i>Klimatdata medelvärde</i>	32
4.7.2.2	<i>Klimatdata ej medelvärde</i>	32
4.7.3	Begynnelsestemperatur i byggnadsdel	33
4.7.4	Nederbörd	33

4.7.4.1 Slagregn	33
4.8 Klimat inomhus.....	33
4.8.1 Klimatdata inomhus	33
4.8.2 Fuktklass.....	33
4.9 Grovanalys av parametrar	34
4.9.1 Metod.....	34
4.9.2 Data från simulering.....	35
4.9.2.1 Oventilerad konstruktion.....	35
4.9.2.2 Ventilerad konstruktion.....	36
4.9.3 Resultat av grovanalys.....	36
4.9.3.1 Skrymdensitet.....	37
4.9.3.2 Värmeledningsförmåga	39
4.9.3.3 Diffusionsmotstånd.....	41
4.9.3.4 Vattenabsorptionskoefficient	43
4.9.3.5 Byggfukt	45
4.9.3.6 Absorptionstal för kortvågig strålning	47
4.9.3.7 Absorptionstal för regnvatten på fasad.....	49
4.9.3.8 Utvändigt läckage.....	51
4.9.3.9 Orientering Norr/Söder.....	52
4.9.3.10 Luftomsättningar.....	54
4.9.3.11 Gitter.....	54
4.9.3.12 Tidssteg.....	54
4.10 Djupanalys av parametrar.....	55
4.10.1 Bakgrund och tillvägagångssätt	55
4.10.2 Parametrar att simulera	55
4.10.2.1 Typisk byggfukt	55
4.10.2.2 Absorptionsfaktor för kortvågig strålning	55
4.10.2.3 Absorptionstal för regnvatten	55
4.10.2.4 Vattenabsorptionskoefficient	55
4.11 Resultat av djupanalys.....	56
4.11.1 Bakgrund.....	56
4.11.2 Parametrar	56
4.11.2.1 Typisk byggfukt	56
4.11.2.2 Absorptionsfaktor för kortvågig strålning	59
4.11.2.3 Absorptionstal för regnvatten	61
4.11.2.4 Vattenabsorptionskoefficient	63
4.12 Bestämning av parametrar	66
5 Konstruktioner	68
5.1 Bakgrund.....	68
5.2 Metod	68
5.3 Konstruktionslösningar.....	69
5.3.1 Oventilerad fasad.....	69
5.3.1.1 Konstruktion 1	69

5.3.1.2	<i>Konstruktion 2</i>	70
5.3.1.3	<i>Konstruktion 3</i>	70
5.3.2	Ventilerad fasad	71
5.3.2.1	<i>Konstruktion 1</i>	71
5.3.2.2	<i>Konstruktion 2</i>	71
5.3.2.3	<i>Konstruktion 3</i>	72
5.4	Resultat och analys	72
5.4.1	Oventilerade konstruktioner	72
5.4.1.1	<i>Konstruktion 1</i>	72
5.4.1.2	<i>Konstruktion 2</i>	75
5.4.1.3	<i>Konstruktion 3</i>	78
5.4.2	Ventilerade konstruktioner	81
5.4.2.1	<i>Konstruktion 1</i>	81
5.4.2.2	<i>Konstruktion 2</i>	84
5.4.2.3	<i>Konstruktion 3</i>	87
5.5	Kontroll på inverkan av mineralull	90
6	Case study	92
6.1	Äppellunden	92
6.2	Storkeboda	97
6.3	Kyotango	99
6.4	Övriga	101
7	Felanalys	102
8	Diskussion	104
9	Slutsats	108
10	Referenser	110
11	Bilagor	116
11.1	Materialdata för simulering	116
11.2	Suktion och omdistribution genererad av WUFI	117
11.3	Monitorpositioner under simuleringar	120
11.4	Differenser i RF mellan simulerade RF och kritiska RF	123
11.5	Övriga grafer	127

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Då behoven på energieffektiva och klimatneutrala byggnader ökar ställs kraven på byggbranschen att finna nya, effektiva lösningar i bl.a. materialval samt transportval (Finnveden & Toller 2011; Regeringskansliet 2012). Idag används i stor utsträckning konventionella material i byggnader som kräver olika stora energiresurser i tillverknings-, transport-, och brukarfasen. Målet är att minska energiåtgången för samtliga faser för att bidra med en bättre miljö. Om möjligt skulle det vara klokt att använda ett lokalproducerat material som kräver kortare transportsträckor och som påvisat kräver en låg energiåtgång i brukarfasen.

1.2 Syfte

Syftet med den här studien är att genom datorsimuleringar analysera fuktillståndet i ytterväggar isolerade med halmbalar som är ventilerade samt oventilerade, i ett sydsvenskt klimat. Det övergripande syftet har varit att undersöka om det går att bygga säkert ur fuktsynpunkt med halmbalar som isolerande material.

1.3 Metod

Fuktillståndet i en halmbalsvägg i ett skånskt klimat är okänt och då studien tar sin plats i Lund väljs därför stadens klimat som påverkande faktor. I förlängning innebär fuktstudier att den mikrobiologiska tillväxten undersöks. Byggare av halmbalshus har en tradition av att endast använda material som är naturliga och organiska. Den här studien kommer att ta upp de traditionella metoderna men vill även undersöka konstruktionslösningar med inblandning av icke naturliga material. Studien byggs upp av flera delmål. Målen krävdes för att få ett systematiskt arbetssätt då studien kom att bli uppdelat i flera olika stadier.

1.3.1 Litteraturstudie

För att få en uppfattning av tidigare byggande med halmbalar och påverkande faktorer gjordes en litteraturstudie i ämnet. Bland huvudämnena ingick historia, byggteknik, risker och mögelmodeller. Då studien krävde väderpåverkande simuleringar gjordes även en ingående studie av den mjukvara (WUFI) som kom att användas i studien. Litteraturstudien har löpt parallellt genom hela studien.

1.3.2 Parameterstudie

För att kunna simulera halmbalkkonstruktioner var det essentiellt att först undersöka vilka parametrar som används för halmbalkkonstruktioner. Parameterstudien krävde simuleringar för att kunna bestämma parametrarna. När parametrarna bestämts sattes de in i detaljerade simuleringar av konstruktioner.

1.3.3 Konstruktionsval

Studien går ut på att undersöka om det går att bygga halmbalsväggar som är fuktsäkra. Konstruktioner som var ventilerade samt oventilerade byggdes upp i WUFI i olika variationer.

1.3.4 Case Study

För att få en jämförelse mellan simulerad konstruktioner och verkliga halmbalkkonstruktioner gjordes ett antal case studies, vilka gjordes genom litteraturstudier, korrespondens och studiebesök.

1.4 Avgränsning

För att förenkla arbetsgången gjordes vissa begränsningar. Förenklingen var nödvändig då studien annars ej skulle hunnit klargöras i tid:

1. Energiberäkningar bortses.
2. Last- och hållbarhetsberäkningar bortses.
3. Bullerberäkningar bortses.
4. Undersökningar av lufttäthet bortses från.
5. Konstruktionerna som används ses som enhetliga skikt i en dimension.
6. Inga laborietester eller fältexperiment utfördes under studien.
7. Vi antar ett perfekt byggnadsutförande samt tar ej hänsyn till punkt-köldbryggor såsom spik, skruv, anslutningar etc.
8. Vi antar att byggnaden som halmbalsytterväggen tillhör är i bruk året runt, och antar även en konstant inomhustemperatur.
9. Den klimatdata som finns i programvaran, samt tillhandahållen klimatdata anses vara korrekt. Inga försök till att identifiera felkällor eller felaktig mätdata gjordes.
10. Under hela studiens gång har värden valts för halmbalar av vete.

2 Halmbalar som byggnadsmaterial

2.1 Bakgrund

Människor har sedan slutet på 1800-talet byggt med halmbalar som isolerande material. Än idag finns det stående byggnader i USA som byggdes för nästan hundra år sedan (Kay, Anthone, Kay & Hugly 1990). Trots sin ålder är halmbalar som byggnadsmaterial litet utforskad och byggtekniken har inte utvecklats nämnvärt. Det ses fortfarande som ett alternativt byggande. Halm som byggnadsmaterial har många fördelar. Halm har goda värme- och ljudisolerande egenskaper (Deverell, Goodhew, Griffiths & de Wilde 2009; Nationalencyklopedin 2014a, 2014b; Pruteanu 2010). Halmbalhus kan byggas upp med balarna som de bärande elementen, d.v.s. att inga pelare eller regler behöver användas av något annat material (King 2003). Halm är en växt som får sin näring genom fotosyntes och blir därmed ett naturligt förnyelsebart material. Halm är ett organiskt material som är en restprodukt från odling av havre, vete, korn och råg. Halmen packas traditionellt ihop på åkern i balar formade som rätblock, alternativt i stora cylinderformade balar (se Figur 1) (Magwood & Mack 2000).

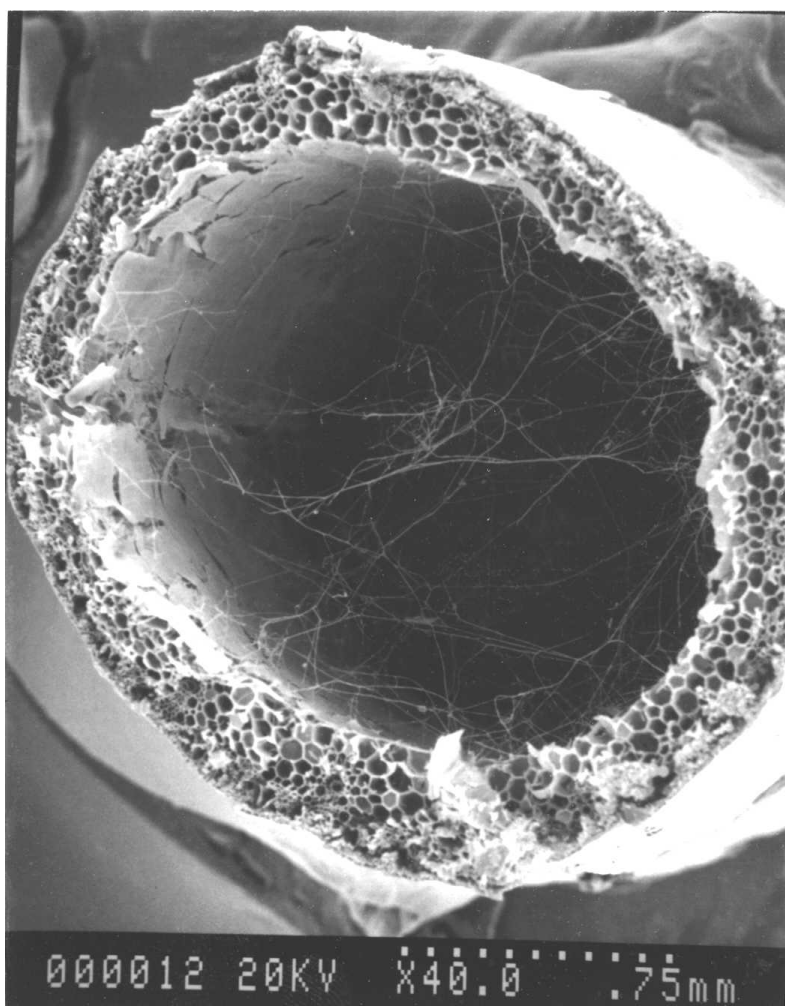


Figur 1: Rätblocksformad halmbal på åker (Strawfield 2014).

Halmen bränns ofta upp på åkern eller i värmeverk (Nationalencyklopedin 2014c). Den används även som ensilage eller bäddmaterial för hästar. Då det finns begränsad användning för halmen är det ett relativt billigt material (Bukefalos 2007; Blocket 2014). Då halm är ett organiskt material har halmen mycket lätt för att börja mögla vid ogynnsam relativ fuktighet (RF) och temperatur (Ashour 2003). När halm förverkat sin livslängd kan materialet komposteras. Produktionen av halmbalar är en process som kräver liten energiåtgång, främst då halm är ett lokalproducerat material som är lättillgängligt. Transportsträckan till byggsplatsen blir då kort (Nilsson 1999).

2.2 Råmaterial

Sädesslag tillhör familjen *Poaceae* och är därför enhjärtbladiga växter. I produktionen av halmbalar är det stammen av de olika sädesslagen som används. Sädens stam är ihålig och avbryts vid intervaller av noder. Stammens struktur är uppbyggt av ledningsvävnader utspridda i stödvävnad och bär axen som innehåller de fröerna som sädesslagen främst odlas för. Stammen transporterar näring och vatten genom ledningsvävnaden. Strukturen på strået mellan de olika sädesslagen skiljer sig inte särskilt markant åt. Ihåligheten i stammen för vete har en diameter på några millimeter (Maiti, Satya, Rajkumar & Ramaswamy 2012) (se Figur 2).



Figur 2: Bilden visaren mikroskopisk bild på stammen av halm (Straw Stem 2007).

Sädesslagen har en flertusenårig odlingshistoria. De är de viktigaste grödorna på jorden och står för en stor del av basfödan för miljontals människor (INPhO 2014; LRF 2014). I Sverige upptar spannmålsodling 984 490 ha, vilket innebär att det produceras en stor mängd halm som biprodukt då syftet med odlingen är att skörda de näringsrika fröerna (Jordbruksverket 2012, 2013). En studie av Bernesson & Nilsson (2009) visar på en god tillgång på halm i Skåne (se Tabell 1). Även då oljeväxter t.ex. raps räknas med så ger det en bild över

de stora mängder spannmålshalm som finns att tillgå (Bernesson & Nilsson 2009). I Jordbruksverkets statistik kan man avläsa att det i Skåne län finns cirka 210 000 hektar spannmål vilket enligt Tabell 1 skulle innebära att cirka 35 000 hektar är oljeväxter (Jordbruksverket 2012). Detta innebär att nettotillgångarna av spannmålshalm är extremt goda.

Län	Areal spannmål och oljeväxter (ha)	Fysiska halmtillgångar (ton)	Halmtillgångar med hänsyn till bärgningskoefficient (ton)	Halmanvändning inom djurhållningen (ton)	Nettotillgångar av halm (ton)
Skåne	245 100	772 600	540 400	232 300	308 100
Östergötlands	102 600	323 000	233 000	106 800	126 100
V. Götalands	220 100	543 400	374 000	259 700	114 400
Uppsala	87 200	220 400	147 100	46 000	101 100
Västmanlands	64 600	149 800	97 500	33 200	64 300
Södermanlands	61 100	158 600	110 600	51 700	58 900
Örebro	53 800	134 100	88 200	42 700	45 500
Stockholms	35 900	86 400	60 000	48 200	11 700
Summa					830 000

Tabell 1: Tabellen visar på beräknade halmtillgång i län med halmöverskott (ton halm med 18% vattenhalt (våt bas) (Bernesson & Nilsson 2009).

2.3 Energi

Ur energisynpunkt är halmbalsväggar ett bra material. Enligt Bernesson & Nilsson (2009) är halm koldioxid-neutralt vid förbränning som i förlängning innebär att det troligtvis är klimat-positivt vid användning. Vid förbränning av halmen upptar nästkommande års skörd den förbrända koldioxiden. Vad som framför allt talar för halm som byggnadsmaterial är att det är ett isolerande material. Mätningar visar på varierande lambdavärden i ett spann av 0,033-0,099 W/m²K beroende på vilket sädeslag samt densitet som testades (Ashour 2003; Ashour, Georg & Wu 2011; Pruteanu 2010; Danielewicz, Fitz, Hofbauer, Klatecki, Krick, Krueger, Krus, Minke, Otto, Scharmer & Teuber, 2008). Halmbalarnas dimension gör att det totala värmegenomgångsmotståndet blir likvärdigt med konventionella isoleringsmaterial (Ashour 2003).

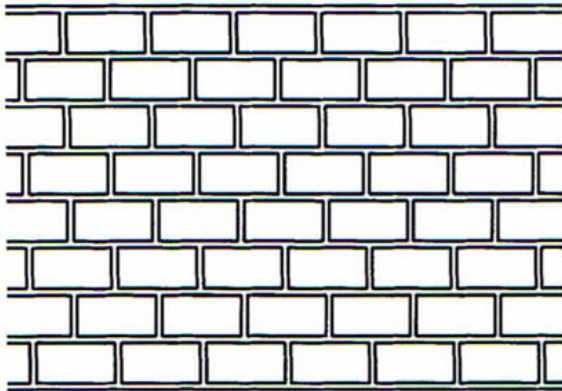
2.4 Ljudreduktion

Enligt Wall, Walker, Gross, White & Mander (2011) har en halmbalsvägg en ljudreducerande effekt på 48 dB, som enligt Isover (2014) ger en god ljudreduktionsnivå.

2.5 Konstruktioner

2.5.1 Självbärande halmbalsvägg

Den självbärande halmbalsytterväggen, även kallad Nebraskametoden, härstammar från just Nebraska, USA från slutet av 1800-talet. Magwood & Mack (2000) berättar att då nybyggare inte hade tillgång till trä var de tvungna att finna alternativa byggmaterial. De skördade sina sädesslag, samlade och buntade sedan ihop den halm som blev över. Halmbalarna som uppkom staplades på varandra och utgjorde en grund som var självbärande. Nebraskametoden byggs ungefär på samma sätt idag. Sedan tidigt 1900-tal finns det maskiner som kan bunta ihop halm till hårt packade balar. Balarna blir då i likvärdiga dimensioner. Balarna byggs oftast upp med metoden ”half bond”, likt så som man lägger tegel idag (se Figur 3).



Figur 3: Bilden visar ett byggnadssystemet half bond, eller running bond (Running Bond 2010).

Magwood & Mack (2000) berättar att hål för fönster och dörrar normalt sågas ut med motorsåg. Balarna staplas på en syll och över läggs ett hammarband (se Figur 4). Tak läggs sedan som vanligt på hammarbandet, ofta med ett stort takutsprång. Enligt gammal tradition så putsas insida och utsida med tre lager lerputs.



Figur 4: Halmbalsbygge med självbärande funktion, Texas (Tinyhomes 2014).

2.5.2 Träregelvägg isolerad med halm

Enligt Magwood & Mack (2000) är ytterväggar uppbyggda med träreglar ett byggnadssätt som sträcker sig långt tillbaka i tiden. Fördelen med att bygga med regler är att byggnaden då kan byggas i flera plan samt att man enkelt kan bygga med en luftspalt. Ofta läggs någon sort av isolering mellan reglarna. Dagens konventionella metod är att använda mineralull eller cellplast som isolering. Den här studien fokuserar på halmbalar som isolerande material.

2.6 Risker

2.6.1 Allmänt

Det finns ett flertal riskmoment att bygga med halm. De största riskerna är bärrighet, brand, ohyra och fukt.

2.6.2 Bärrighet

Alla har väl som småbarn läst om när vargen blåser ner grisens hus som är byggt av halm. Som tur är så är det stor skillnad mellan fiktion och verklighet. Enligt lång tradition räknas det som säkert att bygga i ett plan som självbärrande halmbalsväggar (Ashour 2003; Ashour et al. 2011; King 2003). Hus uppbyggda i flera plan har även lyckats (Shiamh 2013) (se Figur 5).



Figur 5: Rachel Shiamh's tvåvåningshus uppbyggd med halmbalar som självbärrande element (Twostorey 2013).

2.6.3 Brand

En allmän föreställning är att ett halmbalshus enkelt ska brinna ned till grunden. Det är sant att halm är ett mycket lättbrunnet och lättantänt material i lös form. Då halm är packad på korrekt sätt i hårda balar minimeras faran. Enligt Magwood & Mack (2000) bidrar den hårda packningen till att det finns ytterst litet syre i halmbalen vilket minskar risken för antändning. Halmbalar kan självantändas. Det uppstår då halm skördas för tidigt med för mycket fukt kvar i grödan. Halmen förvaras sedan i t.ex. en lada som blir varm under somma-

ren. Fukten i grödan påbörjar nedbrytningen av halmen. Värmen från nedbrytningsprocesserna kan leda till att materialet självantänds. Det här händer inte med halmbalar som skördats vid rätt tidpunkt då materialet har en lägre fukthalt. Traditionellt används lerputs eller liknande på båda sidor av väggen som skyddar konstruktionen mot brand. Brandtester som Intertek (2007) gjort i USA där man under kontrollerade former testat självbärande halmbalsväggar med lager av puts kunde motstå brand i över 2 timmar. Testerna visade även att väggen klarade av ”vattenslangstestet”, som går ut på spruta kallt vatten med högt tryck för att se om den varma ytan, som direkt blir kall, spricker och på så vis släpper in syre (se Figur 6).



Figur 6: Halmbalsvägg efter brand- och vattenslangstest, Intertek (Intertek 2007).

Den här studien fokuserar ej ytterligare på brandriskerna i halmbalskonstruktionerna.

2.6.4 Ohyra

Halm har ett lågt näringsvärde då det är axen som innehåller de flesta näringsämnena. Därför lockas få skadedjur till halm för födans skull. Skadedjur i alla dess former är svåra att bekämpa i alla byggnader. Halmbalshus är inte något undantag. Likt andra byggnader krävs det ett säkerhetstänk vid byggnation. Om man använder puts är det viktigt att det inte finns några sprickor eller öppningar där t.ex. möss kan ta sig in. Om man kontinuerligt fyller på sprickor

i putsen kan man på så sätt hålla ohyra ute (Homegrown u.å.). Studien fokuserar ej på problematiken kring ohyra.

2.6.5 Fukt

Den största faran med att bygga med halmbalar är att fukt kan ta sig in i konstruktionen. Halm som ett organiskt material är mycket känsligt för mikrobiologiska påverkningar, såsom ex. mögelpåväxt. Mikrobiologiska påväxter i byggnadsmaterial förknippas med en rad olika problem, såsom dålig luft och förlorade konstruktionsegenskaper (Johansson 2006, 2012).

2.6.5.1 Mikrobiologisk påväxt

Undersökningar gjorda av Viitanen (1996) visar att det finns en rad olika mikroorganismer på byggnadsmaterial. Mögel är den mikroorganism som har högst tolerans, även kallad ”primär kolonisatör”. Det är därför som mögel också är den mikroorganism som orsakar mest skada. Det finns en mängd olika mikrobiologiska påväxter, ex. mossor, lavar, alger. Eftersom mögel ses som den största mikrobiologiska faran i byggnadssammanhang väljer man att till största del fokusera på den. Den här studien kommer enbart lägga fokus på mögel i risksammanhang.

2.6.5.2 Mögelarter

Mögel är mikroorganismer som fungerar som nedbrytare i naturen. De förekommer naturligt på organiskt material samt i jorden. Mögelsporer kommer alltid, oavsett årstid och klimat, att finnas överallt i luften. Man gör därför ett antagande att det alltid finns mögelsporer på samtliga ytor. Flera studier bl.a. Johansson (2006) visar på att de viktigaste faktorerna för mögelpåväxt är RF och temperatur samt vilket egenskaper som materialet och materialets yta har (Sedlbauer 2001). Enligt Johansson (2006) kan mögel orsaka hälsoeffekter på de som befinner sig i angripna byggnader. I Sverige växer mögel oftast inuti väggen. Mögel skapas via att de mögelsporer som finns på materialet får en högre luftfuktighet och en högre värme, vilket leder till mögelpåväxt. Mögelsporerna bildar ett nät, ett så kallat mycel. När mycel växer ut med andra nät bildas ett konidiofor. Den största hälsofaran med mögel är inte fysiskt kontakt med möglet utan luften som sprids inomhus. Mikroorganismerna skapar gaser som sprider sig genom väggen och in i huset. Gaserna medför en lukt som kan sätta sig i de flesta material som finns i byggnaden, ex. väggar, möbler, kläder. Även efter åtgärder mot möglet har tagits kan lukterna sitta kvar i byggnaden. Gaserna kan även påverka människokroppen på olika sätt beroende på vilka mikroorganismer det är, och hur mottaglig personen i fråga är för gasen. De hälsorisker som oftast föreligger är allergier, rodnad, slemhinneirritation, huvudvärk och trötthet. Enligt Johansson (2006) kan vissa mögelsvampar bilda ämnen som är bundna till partiklar som är giftiga, utan att vara i gasform. De

som är mest utsatta för gaserna är unga, äldre och personer med nedsatt immunförsvar. I många fall kan bostaden vara obeboelig under tiden som huset blir utsatt för mögel. Inte sällan måste stora åtgärder sättas in för att reparera skadan, och i vissa fall måste hela hus byggas om.

2.6.5.3 Kritisk temperatur och RF för halm

För att mögel skall kunna växa krävs i de flesta fall en RF på minst 75 %. Olika material kräver olika hög RF för att mögel skall kunna växa (Sedlbauer 2001). Det finns även material som kräver mindre RF än 75 %. Tester som Hofbauer, Krueger, Breuer, Sedlbauer & Schoch (2008) har gjort visar på att halm kräver en RF över 70 % och en temperatur högre än 0°C (Se Figur 11). Temperatur och RF är beroende av varandra, ex. en lägre temperatur kräver en högre RF för mögelpåväxt.

Det finns två olika stadier i mögelpåväxt. Först sker groning sedan påväxt. Påväxten behöver en lägre RF för att kunna växa (Sedlbauer 2001). För att ”säkra upp” så används oftast tröskelvärde, det lägsta RF vid vilken påväxt kan ske. Den här studien kommer att använda sig av detta tröskelvärde. Det finns två begrepp som är av värde att särskilja, initiering av mögelpåväxt och en mögelpåväxt som skadar funktion och/eller hälsa. Den här studien tar ej hänsyn till när materialet tappar sin funktion, t.ex. bärighet, utan fokuserar enbart på när mögel kan börja växa, vilket oftast sker vid mer ogynnsamma förhållanden.

2.6.5.4 Putsade enstegstätade fasader

Oventilerade halmbalsväggar uppbyggda med puts och halm kan jämföras med enstegstätade putsade fasader som enligt LFS (u.å.) under de senaste åren blivit mer och mer populärt som byggmetod. Konstruktionen uppförs i vanliga fall med träreglar samt mineralull, gips och cellplast, därpå putsas man direkt på putsnät som sitter på cellplasten. En billig lösning som i teorin även är en bra lösning, men det finns stora risker då arbetet måste vara perfekt utfört. I praktiken tränger sig fukten ofta in mellan anslutningarna fönster, väggar, dörrar och övriga sprickor som kan tänkas uppstå. När fukt tränger sig in blir den kvar då den tar lång tid att torka ut. De organiska materialen i väggen börjar mögla och förlorar sin funktion. Då det blir kall väderlek fryser fukten till i väggen och putsen utsätts för frostsprängning. Då halmbalar är mycket fukt-känsliga är det av än större vikt att om puts skall användas krävs en mycket fuktsäker installation. Då sprickor är förekommande i puts är det vanligt och brukligt att putsen fylls i kontinuerligt (Magwood & Mack 2000). Då man nästan alltid kan räkna med sprickor i putsen är det sällan en passande konstruktionslösning.

3 Teori

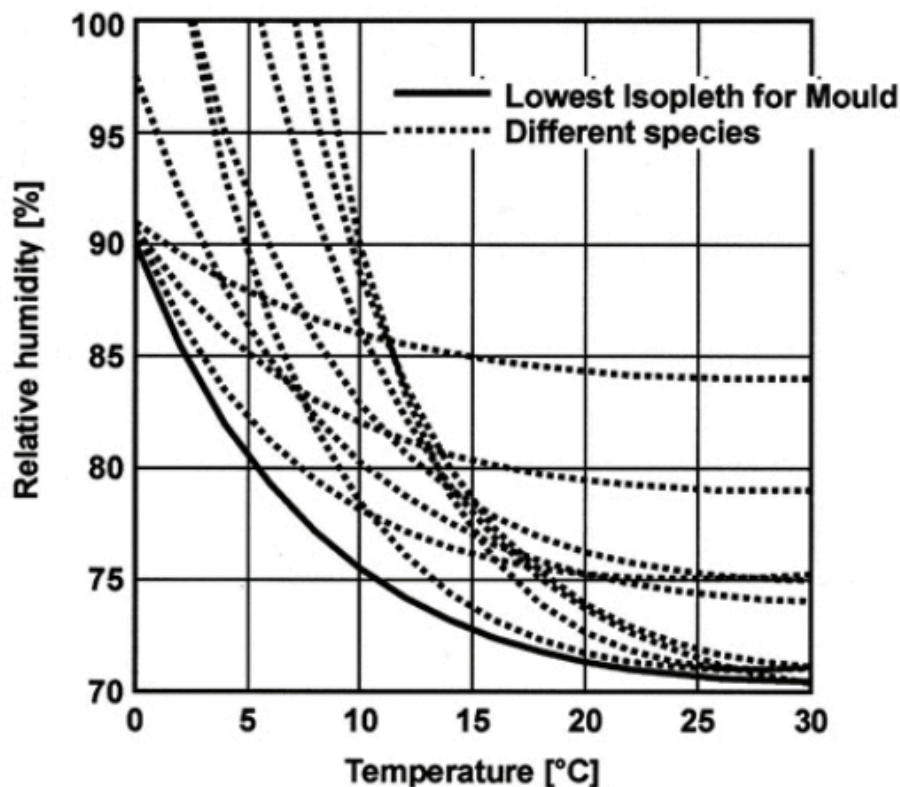
3.1 Mögelmodeller

3.1.1 Bakgrund

För att kunna studera mögelpåväxt används olika modeller. Modellerna utgår från RF och temperatur. De som har valts för den här studien är Isopleth-modellen (Sedlbauer 2001), Folos 2D (Mundt-Petersen, Wallentén, Toratti & Heikkinen (2012), samt MRD-modellen (Thelandersson & Isaksson 2013).

3.1.2 Isopleth-modellen

Isopleth-modellen utgår från laborietester där material testas för att se när mögelpåväxt uppkommer på materialet. En kurva med RF på ena axeln och temperatur på andra axeln tas fram (se Figur 7). Som har nämnts tidigare är temperatur och RF de viktigaste faktorerna vid utvärdering av mögelpåväxt. Mykologer har etablerat ett så kallat "isopleth-system" som visuellt beskriver groning och tillväxt av olika mögelarter vid specifika temperaturer och RF.



Figur 7: Isoplether för olika arter av mögel (prickade) samt den lägsta isoplethen (svart) för mögeltillväxt (LIM0) (Sedlbauer 2001).

De flesta av studierna har gjorts i laborier under kontrollerande förhållande på ett näringsrikt medium. Sedlbauer (2001) tog fram isoplether för de mögelarter som bedöms vara farliga för människors hälsa samt de vanligaste förekommande mögelarter som har hittats i byggnadssammanhang. Resultatet

blev LIM0 (Lowest Isopleth for Mould)-kurvan som är en cosinus-kurva. Grafen har temperatur (0-30°C) på x-axeln och RF (0-100%) på y-axeln som ger gränsvärdet för de ovan nämnda mögelarterna på ett optimalt medium.

Enligt Sedlbauer (2001) ges kurvans funktion av:

$$\varphi = a \cdot \cosh(\vartheta - \vartheta_{opt}) + b$$

där:

a, b [-] *coefficients*

φ [-] *relative humidity*

ϑ [°C] *temperature*

ϑ_{opt} [°C] *optimum temperature for fungoid growth*

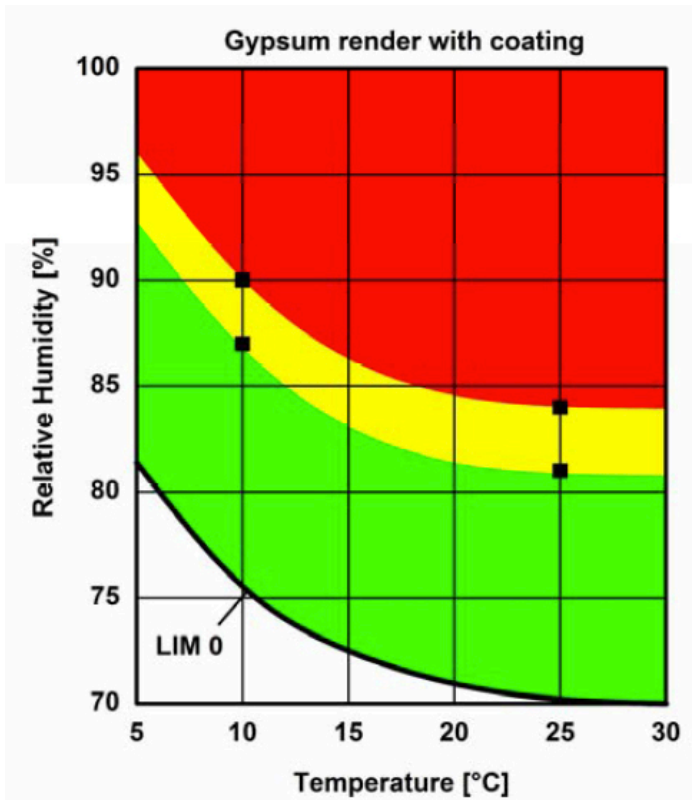
The course of the curve is defined by the

- f_{LIM} (optimum temperature) = minimum relative humidity in the special temperature range.

- f_{LIM} (minimum temperature) = optimum relative humidity in the special temperature range.

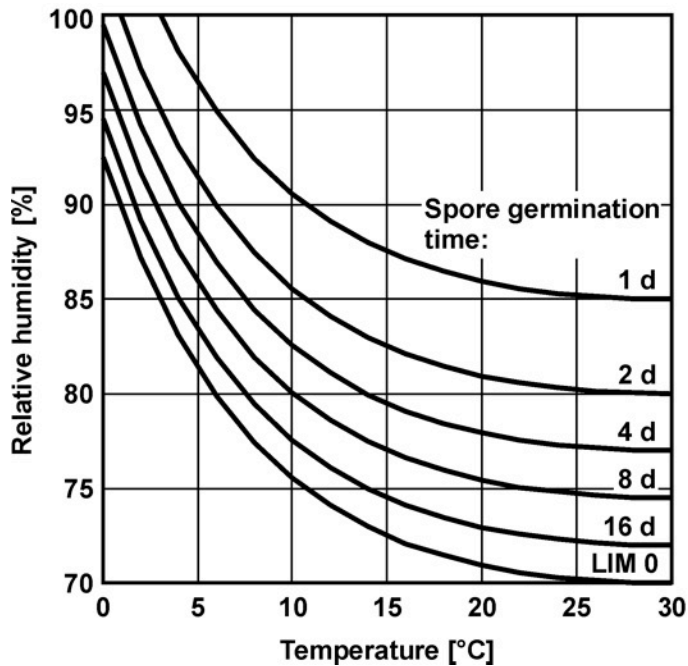
as well as by the boundary condition:

$$\frac{df_{LIM}}{d\vartheta} (\text{optimum temperature}) = 0$$

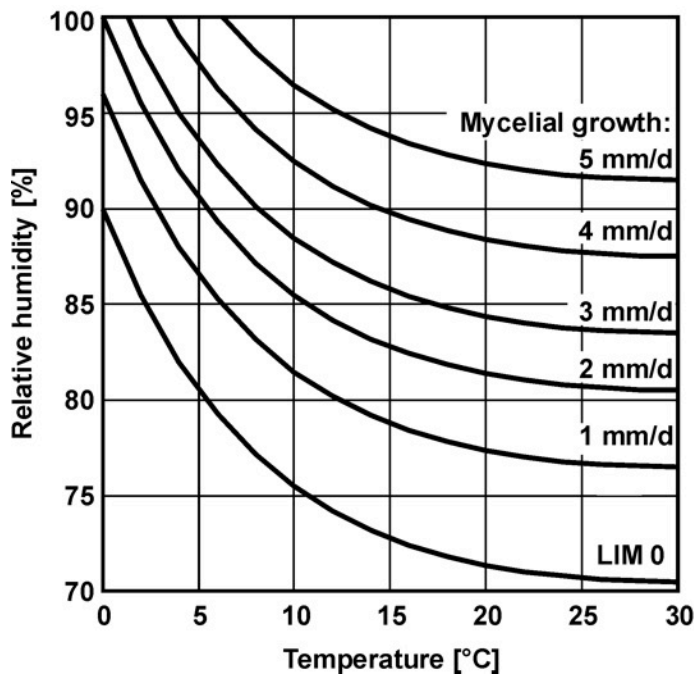


Figur 8: Isopleth som förklarar när mögelpåväxt är möjlig. LIM0(svart), ingen mögelpåväxt sker på materialet gips(grön), risk för mögelpåväxt för material gips(gul), mögelpåväxt för materialet gips(röd) (Sedlbauer 2001).

Temperaturen sätts till 0-30°C då det bedöms vara det intressanta intervallet för mögel i byggnadssammanhang (Sedlbauer 2001). En uppdelning av byggnadsmaterial i olika klasser beroende på benägenhet för mögelpåväxt gjordes och därefter med LIM0-kurvan som bas togs materialklass-specifika isoplether fram. Isoplether togs fram för mögeltillväxt i mm/dag samt groningstid i dagar (se Figur 8, Figur 9 & Figur 10).

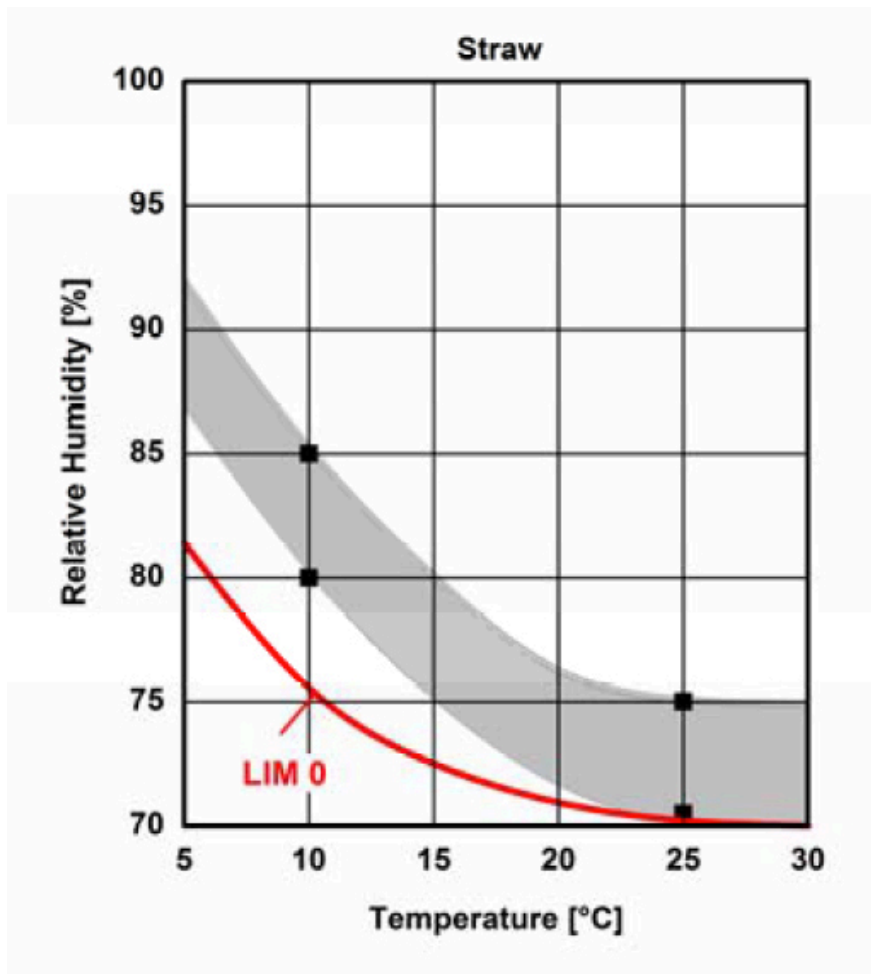


Figur 9: Grafen visar på mögeltillväxt i dagar under temperatur och RF (Sedlbauer 2001).



Figur 10: Grafen visar på mögeltillväxt i mm/dag under temperatur och RF (Sedlbauer 2001).

En senare studie av Hofbauer et al. (2008) tog fram materialspecifika isoplether. Studien baserades på laborietester, där olika material inokulerades med 10 olika mögelarter och sattes därefter in i olika klimatkammare som hade konstant temperatur och RF. Resultatet från testerna användes därefter för att ta fram isoplether bl.a. för halm (se Figur 11).



Figur 11: Isopleth som visar kritiska intervallet (grå) där mögelsporer kan utvecklas till mögel i materialet halm. LIM0 (röd) (Hofbauer et al. 2008).

3.1.3 Folos 2D

Folos-2d är inte direkt en mögelmodell utan ett visuellt sätt att visa mögelrisk, framtagen av Mundt-Petersen et al. (2012). Användaren bestämmer vilken mögelmodell som ska användas för att räkna ut ett kritiskt RF, sedan tar man fram tidsperioden där $RF > RF_{krit}$.

3.1.4 Utvärderingsskala för mögeltillväxt

Utvärderingsskalorna är ett sätt att försöka kvantifiera mögeltillväxt. Skalorna används för att göra bedömningen hur angripet ett material är. De två skalorna nedan är de vanligast förekommande i publikationer idag och används bl.a. av Thelandersson & Isaksson (2013) i MRD-modellen.

Skala/Beskrivning av mögeltillväxt, Viitanen (1996):

- 0 Ingen mögeltillväxt.
- 1 Lite tillväxt som syns med mikroskop.
- 2 Måttlig tillväxt som syns i mikroskop(täckning 10-25%).
- 3 Lite tillväxt som syns med blotta ögat(täckning <10%).
- 4 Måttlig tillväxt som syns med blotta ögat(täckning 10–50%).
- 5 Mycket tillväxt(täckning >50%).
- 6 Extrem tillväxt(täckning >100%).

Skala/Beskrivning av mögeltillväxt, Johansson (2006):

- 0 Ingen mögeltillväxt.
- 1 Initial tillväxt; en eller ett fåtal hyfer och inga konidioforer.
- 2 Gles men klart etablerade tillväxt; konidioforer börjar ofta utvecklas.
- 3 Fläckig, kraftig växt med många välutvecklade konidioforer.
- 4 Kraftig tillväxt under mer eller mindre hela ytan.

3.1.5 Mould Resistance Design-modellen

Mould Resistance Design-modellen, enkelt kallad MRD-modellen, är ett försök från forskare på LTH och Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) att ta fram en modell som kan beskriva när mögelpåväxt påbörjas. Modellen använder sig av ett mögelindex framtagen av Viitanen (1996) och förfinat av Johansson (2006). Grunden till modellen är en dos-respons som enkelt uttryckt förklarar hur ett material påverkas i tiden av en viss dos. I detta fall är dosen kombinerad temperatur och RF, då dessa är de två viktigaste faktorerna för att kunna förutse mögelpåväxt. Modellen som i sin ursprungsform publicerades 2010 använde sig av data som hade framtagits av Viitanen (1997a, 1997b); Viitanen & Ritschkoff (1991) på provbitar av granträ (Isaksson, Thelandersson, Ekstrand-Tobin & Johansson 2010). Modellen använde sig av dygnsmedelvärde för temperatur och RF. En relativ dos av ett(1) anges som den kritiska för mögelpåväxt. Tre år senare publicerades en uppdaterad version av MRD-modellen där medelvärdet för temperatur och RF för 12-timmarsintervaller användes istället av Thelandersson & Isaksson (2013). Det gjordes för att ta i hänsyn de stora skillnaderna i temperatur och RF som kan uppstå mellan dag och natt. I studien används också egen data tillsammans

med data från Viitanen (1996). Nedan visas de matematiska ekvationerna som används för att ta fram värdet för dos-modellen:

$$D_{\phi}(\phi_{12}) \begin{cases} 0,5 \exp \left[(15,5 \cdot \ln \left(\frac{\phi_{12}}{90} \right)) \right] \text{ för } 75 < \phi \leq 100\% & (1) \\ -2,118 + 0,0286\phi_{12} \text{ för } 60 < \phi \leq 75\% & (2) \\ -0,4 \text{ för } \phi_{12} \leq 60 & (3) \end{cases}$$

$$D_T(T_{12}) \begin{cases} \exp \left[(2,0 \cdot \ln \left(\frac{T_{12}}{20} \right)) \right] \text{ för } 0,1 < T \leq 30^{\circ}\text{C och } D_{\phi} > 0 & (4) \\ 1,0 \text{ om } D_{\phi} > 0 & (5) \\ -0,4 \text{ för } D_{12} < 0,1^{\circ}\text{C} & (6) \end{cases}$$

Dosen för en tolv timmars period beräknas:

$$D_{12} = D_{\phi}(\phi_{12}) \cdot D_T(T_{12}) \quad (7)$$

För ett material som utsätts för n 12 timmars perioder antas följande:

$$D(t) = D(n) = \sum_1^n D_{12i} = \sum_1^n D_{\phi}(\phi_{12i}) \cdot D_T(T_{12i}) \quad (8)$$

En viktig sak att påpeka är att den sammanlagda dosen inte kan bli mindre än noll. Detta skulle betyda att man har en tillväxt som är mindre än ingen tillväxt alls vilket är helt omöjligt (Thelandersson & Isaksson 2013).

Sedan tas en kritisk dos fram i ett referensklimat, som definieras så att mögelpåväxten har nått mögelindex 2 efter t_{krit} dagar.

$$D_{krit} = D(t_{krit}) = \sum_1^{2t_{krit}} D_{\phi}(\phi_{refi}) \cdot D_T(T_{refi}) = t_{krit} \quad (9)$$

Mögelpåväxt antas ske då $D_{krit} = t_{krit}$. Den kritiska dosen kan ses som en materialegenskap. D_{krit} tas fram genom laboratorietester, utförda i referensklimatet RF=90 % samt T=20 °C. För att få fram gränstillståndsfunktionen används:

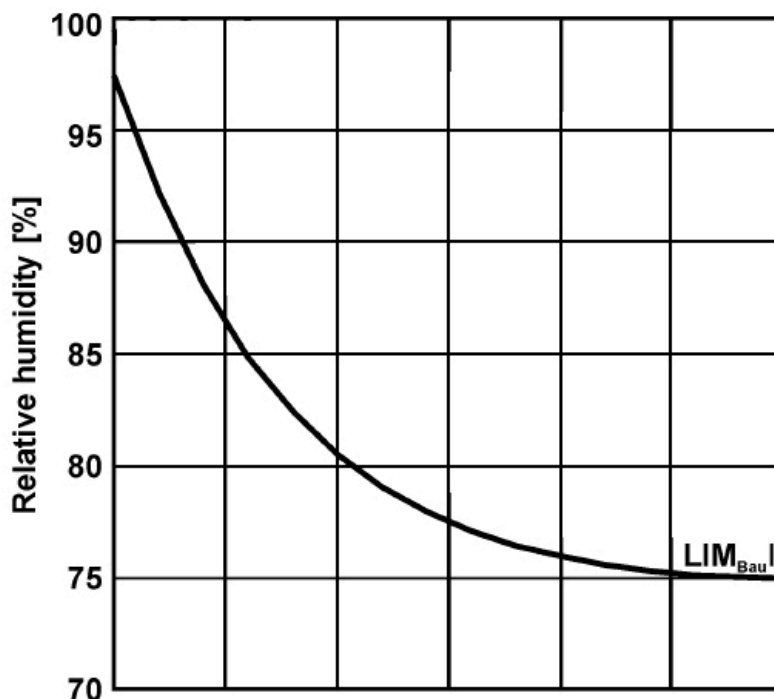
$$g(\phi(t), T(t)) = 1 - d_{rel} = 1 - \frac{D[(\phi(t), T(t))]}{D_{krit}} \quad (10)$$

Där $g(\phi(t), T(t)) \geq 0$ och $d_{rel} \leq 1$. d_{rel} i rapporten kallas för MRD-index.

MRD-index kan ses som ett index som anger risken för mögelpåväxt. En konstruktion har "misslyckats" när den når MRD-index 1 vilket motsvarar Johanssons (2006) mögelindex 2. Thelandersson & Isaksson (2013) anger att ekvationerna gäller endast till att MRD-index 1 har uppnåtts. De matematiska ekvationerna för värden över MRD-index 1 är ej helt riktiga men tas med för att ge en bild över mögeltillståndet.

I den här studien används den kritiska dosen 8,5 dagar (se kapitel 3.2.3).

Då MRD-modellen som redovisas ovan är justerad för trä kan dess lämplighet för utvärdering av materialet halm ifrågasättas. Halm har liknande egenskaper med trä men har en lägre tröskel för mögeltillväxt (jämför Figur 12 med Figur 11).



Figur 12: Grafen visar LIM1 som är lägsta isoplethen för mögeltillväxt för trä (Manipulerad, original Sedlbauer 2001).

Bedömningen görs att MRD-modellens skilda egenskaper från isopleth-modellen är så pass intressanta att den tas med i studien. Dock måste läsaren vara medveten om att de resultat som redovisas från MRD-modellen kommer att gälla för materialet trä och inte halm men kan ge en fingervisning om benägenhet för mögeltillväxt på halm.

3.2 Hantering av mögelmodeller

För att kunna applicera simulerad data på mögelmodeller byggdes mögelmodellerna upp i programvaran MATLAB som sedan exporterades som grafer.

3.2.1 Isopleth-modellen

Sedlbauer (2001) redovisar LIM-ekvationen där två olika materialkonstanter finns med. LIM för halm återfinns i Hofbauer et al. (2008) men där finns inga av materialkonstanterna redovisade. För att kunna använda sig av LIM-halm var det tvunget att först läsa av värdena i LIM-kurvan, skapa en dataserie och sedan använda sig av "curve-fitting-toolbox" i MATLAB för att få en kurva och en ekvation som liknade originalet. Kurvans ekvation blev en fjärdegradspolynom med konstanter som MATLAB bestämde. Dessa konstanter är 95 % korrekta enligt MATLAB. När kurvan hade tagits fram plottades varje simulerad timme fram. Enkelt beskrivet skall avläsning av isopleth-modellen göras på följande vis. Varje punkt motsvarar en simulerad timme. Linjen som ses på graferna är LIM för halm. Alla punkter som ligger över LIM för halm motsvarar en timme som kan ha en risk för mögeltillväxt.

3.2.2 Folos 2D

Folos 2D använder sig av ett beräknat kritiskt RF, detta kritiska RF kan baseras på flera olika mögelmodeller enligt Mundt-Petersen et al. (2012). Valet gjordes att basera Folos 2D på LIM för halm från Hofbauer et al. (2008). Framtagning av LIM-ekvationen har redan redovisats. Därefter var det bara att sätta in simulerad temperatur i ekvationen för att få fram RF_{krit} . Enkel vektorsubtraktion ger sedan antal timmar då $RF > RF_{krit}$. Vid avläsning är perioder där simulerad RF är högre än beräknad RF riskfyllda och kan ha en risk för mögeltillväxt.

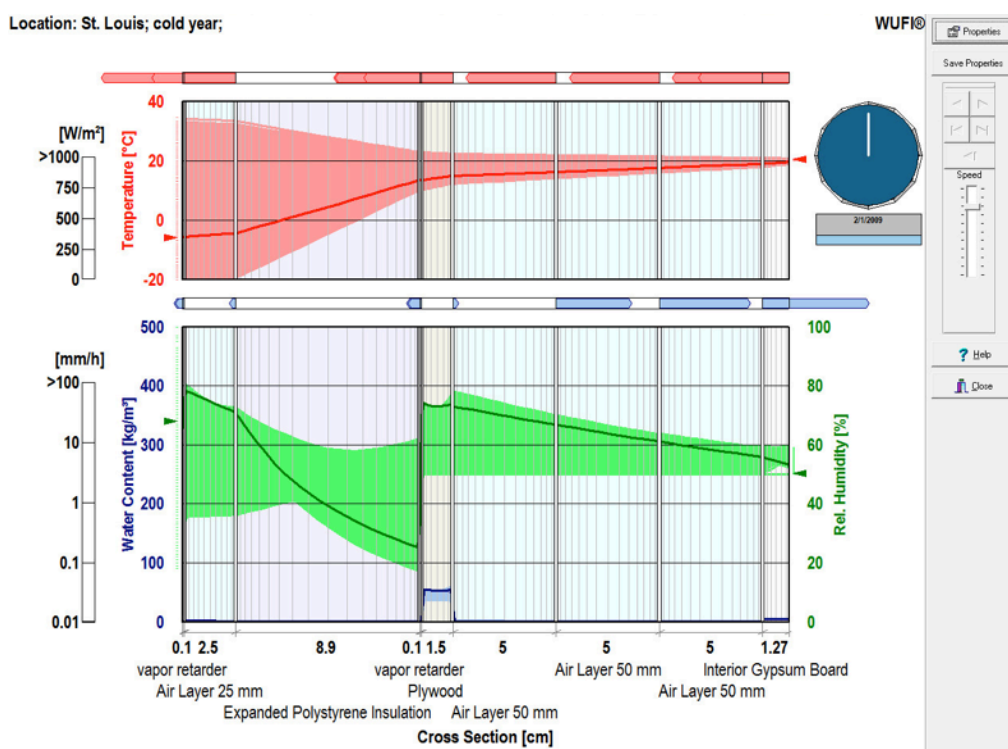
3.2.3 MRD-modellen

Ekvationerna som väl beskrivs av Thelandersson & Isaksson (2013) matades in i MATLAB. Den kritiska dosen sattes till 8,5 dagar vilket var det lägsta värdet som hittades i Thelandersson & Isaksson (2013). Som beskrivits tidigare är MRD-index 1 gränstillståndet och så fort gränstillståndet är nått ses konstruktionen som fallerad.

3.3 WUFI

3.3.1 Allmänt

WUFI är en programvara som tagits fram av Fraunhofer Institut für Bauphysik (2014). WUFI används för fukt- och värmetransportsimuleringar i byggnads-sammanhang. Modeller kan byggas upp i 1D samt 2D. WUFI är ett iterativt program som försöker lösa en temperaturekvation och en fuktekvation samtidigt (se Figur 13). I denna studie har WUFI 1D använts.



Figur 13: Bilden visar simuleringsgången i programvaran WUFI där även temperatur, vatteninnehåll, tid och RF redovisas. Exemplet är över St Louis (WUFI graph 2012).

Programmet kräver en inmatning av konstruktions- och materialparametrar. Utdata blir temperatur, RF & vatteninnehåll. Fysiken och beräkningsmetoden i WUFI bygger på en doktorsavhandling av Künzle (1995). Programvarans lämplighet har undersökts av Mundt-Petersen (2013); Harderup & Hägerstedt (2011). WUFI har använts i en mängd studier, bl.a. i en studie om fuktillståndet i en halmbalsvägg utförd av Danielewicz et al. (2008). De ekvationer som WUFI försöker lösa är enligt Karagiozis, Künzle & Holm (u.å.):

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_\varphi \nabla \varphi + \delta_p \nabla (\varphi p_{sat}))$$

$$\frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + h_v \nabla (\delta_p \nabla (\varphi p_{sat}))$$

Där:

c	=	<i>specifik värmekapacitet J/kgK</i>
D_φ	=	<i>vätsketransport koefficient kg/ms</i>
H	=	<i>total entalpi, J/m³</i>
h_v	=	<i>ångbildningsvärme, J/kg</i>
λ	=	<i>värmeledningsförmåga, W/(mK)</i>
p_{sat}	=	<i>mättnadsångtryck, Pa</i>
t	=	<i>tid, s</i>
w	=	<i>fukthalt, kg/m³</i>
δ_p	=	<i>ånggenomsläpplighet, kg/(msPa)</i>
φ	=	<i>RF</i>

Kursiv text är materialparametrar.

Det är inte självklart i ekvationerna ovan hur WUFI hanterar sorptionskurvor. Sorptionskurvor är nästan alltid kopplade till olika fuktberäkningar. Hur WUFI hanterar detta syns i uttrycket $\frac{\partial w}{\partial \varphi}$, vilket ger lutningen på sorptionskurvan för ett givet material.

4 Identifiering av parametrar

4.1 Bakgrund

Vid användning av WUFI sätts material in med en mängd olika parametrar. För många material är de kända, t.ex. mineralull, fiberboard etc. För materialet halmbalar fanns bristfällig information om materialparametrar. För att veta vilka parametrar som skulle sättas in i materialet var det tvunget att göra en parameterstudie för halmbalar. En litteraturgenomgång visade att materialparametrarna för halmbalar hade stor spridning. Det kan ha att göra med olika växtplatser, skördetid samt fukthalten i halmen, för att nämna några.

4.2 Metod

Parametrarna valdes från tillgänglig litteratur. En utvärdering och bedömning gjordes av parametrarna och ett spann av värden bestämdes som ansågs rimliga. Värdena listades med ett min-, medium (standard)-, och max-värde. Detta gjordes för att kunna undersöka de olika parametrarna mot varandra. Tillvägagångssättet var att sätta alla parametrar till standardvärden förutom den parameter som för tillfället undersöktes.

4.3 Parametrar för material

4.3.1 Materialparametrar för halmbalar

4.3.1.1 Tjocklek

Värde: 0,46 m

Motivering: Det finns många olika dimensioner av halmbalar. Storkeboda halmbalshus använder en tjocklek på 0,45 m (Johansson 2003). Danielewicz et al. (2008) använder 0,46 m vilket är värdet som väljs.

4.3.1.2 Skrymdensitet

Värde: 90-105-120 kg/m³

Standardvärde: 105 kg/m³

Motivering: Värdet väljs utifrån ett vanligt förekommande spann på densitet för halmbalar. Det finns undersökningar av Goodhew & Griffiths (2004) som visar densiteter på så lite som 60 kg/m³ men även värden som är så höga som 150 kg/m³ (Ashour, 2003). Enligt materialdata från Danielewicz et al. (2008) hade halmbalar en skrymdensitet mellan, 97,2-116 kg/m³. Att så pass olika värden påträffas är förväntat då skrymdensiteten beror på en rad olika faktorer som skiljer sig från bl.a. odlingsort, halmbalspress, fukthinnehåll etc. Mot den här bakgrunden bestämdes värden på skrymdensiteten som ansågs vara rimliga.

Nästkommmande parametrar för porositet, referens vatteninnehåll och fri vattenmängd är direkt kopplade till den skrymdensitet som står som min-, medel-, max-värde.

4.3.1.3 Kompaktdensitet

Värde: 853 kg/m³

Motivering: Kompaktdensiteten är en parameter som inte finns med i de hygrotermiska modellerna. Den togs fram för att kunna bestämma porositeten. Värdet är ett medelvärde från Adapa, Tabil & Schoenau (2009) som tog fram kompaktdensiteten för vetehalm. Då kompaktdensiteten berodde på vilket tryck som halmpartiklarna hade utsatts för gjordes avvägningen att använda ett medelvärde från studien.

4.3.1.4 Porositet

Värde: 0,86-0,88-0,90

Standardvärde: 0,88

Motivering: Porositeten är beroende på skrymdensiteten och kompaktdensiteten. Porositeten tas fram med hjälp av ekvationen:

$$n = 1 - \frac{\rho_{skrym}}{\rho_{kompakt}} \text{ (Nevander, Elmarsson 2006).}$$

Värdena stämmer bra överens med t.ex. materialdata från Danielewicz et al. (2008).

4.3.1.5 Specifik värmekapacitet

Värde: 1800 J/kgK

Motivering: Ashour (2003) använder sig av värdet 2000 J/kgK för specifik värmekapacitet och WUFI Wiki (2014) säger: *”Rough values are 850 J/kgK for mineral materials and 1500 J/kgK for organic materials. In most cases, these estimates will be sufficient since hygrothermal simulations usually don't depend very sensitively on this value”*.

En materialfil för halmbalar laddades ner från WUFI Forum (2014). Filen använde samma värden som Danielewicz et al. (2008). Värdet angavs där till 1800 J/kgK. Då 1800 J/kgK ligger ungefär i mitten mellan värdena från Ashour (2003) och WUFI Wiki (2014) blev bedömningen att 1800 J/kgK var ett godtyckligt värde. Bedömningen blev också att inte studera parametrarnas inverkan noggrant då dess inverkan på de hygrotermiska modellerna kunde antas vara liten.

4.3.1.6 Värmeledningsförmåga

Värde: 0,03-0,045-0,067 W/m² K

Standardvärde: 0,045 W/m² K

Motivering: En genomgång av litteraturen visade en spridning i värden. Att divergensen var så stor beror på att λ -värdet är beroende av bl.a. skrymdensitet men också test-metoder och noggrannhet vid testning. Det lägsta värdet som påträffades var 0,033 W/m²K (Ashour 2003). Det högsta uppmätta värdet av Danielewicz et al. (2008) var 0,067 W/m²K. I samma studie använde de sig även av ett värde på 0,045 W/m²K vilket bestämdes som standardvärde för simuleringarna.

4.3.1.7 Fuktberoende värmeledning

Värde: 4,0 %/M-%

Motivering: Parametern beskriver hur värmekonduktiviteten ökar med hur blött materialet är. En svårighet när man ska bestämma parametern för organiska isoleringsmaterial är att den inte är linjärt beroende (WUFI Wiki 2014). Värdet som används i Danielewicz et al. (2008) är 4 %/M-%. Inga andra värden påträffas och värdet bedöms vara rimligt. Enheten beskriver hur värmekonduktiviteten ökar procentuellt mot en procentuell ökning i fukthalt.

4.3.1.8 Diffusionsmotstånd

Värde: 1,0-1,5-2,0

Standardvärde: 1,5

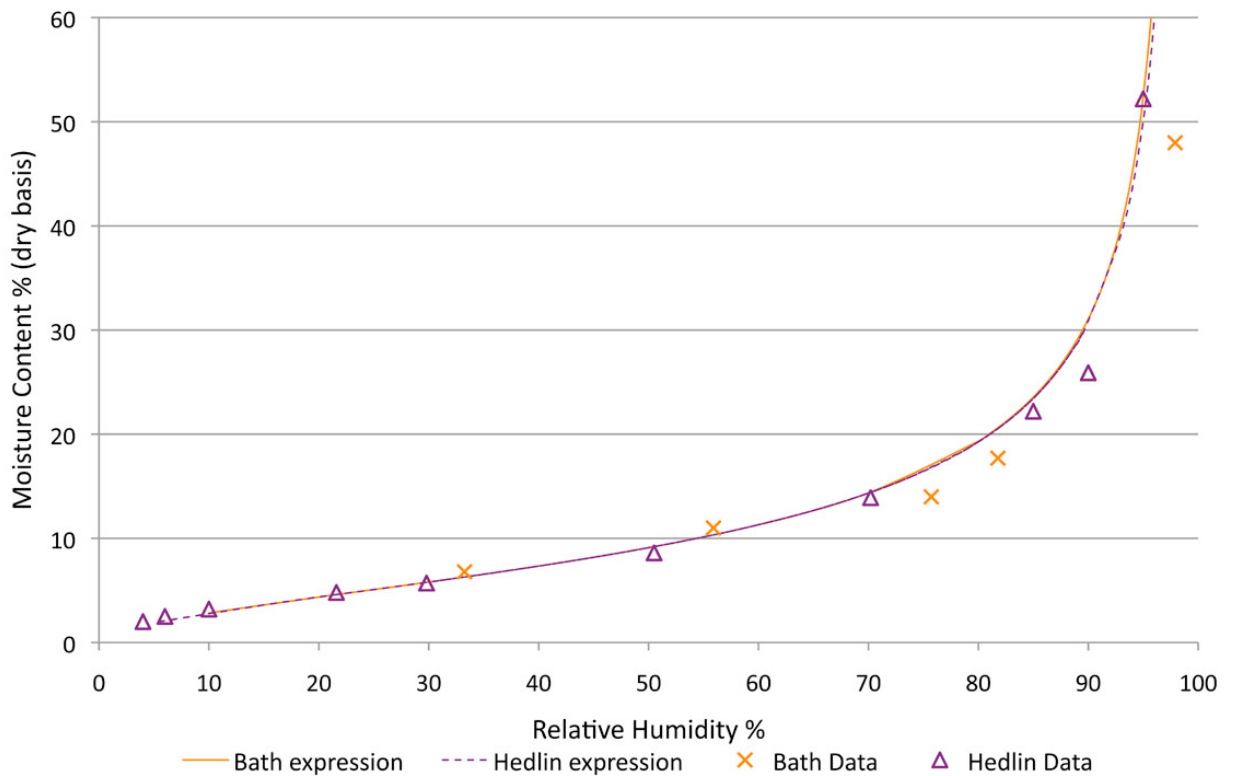
Motivering: Diffusionsmotstånd är parametern som beskriver diffusionsbegränsning i materialet gentemot stillastående luft (WUFI Wiki 2014). För porösa material som halm ligger den nära ett (1). I en studie som gjorts av Danielewicz et al. (2008) visar på ett diffusionsmotstånd med värdet två (2). I det särskilda fallet hade den uppmätta balen en låg skrymdensitet. En ingenjörsmässig bedömning gjordes där halm likställs med cellulosa samt ullisoleringsring där de ungefärliga värdena 1 samt spannet mellan 1,0-2,0 uppmätts (Hansen, Rode, de Place Hansen, Padfield & Kristiansen u.å.). Nevander & Elmarsson (2006) anger att mineralull som också är ett poröst material har μ -värde mellan 1-2 samt att sågspån har μ -värdet 2. Antagandet av att μ -värdet för halm ligger mellan 1,0-2,0 bedöms vara rimligt med ett standardvärde på 1,5.

4.3.1.9 Referens vatteninnehåll

Värde: 18-21-24 kg/m³

Standardvärde: 21 kg/m³

Motivering: Referens vatteninnehållet är mängden vatten vid RF 80 % i materialet. För att bestämma parametern användes sorptionskurvan som tagits fram som en kurvpassning mellan två studier av Lawrence, Heath & Walker (2009) och Hedlin (1967) (se Figur 14). Då resultatet blir en fuktkvot multipliceras kvoterna ihop med skrymdensiteten för att få fram referensvatteninnehållet.



Figur 14: Grafen visar en sorptionskurva passad för två serier mätdata (Lawrence et al, 2009).

4.3.1.10 Fri vattenmängd

Värde: 54-63-72 kg/m³

Standardvärde: 63 kg/m³

Motivering: Den mängd vatten då RF 100 %. Enligt Lawrence et al, (2009) är fuktkvoten då ca 60 %. I samma procedur som vid referensvatteninnehåll multipliceras detta med skrymdensiteten för att få fram den fria vattenmängden.

4.3.1.11 Vattenabsorptionskoefficient

Värde: 0-0,005-0,01-0,05 kg/m² √s

Standardvärde: 0,01 kg/m² √s

Motivering: Vid simulering av transport i vätskefas räknar WUFI om kapillaritetskoefficienten till så kallad fuktdiffusivitet samt omfördelning (Se Figur 89-Figur 94). En parameter som oftast bortses ifrån vid fuktberäkningar av halm (Danielewicz et al. 2008). Det fanns otillräcklig data för parametern. En studie utförd av Evrard, Louis, Biot & Dubois (2012), testar olika värden på koefficienten och kommer fram till att den har en inverkan. Det mest ogynnsamma värdet enligt deras studie är 0,05 kg/m² √s. Då tillgången på värden för parametern är så pass begränsade görs bedömningen att dess inverkan ska studeras. Koefficienten kan potentiellt ha en inverkan och att bortse från pa-

rametern är orimligt. Spannet av värden sätts till $0-0,05 \text{ kg/m}^2 \sqrt{s}$. Fyra värden väljs. Som standardvärde bestämdes $0,01 \text{ kg/m}^2 \sqrt{s}$.

4.3.1.12 Byggfukt

Värde: 10-15-20 kg/m^3

Standardvärde: 15 kg/m^3

Motivering: Värdena kommer från Ashour (2003), samt WUFI Forum (2014). De antas vara rimliga värden.

4.3.2 Parametervärden för övriga material

Studien lägger litet fokus på parametrarna för övriga material som simuleras. Parametervärden för samtliga övriga material valdes till de standardvärden som fanns i WUFI. I Tabell 4 - Tabell 6 i kapitel 11 redovisas de parametrar som användes.

4.4 Konstruktionsparametrar

4.4.1 Luftomsättningar

Värde: 1-30-100 oms/h

Standardvärde: 30 oms/h

Luftomsättningarna kan skilja sig från allt mellan 1-300+ per timme (Falk 2010). En bedömning gjordes att sätta parametern till tre värden inom spannet 1-100 oms/h där 30 oms/h är vanligt förekommande (Wallentén, P., Personlig kommunikation, 24 april 2014).

4.4.2 Vindberoende

Status: Används ej.

Motivering: Vindberoende i simuleringarna bedöms vara av liten vikt.

4.4.3 Sd-värde (in- och utsidan)

Värde: 0

Motivering: Värdet för Sd är tjockleken för diffusionsmotståndet, t.ex. färg.

4.4.4 Absorption för kortvågig strålning

Värde: 0,2-0,5-0,9

Standardvärde: 0,5

Motivering: Den kortvågiga strålningen har inverkan på en yttervägg beroende på vilken kulör fasaden har, t.ex. en mörkare fasad blir varmare än en ljus fasad. För att testa den kortvågiga strålningens inverkan på de utvalda fasaderna väljs ett värde med spann på 0,2 (ljus) och 0,9 (mörk) (Nevander & Elmarsson 2006).

4.4.5 Emittans för långvågig strålning

Värde: 0,9

Motivering: Den långvågiga strålningen har ingen inverkan på vilken kulör fasaden har. Värdet 0,9 är standard för alla vanliga ytor (Nevander & Elmars-son 2006).

4.4.6 Explicit strålningsbalans

Värde: Nej

Motivering: Den explicita strålningsbalansen medräknas ej då den är av mindre vikt för väggar (WUFI Wiki 2014).

4.4.7 Terräng kortvågig reflektionsförmåga (Albedo)

Värde: 0,2

Motivering: Standardvärde enligt WUFI Wiki (2014).

4.4.8 Absorptionstal för regnvatten på fasad

Värde: 0,3-0,5-0,7

Motivering: Absorptionstalet för regnvatten varierar med konstruktionsval. Enligt WUFI Wiki (2014) är det vanliga värdet för en vertikal yttervägg 0,7. Det måste dock beaktas att några konstruktionsval är med stort takutsprång. Regnabsorptionstalet minskas därmed och ett min- samt medium-värde testas.

4.4.9 Begynnelsefuktighet i byggnadsdel

Värde: Varierande

Motivering: Värdet för begynnefuktigheten varierar beroende på materialets inbyggda fukthalt. För varje simulering i WUFI tilldelas varje material automatiskt sin begynnefuktighet.

4.4.10 Läckage

Värde: 0,5 – 1,0 %

Standardvärde: 1,0%

Motivering: Normalt sägs att ett läckage på 1% av slagregn tränger sig igenom fasaden in i materialet (ASHRAE 2008), som väljs till standardvärde. För en kvalitetsmässigt bra putsad fasad görs simuleringar med ett läckage på 0,5%.

4.5 Noggrannhetsparametrar

4.5.1 Tidssteg

Värde: 0,25 – 0,5 – 1,0 h

Standardvärde: 1,0

Motivering: Tidssteget är som standard 1,0. Stora konvergensfel kan uppstå i simuleringarna. Tidssteget sänks tills konvergensfelen är godtyckliga. För att undersöka tidsstegens inverkan simuleras de valda värdena.

4.5.2 Ökad noggrannhet & konvergensförbättring

Status: Används

4.5.3 Gitter

Standardvärde: Medium

För att undersöka påverkan som storleken av gitter har görs simuleringar med medium och fint gitter.

4.6 Övriga parametrar

4.6.1 Datum och tider

Motivering: Simuleringarna görs med ett spann över 10 år. Det görs för att få med långtida effekter.

4.6.2 Orientering

Standardvärde: Söder

Motivering: För att se vilken inverkan en norr- mot söderfasad har, undersöks de två orienteringarna.

4.7 Klimat utomhus

4.7.1 Val av ort

Lund.

4.7.2 Klimatdata

4.7.2.1 *Klimatdata medelvärde*

Klimatdatafilen som användes togs från WUFI programvara. Klimatdatan är ett normalår för Lund, LTH.

4.7.2.2 *Klimatdata ej medelvärde*

Studien tillhandahåller även klimatdata över Lund, LTH som var modifierad. Den modifierade klimatfilen var en nio års-period mellan åren 1990-1998. Filen innehåller korrekta mätningar mellan de beskrivna åren men enligt Wallentén (Personlig kommunikation, 24 april 2014) hade Wallentén förvärrat klimatet för att göra klimatet mer trovärdigt. Han gjorde så då han vid avläsning av den originella filen insåg att den relativa fuktigheten aldrig nådde upp

till 100 %, något som verkar orimligt. Den relativa fuktigheten modifierades således upp till 100 % minst en gång var tredje månad.

4.7.3 Begynnelsestemperatur i byggnadsdel

Värde: 15 °C

Motivering: Tiden då byggnaden är tänkt att tas i bruk är satt till början av september månad. Temperaturen är då cirka 15°C i Lund.

4.7.4 Nederbörd

Taket och övriga konstruktionsdelar antas skydda väggen för alla former av nederbörd (snö, regn, indirekt regn), förutom slagregn.

4.7.4.1 Slagregn

Slagregn uppstår då det regnar samtidigt som det blåser kraftigt. Slagregn har en större möjlighet att penetrera ytterväggen då kraften är större än vid vanligt regn. Slagregn är mer vanligt på västkusten och i Skåne (Nevander & Elmars-son 2006).

4.8 Klimat inomhus

4.8.1 Klimatdata inomhus

Beräknas enligt: SS-EN ISO 13788:2013 (Swedish Standard Institute 2013).

4.8.2 Fuktklass

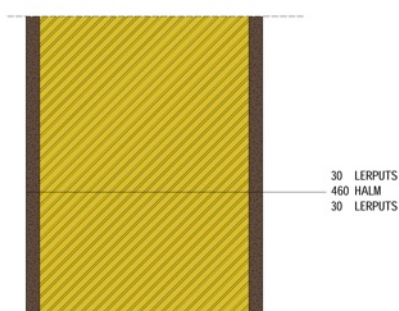
Värde: Fuktklass 2 (4 g/m³ i fuktlast)

Motivering: För flerfamiljshus är fuktlasten oftast lägre men då studien syftar på ett enbostadshus i året-runt boende väljs fuktklass 2. Vid avläsning i graf på WUFI visar en fuktlast på 4 g/m³ vid en temperatur under 0 grader.

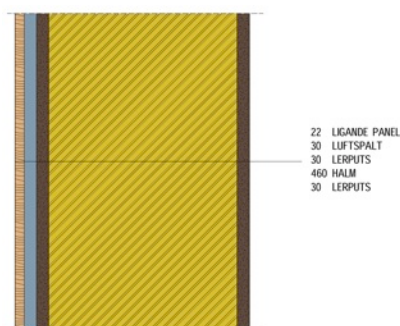
4.9 Grovanalys av parametrar

4.9.1 Metod

För att beakta vilka parametrar som påverkar materialet samt konstruktionerna görs parametersimuleringar på två olika konstruktioner, en med luftspalt (se Figur 16) och en utan luftspalt (se Figur 15). Valet gjordes att studera en position i mitten av en halmbal. Valet av att studera mitten av en halmbal görs för att minska påverkningar från ute-, samt inneklimate. Vid undersökning av en parameter sätts övriga parametrar till sitt beskrivna standardvärde. Data från varje simulering exporterades från WUFI. Därefter importerades data till MATLAB där det först gjordes en graf där RF och temperatur plottades mot tid. Maxdifferensen mellan min- och max-värdet för RF och temperatur tas fram, dessa redovisas i tabell 2 & 3. Differensen ger en fingervisning på den påverkan som de olika parameterna har på de hygrotermiska modellerna. I detta skede görs bedömningen att inte analysera resultaten med mögelmodeller då avsikten är att studera differensen som uppstår mellan olika parametervärden och inte utvärdera mögelrisken.



Figur 15: Oventilerad konstruktion



Figur 16: Ventilerad konstruktion

4.9.2 Data från simulering

4.9.2.1 Oventilerad konstruktion

Parameter	Max T(°C)	diff.	Max RF(%)	diff.
Skrymdensitet + parametrar kopplade till skrymdensitet: porositet, referens vatteninnehåll, fri vatten- mängd	1.1990		10.4720	
Värmeledningsförmåga	2.2880		1.0660	
Diffusionsmotstånd	1.0480		2.3530	
Vattenabsorptionskoefficient	2.8230		22.4650	
Byggfukt	0.8110		18.6750	
Absorptionstal för kortvågig strålning	8.2590		10.7420	
Absorptionstal för regnvatten	1.6845		12.2730	
Läckage utifrån	0.1199		0.4790	
Orientering	4.3640		15.9620	

Tabell 2: Max-differenser mellan parametrars temperatur och RF i oventilerad konstruktion.

Parametrar för vidare analys är markerad i fet text.

4.9.2.2 Ventilerad konstruktion

Parameter	Max T(°C)	diff.	Max RF(%)	diff.
Skrymdensitet + parametrar kopplade till skrymdensitet: porositet, referens vatteninnehåll, fri vattenmängd	0.5064		7.7550	
Värmeledningsförmåga	1.3970		1.4400	
Diffusionsmotstånd	0.4110		1.2170	
Vattenabsorptionskoefficient	0.4950		7.6010	
Byggfukt	0.5690		18.6360	
Absorptionstal för kortvågig strålning	5.6720		11.4800	
Absorptionstal för regnvatten	0.2940		0.2260	
Läckage utifrån	0.0571		0.8930	
Orientering	3.1230		2.5180	
Luftomsättning (1-100 h ⁻¹)	0.6590		12.2620	
Luftomsättning (1-30 h ⁻¹)	1.0830		12.4510	

Tabell 3: Max-differenser mellan parametrars temperatur och RF i ventilerad konstruktion.

Parametrar för vidare analys är markerad i fet text.

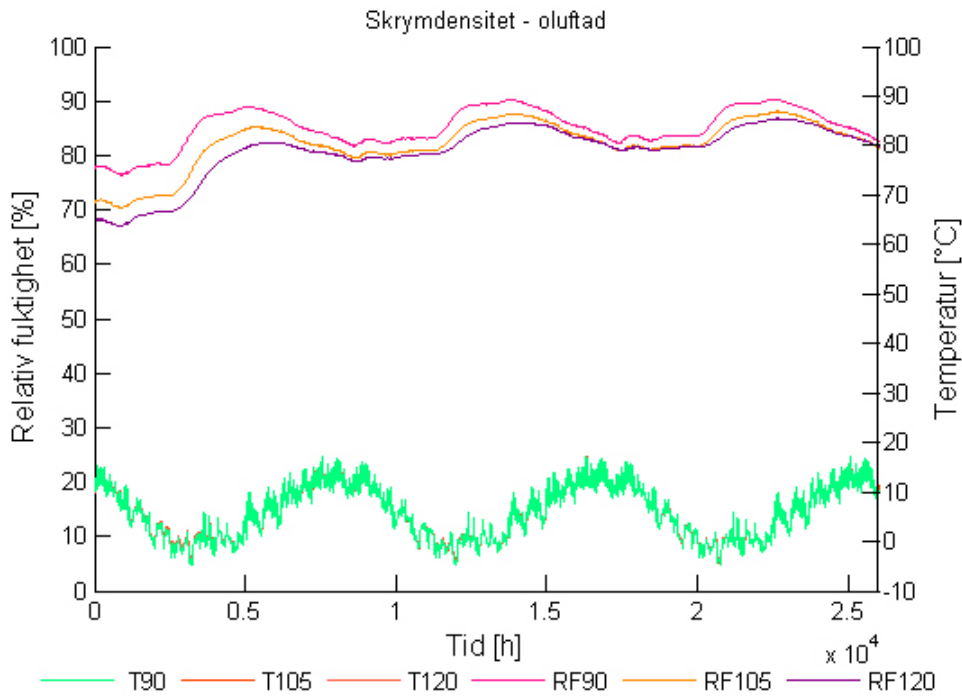
4.9.3 Resultat av grovanalys

Simuleringarna visar på max-differenser för temperatur och RF för både de ventilerade samt oventilerade konstruktionerna. En stor differens visar på att parametern kan ha en betydande påverkan. Resultatet visar på små differenser i temperatur, med undantag av absorptionstal för kortvågig strålning. RF däremot har en större differens på ett antal parametrar. En ingenjörsmässig bedömning görs av vilka parametrar som skall undersökas vidare i en djupanalys.

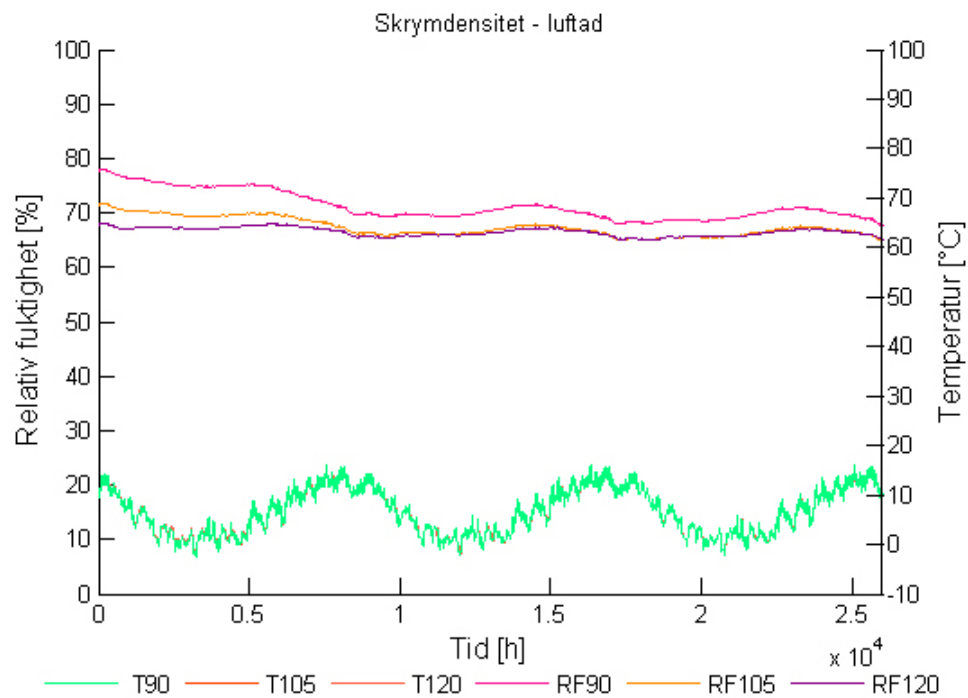
4.9.3.1 Skrymdensitet

Skrymdensiteten har en stor påverkan på den relativa fuktigheten men då 105 kg/m³ ligger i ett spann mellan min- och maxvärdena i graferna och då det är en rimlig densitet på en halmbal bestäms det som standardvärde (se Figur 17 & Figur 18).

I vidare simuleringar sätts porositet, referens vatteninnehåll och fri vattenmängd till de värden som är kopplade till standardvärde för skrymdensitet.



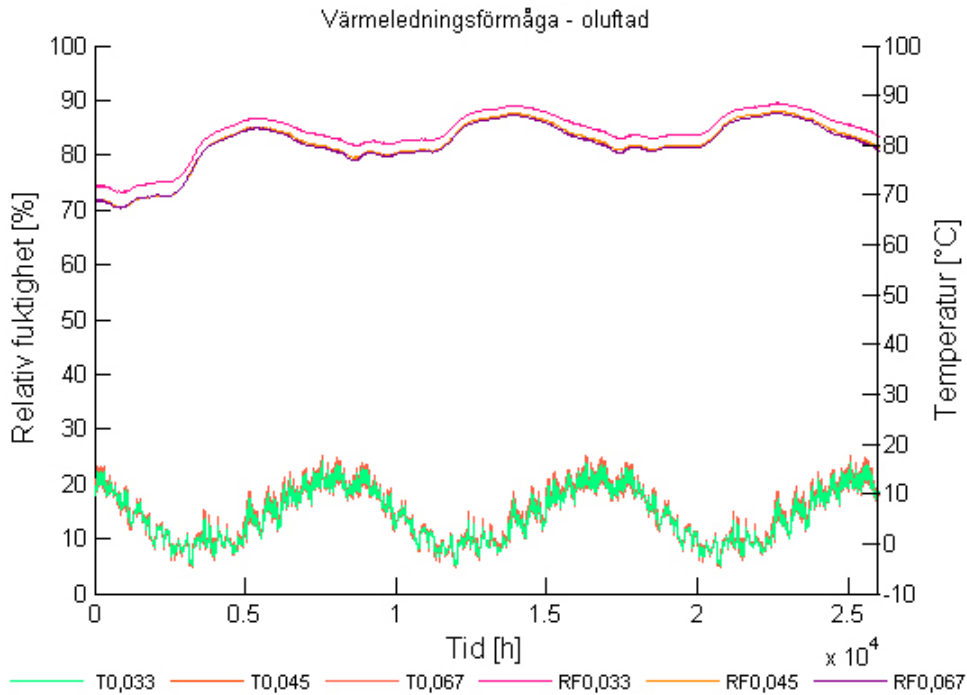
Figur 17: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika skrymdensitet i en oventilerad konstruktion.



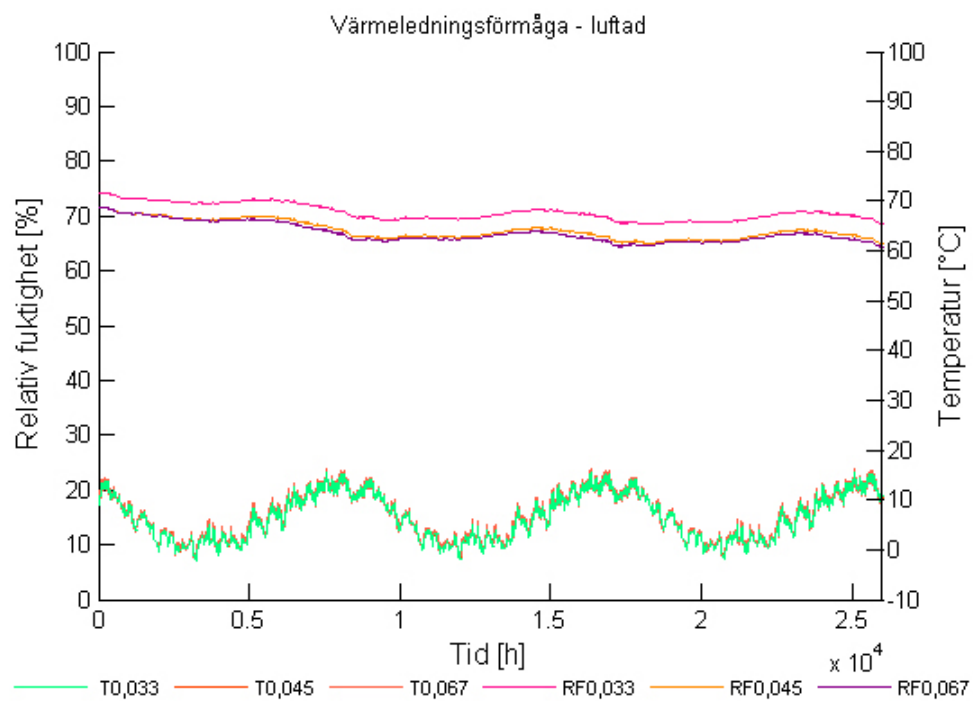
Figur 18: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika skrymdensitet i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.2 Värmeledningsförmåga

Skillnaderna i temperatur var små men RF påverkades som mest cirka 4 %. Att skillnaderna inte blev större beror till stor del av att de största och minsta simulerade värdena endast skiljer sig lite åt. Bedömningen görs att standardvärdet är rimligt (se Figur 19 & Figur 20).



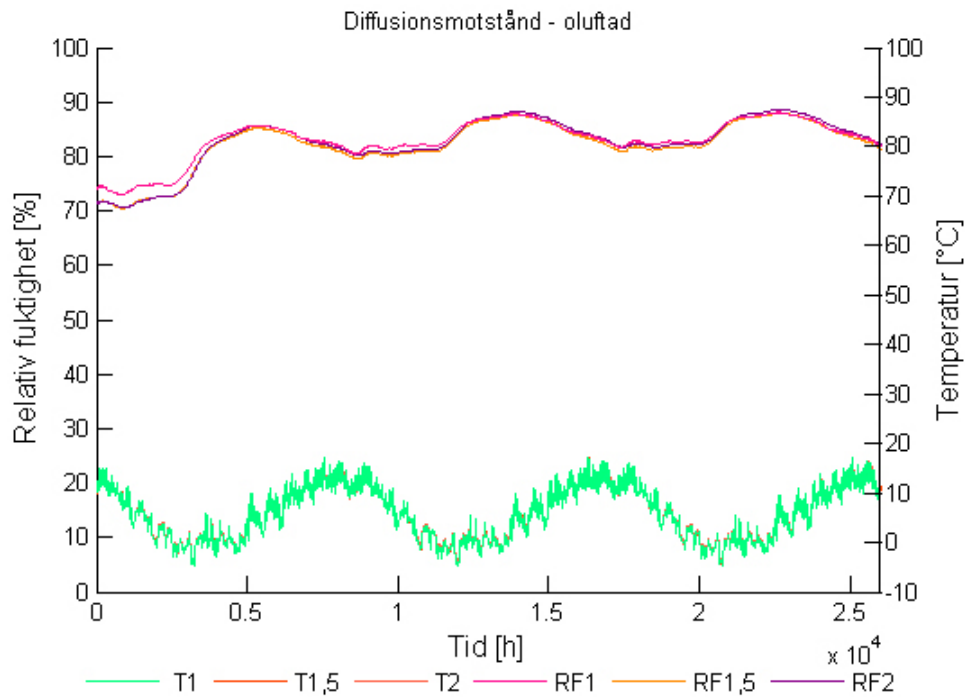
Figur 19: Grafen visar RF och Temperatur över tiden för olika värmeledningsförmågor i en oventilerad konstruktion.



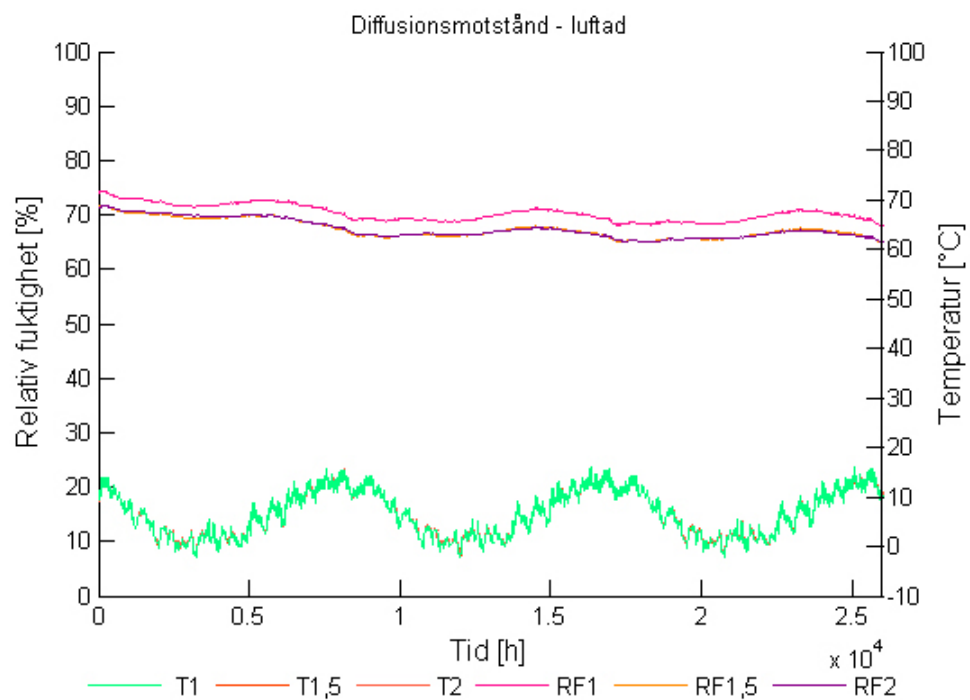
Figur 20: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika värmeledningsförmåga i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.3 Diffusionsmotstånd

Parametern hade liten inverkan på temperatur och påverkan på RF var som högst cirka 3 %. Parameterns inverkan är begränsad på de hygrotermiska modellerna och kommer i fortsatta simuleringar sättas till sitt standardvärde (se Figur 21 & Figur 22).



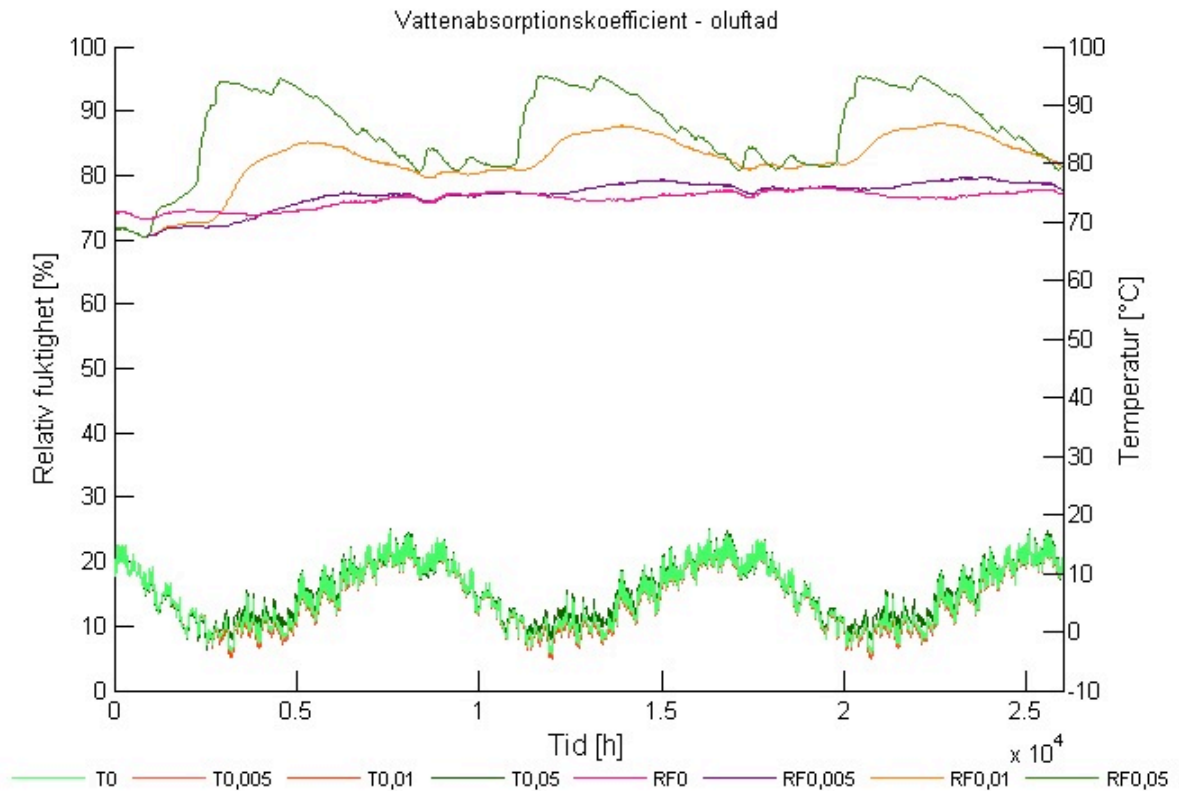
Figur 21: Grafen visar RF och Temperatur över tiden för olika diffusionsmotstånd i en oventilerad konstruktion.



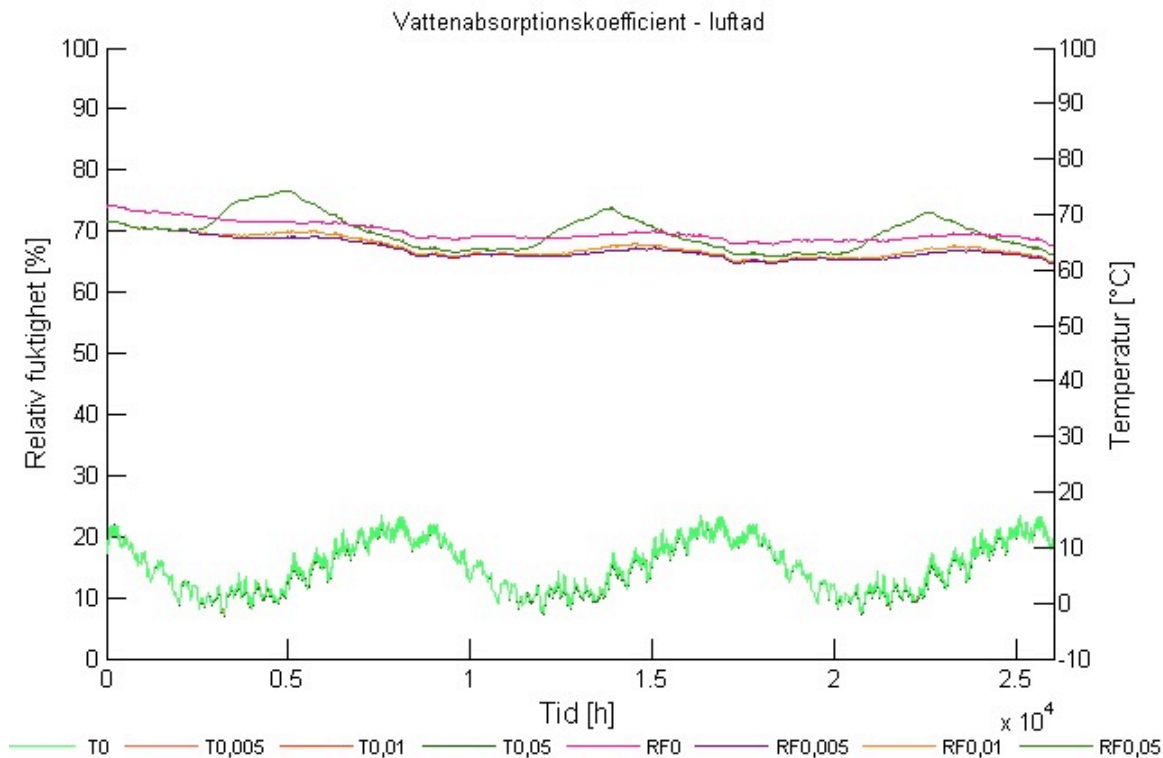
Figur 22: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika diffusionsmotstånd i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.4 Vattenabsorptionskoefficient

Vattenabsorptionskoefficienten är den parametern som har störst osäkerhet. Differensen mellan värdena för RF är stor (se Figur 23 & Figur 24).



Figur 23: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika vattenabsorptionskoefficienter i en oventilerad konstruktion.

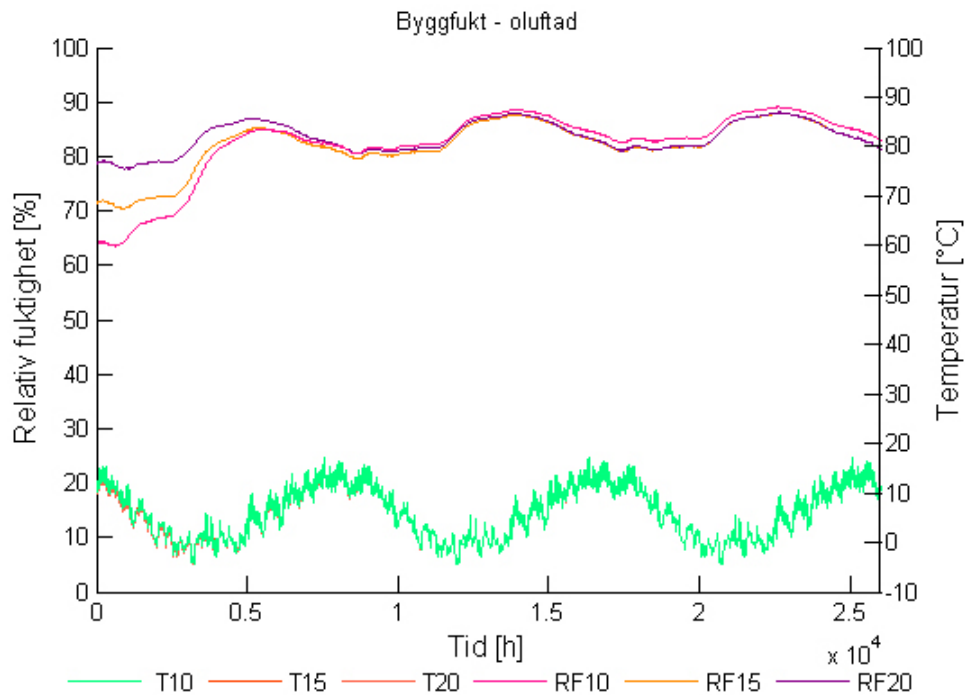


Figur 24: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika vattenabsorptionskoefficienter i en ventilerad konstruktion.

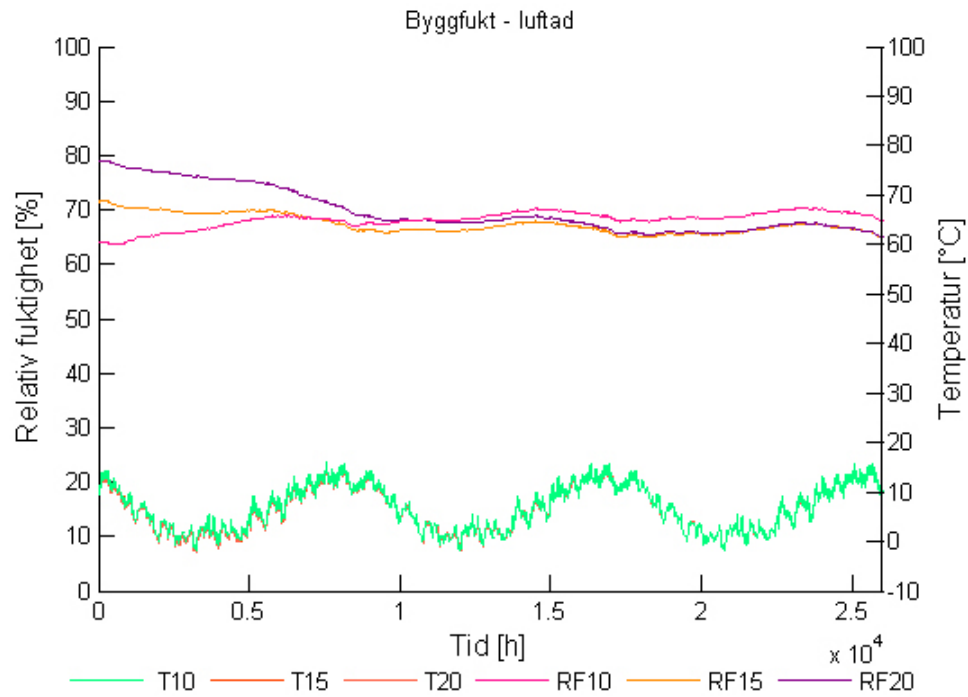
När man beaktar halmbalar som material inser man snabbt att materialets porstorlek har en stor spridning. Avstånden mellan strån/partiklar kan vara flera millimeter medan halmens transportvävnad är i storleken mikrometer. Med det här i åtanke är det svårt att dra en generaliserad slutsats om kapillärtransport i halm. En djupare analys krävs för att kunna bestämma värdet på parametern.

4.9.3.5 Byggfukt

Byggfukten har en stor inverkan som är ganska logisk. Bygger man in stora mängder fukt kommer det självklart höja RF i materialet, åtminstone initialt. Då parametern har en inverkan, speciellt i början av simuleringsfasen tas beslutet att undersöka parametern vidare (se Figur 25 & Figur 26).



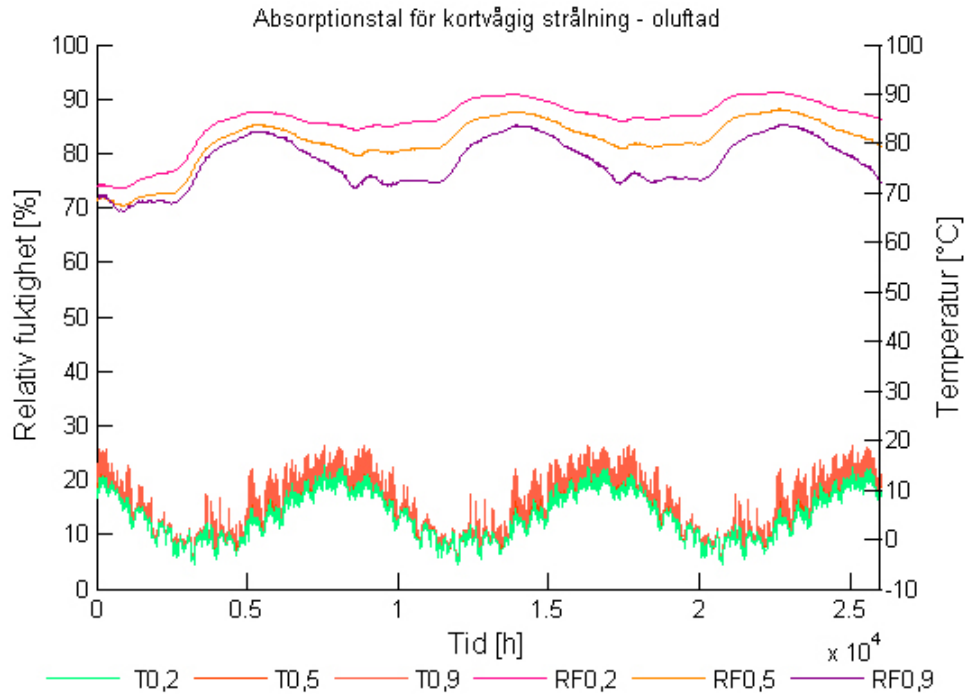
Figur 25: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika byggfukt i en oventilerad konstruktion.



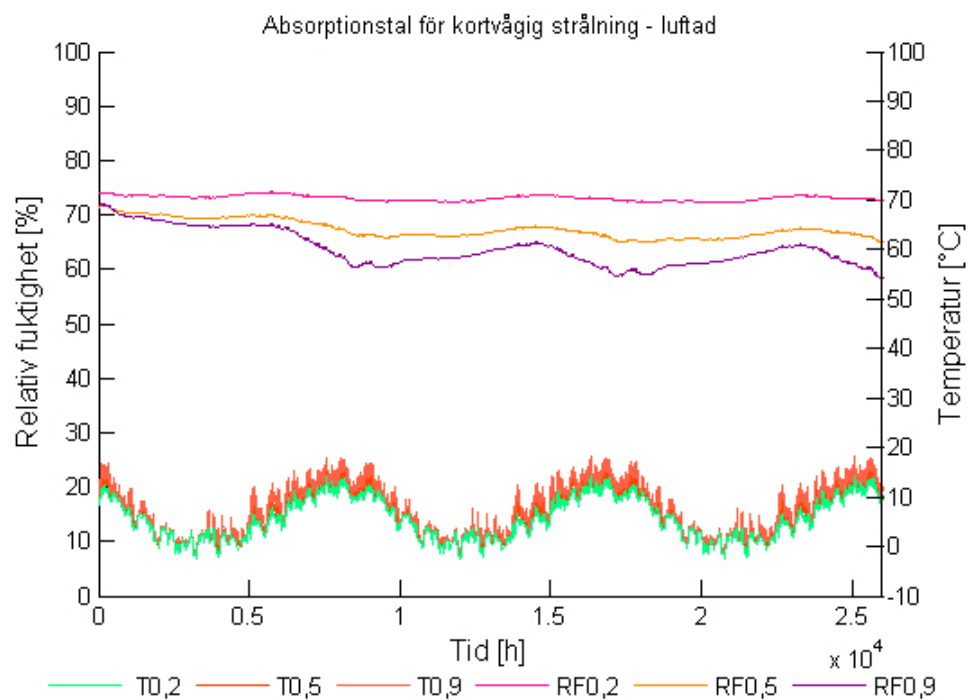
Figur 26: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika byggfukt i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.6 Absorptionstal för kortvågig strålning

Simuleringarna visar att inverkan är stor i båda fallen. För att förstå hur kulörval kan inverka krävs det en djupare analys av parametern (se Figur 27 & Figur 28).



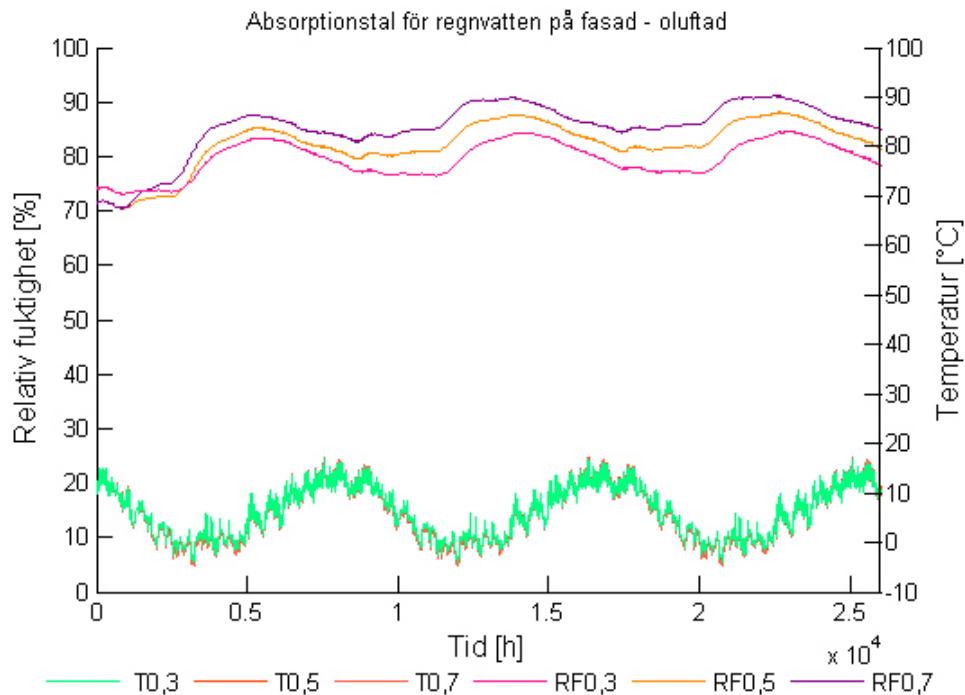
Figur 27: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika absorptionstal för kortvågig strålning i en oventilerad konstruktion.



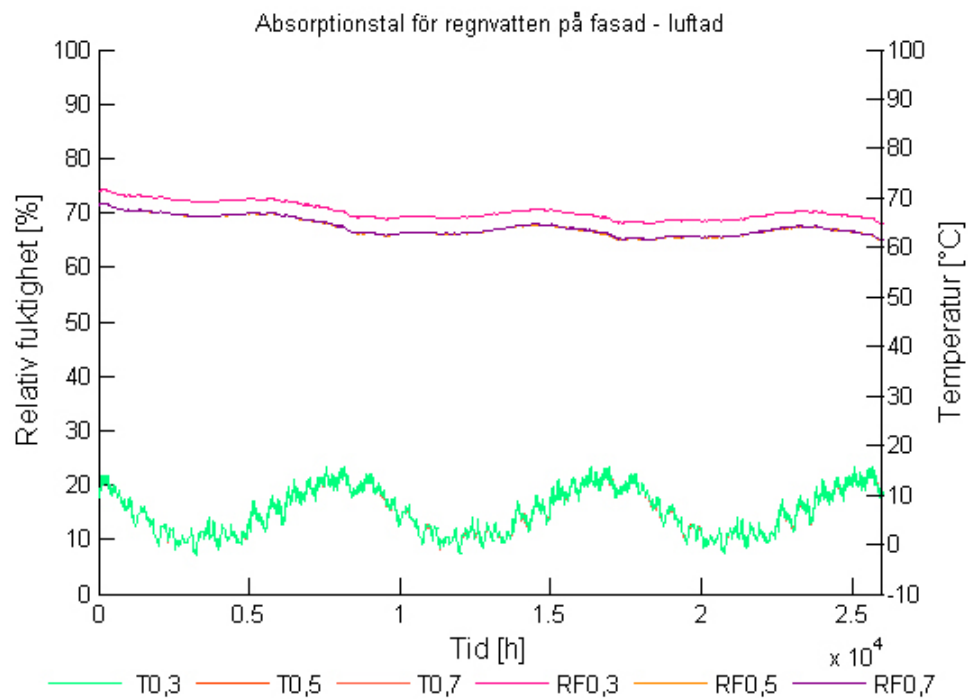
Figur 28: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika absorptionstal för kortvågig strålning i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.7 Absorptionstal för regnvatten på fasad

Simuleringarna visar att det finns en stor differens i RF mellan de olika fallen för absorptionstal för regnvatten på fasaden. För att kunna bestämma värdet för parametern krävs en djupare analys (se Figur 29 & Figur 30).



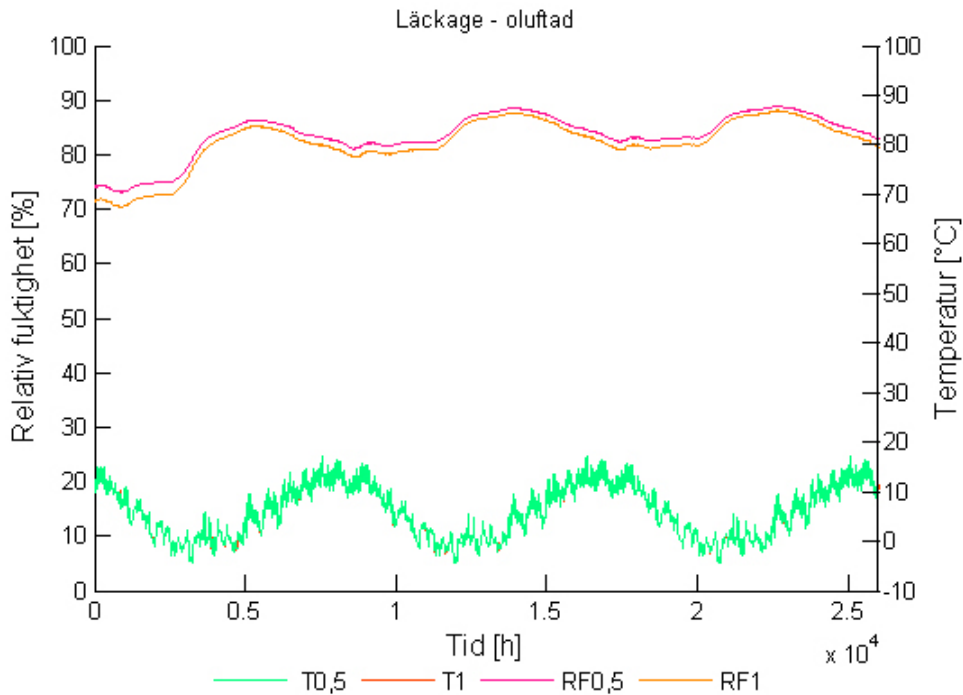
Figur 29: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika absorptionstal för regnvatten på fasad i en oventilerad konstruktion.



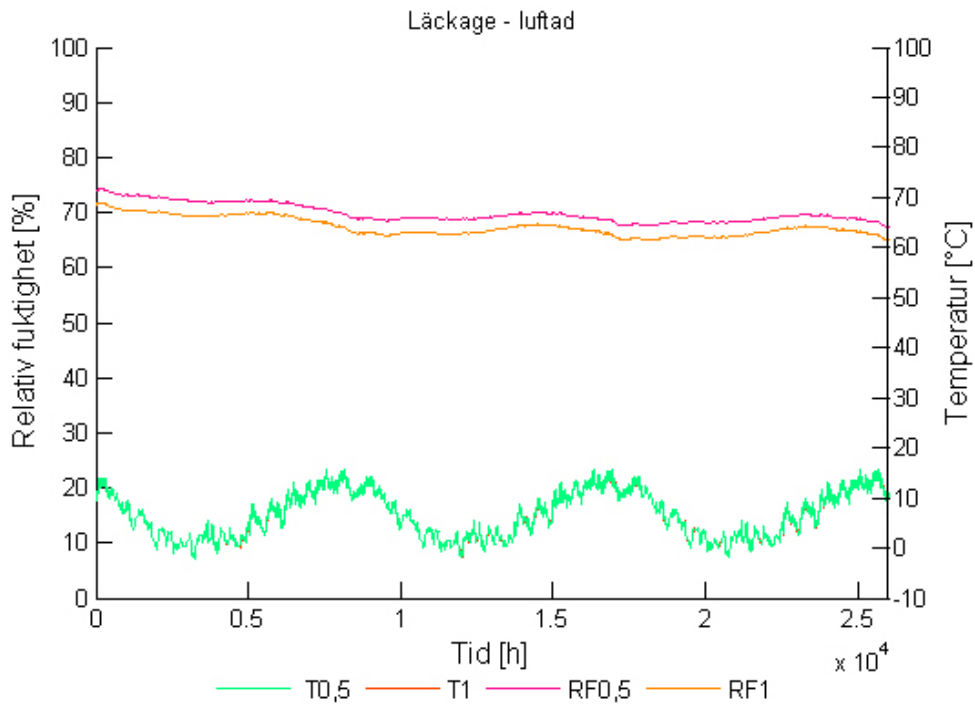
Figur 30: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika absorptionstal för regnvatten i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.8 Utvändigt läckage

Simuleringarna visar på en liten differens av det utvändiga läckaget. Parametern sätts till sitt standardvärde (se Figur 31 & Figur 32).



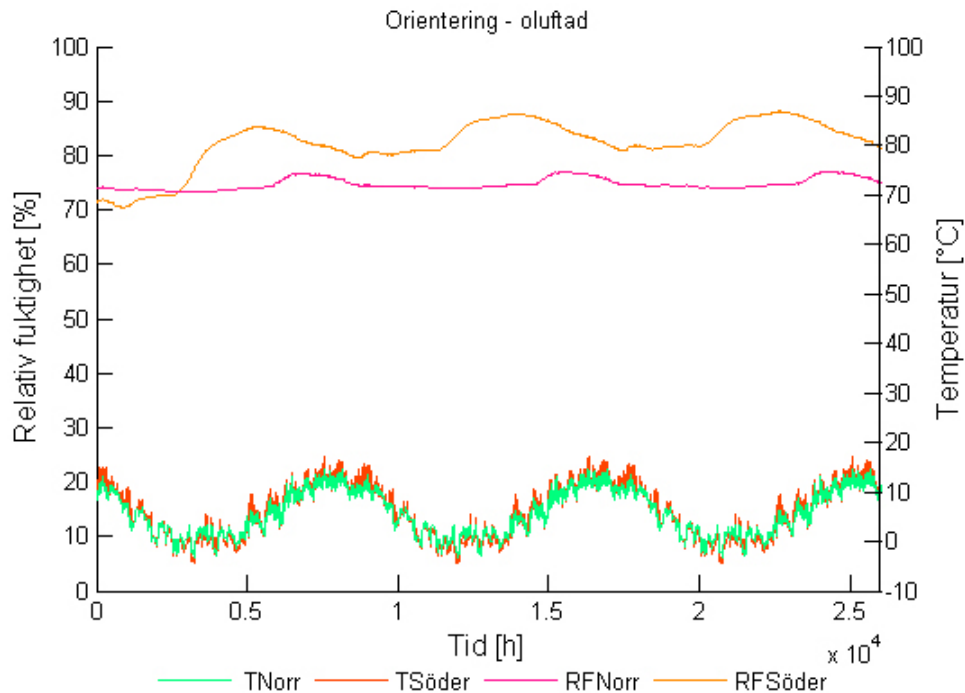
Figur 31: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika läckage i en oventilerad konstruktion.



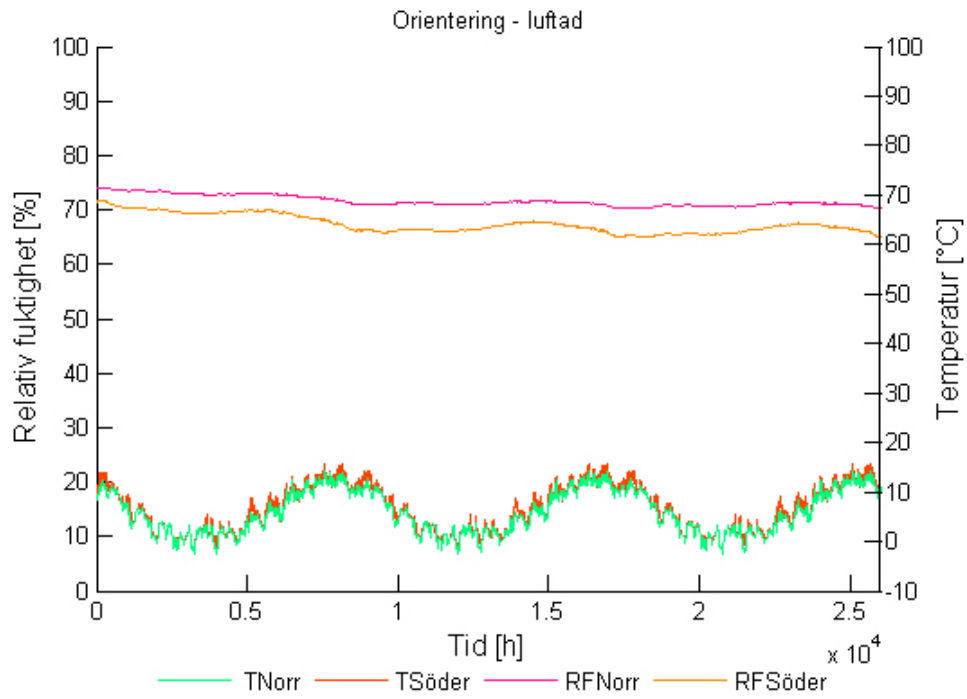
Figur 32: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika läckage i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.9 Orientering Norr/Söder

Resultatet visar att det finns en stor differens mellan väderstrecken för den oventilerade fasaden. Den södra sidan får en högre RF i den oventilerade konstruktionen medan en liten differens uppstår i den ventilerade. Det kan diskuteras ifall väderstrecket borde sättas till sydväst då det är den mest utsatta riktningen, men väderstrecket sätts till söder då det är det mest utsatta för den oventilerade fasaden samt en liten differens uppstår i det ventilerade fallet (se Figur 33 & Figur 34).



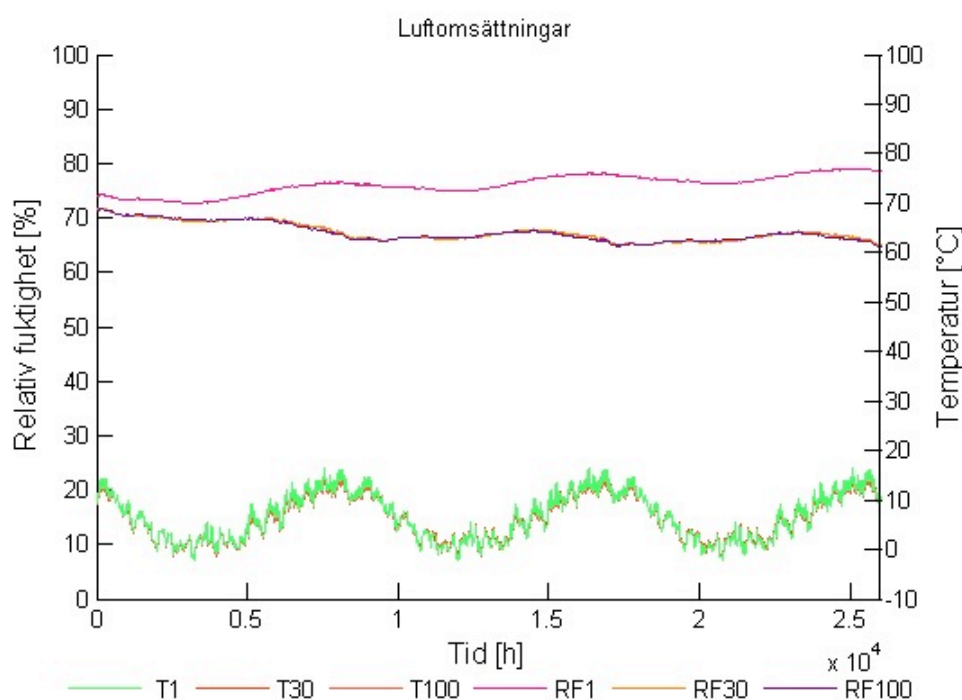
Figur 33: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika orientering i en oventilerad konstruktion.



Figur 34: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika orientering i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.10 Luftomsättningar

Vid simuleringar av den här parametern uppstod några intressanta resultat. Det var väntat att den skulle ha en inverkan på RF och temperatur, men den stora överraskningen var att differensen mellan 30 oms h^{-1} och 1 oms h^{-1} var likvärdig med differensen mellan 100 oms h^{-1} och 1 oms h^{-1} . Resultatet säger att det skiljer sig lite mellan 30-100 oms h^{-1} . Falk (2010) visar att det är många faktorer som påverkar luftomsättningarna. Även då parametern har en stor inverkan kommer den i framtiden sättas till 30 oms h^{-1} . Valet av det grundar sig på att 30 oms h^{-1} bedöms vara ett värde som kan uppstå i fler situationer än 100 oms h^{-1} (se Figur 35).



Figur 35: Grafen visar RF och Temperatur över tiden med olika luftomsättningar i en ventilerad konstruktion.

4.9.3.11 Gitter

Jämförelsen mellan ett fint gitter och standardgitter gav i princip inga skillnader, därför väljs ett standardgitter.

4.9.3.12 Tidssteg

En minskning av tidssteg, först till 0,5h och sedan 0,25h visade på minimala skillnader, därför används 1h.

4.10 Djupanalys av parametrar

4.10.1 Bakgrund och tillvägagångssätt

Den grova analysen visade på vilka parametrar som hade en betydande inverkan och behövde vidare undersökas. Vad den grova analysen inte visade var vilka värden som de inverkan parametrarna skulle sättas till. Det var inte rimligt att sätta samtliga inverkan parametrar till det mest ogynnsamma värdet, likväl som det mest gynnsamma. En sådan lösning är högst osannolik och bortses från. För att ta reda på vilka värden som skall sättas in i de inverkan parametrarna krävdes en djupare analys där ett flertal värden valdes att undersökas. Likt tidigare simuleringar definierades övriga värden till ett bestämt standardvärde. De simulerade värdena i djupanalysen undersöktes i mögelmodellen Folos 2D. Till sist redovisas resultat och en bestämning av de styrande parametervärdena. I detta stadiet valdes inte att undersöka parametrarna med MRD-modellen. Detta för att inte förvränga resultaten genom användning av en modell som är justerad för trä.

4.10.2 Parametrar att simulera

Parametervärden som kommer att undersökas:

4.10.2.1 Typisk byggfukt

Värden: 0 – 5 – 10 – 15 - 20 kg/m³

Standardvärde: 15 kg/m³

4.10.2.2 Absorptionsfaktor för kortvågig strålning

Värden: 0,2 - 0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,9

Standardvärde: 0,6

4.10.2.3 Absorptionstal för regnvatten

Värden: 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,7

Standardvärde: 0,5

4.10.2.4 Vattenabsorptionskoefficient

Värden: 0 - 0,001 - 0,005 - 0,01 - 0,05 - 0,1 kg/m²s^{0,5}

Standardvärde: 0,01 kg/m²s^{0,5}

4.11 Resultat av djupanalys

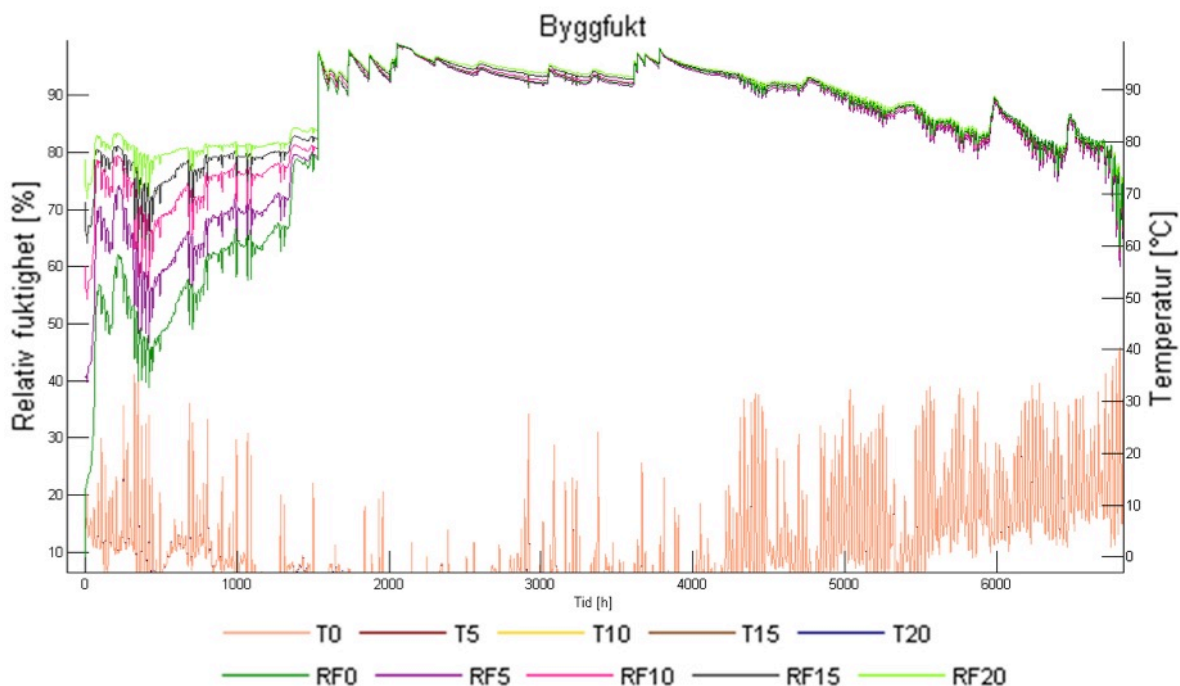
4.11.1 Bakgrund

Analysen av parametrar gav varierande svar i vilken inverkan de olika parametrarna haft på den relativa fuktigheten. För att undersöka samtliga fall som kan uppstå med de olika parametrarna krävs ytterligare studier där tillgång till laboratorier är att föredra samt mer ingående simuleringar. Standardvärdena valdes ut genom diskussion där det gjordes en ingenjörsmässig bedömning av parametrarna. Parametrarna valdes för att vara godtyckliga för både de ventilerade- samt oventilerade konstruktionerna.

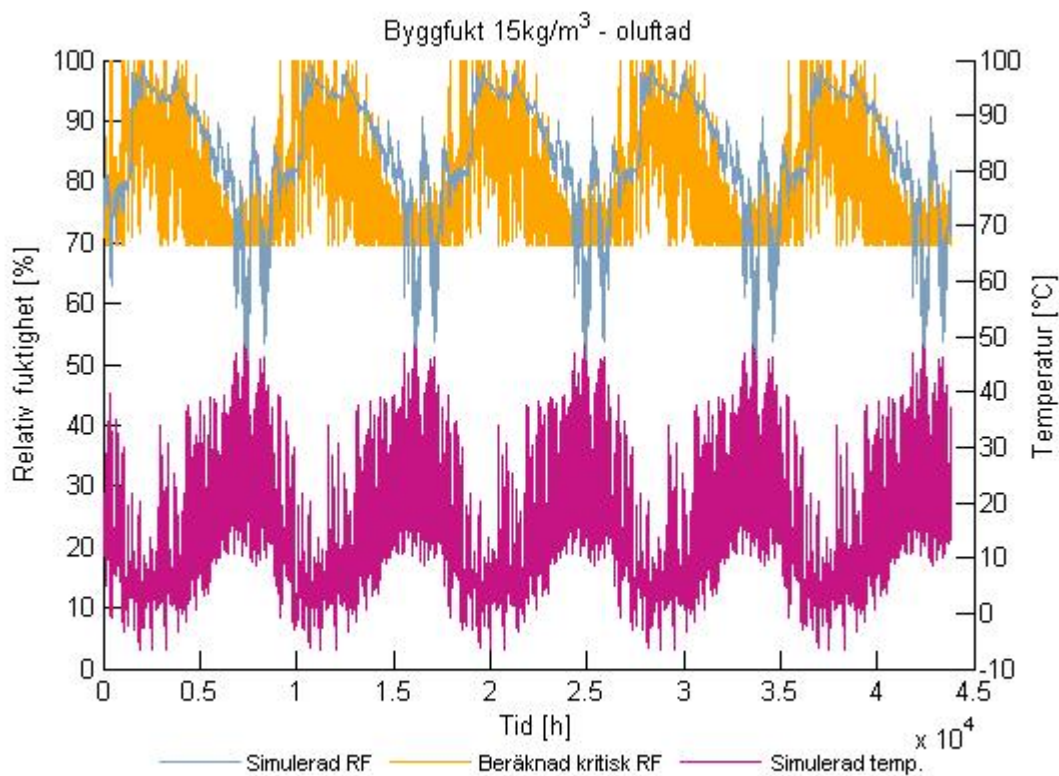
4.11.2 Parametrar

4.11.2.1 Typisk byggfukt

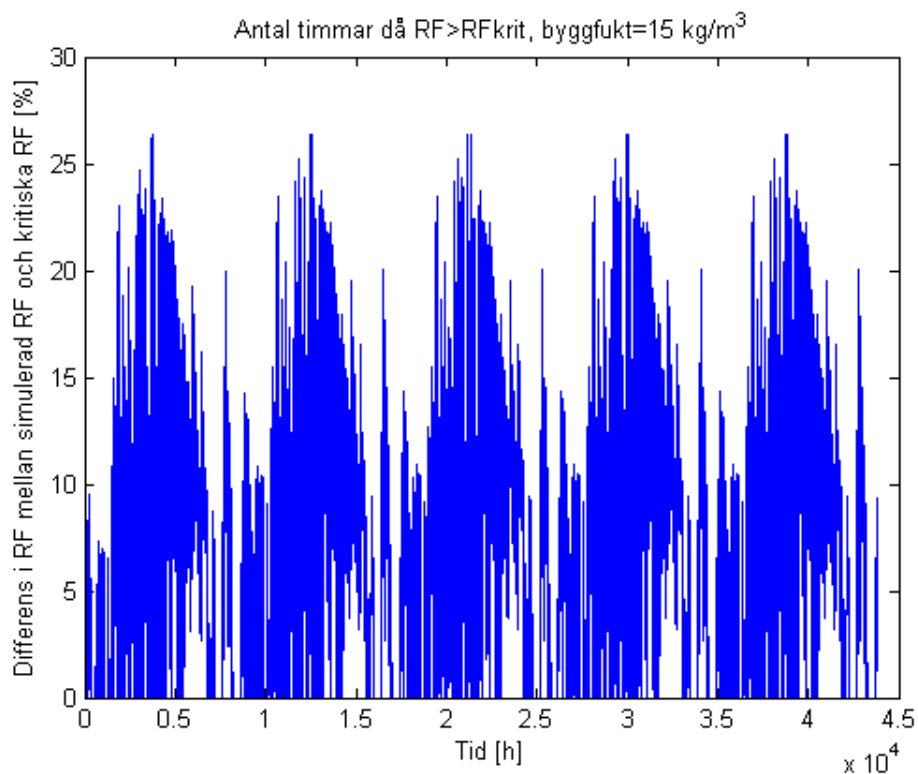
Som Figur 36 & Figur 39 visar så har mängden typisk byggfukt i halmen endast en påverkan på den initiala perioden. Figurerna som visar när och hur länge $RF > RF_{krit}$ är likvärdiga med undantag för ungefär de första 10000 timmarna, dvs. ungefär det första året.



Figur 36: Grafen visar hur den relativa fuktigheten påverkas av den typiska byggfukten i en oventilerad fasad (T0/RF0 visar temperatur/RF vid en typisk byggfukt på 0 kg/m^3 . Övriga parametrar följer samma mönster).

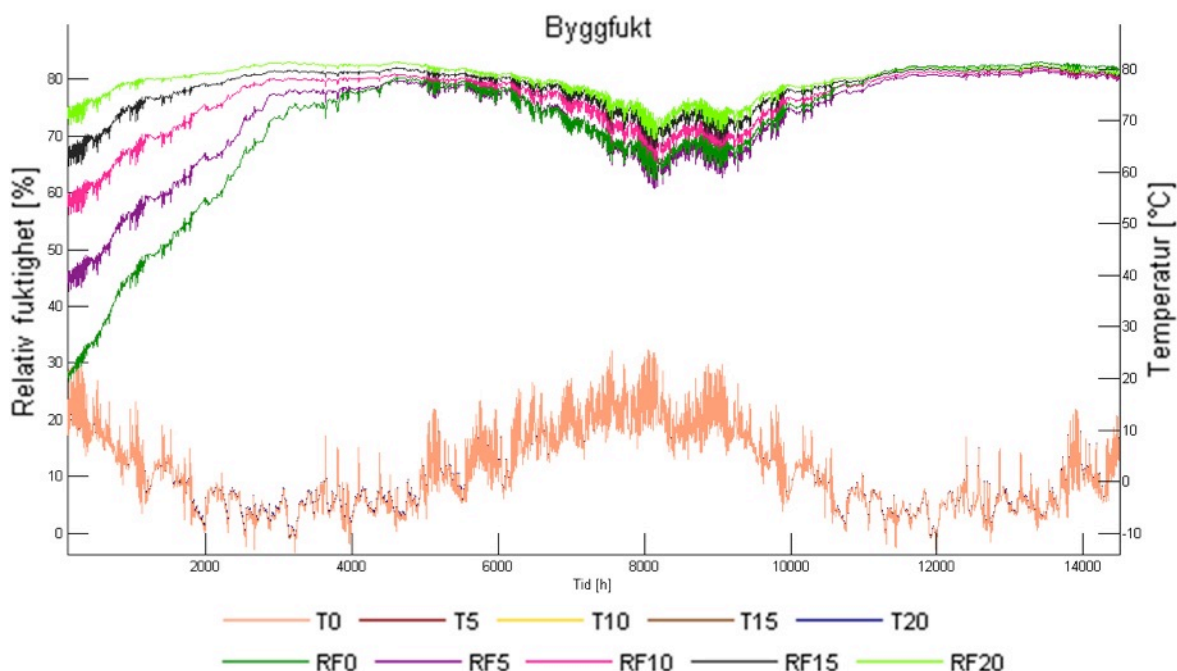


Figur 37: Grafen visar simulerad, kritisk RF och temperatur för en oventilerad fasad med byggfukt 15 kg/m³.



Figur 38: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en oventilerad fasad simulerad med byggfukt 15 kg/m³.

Ovan visas mallar för hur avläsning sker för byggfukt 15 kg/m^3 oventilerad, inklusive mellansteget med kritiska RF. Övriga grafer likt Figur 38 finns som bilagor och redovisas ej i texten (se Figur 101- Figur 108). Grafer likt Figur 37 redovisas ej vidare.

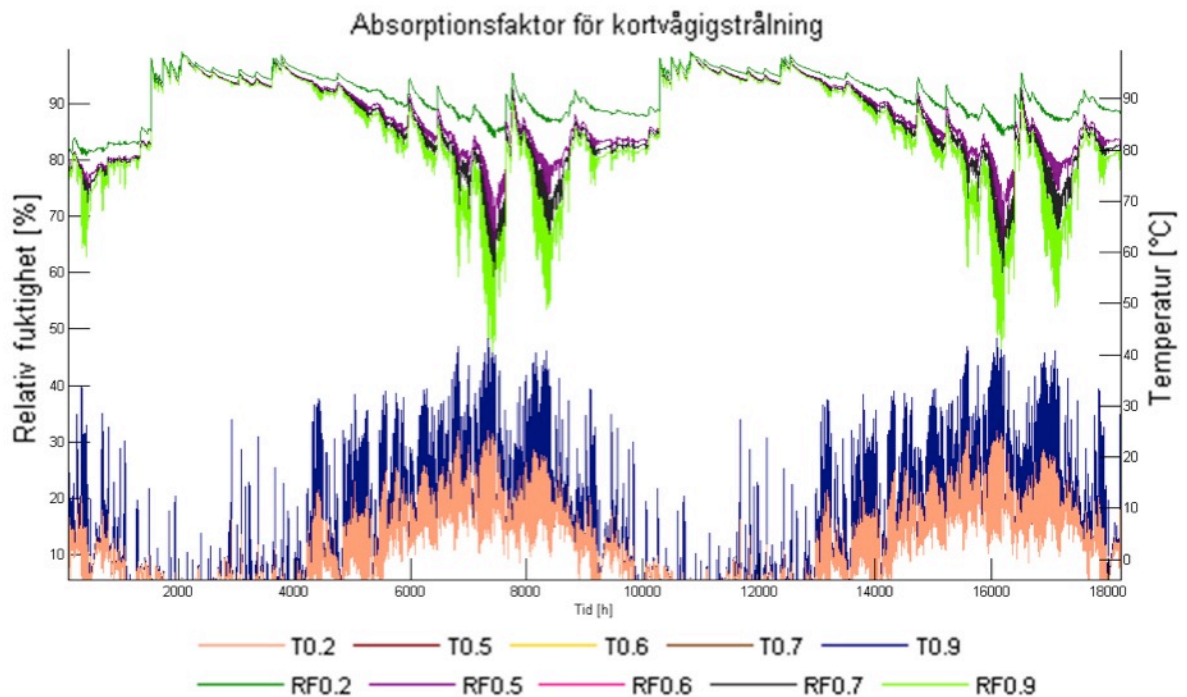


Figur 39: Grafen visar hur den relativa fuktigheten påverkas av den typiska byggfukten i en ventilerad fasad (T0/RF0 visar temperatur/RF vid en typisk byggfukt på 0 kg/m^3 . Övriga parametrar följer samma mönster).

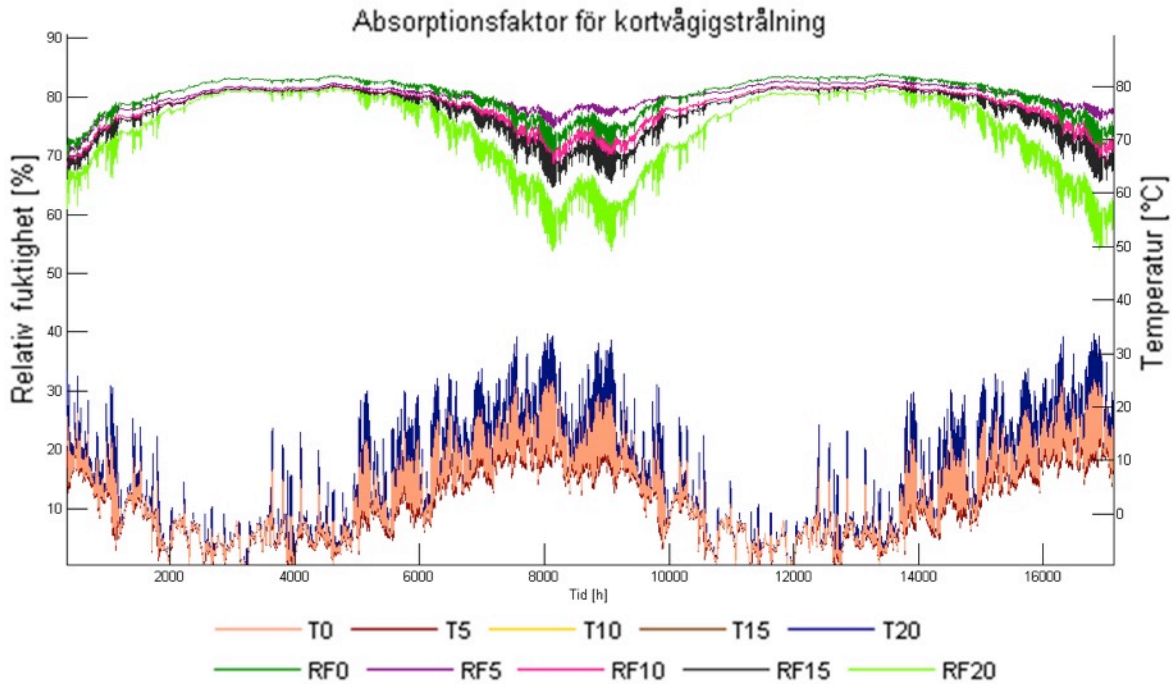
Förklaringen till detta är troligtvis den höga porositeten i halmbalar som leder till att konstruktionerna ställer sig i jämvikt relativt snabbt. Detta visar på något som kan tyckas självklart, att RF är högre desto större mängder byggfukt man bygger in. Detta leder till att mögelrisken ökar med högre halter byggfukt. Enligt Lundin, Rönnbäck (2010) så har halm som skördas i augusti en ungefärlig vattenhalt på 11 % vilket motsvarar en vattenmängd på 11.5 kg/m^3 då skrymdensiteten är 105 kg/m^3 . Som de flesta byggmaterial ska det strävas att bygga med så torr halm som möjligt och förhindra att halmen blir våt under byggtiden. Då parametern bestämdes gjordes bedömningen att det var orimligt att anta att halmen var helt torr eller att halmen hade den övre gränsen för typisk byggfukt (20 kg/m^3). Valet gjordes att sätta typiska byggfukten till 15 kg/m^3 .

4.11.2.2 Absorptionsfaktor för kortvågig strålning

Parametern är en valparameter vilket innebär att den ändras beroende på val man gör under projektering och under byggtiden. Så fort man väljer ett ytskikt på sin vägg har parametern bestämts. Grovanalysen visade att den hade en betydande påverkan och valet gjordes därför att undersöka hur valet av den här parametern påverkar förhållanden i väggen samt mögelrisken (se Figur 40 & Figur 41).



Figur 40: Grafen visar hur den relativa fuktigheten påverkas beroende på absorptionsfaktorn för kortvågig strålning i en oventilerad fasad (T0,2 & RF0,2 visar temperatur och RF för kortvågiga strålningens värde 0,2. Övriga parametrar följer samma mönster).

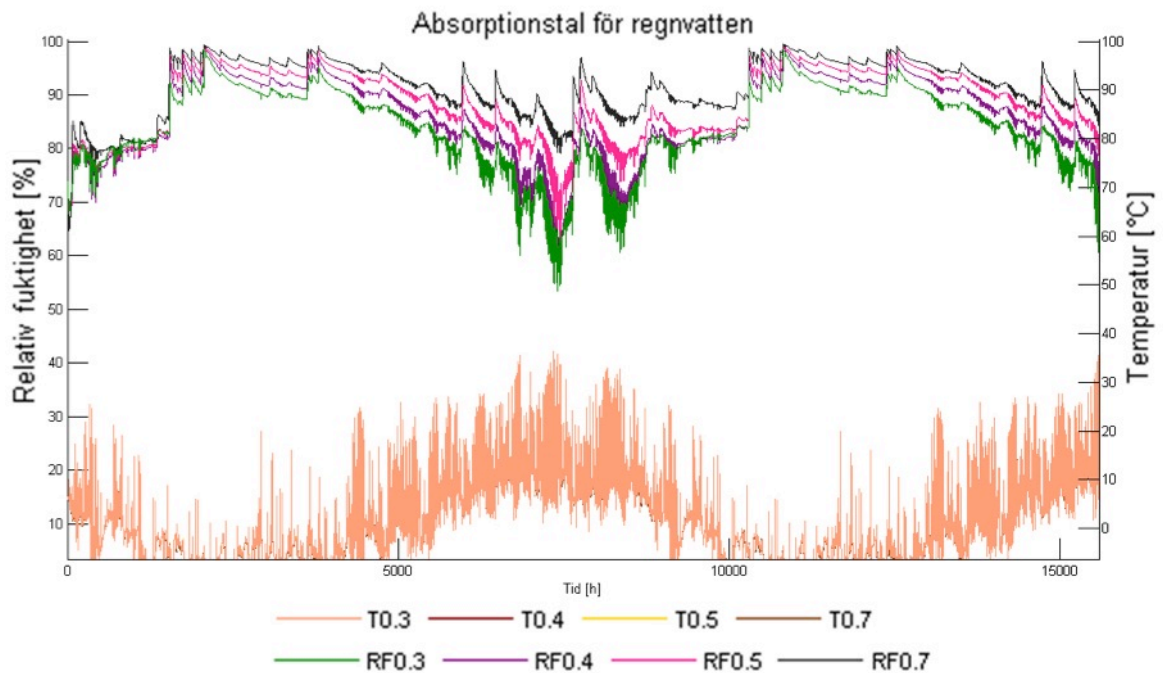


Figur 41: Grafen visar hur den relativa fuktigheten påverkas beroende på absorptionsfaktorn för kortvågig strålning i en ventilerad fasad (T0,2 & RF0,2 visar temperatur och RF för kortvågiga strålningens värde 0,2. Övriga parametrar följer samma mönster).

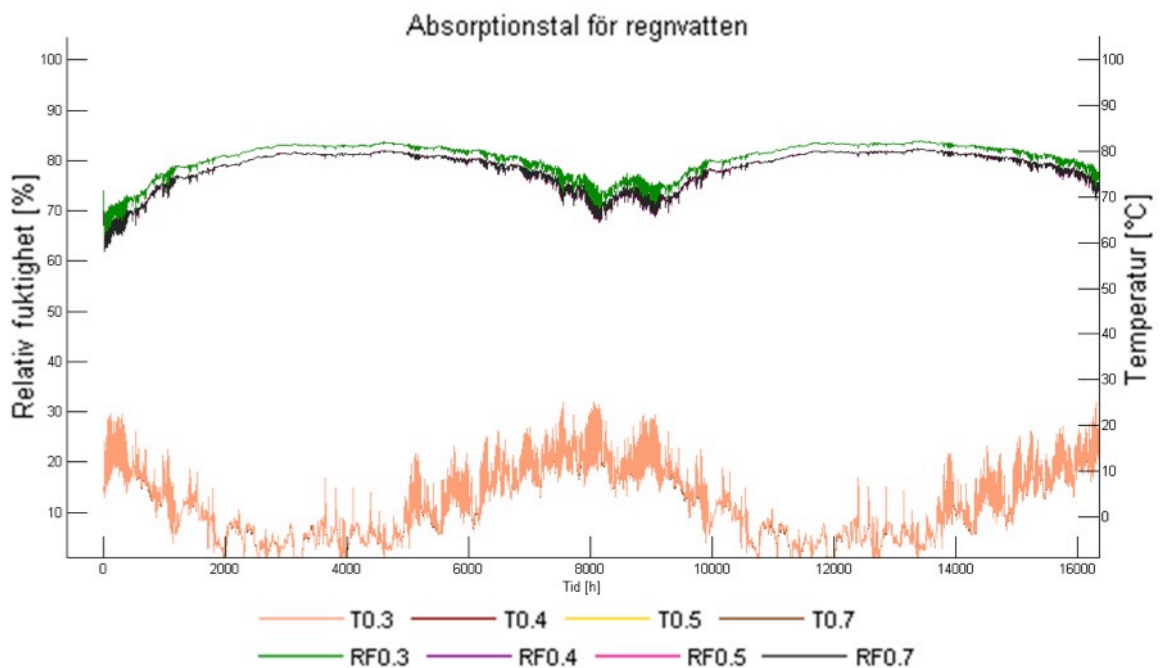
Resultatet blev som väntat att ju högre absorptionsfaktor för kortvågig strålning desto lägre perioder där $RF > RF_{krit}$, vilket kan förklaras med att en högre absorptionsfaktor för kortvågig strålning leder till högre temperaturer som i sin tur leder till lägre RF i konstruktionerna. Högre absorptionsfaktor för kortvågig strålning ger även en högre ytemperatur vilket leder till en bättre uttorkningspotential. Vid bestämning av parametern fördes resonemanget att ett rimligt antagande skulle vara ett värde mellan 0,5-0,7, då värdet ligger i ett intervall mellan 0,2 och 0,9. Som exempel har röd färg ett värde på 0,56 och åldrat trä har ett värde på 0,7. Parametern sattes till värdet 0,6.

4.11.2.3 Absorptionstal för regnvatten

Parametern beskriver hur stor andel nederbörd som träffar ytterväggen (se Figur 42 & Figur 43).



Figur 42: Grafen visar hur den relativa fuktigheten påverkas av absorptionstalet för regnvatten i en oventilerad fasad (T0,3/RF0,3 visar temperatur/RF då absorptionstalet för regnvatten sätts till 0,3. Övriga parametrar följer samma mönster).

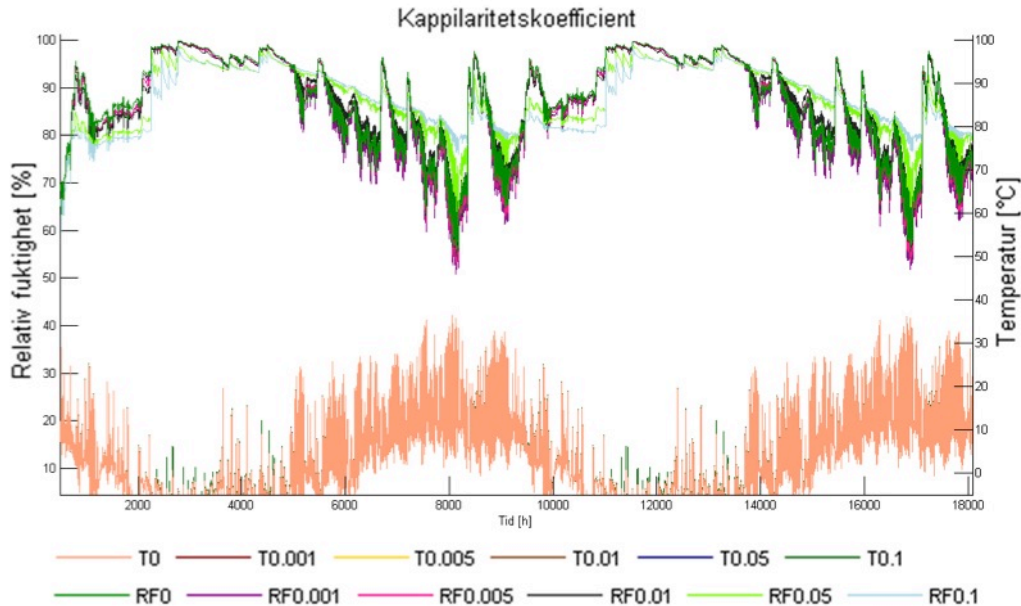


Figur 43: Grafen visar hur den relativa fuktigheten påverkas av absorptionstalet för regnvatten i en ventilerad fasad (T0,3/RF0,3 visar temperatur/RF då absorptionstalet för regnvatten sätts till 0,3. Övriga parametrar följer samma mönster).

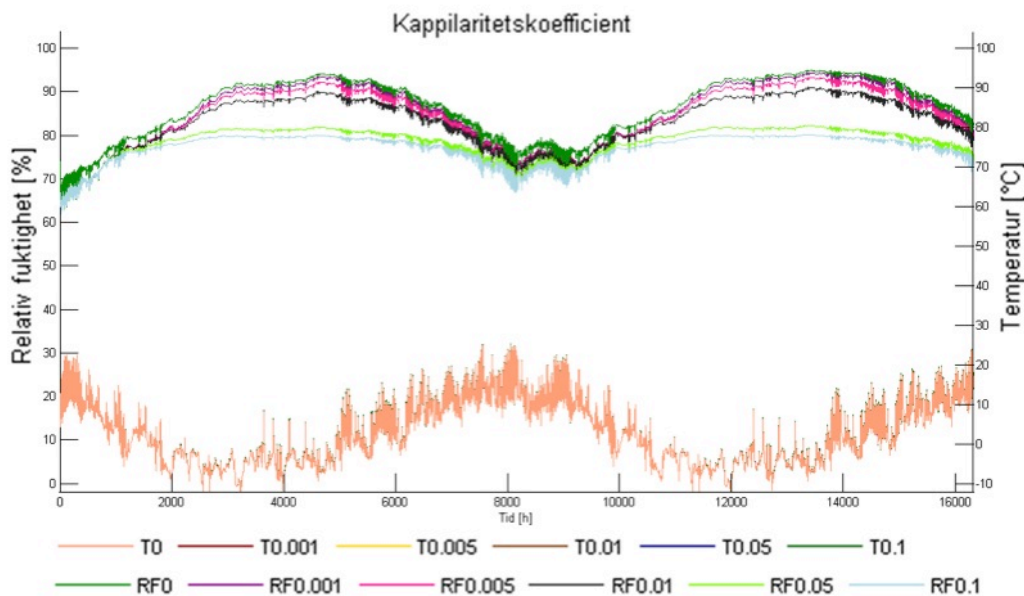
Resultaten som figurerna från den oventilerade konstruktionen visar var väntade, ju mindre nederbörd som träffar väggen desto lägre RF och i förlängningen mindre mögelrisk. Parametern undersöktes då det finns en tradition inom halmbalsbygge att använda sig av ordentliga takutsprång som skyddar väggarna från nederbörden (Magwood & Mack 2000). Figurerna visar på vikten av att ha ett ordentligt takutsprång när man bygger med halm. Den ventilerade konstruktionens graf visar på en något högre RF vid det lägst valda absorptionstalet. Förklaring till det här är oklart. Differensen mellan RF är minimal. Vidare analyser är ett måste för ett fullständigt svar. I bestämning av parametern valdes regnabsorptionsfaktorn till 0,5 då detta bedömdes vara rimligt att uppnå utan extrema konstruktioner med enorma takutsprång.

4.11.2.4 Vattenabsorptionskoefficient

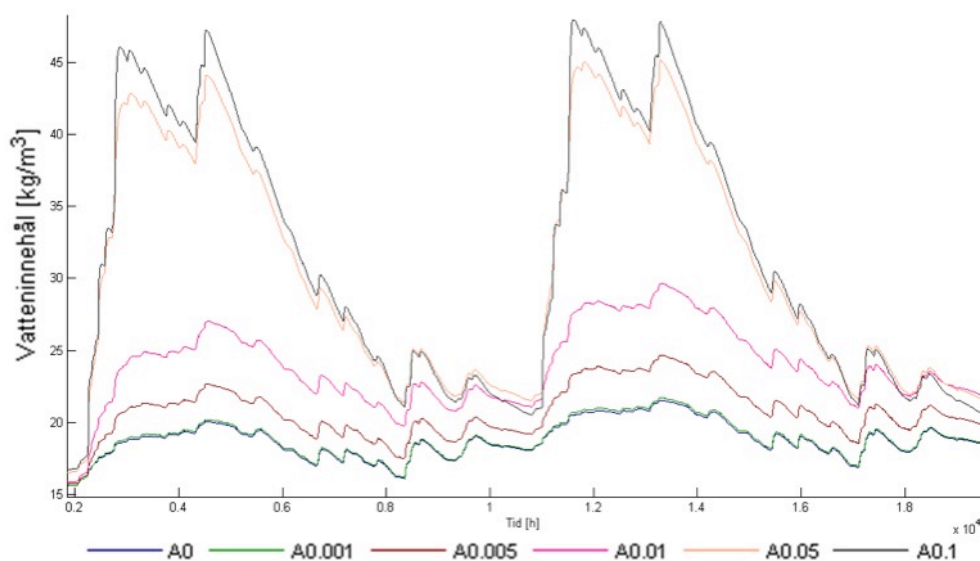
Vattenabsorptionskoefficienten eller kapillaritetskoefficienten (Nevander & Elmarsson 2006) beter sig mycket irrationellt som figurerna visar (se Figur 44 - Figur 47). Detta i likhet med simuleringar som gjordes av Evrard et al. (2012) som visar på liknande resultat.



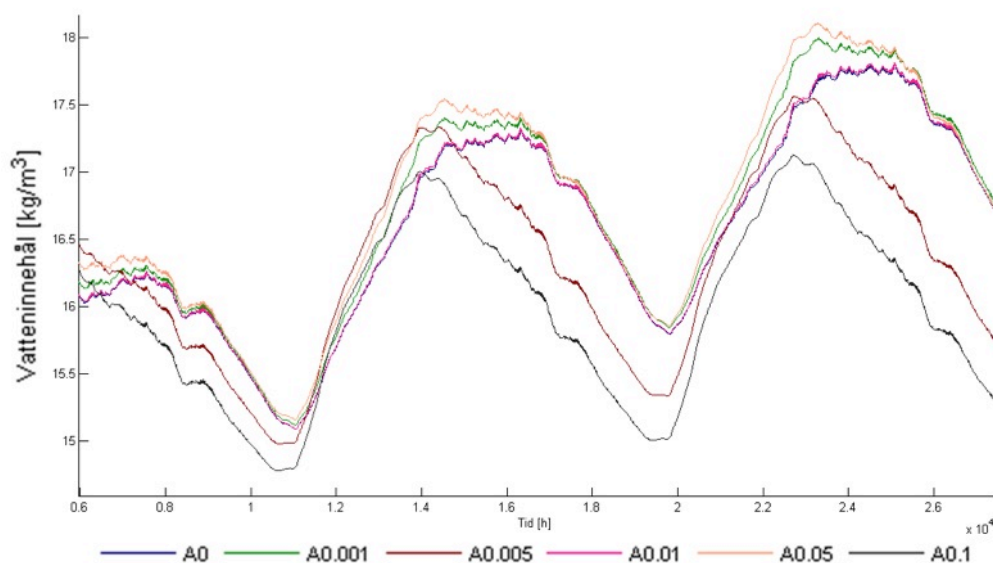
Figur 44: Grafen visar hur den relativa fuktigheten påverkas av kapillaritetskoefficienten i en oventilerad fasad (T0/RF0 visar temperatur/RF då absorptionstalet för regnvatten sätts till $0 \text{ kg/m}^2\sqrt{s}$. Övriga parametrar följer samma mönster).



Figur 45: Grafen visar hur den relativa fuktigheten påverkas av kapillaritetskoefficienten i en ventilerad fasad (T0/RF0 visar temperatur/RF då absorptionstalet för regnvatten sätts till $0 \text{ kg/m}^2\sqrt{s}$. Övriga parametrar följer samma mönster).



Figur 46: Grafen visar hur vatteninnehållet påverkas av kapillaritetskoefficienten i en oventilerad fasad (A0 visar vatteninnehållet då absorptionstalet för regnvatten sätts till $0 \text{ kg/m}^2\sqrt{s}$. Övriga parametrar följer samma mönster).



Figur 47: Grafen visar hur vatteninnehållet påverkas av kapillaritetskoefficienten i en ventilerad fasad (A0 visar vatteninnehållet då absorptionstalet för regnvatten sätts till $0 \text{ kg/m}^2\sqrt{s}$. Övriga parametrar följer samma mönster).

Det intressanta är att en högre vattenabsorptionskoefficient inte nödvändigtvis innebär att det blir ett högre vatteninnehåll i den ventilerade konstruktionen. En högre vattenabsorptionskoefficient leder inte nödvändigtvis till ett högre RF i både den ventilerade samt den oventilerade konstruktionen. Att RF blir lägre med en högre vattenabsorptionskoefficient skulle kunna förklaras med att en blötare konstruktion isolerar sämre och därmed höjer temperaturen och sänker RF. En undersökning gjordes för att se om WUFI genererade felaktiga

värden vid tidssteget 1h. Tidssteget 0,5h undersöktes men visade även där på varierande svar (se Figur 109, Figur 110 & Figur 111). Vid bestämning av parametern granskades data och valet gjordes att ta värdet som låg mellan de yttersta resultaten, detta då det ansågs orimligt att inte ta hänsyn till vattenabsorptionskoefficienten eller att välja något av värdena som gav upphov till extrema resultat. Valet av vattenabsorptionskoefficienten blev då värdet 0,01. Att beskriva ur en byggnadsteknisk synpunkt det irrationella beteendet som parametern ger upphov till är väldigt svårt. Det bedömdes att det inte fanns nog teoretisk bakgrund att kunna hitta en förklaring. Ämnet skulle vara lämpligt för framtida studier.

4.12 Bestämning av parametrar

Nedan listas samtliga standardvärden som genom en grov- samt djup parameteranalys och ingenjörsmässig bedömning valts för vidare simuleringar.

Parametrar för halmbalar:

- Skrymdensitet 105 kg/m³
- Porositet 0,88 m³/m³
- Specifik värmekapacitet, torr 1800 J/kgK
- Värmeledningsförmåga, torr 0,045 W/mK
- Diffusionsmotstånd för vattenånga 1,5
- Referens-vatteninnehåll 21 kg/m³
- Fri vattenmättnad 63 kg/m³
- Vattenabsorptionskoefficient 0,01 kg/m²s^{0,5}
- Fuktberoende värmeledning 4,0 %/M.-%
- Typisk byggfukt 15 kg/m³
- Tjocklek 0,46 m

Parametrar för noggrannhet & klimat i simuleringar:

- Absorptionstal för regnvatten 0,5
- Absorptionstal för kortvågig strålning 0,6
- Emissionstal för långvågig strålning 0,9
- Terräng, kortvågig reflexionsförmåga 0,2
- Läckage 1,0 % genom halmbalen
- Orientering söder
- Luftomsättning (på ventilerad fasad) 30 oms/h
- Slagregnskoefficient (R1) 0
- Slagrenskoefficient (R2) 0,07 s/m
- Byggnadshöjd låg, under 10 m
- Vindberoende används ej
- Sd-värde används ej
- Explicit strålningsbalans används ej
- Begynnelsefuktighet i byggnadsdel i varje skikt
- Begynnelsestemperatur i byggnadsdel, medelvärde 15 grader
- Starttid 1990-09-01
- Sluttid 1998-09-01
- Klimatdata utomhus Lund LTH-data (modifierad av Wallentén, P).
- Klimatdata inomhus SS:EN 13788
- Inomhustemperatur 20 grader
- Fuktklass 2

5 Konstruktioner

5.1 Bakgrund

Valen av konstruktioner har grundat sig efter en rad olika aspekter. Som det tidigare beskrivits kommer det bl.a. att användas konstruktioner som står utanför ramen av vad som anses som standardutförande vid halmbalsbyggande. Studien tar tillvara på de traditionella byggmetoderna men utforskar även okonventionella och ovanliga varianter. Studien kommer dels att riktas mot det vanligt förekommande byggnadssättet, d.v.s. med puts på vardera sida om halmen och dels utforska aspekterna med att bygga på ett konventionellt industriellt sätt. Materialvalen är således inte enbart organiska.

5.2 Metod

Simuleringarna har delats upp i två fall, där fall 1 är en konstruktion utan luftspalt, fall 2 där luftspalt används.

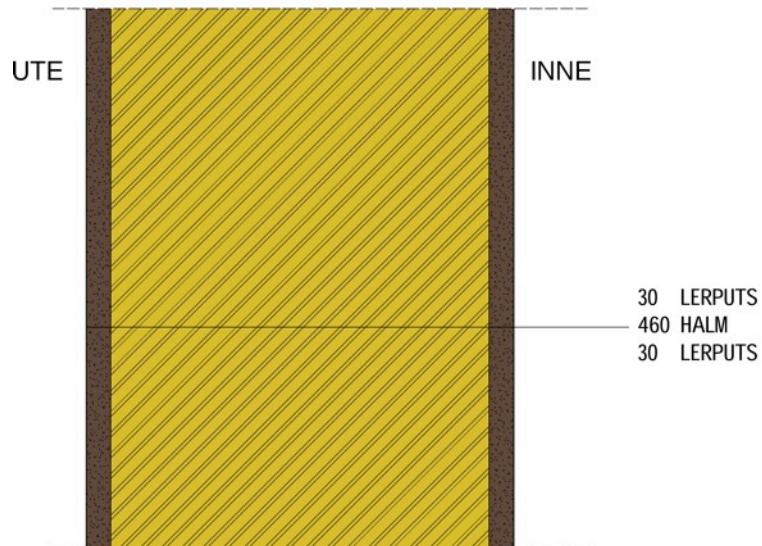
Varje fall delas upp i tre olika konstruktionslösningar vilket sammanlagt blir 6 stycken konstruktioner. Konstruktionerna beskrivs nedan med uppbyggnad och förklaring till de olika valen.

Monitorpositionering i konstruktionerna under simuleringarna finns beskrivna på Figur 95 - Figur 100.

5.3 Konstruktionslösningar

5.3.1 Oventilerad fasad

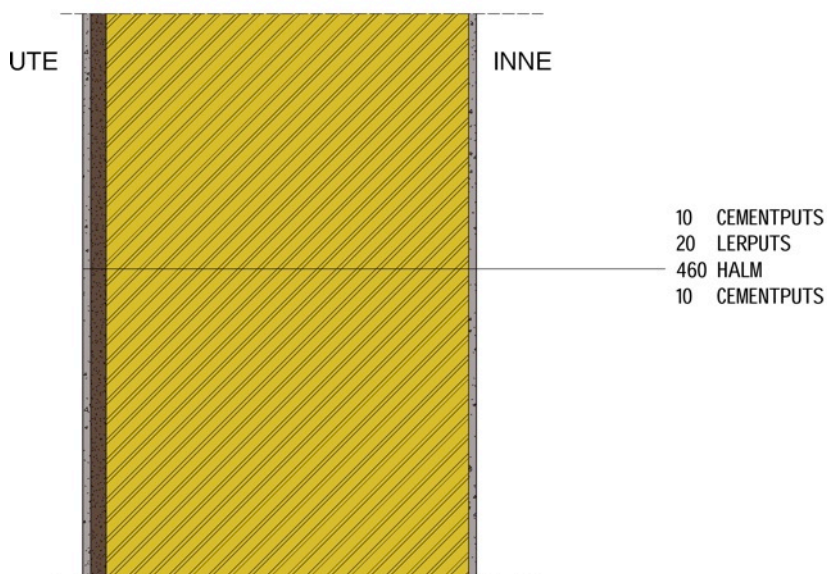
5.3.1.1 Konstruktion 1



Figur 48: Oventilerad konstruktion 1.

Den mest förekommande lösningen att bygga med halmbalar världen över är där lerputs används som tjockt lager på båda sidorna om halmen. Tjocklek varierar på båda materialen. Lerputsens är oftast i tre lager men förenklat sätts ett tjockt lager istället. Den här konstruktionen är som sagt den mest frekvent använda och det är därför intressant att undersöka hur fuktillståndet ser ut i en sådan vägg (se Figur 48).

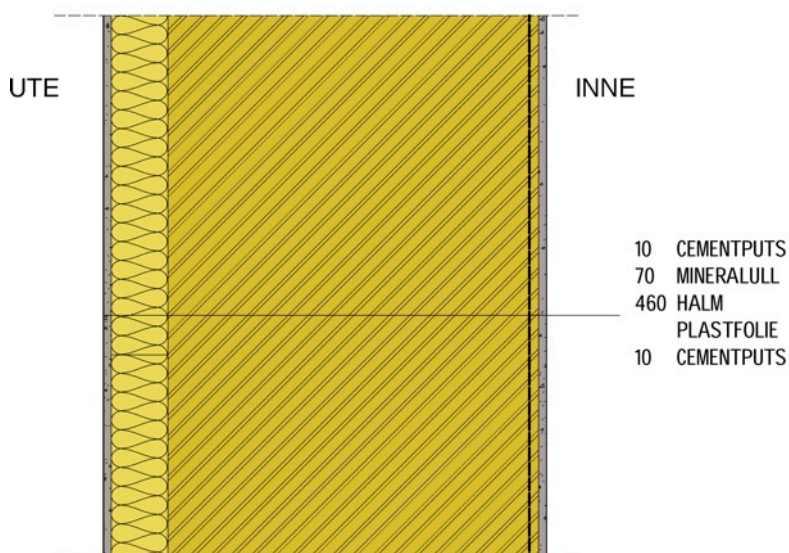
5.3.1.2 Konstruktion 2



Figur 49: Oventilerad konstruktion 2.

Den här konstruktionen är inte lika vanlig som första lösningen men används likväl frekvent. Den har valts till studien för just det här skälet (se Figur 49).

5.3.1.3 Konstruktion 3

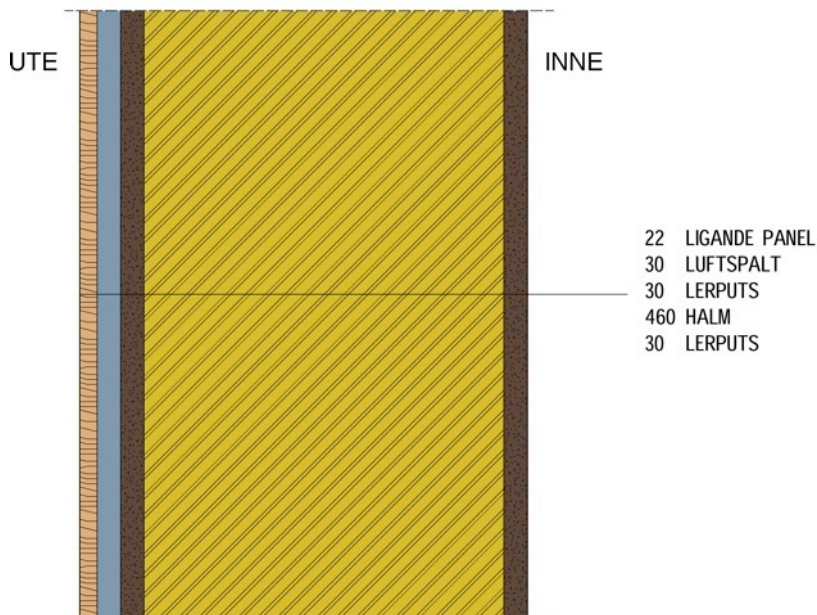


Figur 50: Oventilerad konstruktion 3.

Till skillnad från de två tidigare lösningarna innehåller konstruktionen mineralull och en plastfilm. Plastfilmen har valts för att förhindra inomhusluft att tränga sig in i konstruktionen (se Figur 50).

5.3.2 Ventilerad fasad

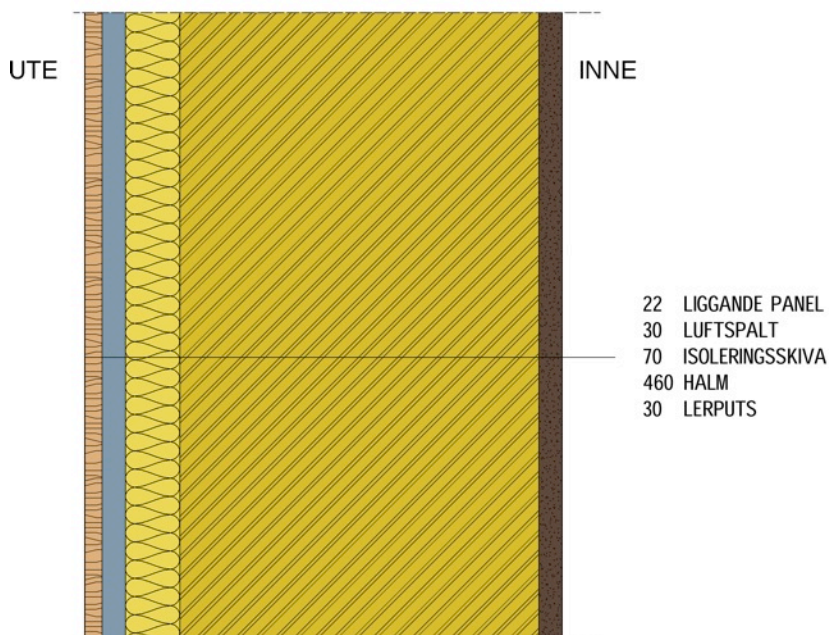
5.3.2.1 Konstruktion 1



Figur 51: Ventilerad konstruktion 1.

Konstruktionen är konventionell inom halmbalsbygge med undantag för luftspalten. Skälet är att undersöka vad som händer när man bygger med en utanpåliggande luftspalt (se Figur 51).

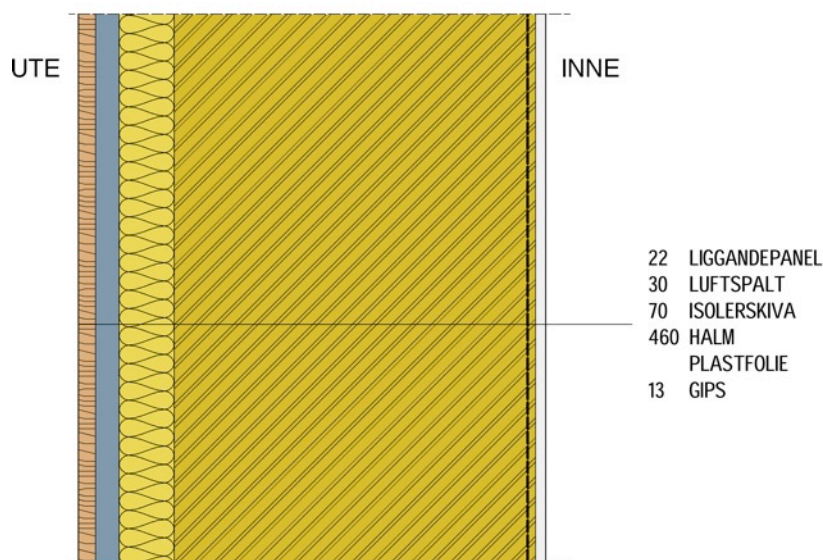
5.3.2.2 Konstruktion 2



Figur 52: Ventilerad konstruktion 2.

Här har lerputsens på utsidan bytts ut mot en mineralull med för att se hur fukt-tillståndet ter sig i en sådan konstruktion. Tanken med mineralullen är att isolera halmen med ett inert lager (se Figur 52).

5.3.2.3 Konstruktion 3



Figur 53: Ventilerad konstruktion 3.

Likt konstruktion 2 finns isoleringen kvar och på insidan byts putsen ut mot plast och gips (se Figur 53).

5.4 Resultat och analys

5.4.1 Oventilerade konstruktioner

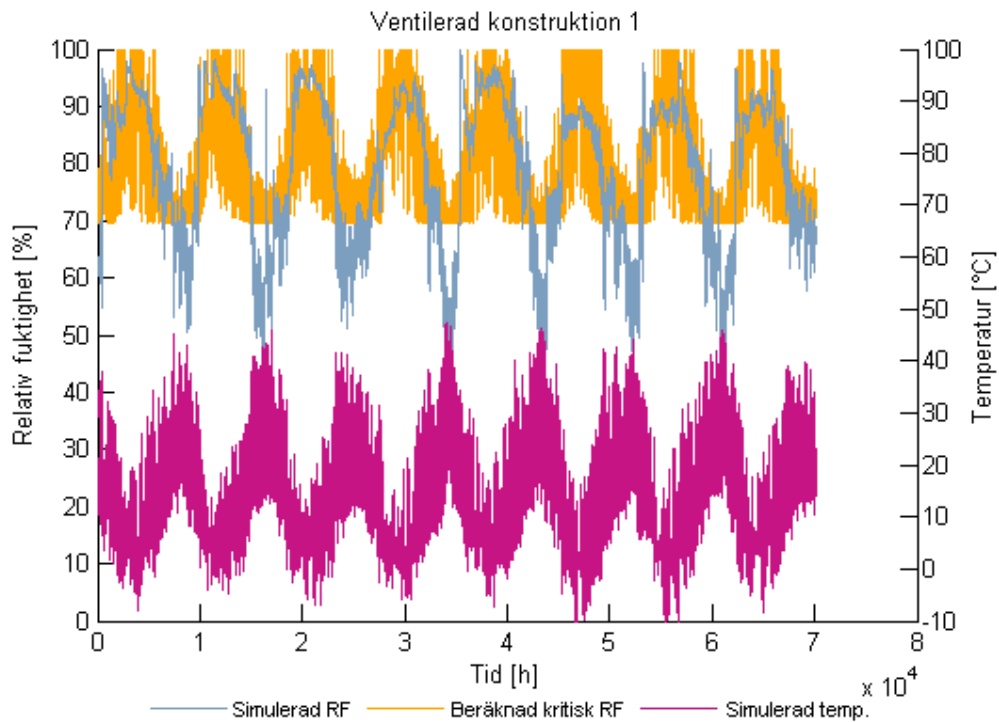
5.4.1.1 Konstruktion 1

Resultatet av Figur 54 & Figur 55 visar att $RF > RF_{krit}$ vid en stor del av den simulerade tiden. Figur 55 visar att RF överstiger den kritiska gränsen så högt som 27%.

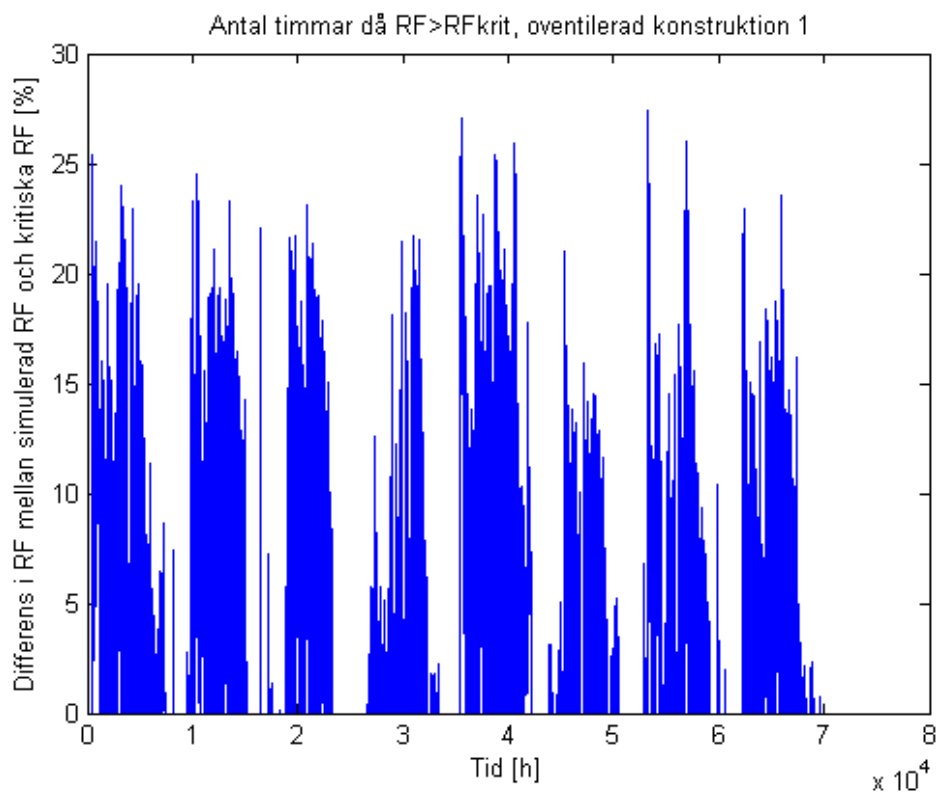
Isoplethen (Figur 56) visar på att ungefär hälften av de simulerade timmarna ligger ovanför LIM_{halm} .

I MRD-figuren (Figur 57) ser man att MRD-index överstiger gränstillståndet efter cirka 25 dagar.

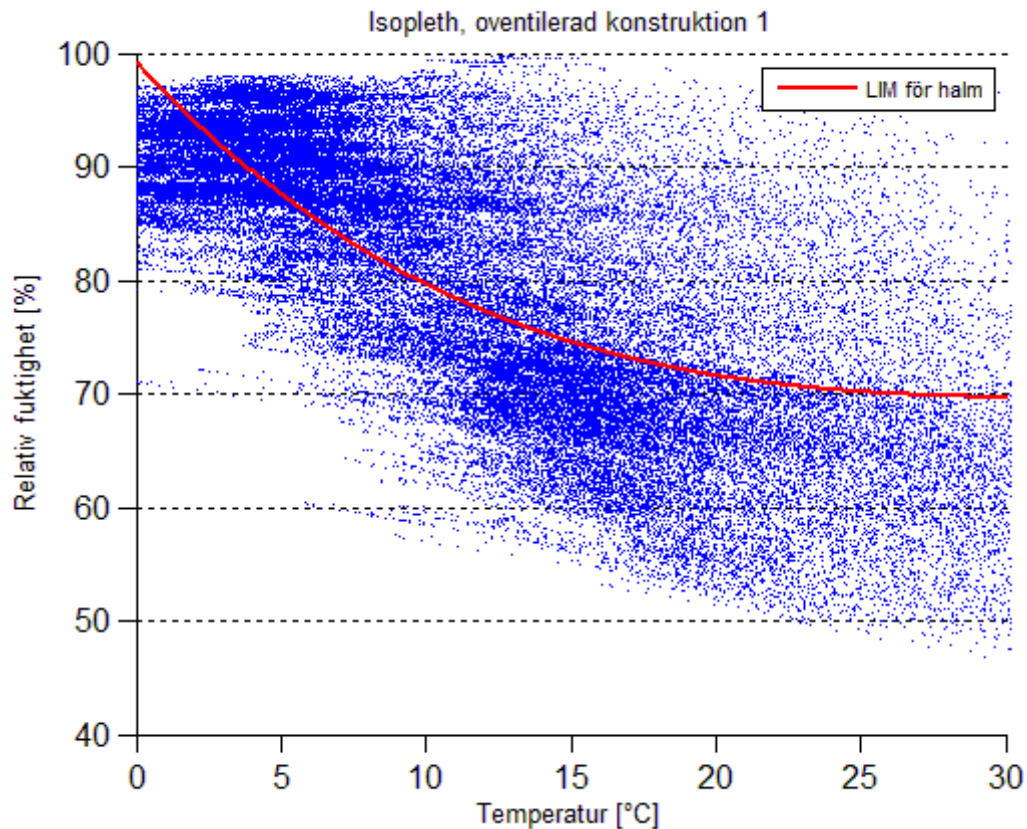
Samtliga modeller visar på att det efter kort tid finns stor risk för mögelpåväxt i konstruktionen. Av resultaten att bedöma är konstruktionen olämplig ur ett mögelperspektiv i ett sydsvenskt klimat.



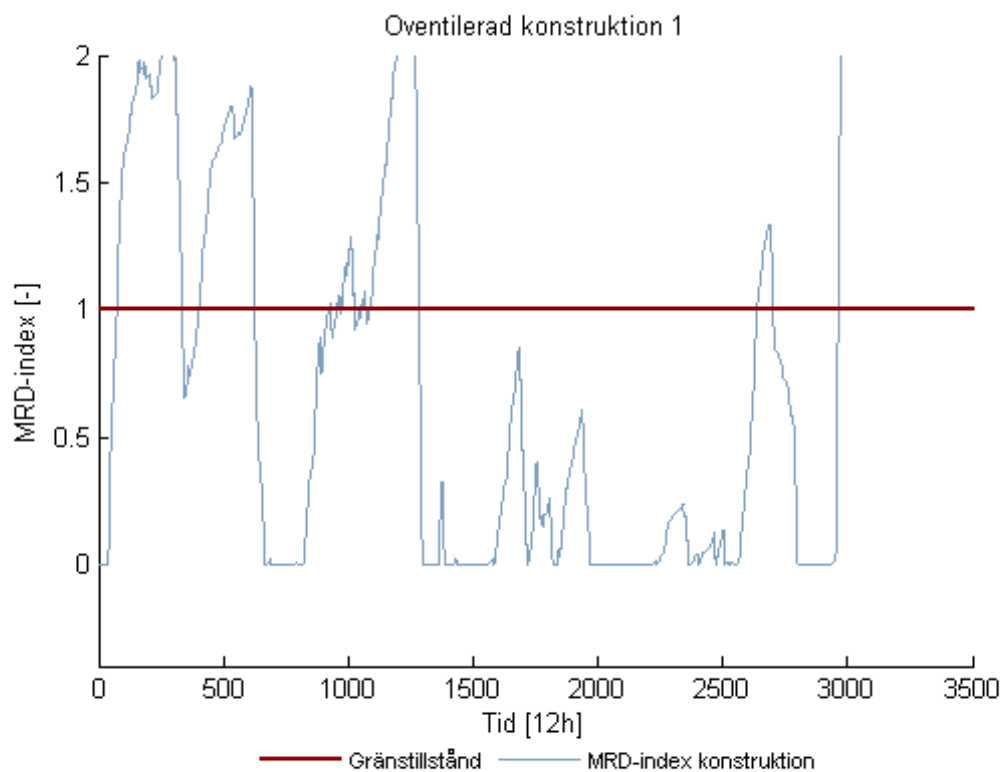
Figur 54: Grafen visar den relativa fuktigheten i korrelation med temperatur och kritisk RF för oventilerad konstruktion 1.



Figur 55: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF i oventilerad konstruktion 1.



Figur 56: Isoplethen visar spridningen av RF i timmar i korrelation med LIM för halm(röd) i oventilerad konstruktion 1.



Figur 57: Grafen visar MRD-index för oventilerad konstruktion 1 i korrelation med gränstillstånd.

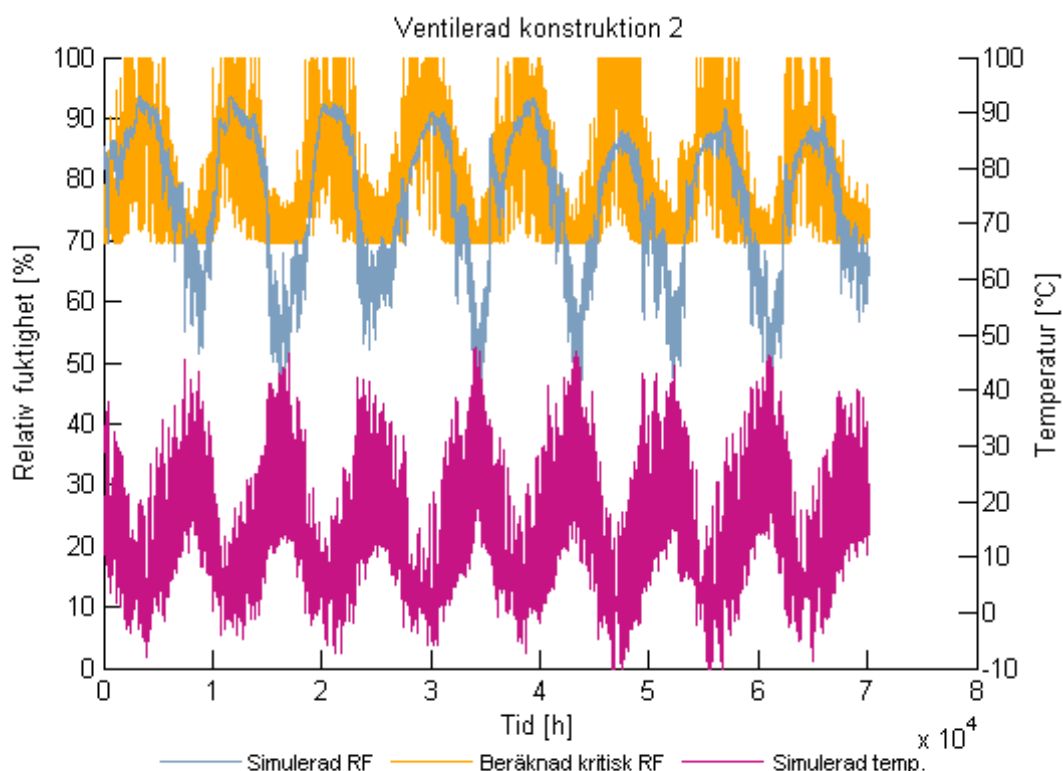
5.4.1.2 Konstruktion 2

Konstruktionen visar liknande tendenser som konstruktion 1 då RF överstiger RF_{krit} under många timmar (se Figur 58), dock visar Figur 59 att differensen i RF är lägre, max cirka 20 %. Figuren visar även att perioderna då $RF > RF_{krit}$ är i regel kortare än konstruktion 1.

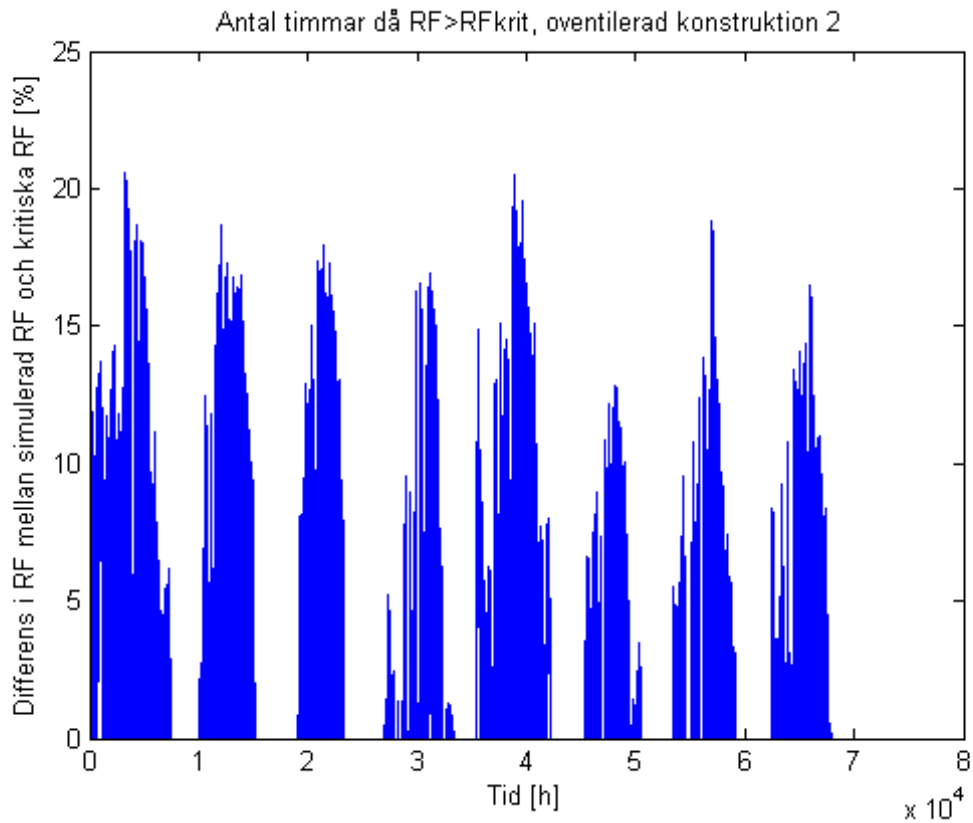
Isoplethen (Figur 60) visar återigen många simulerade timmar som hamnar ovanför LIM_{halm} . Noteras skall att timmarna inte är lika många som konstruktion 1, samt att spridningen aldrig når samma RF som föregående konstruktion.

MRD-modellen (Figur 61) visar på att MRD-index överstiger gränstillståndet efter en kort tid, dock blir värdet inte lika högt.

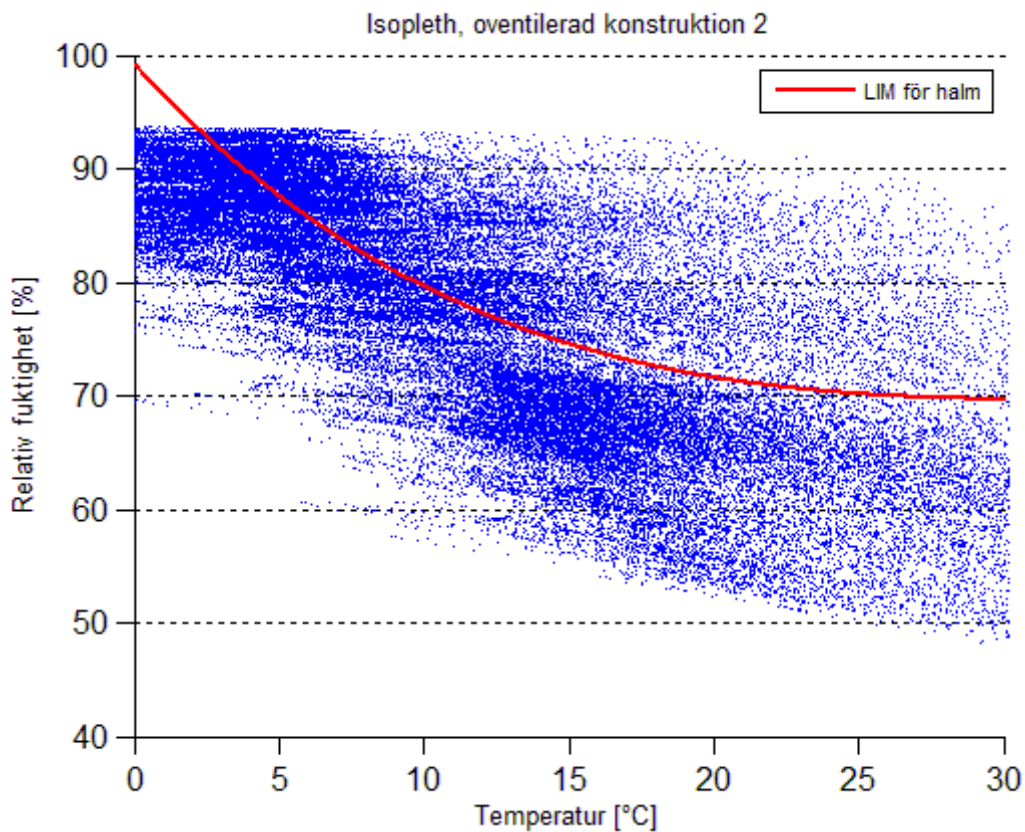
Konstruktionen bedöms ej funktionell ur mögelsynpunkt.



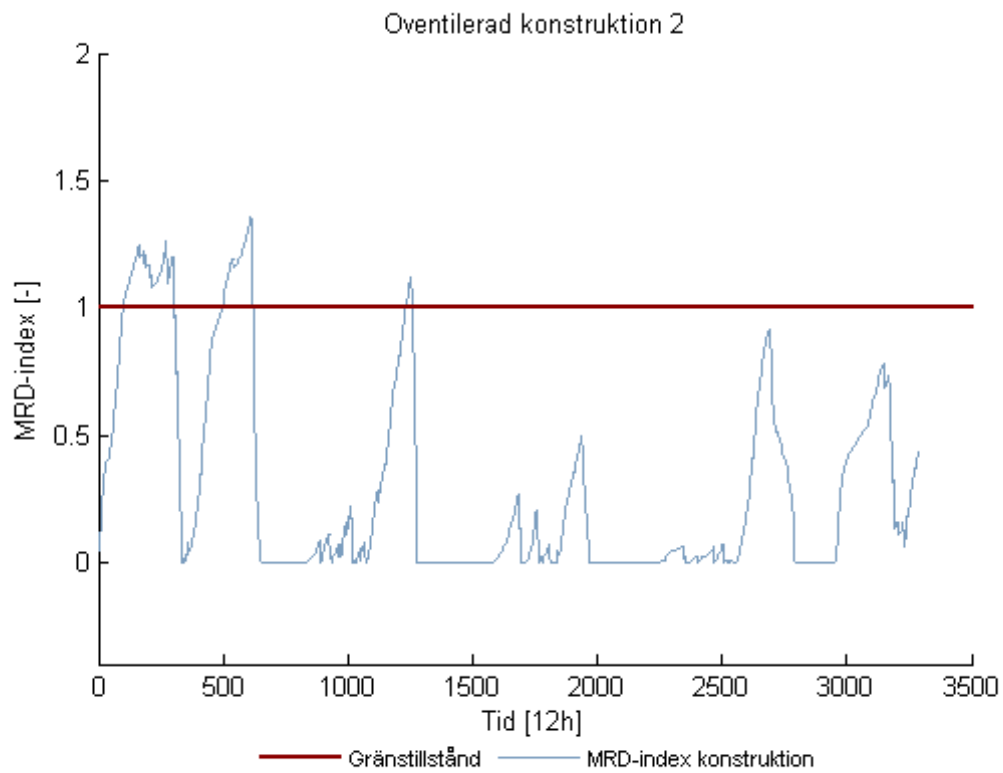
Figur 58: Grafen visar den relativa fuktigheten i korrelation med temperatur och kritisk RF för oventilerad konstruktion 2.



Figur 59: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF i oventilerad konstruktion 2.



Figur 60: Isoplethen visar spridningen av RF i timmar i korrelation med LIM för halm(röd) i oventilerad konstruktion 2.



Figur 61: Grafen visar MRD-index för oventilerad konstruktion 2 i korrelation med gränstillstånd.

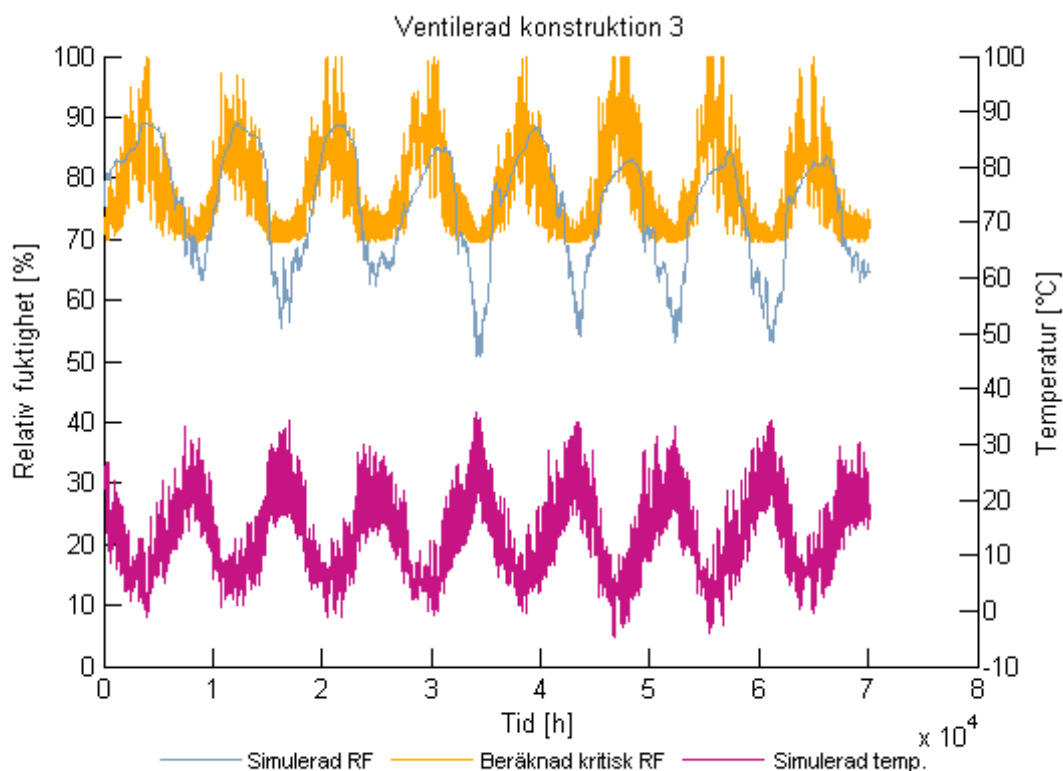
5.4.1.3 Konstruktion 3

Likt de föregående konstruktionerna visar Figur 62 & Figur 63 att $RF > RF_{krit}$ vid en stor del av den simulerade tiden. Differensen i RF är däremot mindre än båda tidigare konstruktioner, cirka 16 %, och de antal timmar som $RF > RF_{krit}$ är färre.

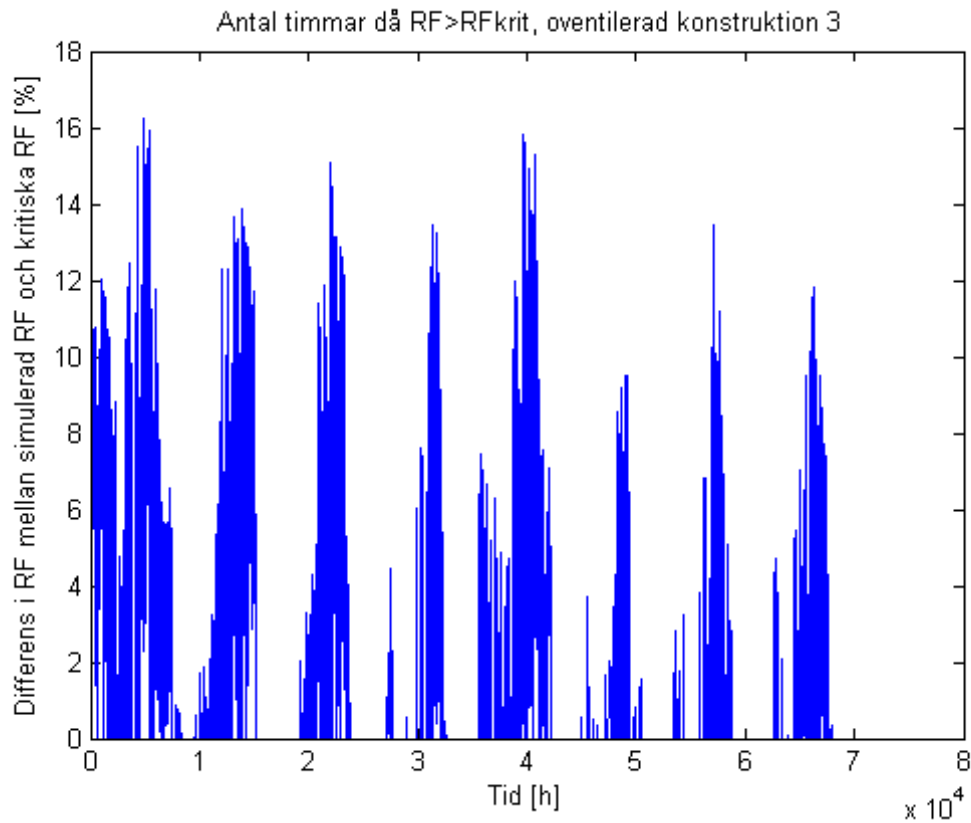
Enligt isoplethen (Figur 64) är spridningen av timmarna på en lägre nivå, cirka 90%, samt är antalet timmar ovanför LIM_{halm} färre.

MRD-modellens (Figur 65) gränstillstånd överskrids kraftigt. Värt att notera är att MRD-index överstiger gränstillståndet först efter cirka 75 dagar. Det första maximum är högre än tidigare konstruktioner och varar under en längre tid. Det är av vikt att notera påpekandet av Thelandersson & Isaksson (2013) att värden över gränstillståndet inte kan beaktas som helt korrekta. Värdena tas med mest för att ge en idé över mögeltillståndet.

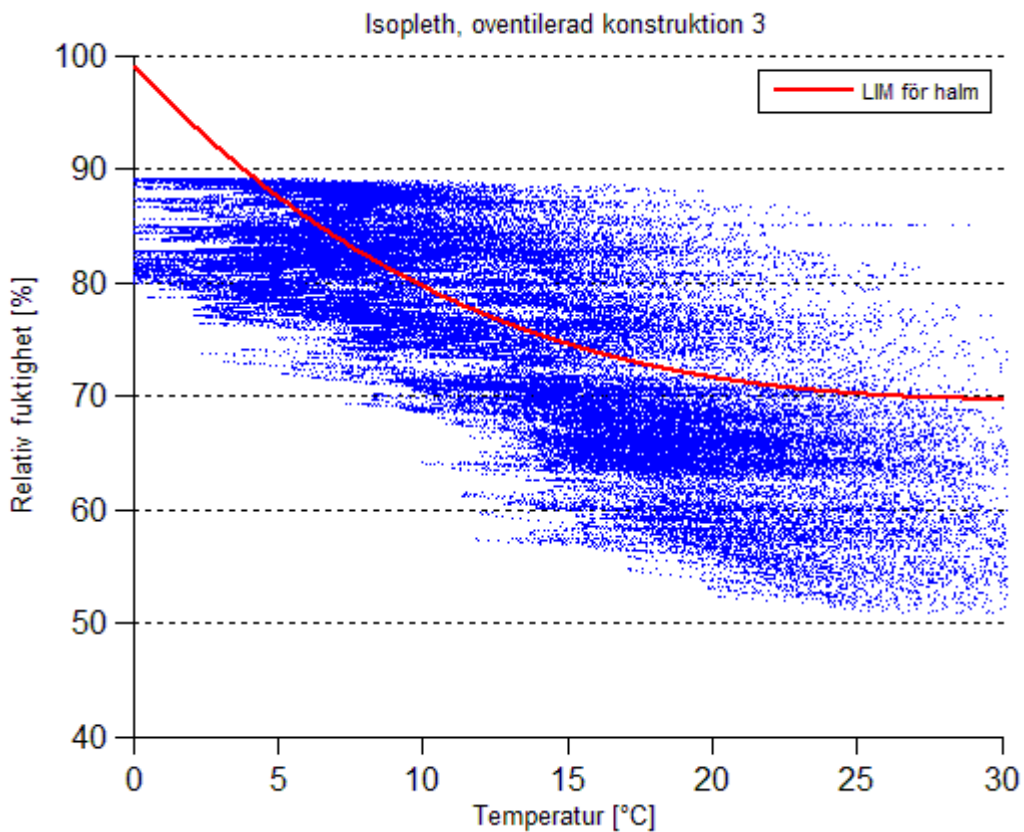
Även den här oventilerade konstruktionen bedöms vara osäker ur fuktsynpunkt.



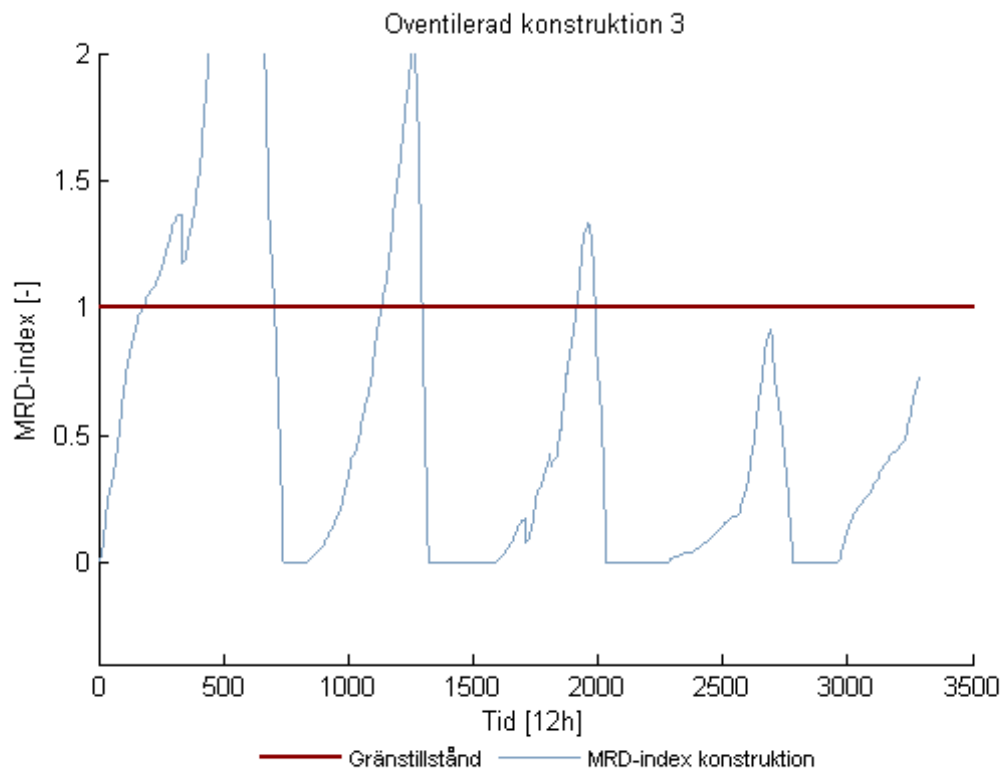
Figur 62: Grafen visar den relativa fuktigheten i korrelation med temperatur och kritisk RF för oventilerad konstruktion 3.



Figur 63: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF i oventilerad konstruktion 3.



Figur 64: Isoplethen visar spridningen av RF i timmar i korrelation med LIM för halm(röd) i oventilerad konstruktion 3.



Figur 65: Grafen visar MRD-index för oventilerad konstruktion 3 i korrelation med gränstillstånd.

5.4.2 Ventilerade konstruktioner

5.4.2.1 Konstruktion 1

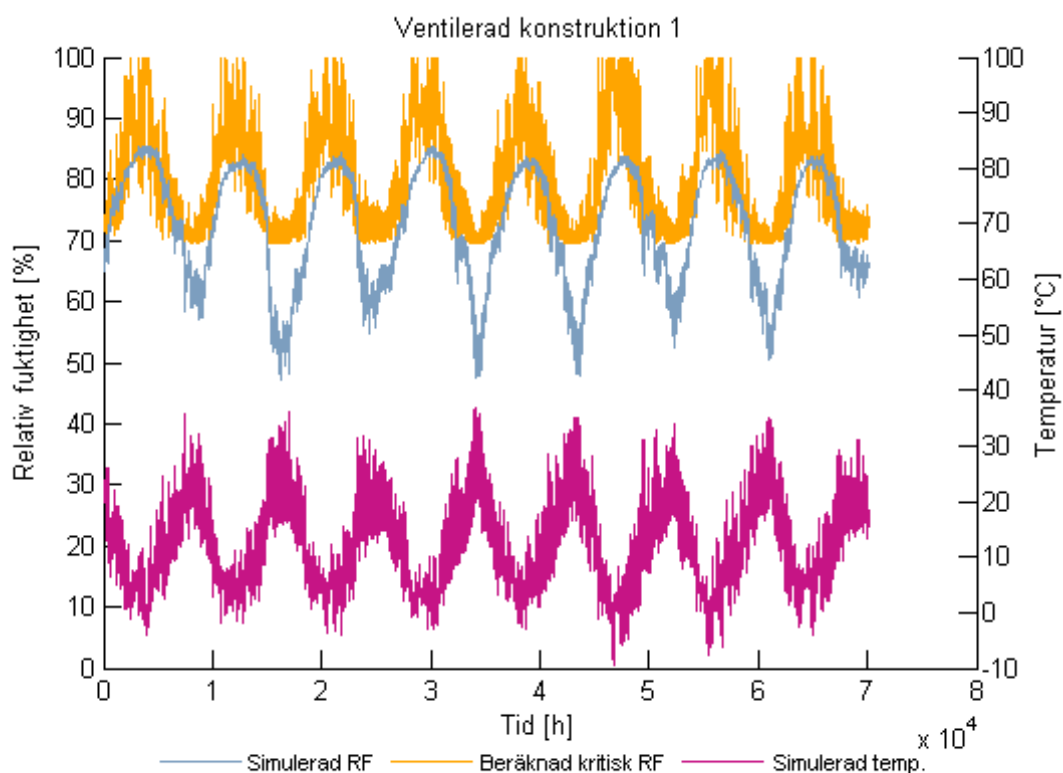
Figur 66 & Figur 67 visar att RF överstiger RF_{krit} under delar av den simulerade tiden, främst under uppvärmnings- och nedkylningsperioder (vår & höst). Figur 67 visar att $RF > RF_{krit}$ cirka 75 dagar per år.

I isoplethen (Figur 68) ser man att en betydande del av de simulerade timmarna ligger under LIM_{halm} .

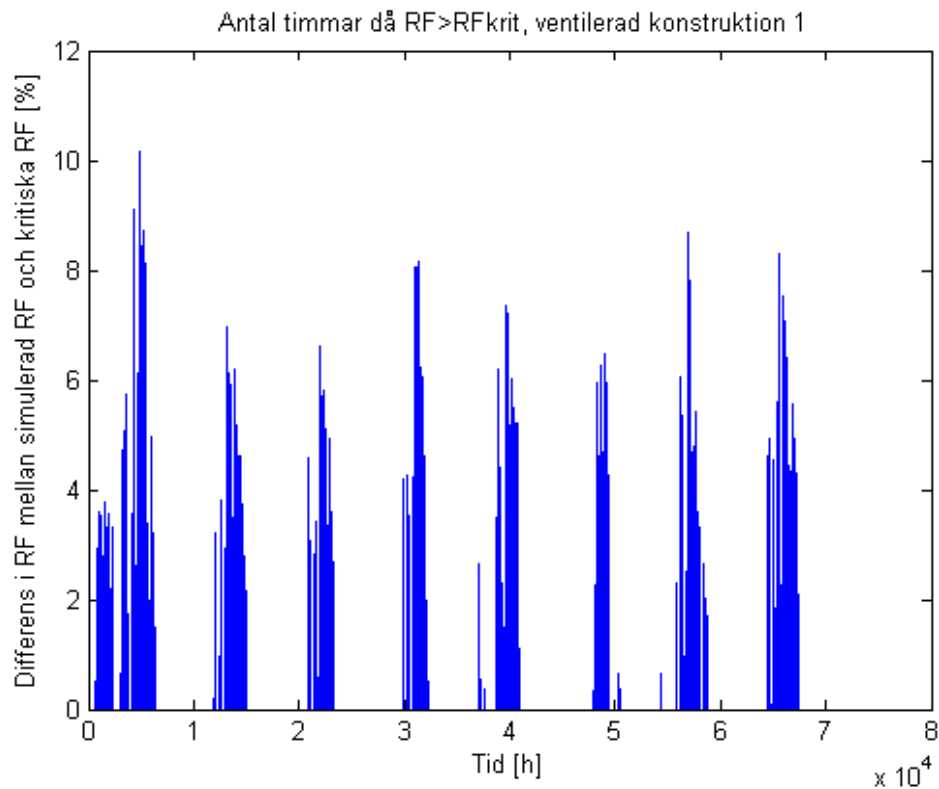
MRD-modellen (Figur 69) visar att MRD-index aldrig når upp till gränstillståndet. Modellerna visar på olika resultat. Enligt MRD-modellen klarar sig konstruktionen medan de övriga modellerna visar att det finns risk för mögeltillväxt. Resultatet visar vikten av att beakta flera modeller samtidigt. Speciellt då MRD-modellen tar hänsyn till retardation av mögel som de övriga modellerna bortser från.

Konstruktionen bedöms som tvetydig och antas ha en viss risk.

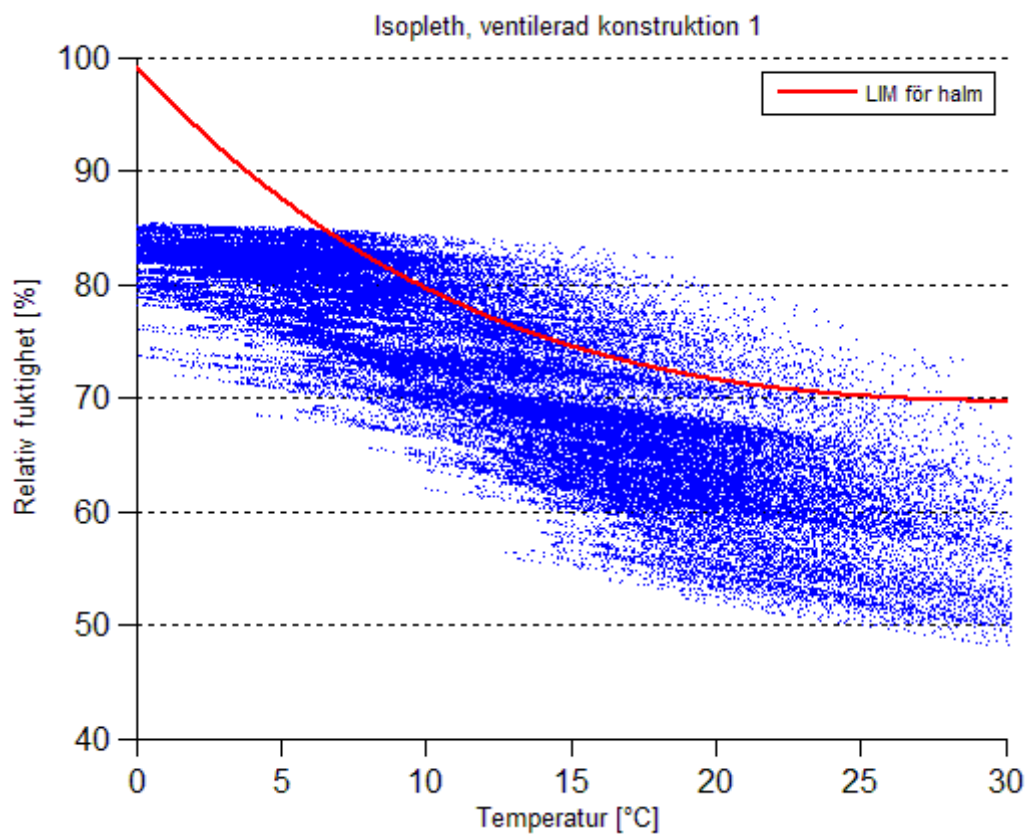
Resultatet är intressant då konstruktionen är uppförd på liknande sätt som den oventilerade konstruktion 1, men visar på betydligt bättre resultat. Den positiva inverkan av en luftspalt syns tydligt.



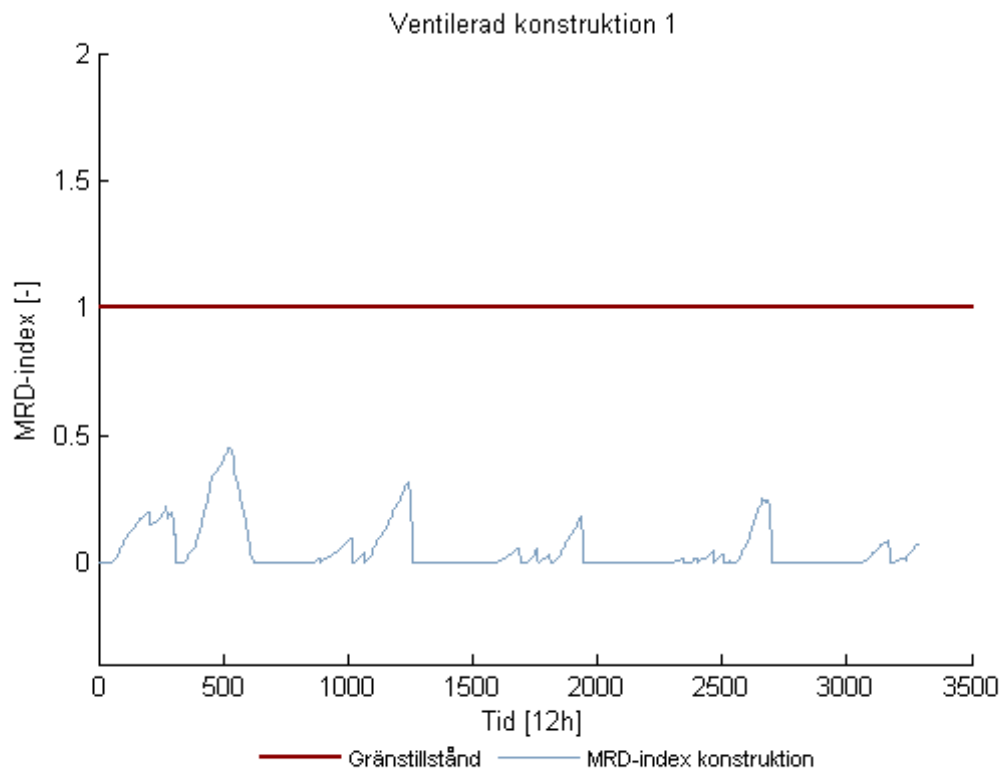
Figur 66: Grafen visar den relativa fuktigheten i korrelation med temperatur och kritisk RF för ventilerad konstruktion 1.



Figur 67: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF i ventilerad konstruktion 1.



Figur 68: Isoplethen visar spridningen av RF i timmar i korrelation med LIM för halm(röd) i ventilerad konstruktion 1.



Figur 69: Grafen visar MRD-index för ventilerad konstruktion 1 i korrelation med gränstillstånd.

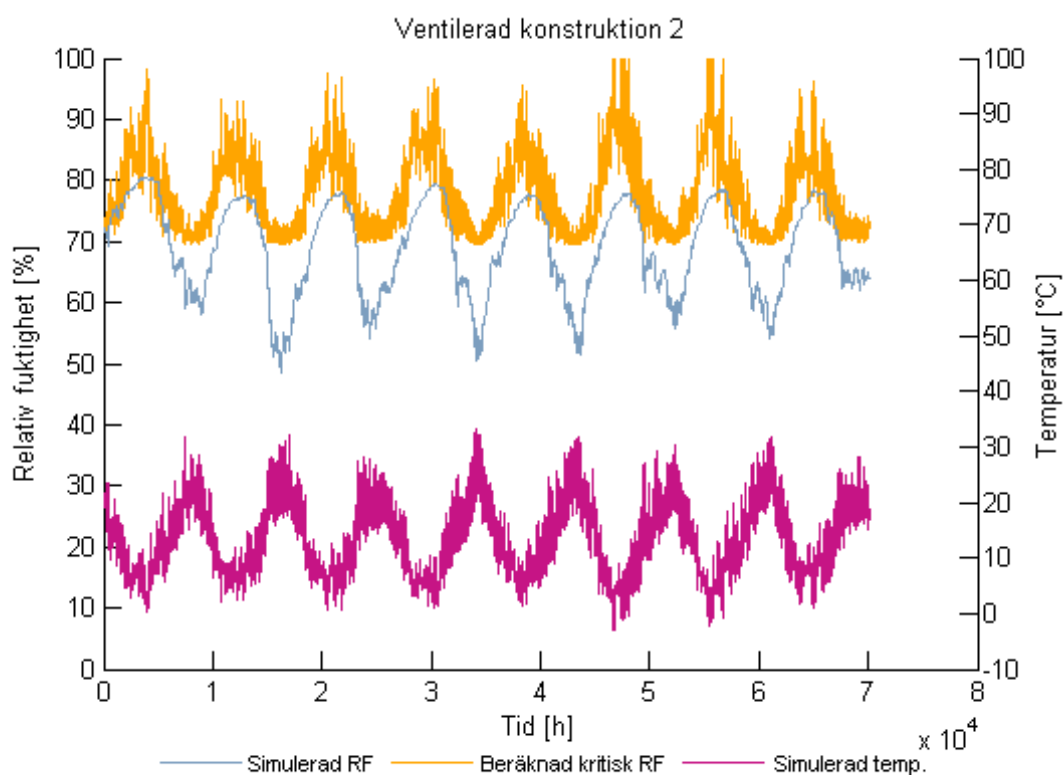
5.4.2.2 Konstruktion 2

Figur 70 & Figur 71 visar att RF överstiger RF_{krit} under begränsade perioder. Perioderna är relativt korta och differensen i RF är som högst, vid enstaka tillfälle cirka 6,5 %.

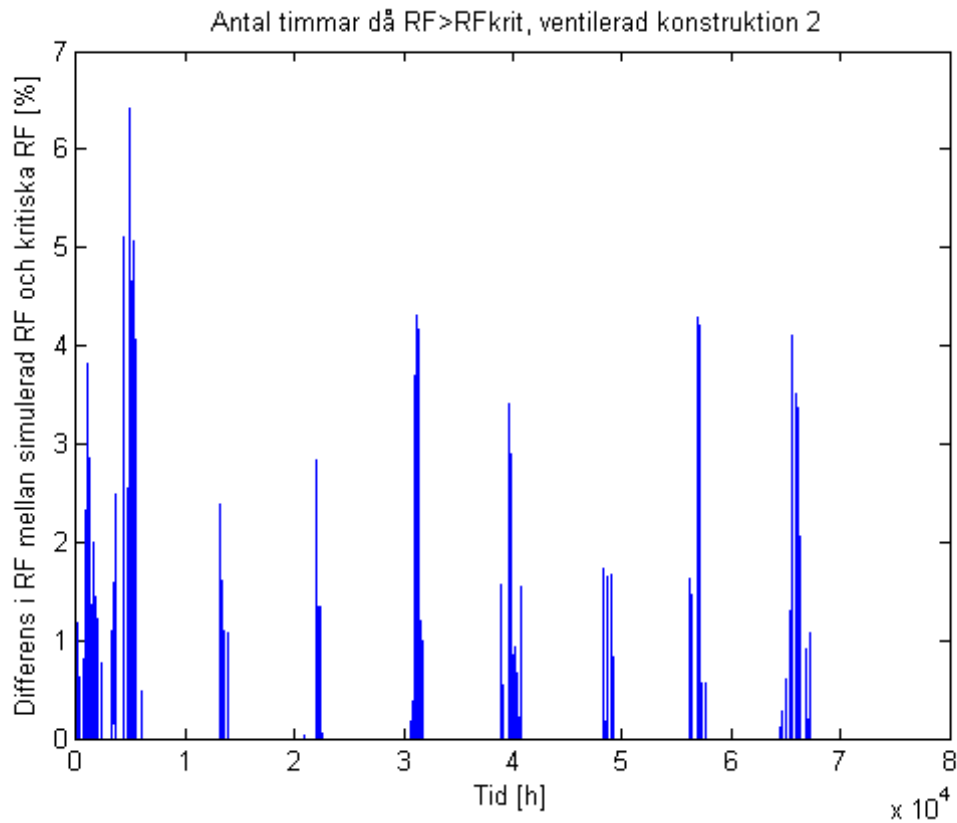
Även isoplethen (Figur 72) visar på att en övervägande majoritet av timmarna hamnar under LIM_{halm} .

MRD-modellen (Figur 73) visar att MRD-index aldrig överstiger gränstillståndet.

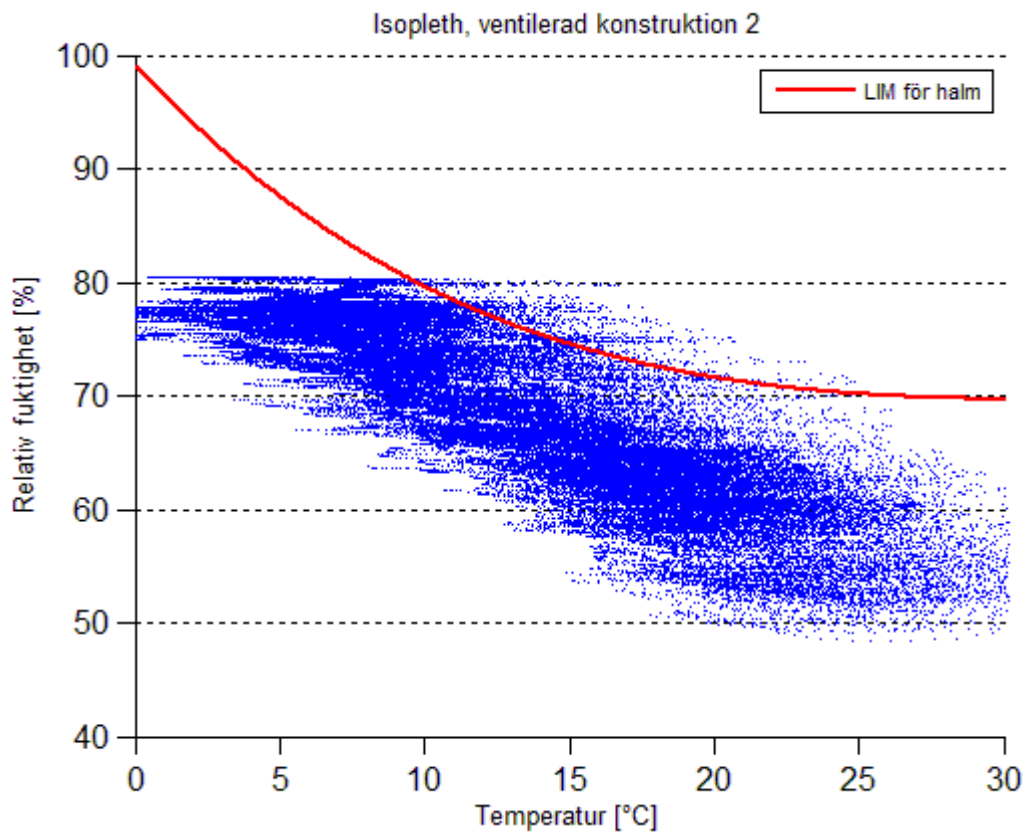
Även om konstruktionen överstiger RF_{krit} bedöms den ha relativt låg risk.



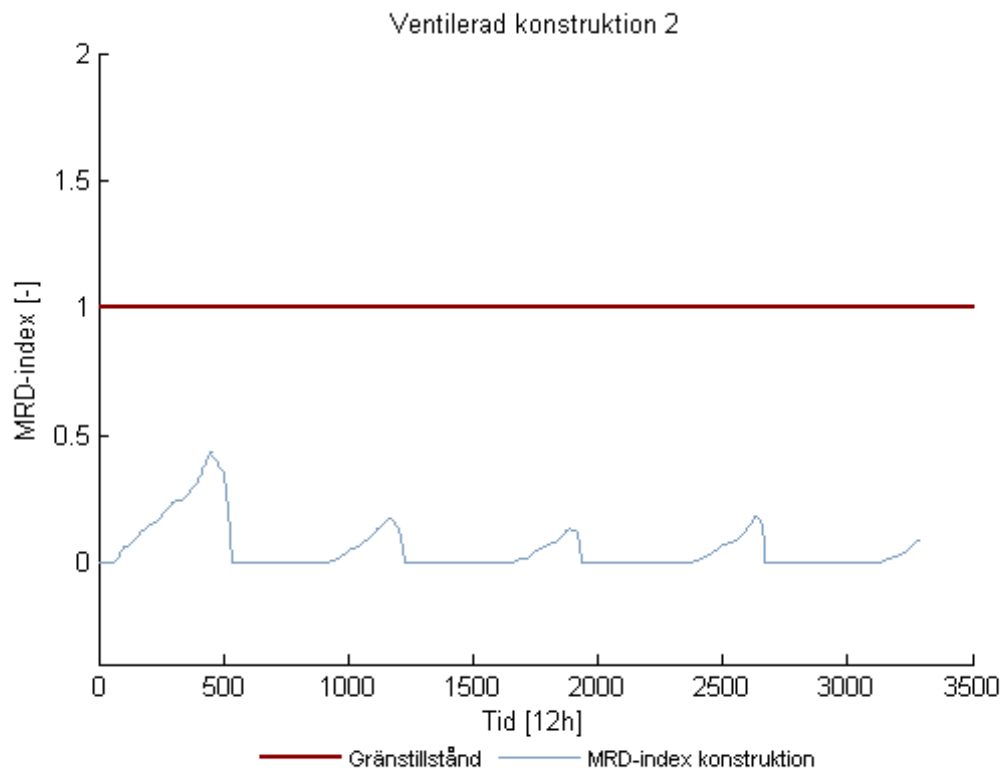
Figur 70: Grafen visar den relativa fuktigheten i korrelation med temperatur och kritisk RF för ventilerad konstruktion 2.



Figur 71: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF i ventilerad konstruktion 2.



Figur 72: Isoplethen visar spridningen av RF i timmar i korrelation med LIM för halm(röd) i ventilerad konstruktion 2.



Figur 73: Grafen visar MRD-index för ventilerad konstruktion 2 i korrelation med gränstillstånd.

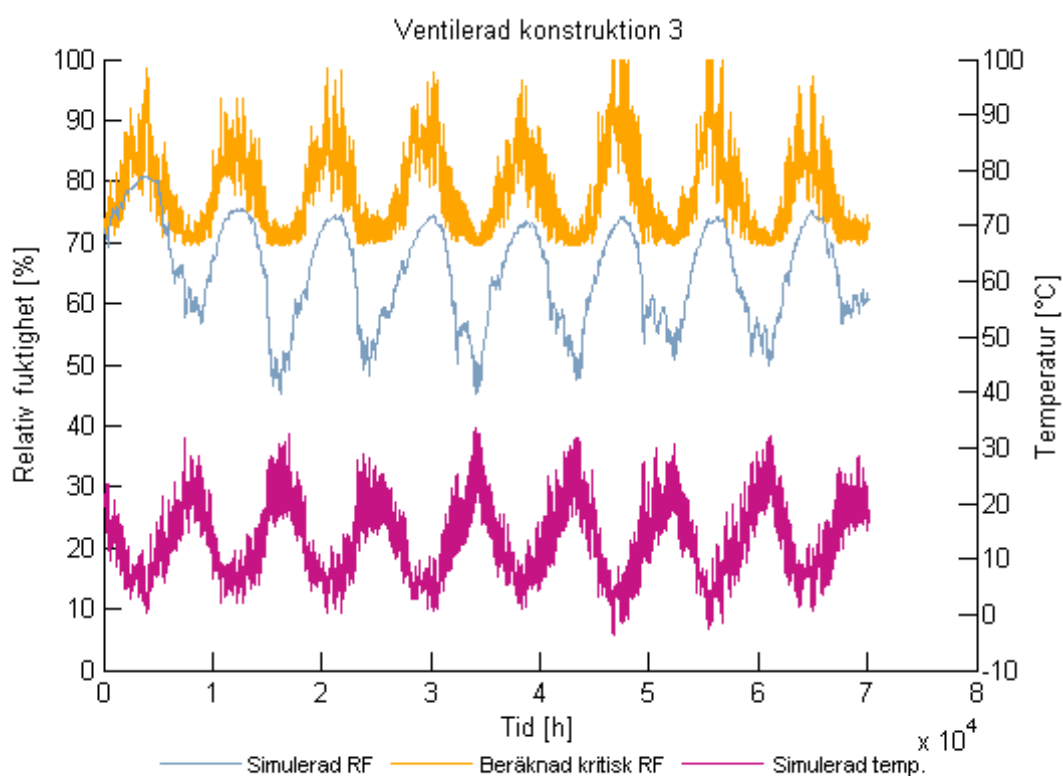
5.4.2.3 Konstruktion 3

Figur 74 & Figur 75 visar att RF överstiger RF_{krit} enbart vid initiala brukandetiden, och differensen är maximalt cirka 6,5 %. Även under den initiala tiden finns det timmar då RF ej överstiger RF_{krit} .

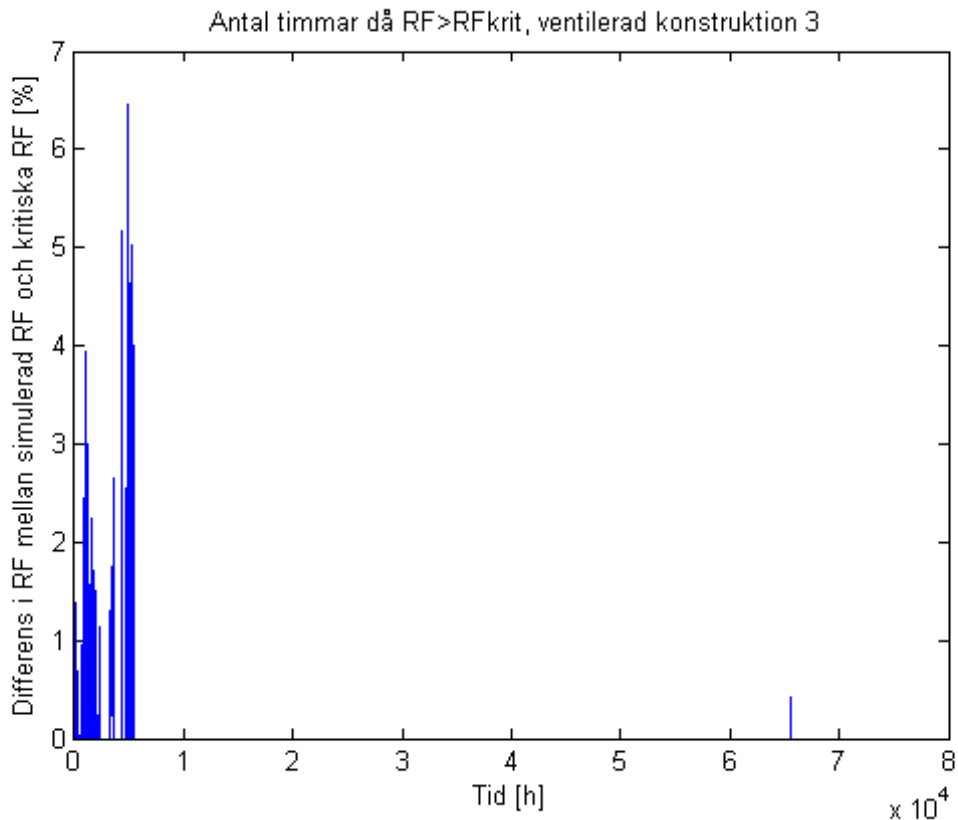
Isoplethen (Figur 76) visar på enstaka timmar som överstiger LIM_{halm} .

MRD-modellen (Figur 77) visar att MRD-index aldrig överstiger gränstillståndet. Den enda perioden som särskiljer sig är under den initiala tiden.

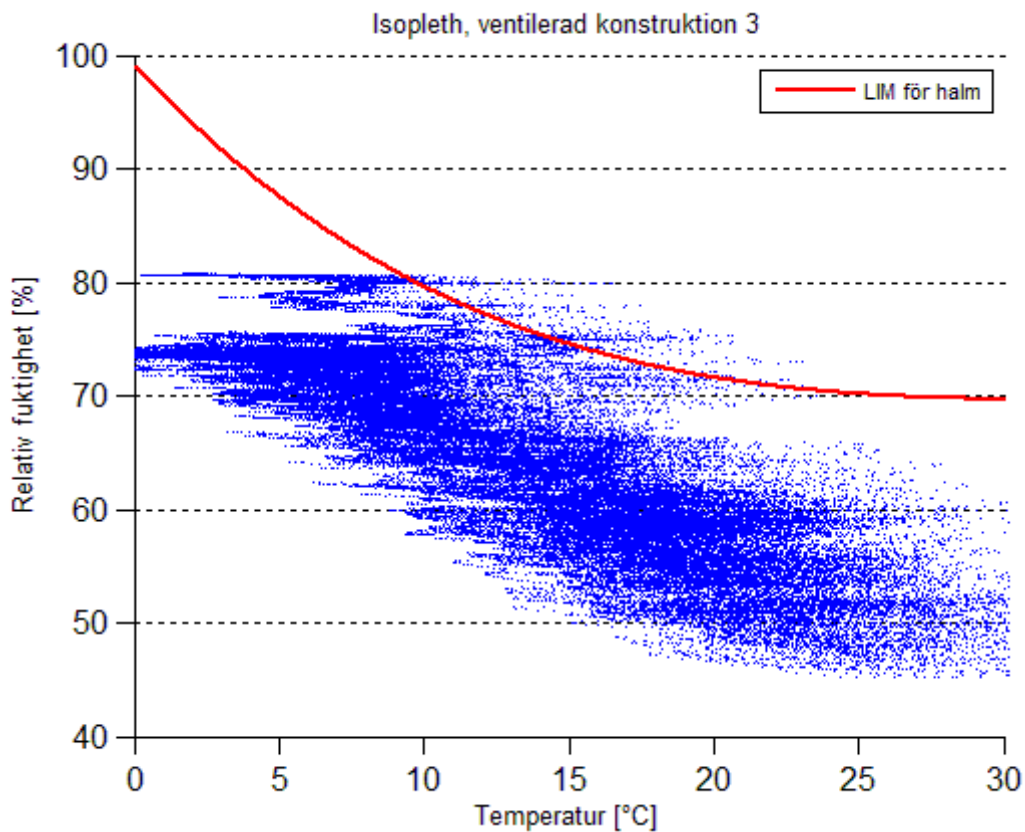
Konstruktionen påvisar resultat som anses goda. Den initiala differensen mellan RF och RF_{krit} beror troligtvis på den inbyggda fukten. Bedömningen görs att konstruktionen är lämplig.



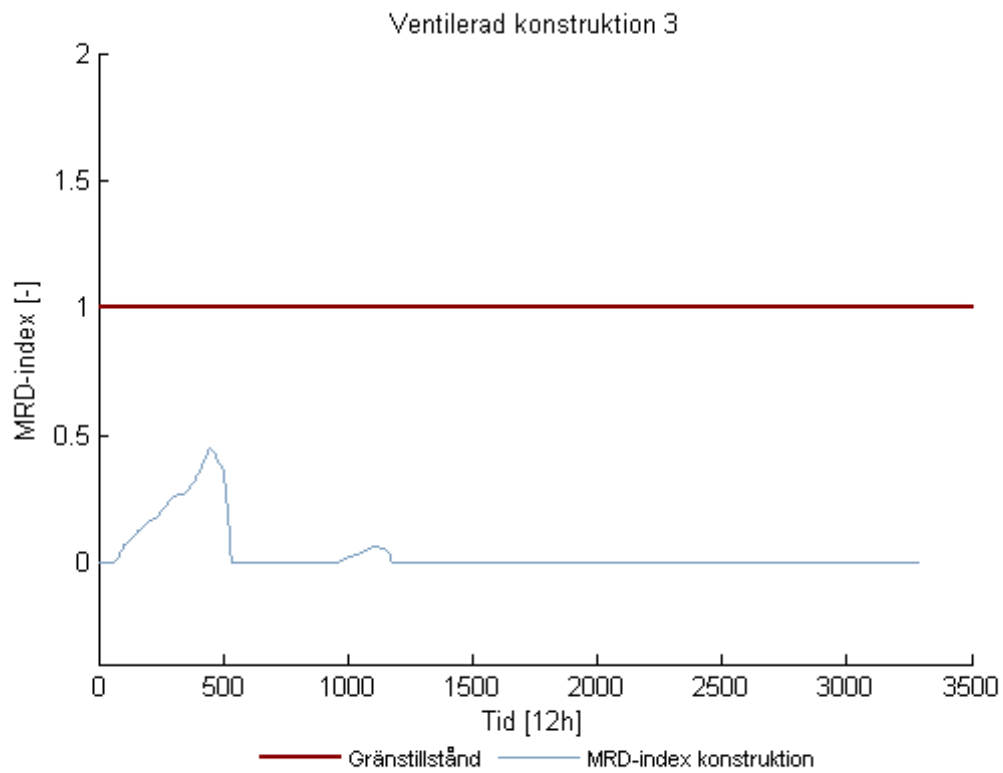
Figur 74: Grafen visar den relativa fuktigheten i korrelation med temperatur och kritisk RF för ventilerad konstruktion 3.



Figur 75: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF i ventilerad konstruktion 3.



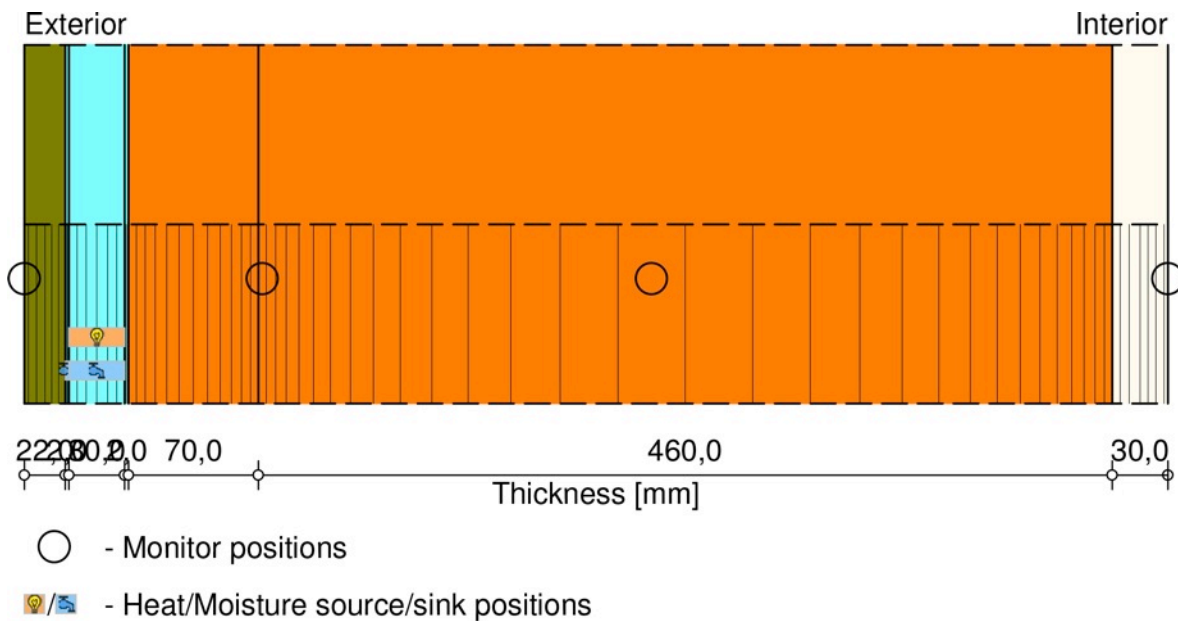
Figur 76: Isoplethen visar spridningen av RF i timmar i korrelation med LIM för halm(röd) i ventilerad konstruktion 3.



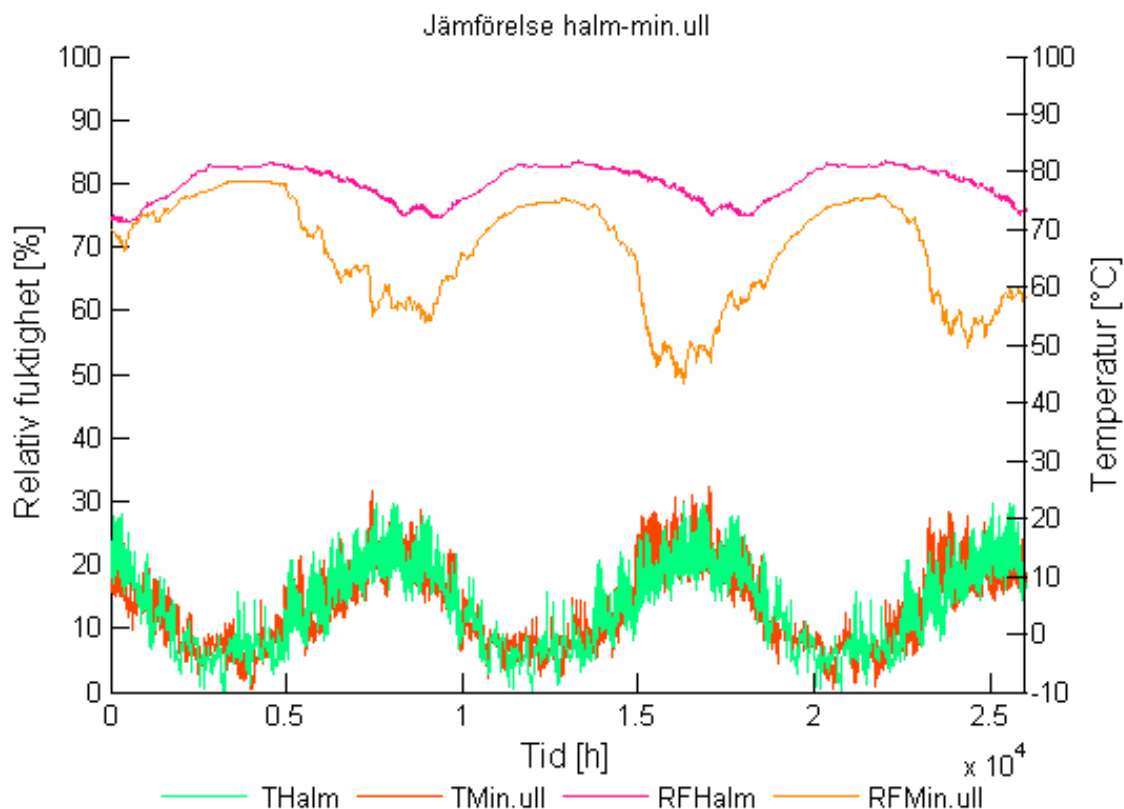
Figur 77: Grafen visar MRD-index för ventilerad konstruktion 3 i korrelation med gränstillstånd.

5.5 Kontroll på inverkan av mineralull

Då resultaten visar på att en inbyggd mineralull i konstruktionerna hade en positiv effekt bestämdes det att undersöka om det enbart är mineralullens isoleringsförmåga eller om andra egenskaper (t.ex. diffusionsmotstånd) hos mineralullen också har en positiv inverkan. Detta gjordes genom att simulera ventilerad konstruktion 2 men att byta ut 70 mm mineralullen mot halm. Samma monitorpositioner användes (se Figur 78).



Figur 78: Bilden visar en modifierad ventilerad konstruktion 2 där mineralull bytts ut mot halm. Monitorpositionen behålls.



Figur 79: Grafen visar RF mot temperatur och tid för halm och mineralull.

Resultatet visar på att det är fler egenskaper än den isolerande som gör att mineralullen påvisar ett bättre resultat. Då värmeisolerande förmågan är ungefär likvärdig ($0,045 \text{ W/m}^2\text{K}$ för halm, $0,040 \text{ W/m}^2\text{K}$ för mineralull) borde även resultatet visat sig vara likvärdigt. Författarna tror att det är andra egenskaper i materialet mineralull som påverkar positivt ur fuktsynpunkt, t.ex. det högre diffusionsmotståndet för mineralull jämfört med halm (se Figur 79).

6 Case study

6.1 Äppellunden

I Brantevik söder om Simrishamn ligger Äppellunden, ett halmbalshus ritat, uppbyggt och bebott av arkitekten Lillemor Husberg (se Figur 80 - Figur 82). Författarna till denna studie besökte den 14 maj 2014 Lillemor i hennes hem.

Huset består av en stålstomme isolerad med halmbalar (500 mm), kalkputs på utsidan (cirka 50 mm) och lerputs blandat med ko- och hästgödsel på insidan (cirka 50 mm). Huset byggdes år 2002. Balarna som Lillemor använt i huset fick stå och torka minst ett år p.g.a. komplikationer i planbestämmelsen, något som enligt Lillemor gynnat konstruktionen. Balarna ligger på 200mm leca-block och är förankrade med armeringsstänger. På både in- och utsidan finns putsnät. Planlösningen var öppen och väl genomtänkt. Huset upplevdes som mycket rymligt. Lillemor har bott i huset i 12 år och var mycket nöjd med inomhusklimatet som halmbalshuset gav henne, både energi- och luftkvalitetsmässigt. Trots de positiva sidorna halmbalshuset hade påvisade det fuktproblem. Lillemor berättade och visade om en läckageskada på den västra fasaden där slagregn hade trängt sig igenom en ventil och skapat missfärgningar på insidan av väggen. Lillemor berättade även om en läckageskada som en vattenslang orsakat. Fukten hade ej nått över leca-blocken som utgör syllen på konstruktionen, men missfärgningar hade uppstått på insida vägg.



Figur 80: Södra fasaden av halmbalshuset i Äppellunden, Brantevik. Fotograf: Per Jeppsson.

Allmänt hade dörrarna i huset missfärgningar, troligtvis p.g.a. att ingen tröskel hade använts. Lillemor hade konsekvent valt att inte använda några lister. Putsen hade vid olika platser spruckit i anslutning golv-vägg detta p.g.a. att golvvärmen gjort att putsen kontraherat. Författarna noterade även att det fanns missfärgningar under takutsprånget på västra fasaden, något som kan tyda på mikrobiologisk påväxt.

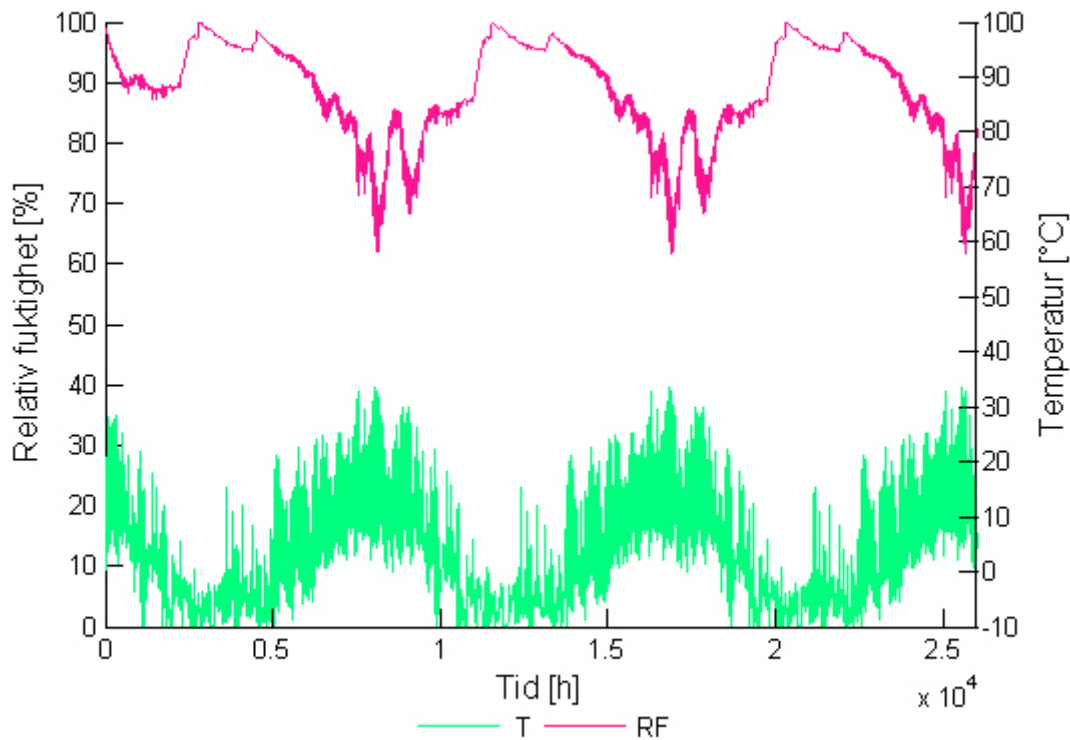


Figur 81: Västra fasaden av halmbalshuset i Äppellunden, Brantevik. Fotograf: Per Jeppsson.



Figur 82: Inuti halmbalshuset i Äppellunden, Brantevik. Fotograf: Per Jeppsson.

För att få en uppfattning om hur fukttilståndet i Lillemors halmbalsvägg skulle kunna se ut gjorde författarna till den här studien en simulering med de dimensioner som Lillemor tillhandahållit. Noteras skall att ingen hänsyn tagits till anslutningar eller golvvärmen i betonggolvet.

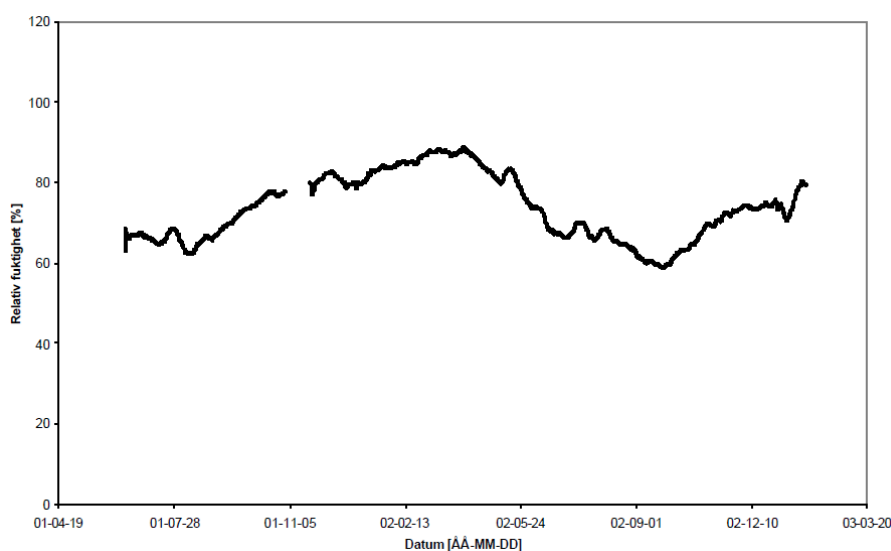


Figur 83: Grafen visar simulerad temperatur och RF för halmbalshuset i Äppellunden, Brantevik.

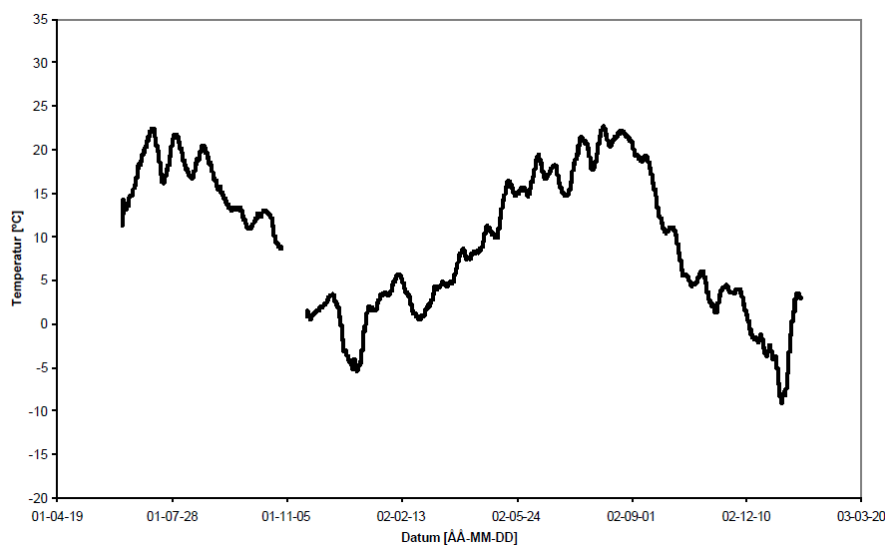
Simuleringen av den södra fasaden på halmbalshuset i Äppellunden visar på höga RF samtidigt som ogynnsam temperatur råder. Detta innebär att konstruktionen troligtvis är utsatt för mögelrisk. Efter att ha besökt huset funderar författarna om simuleringen är konservativ, detta då påvisade fuktproblem ej utgav ett upplevt problem för inomhusklimatet. Viktigt att notera är att simuleringen använde sig av ett Lundaklimat (se Figur 83).

6.2 Storkeboda

I Storkeboda utanför Växjö ligger ett halmbalshus som byggdes i mitten av 90-talet (Mundekulla 2012). Enligt Nilsson (2003) är huset ett 1½-planshus och väggarna är träregelstomme isolerade med 450mm tjocka halmbalar med lerputs på insida och utsida. Taket är ett sadeltak och grundläggningen är en uteluftsventilerad krypgrund. Mellan 2001-06-15 och 2003-01-25 loggades temperatur och RF i de mest fuktkänsliga konstruktionsdelarna (ytterväggar, krypgrund, vindsbjälklag) med ett uppehåll för kalibrering mellan, 2001-10-31-2001-11-23. För mätningarna användes en givare och mätare. Givaren placerades i yttre skiktet av halmbalarna i ytterväggen. De värden som anges nedan har inte tagit hänsyn till osäkerheten. Osäkerheten för temperaturen är $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ och för RF $\pm 2\%$ (se Figur 84 & Figur 85).

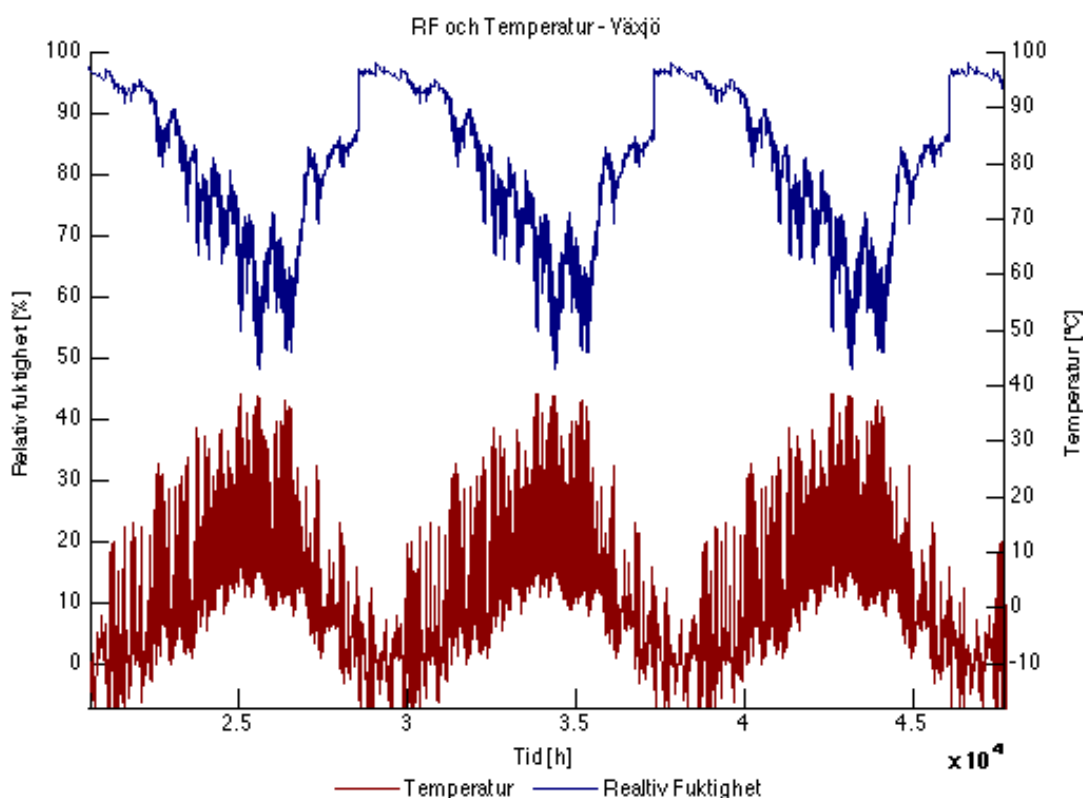


Figur 84: Grafen visar RF för halmbalshuset Storkeboda i Växjö (Nilsson 2003).



Figur 85: Grafen visar temperatur för halmbalshuset Storkeboda i Växjö (Nilsson 2003).

En granskning av data visar att förhållanden för mögelangrepp är goda enligt de vanligaste förekommande mögelriskmodellerna som används idag. Troligen är halmen i väggen mögelangripen. Huset valdes att studeras då det är det enda huset i Sverige med utförda mätningar. För att få en bild av hur simuleringar står sig mot uppmätt data gjordes en undersökning med liknande konstruktion samt samma tidsperiod. Simuleringen använde bestämda parametrar och WUFI-klimatdata för Växjö från LTH (se Figur 86).



Figur 86: Grafen visar simulerade RF och temperatur för halmbalshuset Storkeboda, Växjö.

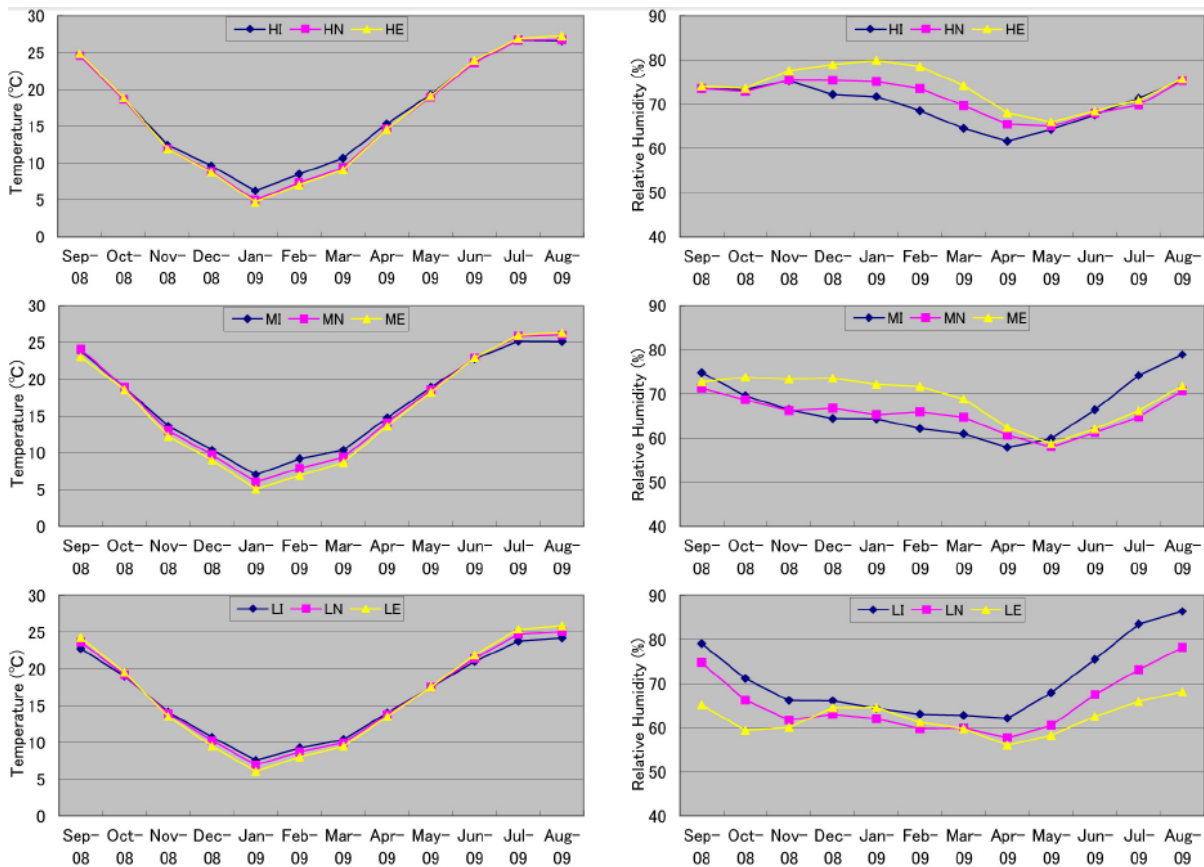
Skillnader mellan simulerad och uppmätt data under samma period är betydande. Vad det beror på är svårt att uttala sig om. Det kan diskuteras om resultatet visar på att de hygrottermiska modellerna är för konservativa.

6.3 Kyotango

I den Japanska staden Kyotango City finns det en butik och bearbetningsfabrik för mjölk som är isolerad med halmbalar (se Figur 87). Enligt Holzhueter & Itonaga (2010) är byggnaden uppbyggd med en trästomme med lerputs på utsidan direkt på halmbalarna. Insidan består av bambuväv och lerputs. Under byggnadstiden installerades nio sensorer vid tre olika höjder och tre olika djup i halmbalarna. Data loggades mellan september 2008 och september 2009. Resultaten visar en skillnad i temperatur och RF vid de olika djupen och de olika höjderna (se Figur 88). Författarna till rapporten anger att den kritiska RF oavsett temperatur är 80 %. Data som redovisas är från rapporten. I likhet med huset i Storkeboda är bedömningen att mögelangrepp kommer att ske. Något som författarna själva konstaterar.



Figur 87: Kyotango City halmbalshus, 2010 (Holzhueter & Itonaga 2010).



Figur 88: Graferna visar temperatur samt RF för de olika sensorernas positioner i halmbalshuset i Kyotango. Sensorerna döps till: HE(high exterior), HN(high interstitial), HI(high interior), ME(middle exterior), MN(middle interstitial), MI(middle interior), LE(low exterior), LN(low interstitial), LI(low interior) (Holzhueter & Itonaga 2010).

6.4 Övriga

Under studiens gång har det utbyttts korrespondens via email samt muntlig kontakt med boende i olika halmbalshus i Sverige. Information om boende i halmbalshus utanför Sverige har tagits från diverse bloggar och informations-sidor. På det stora hela visar samtlig information från de boende att de inte märkt av några större problem fukttekniskt sett med sina halmbalshus. Energi- och bullermässigt pekar de på en utmärkt prestanda. Ur fuktsynpunkt pekar ett fåtal på synliga fuktproblem på både in-och utsida puts, men det rapporteras inte från någon boende om dålig inomhus luft, detta till trots att det finns brist-fällig inbyggd ventilation. Tvärtom säger de boende att luften inomhus är mycket god, även bättre än luften i konventionella hus.

7 Felanalys

Då författarna ej har använt hygrottermiska simuleringsverktyg tidigare finns det en risk att modellerna ej har behandlats på korrekt vis. Då författarna gjort en grundlig inläring av programmet, samt studerat hur andra publikationer använts sig av programmet leder detta till att författarna till den här studien har en tillförlitlighet på att konstruktioner har byggts upp på korrekt sätt.

Det åligger även en osäkerhet i parameterinmatning. Som tidigare beskrivits har det funnits en stor spridning av värden, men författarna har gjort en stor ansträngning att välja rimliga värden som har påträffats. Problemet ligger i materialets natur, varje halmbal har unika parametrar kopplade till sig. De värden som beskrivs i den här studien kan som bäst ses som ett slags medelvärde.

Det kan vara mycket svårt att eliminera fel, men felen kan minimeras genom en mycket grundlig parameterstudie. Det finns även ett behov av att utföra blinda studier mellan simulerade resultat med verkliga mätningar.

Författarna anser att de resultat som framkommit ger en god uppfattning av fukttillståndet i en halmbalsvägg.

8 Diskussion

Då ämnet haft bristfällig information i Sverige har avgränsningar och antaganden fått göras. Med ett ökat miljömedvetande har antalet vetenskapliga publikationer ökat de senaste tio åren, dock hittades lite om mögelproblematiken i halmbalsbyggande. Många av de undersökningar som har gjorts använder schablonvärden för att utvärdera mögelrisk. Den allmänna synen på halmbalsbyggande märktes under studiens gång till att vara oseriös, främst som ett alternativt självbygge av enstaka entusiaster. Mycket av informationen som når gemene man har varit allmän och ej vetenskaplig.

Ett problem har varit parameteranalysen av halmbalskonstruktioner. Få experimentella undersökningar har gjorts. Detta leder till att författarna av den här studien har varit tvungna att tillförlita sig på ett begränsat antal källor, vilket troligtvis leder till en osäkerhet i studien. Vissa parametrar har det påträffats mycket begränsad information om. Parameterstudien gjordes i ett led för att kringgå den här problematiken, men då författarna inte kan jämföra sina resultat från parameterstudien med andra publikationer fick antaganden och bedömanden göras. Vattensabsorptionskoefficienten påvisar problematiken som beskrivits ovan väl. Resultaten från undersökning av denna parameter har varit extremt svåra att analysera och bedöma. I ett försök att hitta orsaken till detta erratiska beteende undersöktes hur WUFI genererar suktion och omdistribution från vattensabsorptionskoefficienten. Författarna hade önskat mer tid att studera samvariationen mellan olika parametrar för att få en bättre helhetsbild. Det finns ett behov av att experimentella undersökningar och statistiska analyser av materialparametrar för halm utförs för att få klarhet och underlätta framtida studier. Parametrar för samtliga material förutom halm har antagits vara helt korrekta.

Programvaran WUFI har använts kontinuerligt under studiens gång. All utdata som simuleringarna givit har antagits vara korrekta. Då det funnits begränsad tillgänglighet av hygrottermiska programvaror har WUFI varit den enda källan. Programmets noggrannhet har antagits vara korrekt vilket har styrkts av andra publikationer. Författarna har ansträngt sig att bygga upp korrekta hygrottermiska modeller, men risken finns att fel har gjorts vid inmatning. En självklar begränsning är att de komplexa förhållandena som råder i verkligheten enbart kan simuleras på en mycket förenklad nivå. Klimatdata som använts har antagits vara korrekt. Det finns en kritik mot den inbyggda klimatdata i WUFI då extremvärden har bortsetts ifrån. Klimatdata som WUFI tillhandahåller är ett medelvärde och dess användning kan ifrågasättas. Det har även använts klimatdata som blivit manipulerad. Som all uppmätt klimatdata finns det en inbyggd felkälla.

Simuleringarna har gjorts i en dimension vilket ger en grov förenkling. Både temperatur- och fuktrörelser är två- eller tredimensionella. Fenomen som köldbryggor, läckor och anslutningars påverkan har ej beaktats. Man kan anta att köldbryggor som finns i konstruktionen orsakar en högre temperatur vilket leder till en lägre RF. Om detta är positivt eller negativt ur mögelsynpunkt kan författarna ej uttala sig om. Under studiens gång uppstod få konvergensfel, det största värdet som framkom var 18 konvergensfel, detta med en simuleringstid på 10 år. Konvergensfel var uppenbarligen inte ett problem som kan ha gett betydande felaktiga resultat. Differenserna mellan balanserna efter varje simulering var ungefär likvärdiga, vilket tyder på att detta inte heller var någon större felkälla.

För att utvärdera mögelrisken har tre olika modeller använts. MRD-modellen presenterad i den här studien är konstruerad att användas för trä. Det är möjligt att manipulera ekvationerna som använts för att vara giltiga för andra material, dock har varken tid eller resurser funnits till detta. Valet gjordes att använda modellen även då den är justerad för trä. Detta ger självklart resultat som inte är helt korrekta för halm. Valet att arbeta med modellen gjordes för att den särskiljer sig från övriga modeller i studien. Då halm troligtvis är mer mottagligt för mögel än trä kan resultaten från MRD-modellen beaktas som förskönande. Isoplethen för halm kommer från endast en källa. Om denna isopleth skulle visa sig vara inkorrekt blir bedömningen av mögelpåväxt i isoplethsystemet, och det beräknade kritiska relativa fuktigheten i Folos 2D felaktiga.

Startdatum för simuleringarna har varit konstant genom hela studien. Inga undersökningar har gjorts för att beakta något annat startdatum. Detta kan ha en påverkan som författarna ej kan uttala sig om.

Konstruktionerna valdes utan någon större åtanke till hur de i realiteten skulle kunna uppföras. Författarna anser att konstruktionerna är möjliga att uppföra med en genomtänkt projektering.

Simuleringarna av samtliga oventilerade konstruktionerna som gjorts i studien visar att det finns en stor risk för mögelpåväxt. Detta till trots visar luftklimatet inomhus i de ”case study” som gjorts på en upplevd god nivå. Vad detta beror på kan ha en rad olika förklaringar. Författarna av den här studien bedömer att ett skäl kan vara att det råder ett övertryck i byggnaderna. Det troligtvis möjliga materialet inuti väggen avger i så fall illaluktande och potentiellt farliga partiklar men övertrycket pressar luften ut ur byggnaden istället för in. Inomhusklimatet påverkar således inte negativt. Ett ytterligare skäl kan vara att de boende är mycket godtrogna över halmbalar som byggnadsmaterial och därmed undermedvetet förtrycker de problem som kan finnas.

Det finns en möjlighet att simuleringarna har visat på värre resultat än verkligheten. Anledningarna till detta kan vara många men den potentiellt största felkällan är parametrarna. Benägenheten för mögeltillväxt kan vara mindre än vad de undersökningar som gjorts visar. Författarna har ej hittat undersökningar på hur varierande RF och temperatur påverkar halmbalar ur mögelsynpunkt, som skulle kunna vara en anledning till lägre nivåer av mögeltillväxt i konstruktionerna.

De samlade resultaten av studien visar på vikten av att ha en ventilerad konstruktion vid byggande med halmbalar. De oventilerade konstruktionerna visade på extremt riskbenägna ur mögelsynpunkt med många simulerade timmar som översteg tröskelvärdena för mögelpåväxt. Även då okonventionella metoder används blir de oventilerade konstruktionerna riskfyllda. De ventilerade konstruktionerna påvisar mycket bättre resultat. Detta visar på vikten av att ha en luftspalt, något som är ovanligt idag vid byggande med halmbalar. Författarna anser att det är en onödig risk att bygga en konstruktion utan luftspalt.

De ventilerade konstruktionerna kan möjligtvis vara mer utsatta för angrepp av ohyra samt brand, dock anser författarna att dessa problem kan minimeras med genomtänkta lösningar samt att positiva effekterna av att bygga med en luftad konstruktion övervinner de negativa.

9 Slutsats

Vid studiens början fanns det ett syfte att undersöka om någon halmbalskonstruktion var säker ur fuktsynpunkt i ett skånskt klimat.

Författarna anser att syftet med studien har uppfyllts. Troligtvis är det möjligt att bygga fuktsäkra halmbalsytterväggar i ett skånskt klimat, men för att känna en säkerhet att kunna rekommendera halm som byggnadsmaterial krävs vidare studier.

Författarna anser att oventilerade konstruktioner är riskfyllda och bör ej byggas i ett skånskt klimat.

De ventilerade konstruktionerna visade sig mindre problematiska ur mögelsynpunkt, men är ej helt riskfria. Den tredje ventilerade konstruktionen visar på goda resultat där endast den inledande perioden är riskbenägen. Författarna anser att konstruktioner uppförda enligt detta vis kan ha en möjlighet att vara riskfria från mögelpåväxt.

10 Referenser

Adapa, P., Tabil, L., Schoenau, G. (2009). *Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw*. Saskatoon: Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan.

Ashour, T. (2003). *The use of renewable agricultural by-Products as building materials*. Egypten: Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture, Benha University

Ashour, T., Georg, H. & Wu, W. (2011). *Performance of straw bale wall: A case of study*. Egypten: Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture, Benha University

ASHRAE. (2008). *BSR/ASHRAE Standard 160P, Second Public Review Draft*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Bernesson, S., Nilsson, D. (2009). *Halm som bränsle (ISSN 1654-9406)*. Uppsala: Institutionen för energi och teknik, SLU.

Blocket. (2014). *Halmbal*.

http://www.blocket.se/ystad/Halmbal_53112385.htm?ca=23_10&w=1&last=1
[2014-05-02]

Bukefalos. (2007). *Pris på halmbal?* <http://www.bukefalos.com/threads/pris-pa-halm.728985/> [2014-03-06]

Danielewicz, I., Fitz, C., Hofbauer, W., Klatecki, M., Krick, B., Krueger, N., Krus, M., Minke, G., Otto, F., Scharmer, D., Teuber, W. (2008). *Abschlussbericht, Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise- Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance (DBU, Az. 22430)*. Holzkirchen, Kassel, Magdeburg, Oberursel, Sieben Linden.

Deverell, R., Goodhew, S., Griffiths, R., de Wilde, P. (2009). *The noise insulation properties of non-food-crop walling for schools and colleges: A case study*. Nottingham: Design and Built Environment, School of Architecture, Nottingham Trent University.

Evrard, A., Louis, A., Biot, B., Dubois, S. (2012). *Moisture Equilibrium in Straw Bale Walls*. Lima: PLEA2012, Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture.

- Falk, J. (2010). *Ventilerad luftspalt I yttervägg. Luftomsättningar och konvektiv fukttransport*. Lund: Avdelning för byggnadsmaterial, LTH.
- Finnveden, G., Toller, S. (2011). *Utsläppen från transporter ökar inom byggsektorn*. Stockholm: Miljöstrategi, KTH.
- Fraunhofer Institut für Bauphysik (2014). *WUFI (Version 5.2.0.972.DB.24.76)* [Programvara]. Tillgänglig: <http://www.wufi.de/>
- Goodhew, S., Griffiths, R. (2004). *Sustainable earth walls to meet the building regulations*. Plymouth: School of Civil Engineering, University of Plymouth.
- Hansen, K., Rode, C., de Place Hansen, E., Padfield, T., Kristiansen, F. (u.å.). *Experimental Investigation of the Hygrothermal Performance of Insulation Materials*. Lyngby: Department of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark
- Hedlin, C. (1967). *Sorption Isotherms of Five Types of Grain Straw at 70°F*. Saskatoon: Division of Building Research, National Research Council.
- Hofbauer, W., Krueger, N., Breuer, K., Sedlbauer, K., Schoch, T. (2008). *Mould resistance assessment of building materials – Material specific isopleth-systems for practical application*. Ottawa: Indoor Air 2008, the 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate.
- Holzhueter, K., Itonaga, K. (2010). *The hygrothermal Environment and Potential for Mold Growth within a Straw Bale Wall*. Japan: Graduate School of Bioresource Sciences, Nihon University.
- Homegrown (u.å.). *Why build with straw?*
<http://www.homegrownhome.co.uk/homegrownhomewhystraw.html> [2014-03-15]
- Hägerstedt, S. O., Harderup, L-E. (2011). *Control of moisture safety design by comparison between calculations and measurements in passive house walls made of wood*. Porto: International Conference on Durability of Building Materials and Components
- INPhO (2014). *Information on Post-harvest Operations*.
<http://www.fao.org/inpho/inpho-post-harvest-compendium/cereals-grains/en/>
[2014-04-11]

Intertek (2007). *ASTM E 119-05a Fire Tests of Building Construction and Materials, 2-HR Fire Resistance Test of a Non-Loadbearing Wheat Straw Bale Wall (3098054A)*. Elmendorf, Texas: Intertek Testing Services NA, Inc.

Isaksson, T., Thelandersson, S., Ekstrand-Tobin, A., Johansson, P. (2010). *Critical conditions for onset of mould growth under varying climate conditions*. Lund: Division of Structural Engineering, Lund University

Isover(2014) *Ljudisolering i praktiken*.

<http://www.isover.se/konstruktionslosningar/bbr/ljudisolering+i+praktiken>
[2014-05-21]

Johansson, Pernilla (2006). *Mikroorganismer i byggnader. En kunskapsöversikt(2006:22)*. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.

Johansson, Pernilla (2012). *Critical Moisture Conditions for Mould Growth on Building Materials (TVBH-3051)*. Lund: Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH.

Jordbruksverket (2012). *Jordbruksverkets statistikdatabas*.

<http://www.jordbruksverket.se/etjanster/etjanster/statistikdatabas.4.6a459c18120617aa58a80001011.html> [2014-04-13]

Jordbruksverket (2013). *Jordbruksmakrens användning, Areal av Spannmål 2013 (JO 10 SM 1302)*. Jönköping: Jordbruksverket.

Karagiozis, A., Künzel, H., Holm, A. (u.å.). *WUFI-ORNL/IBP - A North American Hygrothermal Model*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.

Kay, J., Anthone, D., Kay, R., Hugly, C. (1990). *Reconnaissance Survey Final Report of Arthur County, Nebraska*. Nebraska: Nebraska State Historical Society.

King, B. (2003). *Load-Bearing Straw Bale Construction. A summary of worldwide testing and experience*. Sausalito: Ecological Building Network.

Künzel, H. (1995). *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters (ISBN 3-8167-4103-7)*. Stuttgart: Fraunhofer Institute of Building Physics.

Lawrence, M., Heath, A., Walker, P. (2009). *Monitoring of the Moisture Content of Straw Bale Walls*. Berlin: Sustainability in Energy and Buildings: Pro-

ceedings of the International Conference in Sustainability in Energy and Buildings (SEB'09).

LFS (u.å.). *Fukt och mögel angriper enstegstätad fasad*. <http://www.lfs-web.se/enstegstatad-fasad.htm> [2014-03-05]

LRF (2014). *Spannmål är vår viktigaste basråvara*. <http://www.lrf.se/Mat/Svenska-ravaror/Spannmal/> [2014-04-12]

Lundin, G., Rönnbäck, M. (2010). *Samtidigt skörd av halm och agnar för energiändamål (ISSN 1401-4963)*. Uppsala: Institutet för jordbruks- och miljöteknik, JTI.

Magwood, C., Mack, P. (2000). *Straw Bale Building – How to plan, design & build with straw (ISBN: 0-86571-403-7)*. Gabriola Island B.C., Canada, New Society Publishers

Maiti, R., Satya, P., Rajkumar, D., Ramaswamy, A. (2012). *Crop Plant Anatomy*. Indien: CABI

Mundekulla (2012). *Ekologisk byggnation I Mundekulla! Mundekullabloggen [blogg]*, 11 augusti. <http://mundekullabloggen.blogspot.se/2012/08/ekologisk-byggnation-i-mundekulla.html/> [2014-03-15]

Mundt-Petersen, S., Wallentén, P., Toratti, T., Heikkinen, J. (2012). *Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart*. Podkylava: Thermophysics 2012-17th International Meeting of Thermophysical Society, Slovak Republic.

Mundt-Petersen, S.O. (2013). *Moisture Safety in Wood Frame Walls (TVBH-3059)*. Lund: Building Physics, LTH.

Nationalencyklopedin (2014a). *Halmtak*. <http://www.ne.se/lang/halmtak/>, Nationalencyklopedin [2014-03-04]

Nationalencyklopedin (2014b). *Halm*. <http://www.ne.se/lang/halm/>, Nationalencyklopedin [2014-03-04]

Nationalencyklopedin (2014c). *Halmbränsle*. <http://www.ne.se/lang/halmbransle/>, Nationalencyklopedin [2014-03-04]

Nevander, L. E. & Elmarsson, B. (2006). *Fukthandbok. Praktik och teori (ISBN: 9789173331562)*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst

Nilsson, D. (1999). *Analysis and simulation of systems for delivery of fuel straw to district heating plants*. Dissertation. Agraria 205. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Nilsson, Lars-Olof (2003). *Långtidsmätning av RF och temperatur i konstruktionsdelar i Halmbalshuset-Storkeboda*. Lund.

Pruteanu, M. (2010). *Investigations Regarding the Thermal Conductivity of Straw*. Iași: Department of Civil and Industrial Engineering, Technical University of Iași.

Regeringskansliet (2012). *Regeringen pekar ut vägen till mer energieffektiva byggnader*, Pressmeddelande 2012-03-29.

Running Bond. (2010). *We've Been Framed. At least partially...* [Fotografi] http://2.bp.blogspot.com/_0Y0C8dx7DvQ/S8B58J7z6rI/AAAAAAAAAAEs/isqJBtdWX38/s1600/running+bond.jpg [2014-03-16]

Sedlbauer, K. (2001). *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*. Stuttgart: Fraunhofer Institute for Building Physics, IBP.

Shiamh, R. (2013). *The first two-storey, load-bearing straw-bale house in the UK* [blogg], 30 maj. <http://www.lowimpact.org/blog/2013/May/two-storey-straw-bale-house.htm> [2014-03-25]

Strawfield. (2014). *Straw Bale on Field* [Fotografi] <http://www.strawbale.com/wp-content/uploads/straw-bale-on-field.jpg> [2014-03-15]

Straw Stem. (2007). *Is a bulk substrate less nutritious?* [Fotografi] http://files.shroomery.org/files/07-006/108452877-SEM_of_Straw.jpg [2014-02-26]

Swedish Standard Institute (2013). *Fukt- och värmeteknisk funktion hos byggkomponenter och byggnadsdelar – Invändig ytemperatur för att undvika kritisk ytfukt och kondens inuti konstruktion (SS-EN ISO 13788:2013)*. Stockholm: Swedish Standard Institute.

Thelandersson, S., Isaksson, T. (2013). *Mould resistance design (MRD) model for evaluation of risk for microbial growth under varying climate conditions*. Lund: Avdelningen för konstruktionsteknik, Lunds Universitet.

Tinyhomes. (2014). *Texas Tiny Homes*. [Fotografi]
<http://texastinyhomes.com/wp-content/uploads/2014/02/guadalupestrappingRBA.preview.jpg> [2014-02-21]

Twostorey. (2013). *Two Storey Straw Bale Building*. [Fotografi]
<http://www.lowimpact.org/blog/2013/May/straw-bale1.jpg> [2014-05-02]

Viitanen, H (1996). *Factors Affecting The Development Of Mould And Brown Rot Decay In Wooden Material And Wooden Structures : Effect Of Humidity, Temperature And Exposure Time*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products.

Viitanen H. (1997a). *Modelling the time factor in the development of brown rot decay in pine and spruce sapwood the effect of critical humidity and temperature conditions*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products.

Viitanen H. (1997b). *Modelling the time factor in the development of mould fungi effect of critical humidity and temperature conditions in pine and spruce sapwood*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products.

Viitanen H, Ritschkoff A-C. (1991). *Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products.

Wall, K., Walker, P., Gross, C., White, C., Mander, T. (2011). *Development and testing of a prototype straw bale house (paper 1100003)*. Storbritannien: University of Bath

WUFI Forum. (2014). *Material data for straw bale walls*. <http://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?f=3&t=514&p=1822&hilit=straw#p1822> [2014-02-06]

WUFI Graph. (2012). *Školení mladých výzkumníků v softwaru WUFI* [Fotografi]
http://www.mladivyzkumnici.cz/attachment/_Temp_/1353957631_rainscreen_st_louis_wufi.jpg [2014-03-16]

WUFI Wiki. (2014). *Hauptseite*. [2014-03-21]

11 Bilagor

11.1 Materialdata för simulering

	Skrymdensitet [kg/m ³]	Porositet [m ³ /m ³]	Specifik värmekapacitet [J/kgK]	Värmeledningsförmåga [W/mK]
Gran, radial	455	0,73	1500	0,09
Luftspalt	1,3	0,999	1000	0,18
Mineral isoleringsboard	115	0,95	850	0,043
Plastfolie	130	0,001	2300	2,3
Gipsskiva invändig	625	0,73	850	0,2
Lerputs	1514	0,42	850	0,65
Cementputs	2000	0,3	850	1,2
Mineralull	60	0,95	850	0,04

Tabell 4: Materialdata för simulering.

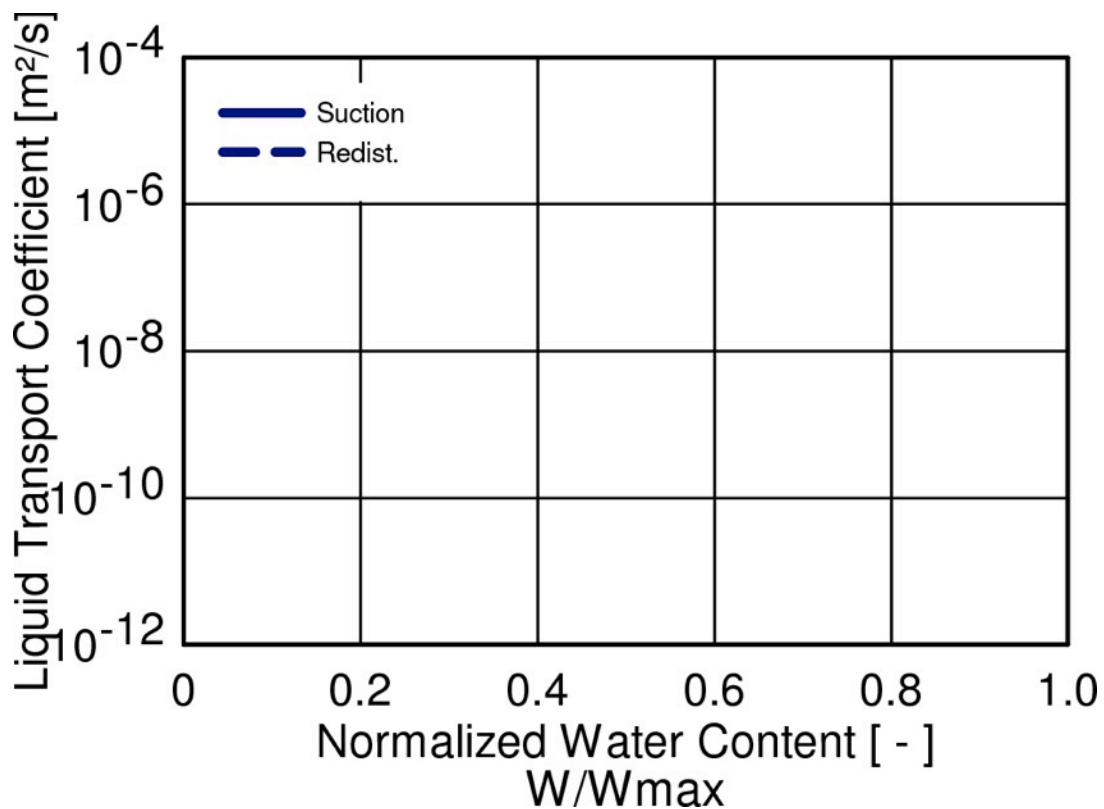
	Diffusionmotstånd vattenånga [-]	Fuktberoende värme- ledningstillägg [%/M.- %]	Temperaturberoende värmeledning [W/mK ²]
Gran, radial	130	1,3	0,0002
Luftspalt	0,46		
Mineral isoleringsboard	3,4	3,7	0,0002
Plastfolie	100000		0,0002
Gipsskiva invändig	8,33		0,0002
Lerputs	11,3	8	
Cementputs	25	10	0,0002
Mineralull	1,3		0,0002

Tabell 5: Materialdata för simulering.

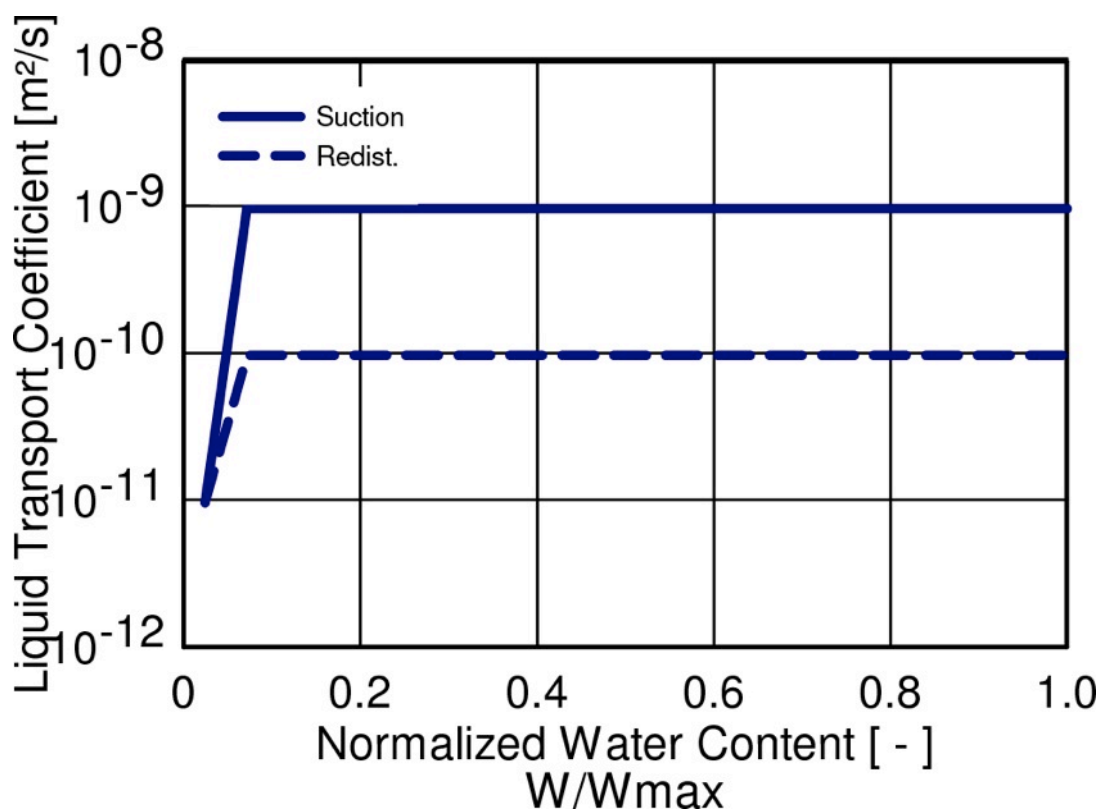
	Typisk byggfukt [kg/m ³]	Referens, vattenin- nehåll [kg/m ³]	Fri vattenmättnad [kg/m ³]
Gran, radial	80		
Luftspalt	1,88		
Mineral isoleringsboard	4,5		
Plastfolie	0		
Gipsskiva invändig	20		
Lerputs	8		
Cementputs	280	35	280
Mineralull	1,79		

Tabell 6: Materialdata för simulering.

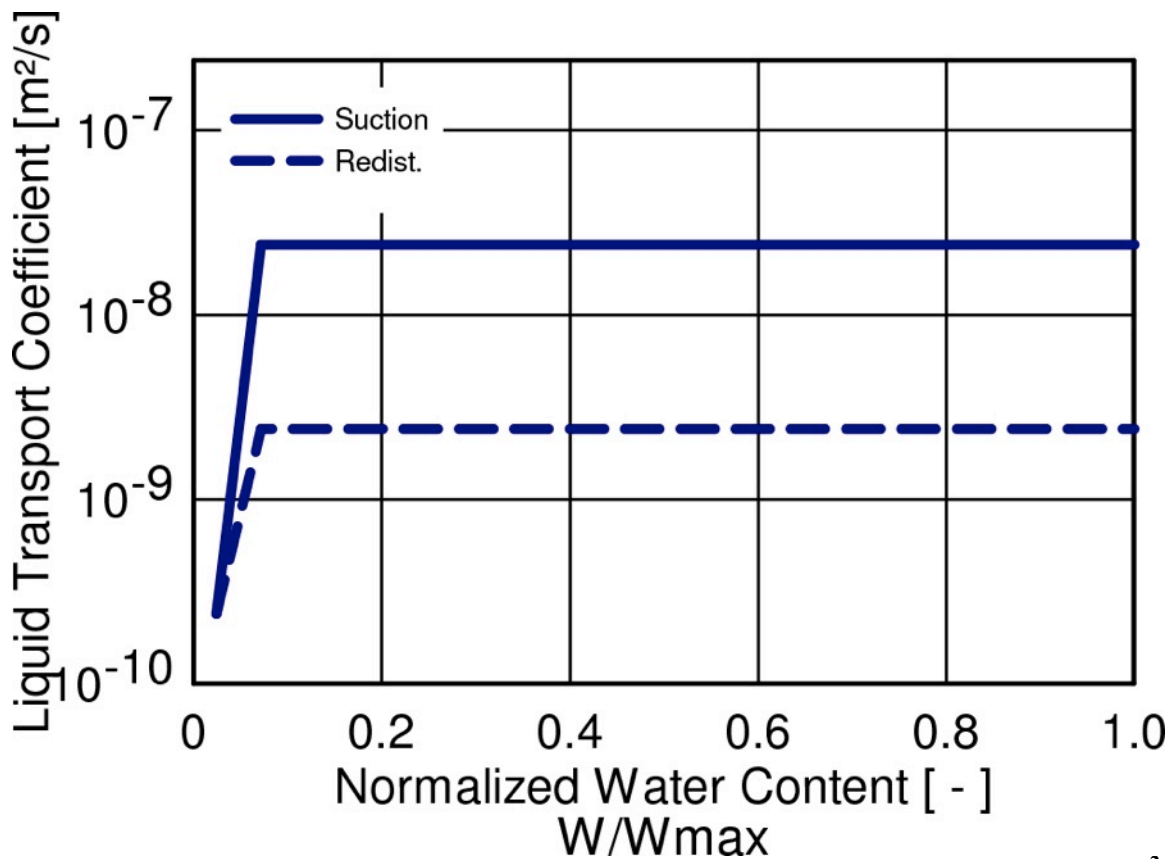
11.2 Suktion och omdistribution genererad av WUFI.



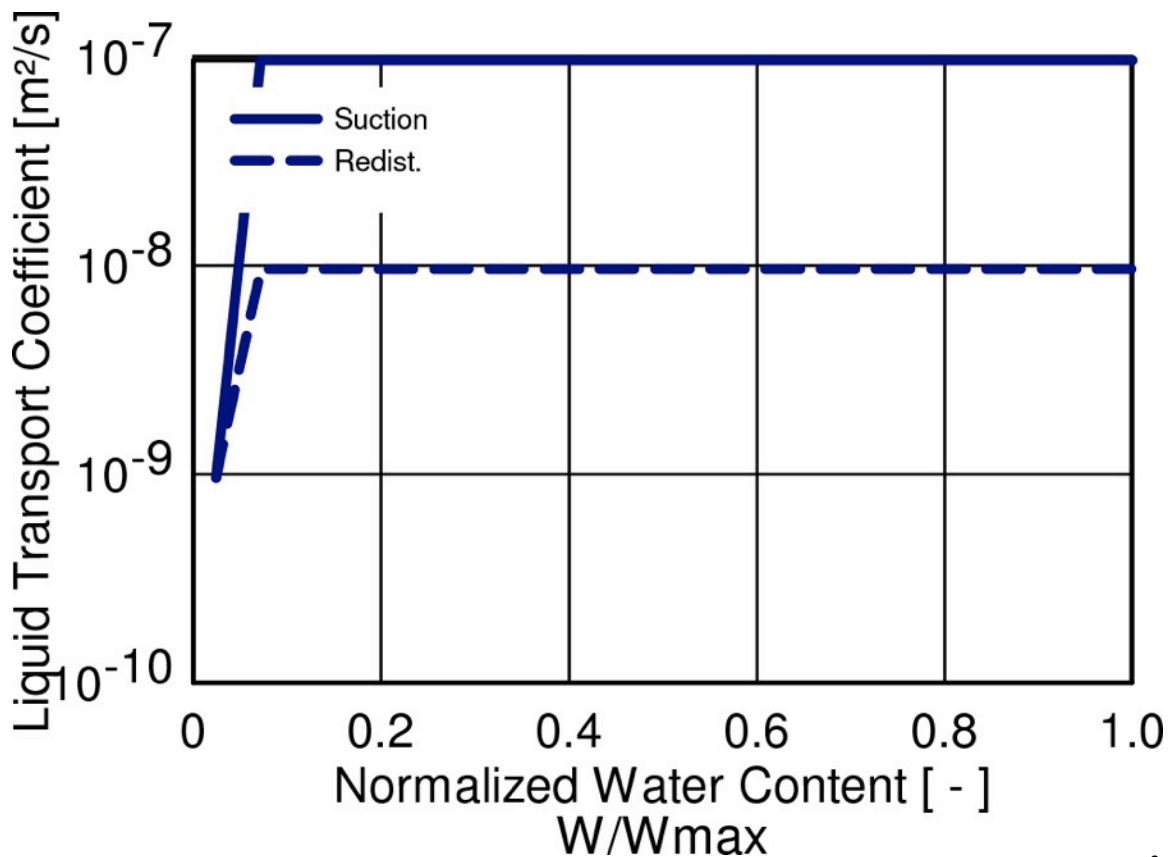
Figur 89: Grafen visar en generering av WUFI för kapillär transportkoefficient[m²/s] då kapillärkoefficienten är 0 kg/(m²s^{0,5})



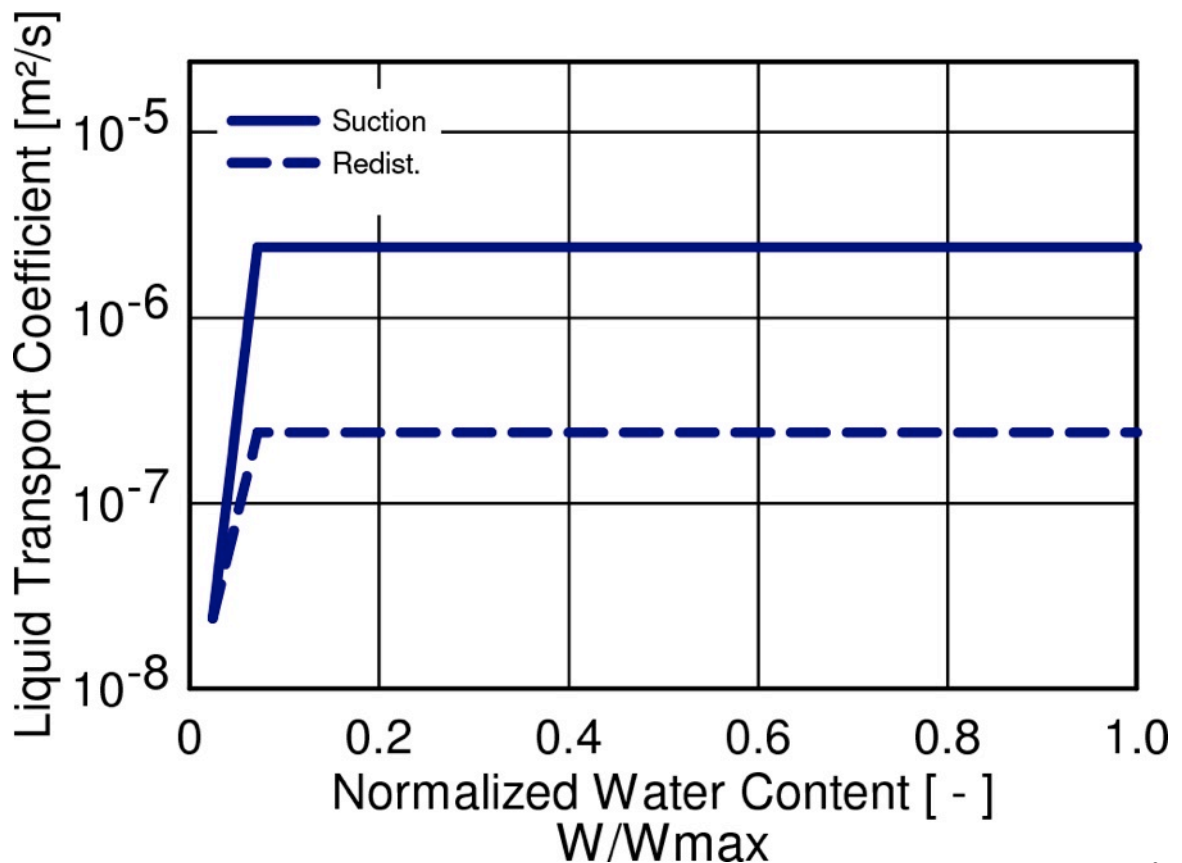
Figur 90: Grafen visar en generering av WUFI för kapillär transportkoefficient[m²/s] då kapillärkoefficienten är 0,001 kg/(m²s^{0,5}).



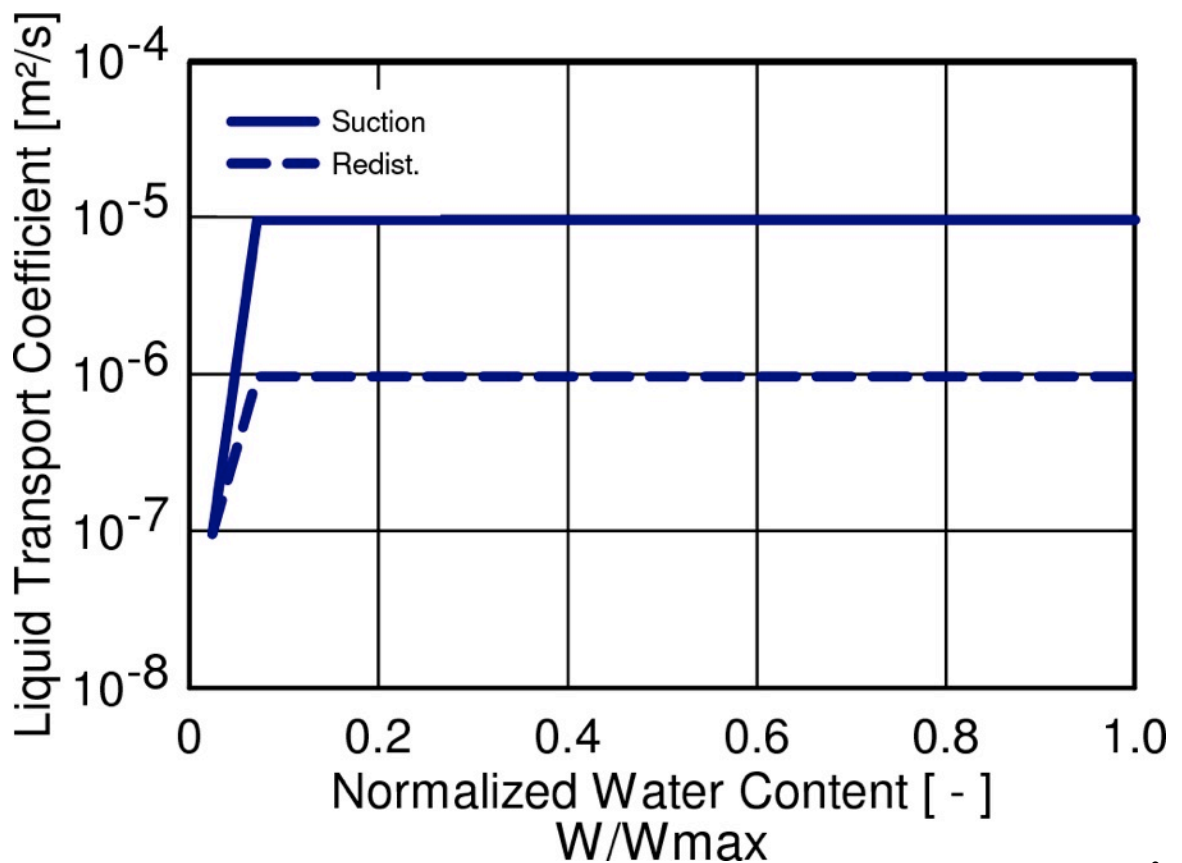
Figur 91: Grafen visar en generering av WUFI för kapillär transportkoefficient[m²/s] då kapillärkoefficienten är 0,005 kg/(m²s^{0,5}).



Figur 92: Grafen visar en generering av WUFI för kapillär transportkoefficient[m²/s] då kapillärkoefficienten är 0,01 kg/(m²s^{0,5}).

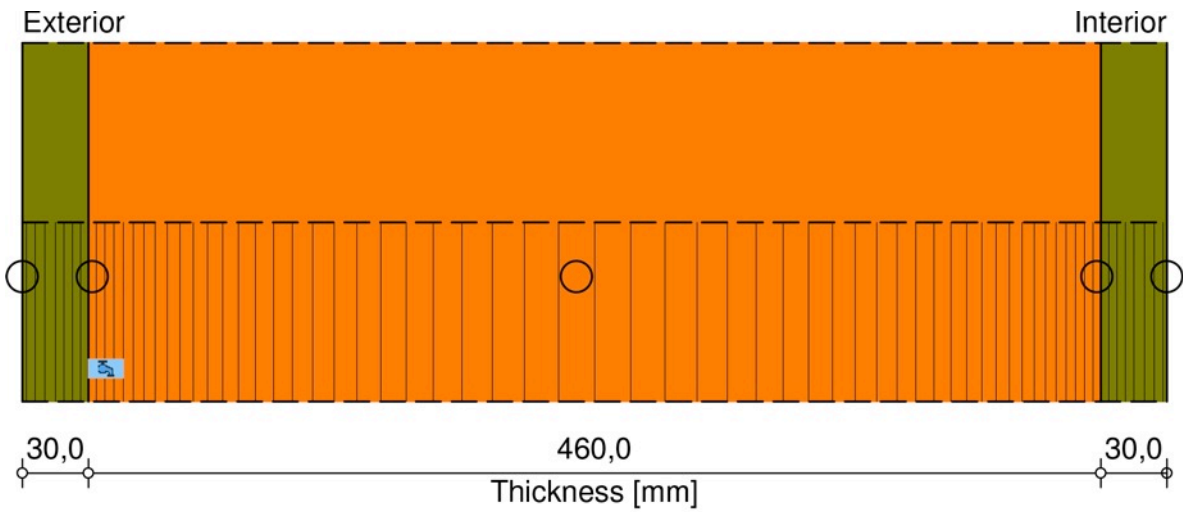


Figur 93: Grafen visar en generering av WUFI för kapillär transportkoefficient [m^2/s] då kapillärkoefficienten är $0,05 \text{ kg}/(m^2s^{0,5})$.



Figur 94: Grafen visar en generering av WUFI för kapillär transportkoefficient [m^2/s] då kapillärkoefficienten är $0,1 \text{ kg}/(m^2s^{0,5})$.

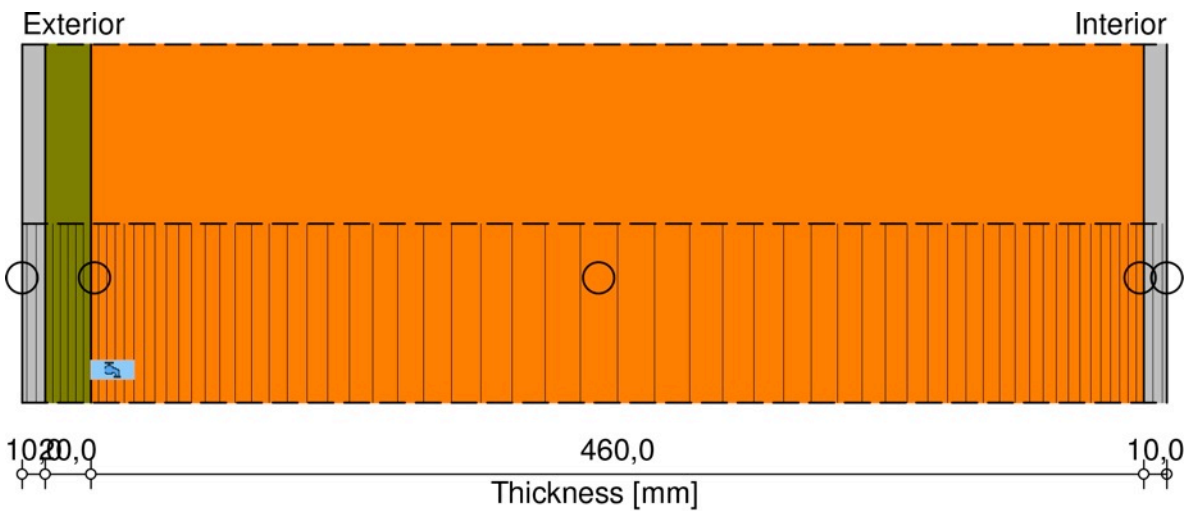
11.3 Monitorpositioner under simuleringar



○ - Monitor positions

💡/🌀 - Heat/Moisture source/sink positions

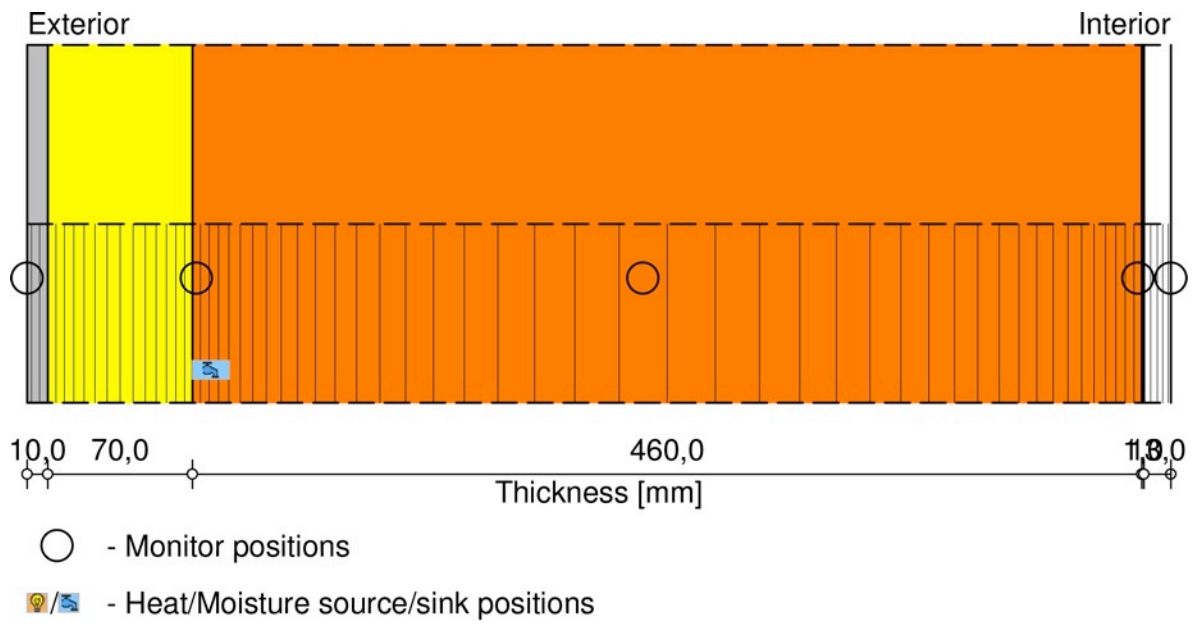
Figur 95: Bilden visar kamerapositioner samt luft- och fuktkällor under simulering för oventilerad konstruktion 1.



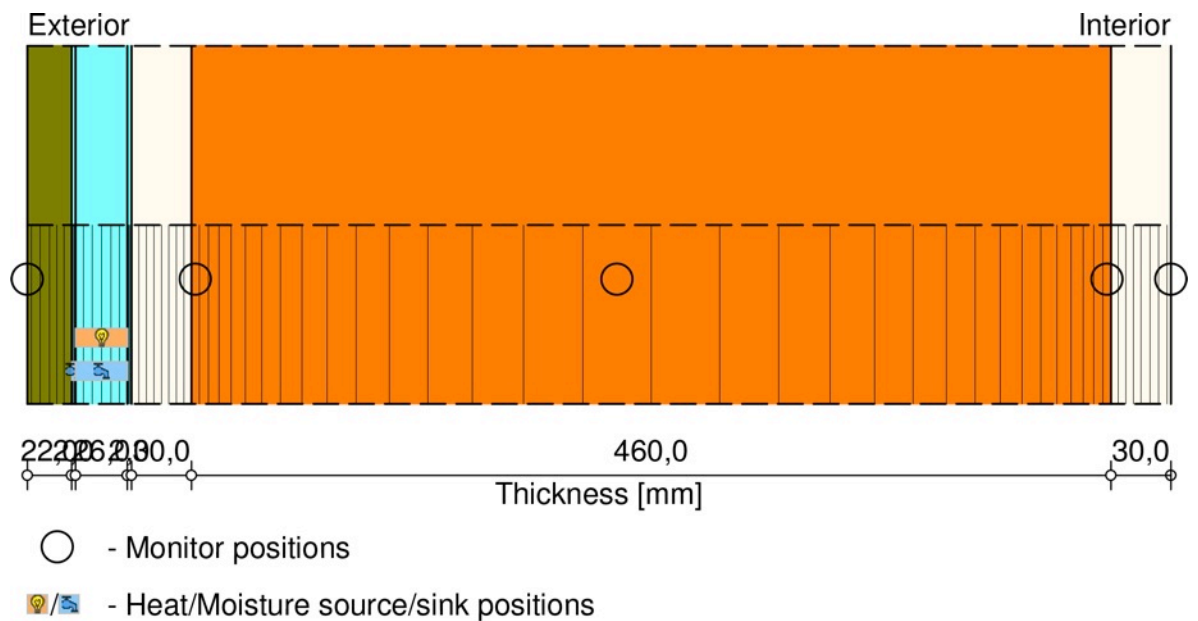
○ - Monitor positions

💡/🌀 - Heat/Moisture source/sink positions

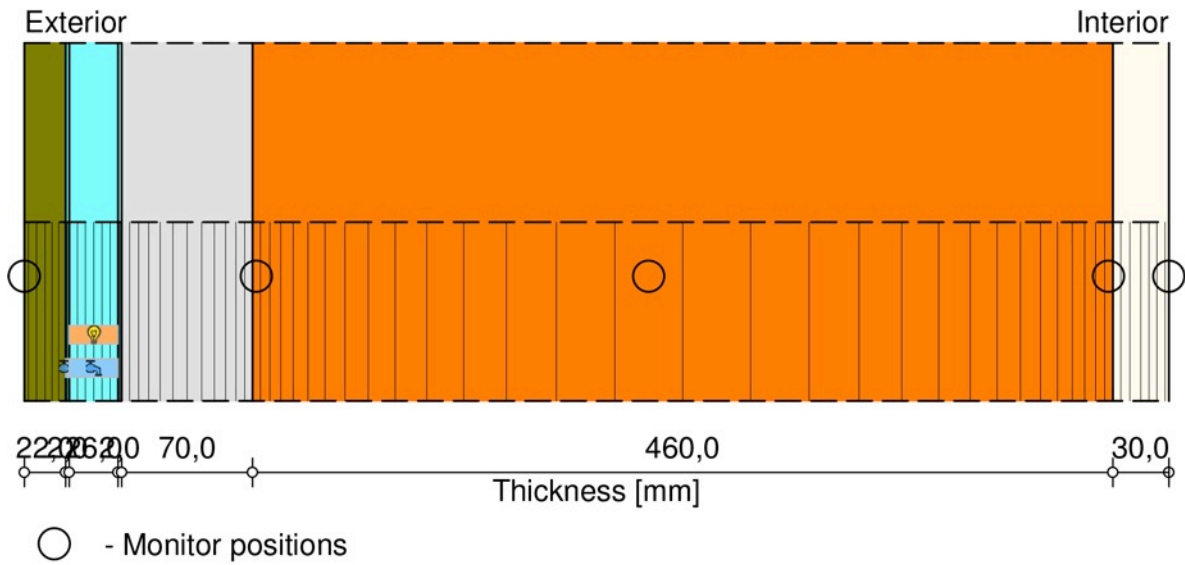
Figur 96: Bilden visar kamerapositioner samt luft- och fuktkällor under simulering för oventilerad konstruktion 2.



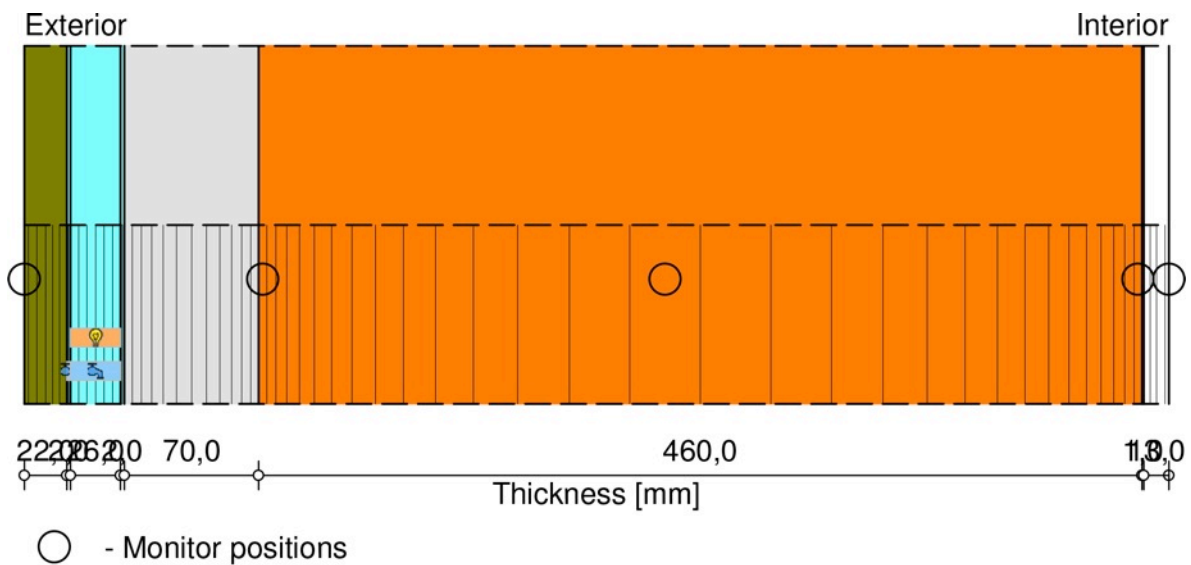
Figur 97: Bilden visar kamerapositioner samt luft- och fuktkällor under simulering för oventilerad konstruktion 3.



Figur 98: Bilden visar kamerapositioner samt luft- och fuktkällor under simulering för ventilerad konstruktion 1.

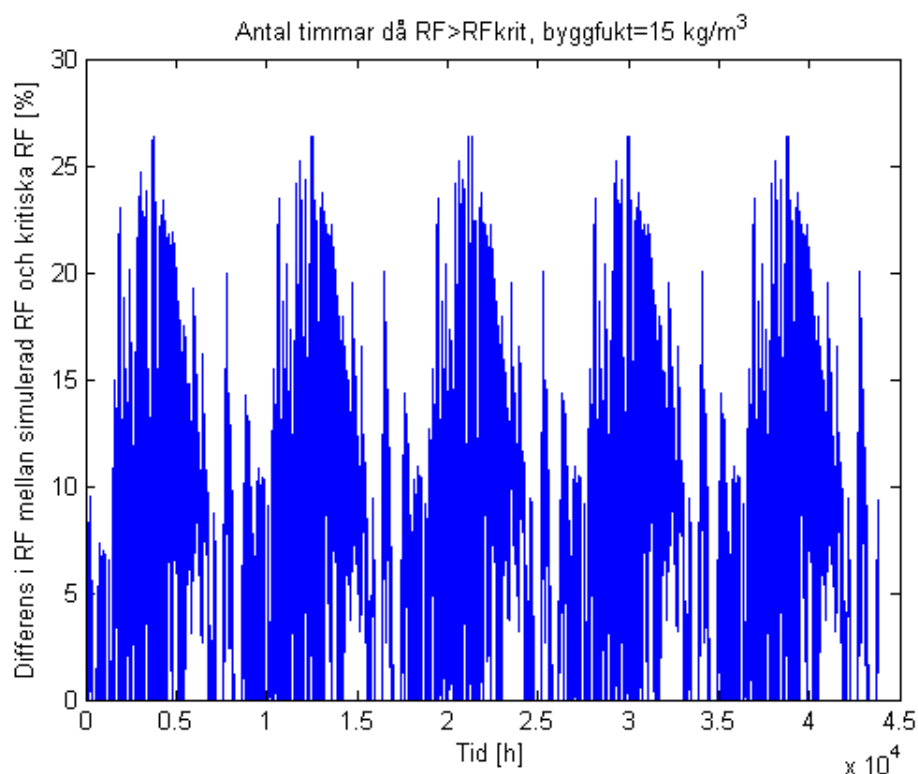


Figur 99: Bilden visar kamerapositioner samt luft- och fuktkällor under simulering för ventilerad konstruktion 2.

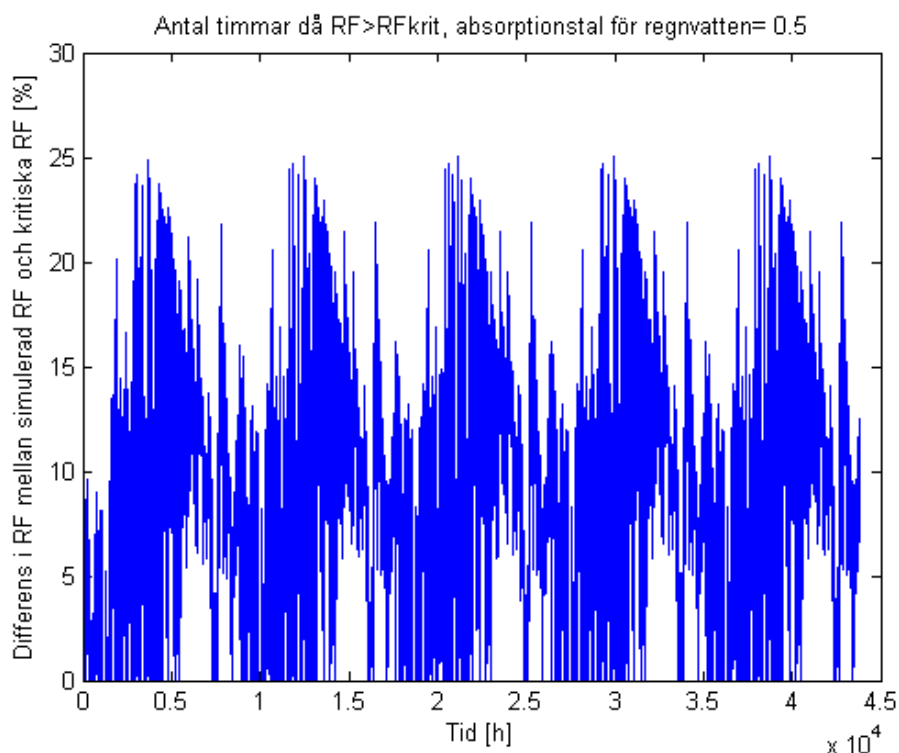


Figur 100: Bilden visar kamerapositioner samt luft- och fuktkällor under simulering för ventilerad konstruktion 3.

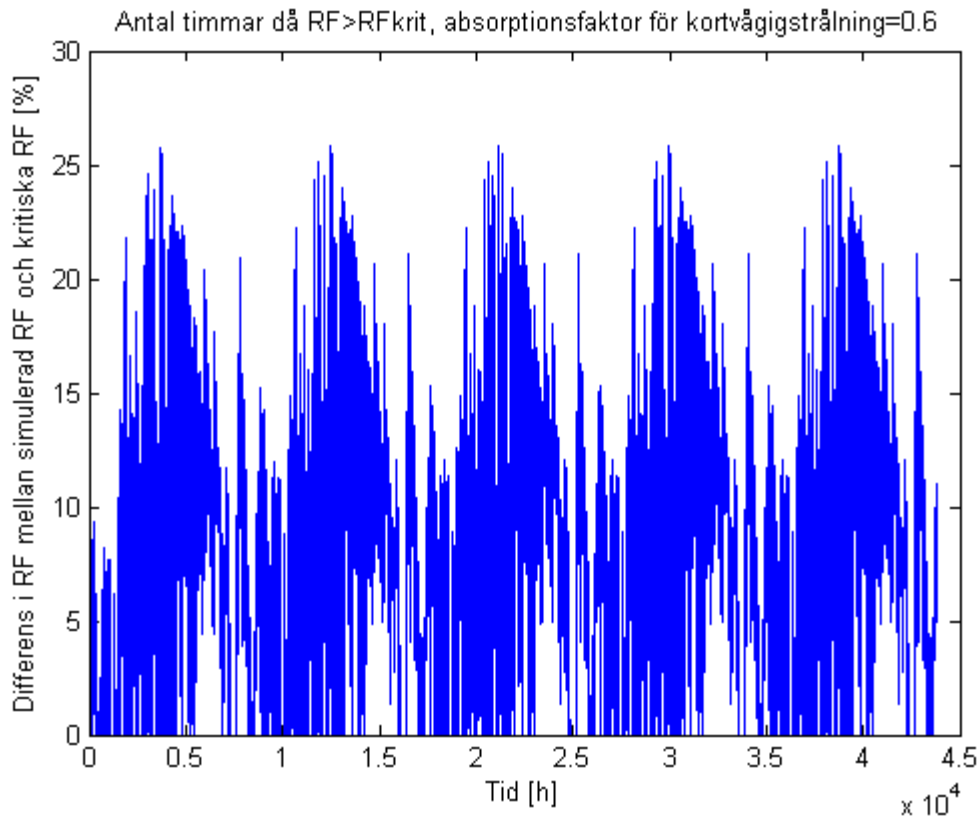
11.4 Differenser i RF mellan simulerade RF och kritiska RF.



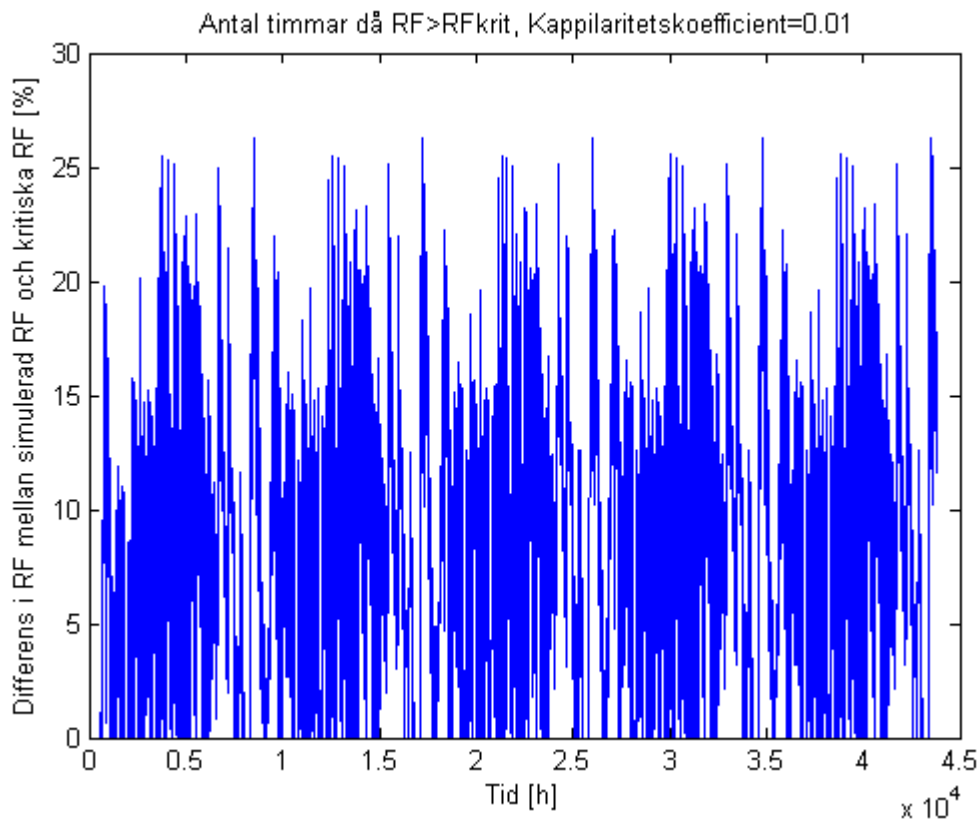
Figur 101: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en oventilerad fasad simulerad med byggfukt 15 kg/m^3 .



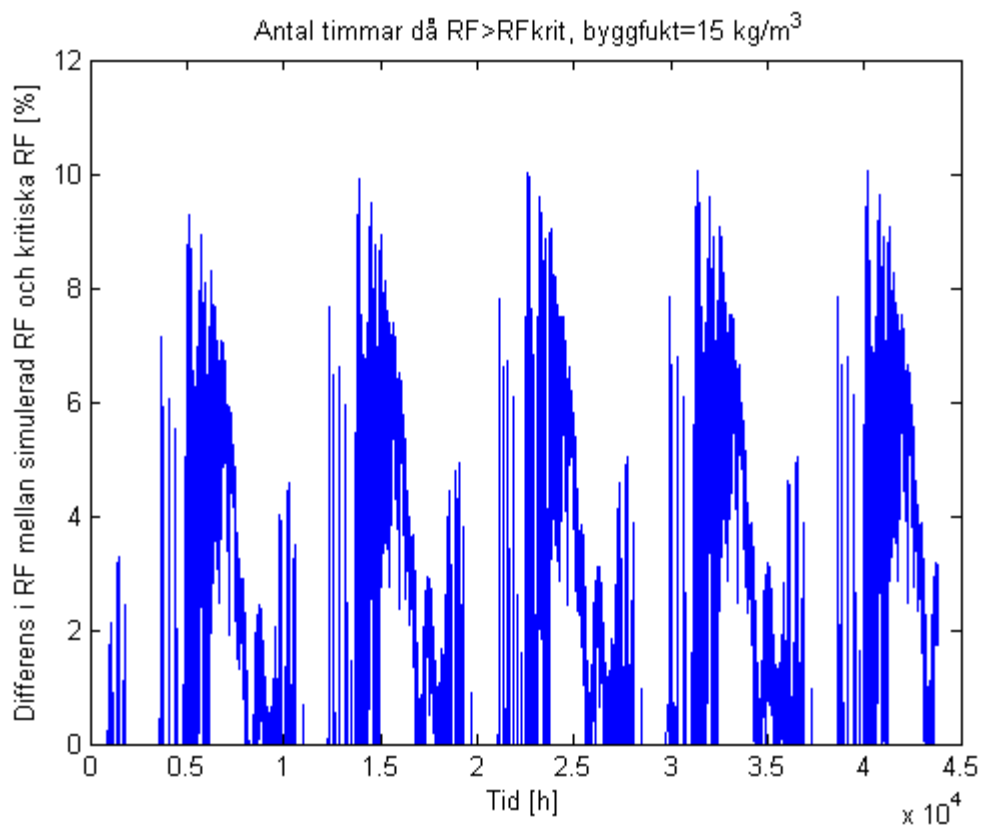
Figur 102: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en oventilerad fasad simulerad med absorptionstal för regnvatten satt till 0,5.



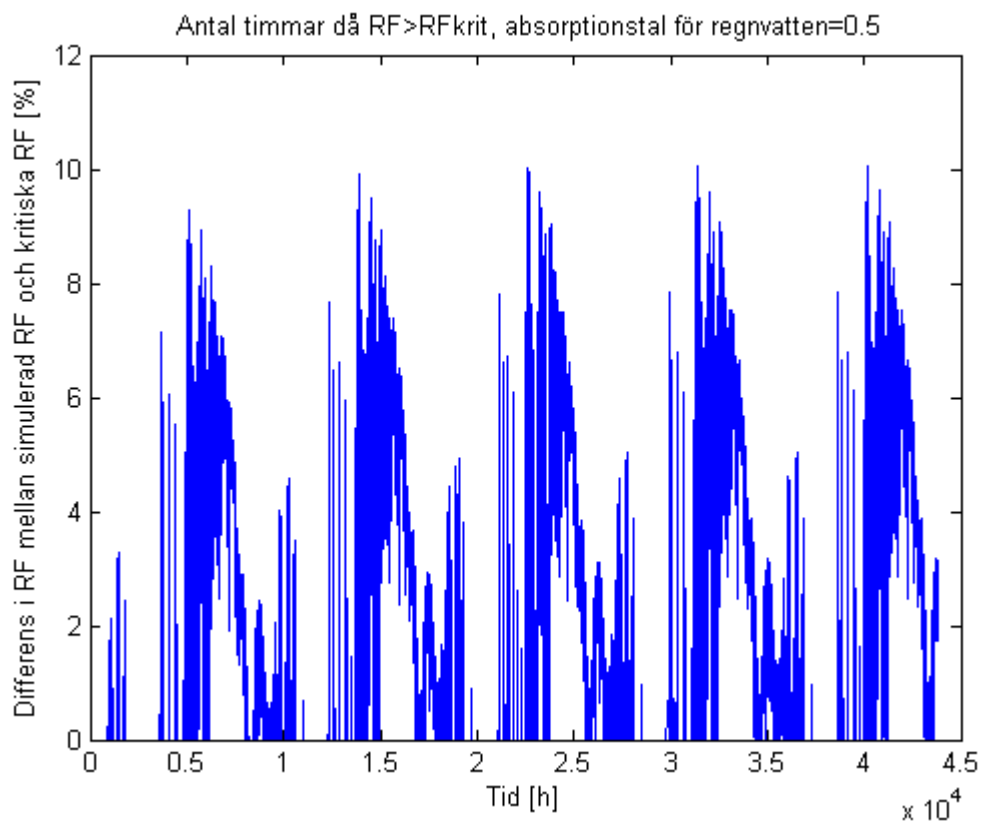
Figur 103: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en oventilerad fasad simulerad med absorptionsfaktor för kortvågig strålning satt till 0,6.



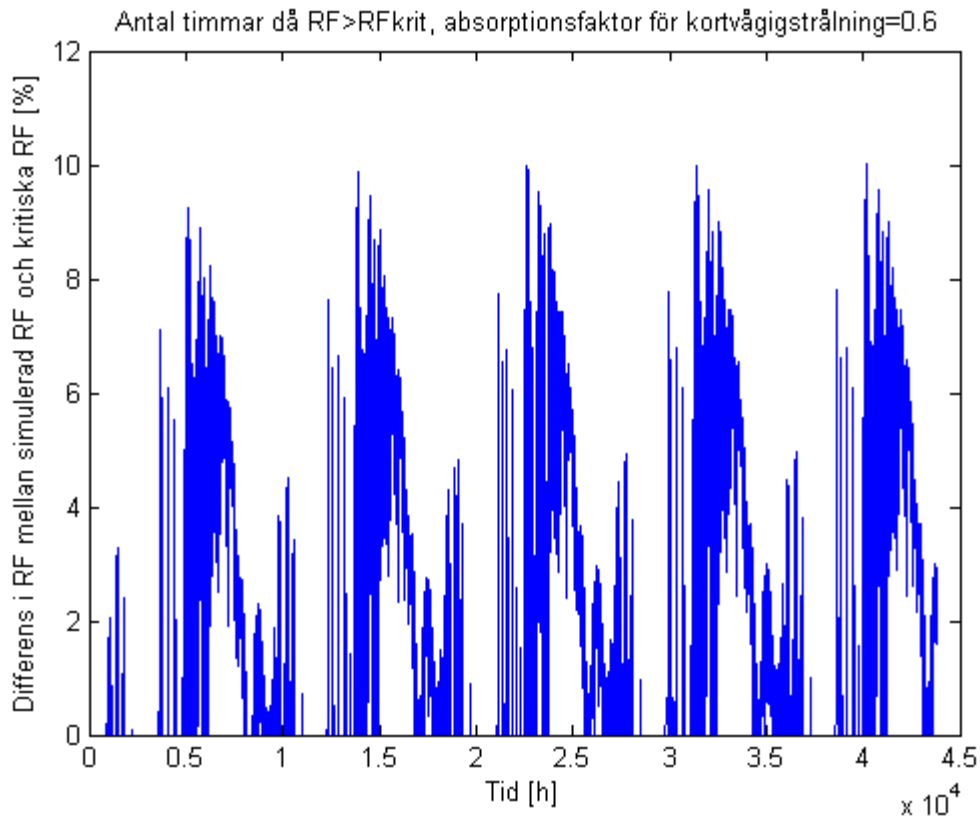
Figur 104: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en oventilerad fasad simulerad med kapillaritetskoefficient satt till 0,01 kg/m²s^{0,5}.



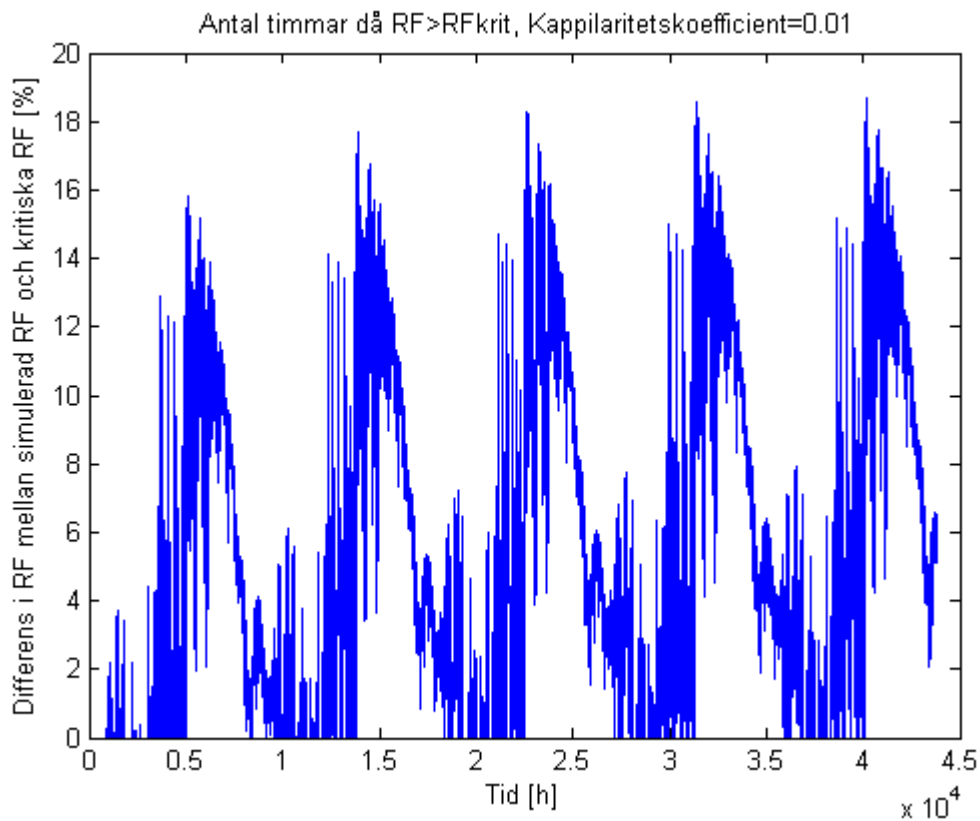
Figur 105: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en ventilerad fasad simulerad med byggfukt 15 kg/m³.



Figur 106: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en ventilerad fasad simulerad med absorptionstal för regnvatten satt till 0,5.

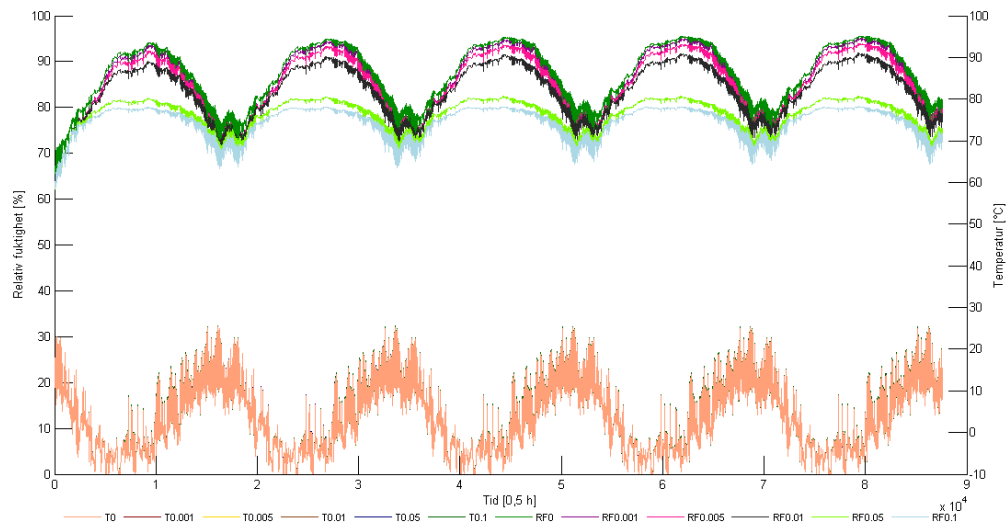


Figur 107: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en ventilerad fasad simulerad med absorptionsfaktor för kortvågig strålning satt till 0,6.

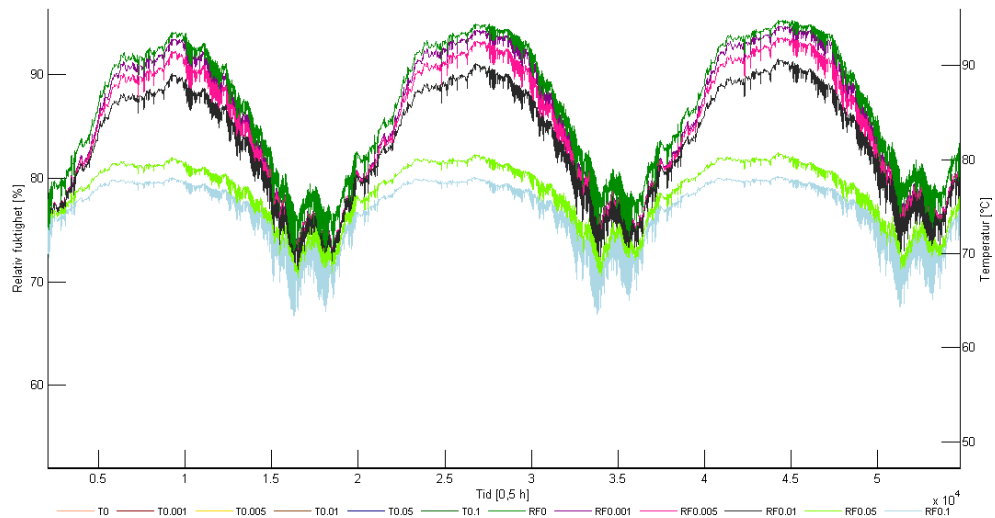


Figur 108: Grafen visar differensen i simulerade RF och kritiska RF för en ventilerad fasad simulerad med kapillaritetskoefficient satt till 0,01 $\text{kg/m}^2\text{s}^{0,5}$.

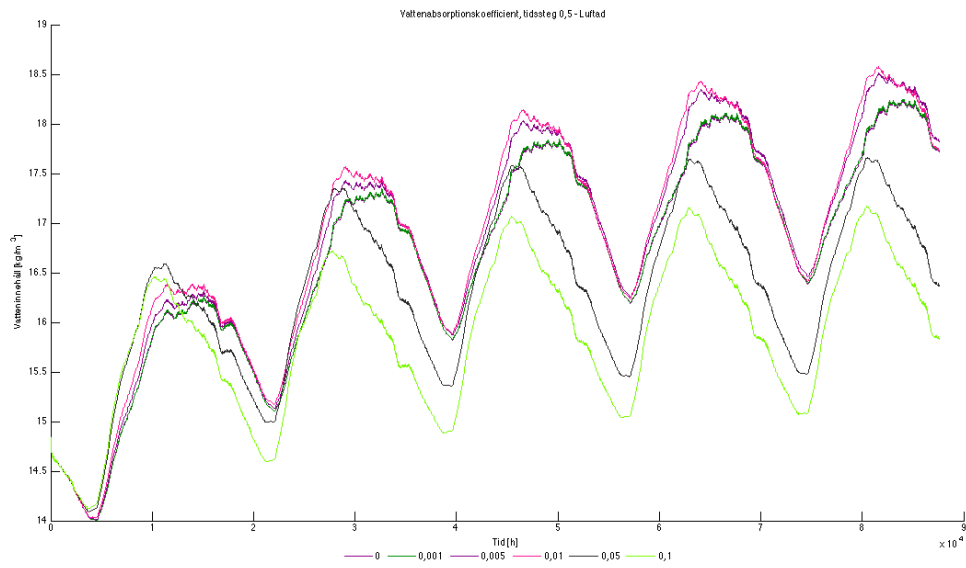
11.5 Övriga grafer



Figur 109: Grafen visar vattenabsorptionskoefficienten med tidssteg på 0,5h i en ventilerad konstruktion.



Figur 110: Den förstörade grafen visar vattenabsorptionskoefficienten med tidssteg på 0,5h i en ventilerad konstruktion.



Figur 111: Grafen visar vatteninnehåll vid vattenabsorptionskoefficient med tidssteg 0,5h.