

Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete TVBH-5054

Lund 2005

Uttorkning av fukt i våtrumsvägg

-En jämförelse mellan tre
byggnadstekniska lösningar

Karin Grimbe
Linnéa Nordqvist



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Uttorkning av fukt i våtrumsvägg

-En jämförelse mellan tre
byggnadstekniska lösningar

Karin Grimbe
Linnéa Nordqvist

Avdelningen för Byggnadsfysik
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund
Sverige

ISRN LUTVDG/TVBH--05/5054--SE(88)
©2005 Karin Grimbe, Linnéa Nordqvist

Förord

Förestående examensarbete är skrivet inom ramen för Civilingenjörsutbildningen i Väg- och Vattenbyggnad, 180 p, vid Lunds Tekniska Högskola. Initiativet till examensarbetet togs av vår handledare Lars-Erik Harderup och vår examinator Jesper Arfvidsson, båda vid Avdelningen för Byggnadsfysik.

Den ursprungliga projektplanen byggde på att studera inverkan av skador på tätskikt i tre olika ytterväggskonstruktioner för våtrum. Studien fick under arbetets gång ändra inriktning då gipsskivor med mycket höga fuktnivåer byggdes in i väggkonstruktionerna. Arbetet är en studie som ligger nära tillämpning i byggbranschen. Fuktiga material som byggs in i täta konstruktioner skapar ständigt debatt.

Arbetet har givit oss stor insikt i komplexiteten med att planera och genomföra laborieförsök och att välja korrekta materialdata för beräkningar.

Ett stort tack vill vi rikta till vår handledare Lars-Erik Harderup och övriga anställda på Avdelningarna för Byggnadsfysik och Installationsteknik som hjälpt oss med information och lösningar på diverse problem. Vi vill särskilt tacka Kaisa Svennberg för inspiration. Tack riktas även till Trelleborg Building Systems AB och CCHöganäs Byggkeramik AB för bistånd vid försöksuppbyggnad.

Lund 2005-03-23

Karin Grimbe

Linnéa Nordqvist

Sammanfattning

- Titel:** Uttorkning av fukt i våtrumsvägg
- En jämförelse mellan tre byggnadstekniska lösningar
- Författare:** Karin Grimbe och Linnéa Nordqvist
- Handledare:** Lars-Erik Harderup
Avdelningen för Byggnadsfysik
Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet
- Problemställning:** Kostnader för fuktskador borde kunna reduceras genom en utökad fuktdimensionering. Fuktdimensionering resulterar i byggtekniska lösningar som tar hänsyn till oplanerad fuktbelastning i form av till exempel läckage och byggfukt. Genom att använda sig av mer förlåtande byggtekniska lösningar borde kostnader för skador sjunka. Problemformulering: ”Fungerar den byggtekniska lösningen med ångbromsen Halotex D50 tillfredsställande som en mer förlåtande lösning än de konventionella lösningarna med eller utan ångspärr av polyeten?”
- Syfte:** Studiens huvudsyfte är att utreda skillnader avseende de förlåtande egenskaperna, uttorkning och användbarhet för tre olika konstruktionslösningar för lätta våtrumsvägg. Studien syftar också till att utreda för- och nackdelar vid inbyggnad av RF-givaren Honeywell HIH-3610-002 i lätta väggkonstruktioner.
- Metod:** Uttorkning av fukt i gipsskivor i tre olika väggkonstruktioner utvärderas. I laboratorie mäts uttorkning av en uppbyggd försöksvägg med hjälp av inbyggda givare. Motsvarande uttorkningsberäkningar utförs i PC-programmet 1D-HAM.
- Slutsatser:** Vid jämförelsen mellan de byggnadstekniska lösningarna visas att systemet med ångbroms fungerar som ett mellanting, mitt emellan systemen med ångspärr och utan, avseende uttorkningsförlopp och användarvänlighet. Materialet är mer förlåtande än alternativen i avseendet att uttorkning av fukt sker snabbare än det ena alternativet och användarvänligheten är bättre än det i andra alternativet. En våtrumsvägg med ångbroms fungerar bra som ett förlåtande alternativ till de traditionella byggtekniska lösningarna med eller utan ångspärr.
- Programmet 1D-HAM, som används för kompletterande uttorkningsberäkningar, ger inte ett helt tillfredsställande resultat. Då programmets simuleringar bortser från flera parametrar kan det vara bra att utvärdera om programmet är applicerbart på den väggtyp/väggdel som är aktuell för simulering. Programmet kan ses som en vägledning, resultatet ger indikationer på hur uttorkningen ser ut och hur de olika väggtypernas uttorkning förhåller sig till varandra samt hur variationer i klimatdata inverkar på resultatet. Eftersom programmet inte hanterar temperatur- och fuktberoende hos ingående parametrar minskar trovärdigheten i simuleringarna. Osäkerhet i vald materialdata minskar också

beräkningarnas trovärdighet.

RF-givarna Honeywell HIH-3600-002 anses som lämpliga för inbyggnad och mätning i lätta regelväggar. Då miljön som omger givarna är relativt ren fungerar utformningen med oskyddad sensor bra. En nackdel är att givarna måste kopplas med sladd till en mät dator vilket begränsar deras användningsområde. Tillförlitligheten i mätresultaten anses vara god trots de höga fuktnivåerna som inledde mätningen, reaktionstiden är kort och noggrannheten anses vara tillräckligt stor.

Nyckelord: Byggfukt, Fuktdimensionering, Förlåtande material, RF-givare, Uttorkning, Våtrum, Ångbroms

Summary

- Title:** The drying rate of exterior walls of a wet room
- A comparishon between three architectural solutions
- Authors:** Karin Grimbe and Linnéa Nordqvist
- Supervisor:** Lars-Erik Harderup
Department of Building Physics
Lund Institute of Technology, University of Lund
- Complex of problem:** The costs of moisture damages ought to be reduced by increasing the amount of time spent on moisture dimensioning. Moisture dimensioning results in architectural solutions that consider an unexpected moisture load, for example damage caused by leakage and exposure to excess moisture from the production phase. The costs of these damages should be reduced by the use of more forgiving architectural solutions. The question this report attempts to answer is: “Does the architectural solution with the vapour retarder Halotex D50 work satisfactorily as a more forgiving solution than the conventional solution with or without a polyethylene vapour barrier?”
- Purpose:** The main purpose of this study is to investigate differences concerning the forgiving qualities, drying rate and utility for three different constructions of light-weight wet room exterior walls. The study also investigates the profits and drawbacks of installing the Honeywell HIH-3610-002 humidity sensor in the walls.
- Method:** The drying rate of gypsum board in three different wet room exterior wall constructions evaluates. In a laboratory the drying rate is measured in a full-scale wall using humidity sensors placed inside the construction. Corresponding simulations were also performed in the computer program 1D-HAM.
- Conclusions:** A comparison of the three wall constructions shows that the wall with the vapour retarder performs in between the two other constructions. The construction with the vapour retarder is more forgiving in order to allow wet materials to dry out quicker compared to the wall with the polyethylene layer. The vapour retarder is also more user-friendly than a wall without a vapour barrier. A wet room exterior wall with a vapour retarder works well as a forgiving alternative to the traditional architectural solutions with or without a vapour barrier.
- The computer program 1D-HAM, which is used for additional drying simulations, does not yield satisfactorily results. The program disregards several parameters and it is questionable to whether or not it is applicable to this kind of wall. The program is to be considered as a guide. The result indicates how the drying of the walls appears to be, and can be used to compare the relative drying rates of the different wall designs in different climates. Since the program does not handle temperature and moisture dependencies in the input data, the reliability

decreases. The uncertainty in chosen material data also decreases the reliability.

The Honeywell humidity sensors are considered to be suitable for concealed mounting and measurement in light weight stud walls. The surrounding environment is relatively clean and the design with an unprotected sensor works well. One drawback is that the sensors must be connected to a computer via a cable which decreases their applicability. The reliability of the sensors is deemed satisfactory despite the high moisture levels found during the beginning of the experiment. The response time is short and the accuracy is adequate.

Keywords:

Construction damp, Damp materials, Drying time, Forgiving materials, Humidity sensor, Moisture dimensioning, Vapour retarder, Wet room

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	PROBLEMFÖRMULERING	1
1.3	SYFTE	2
1.4	MÅLGRUPP	2
1.5	AVGRÄNSNINGAR	2
1.6	FÖRVÄNTAT RESULTAT	2
1.7	METODIK	3
1.7.1	<i>Experimentella metoder</i>	3
1.7.2	<i>Beräkningsmetodik</i>	3
1.7.3	<i>Litteratursökningsmetodik</i>	3
1.7.4	<i>Arbetsgång</i>	3
1.8	RAPPORTENS DISPOSITION OCH LÄSANVISNINGAR	4
2	TEORI	5
2.1	BYGGNADSFYSIK	5
2.1.1	<i>Fuktig luft</i>	5
2.1.2	<i>Fukt i material</i>	5
2.1.3	<i>Sorptionskurvan</i>	6
2.1.4	<i>Fuktvandringens drivkrafter och riktningar</i>	8
2.1.5	<i>Fuktkällor</i>	9
2.1.6	<i>Lufttäthet</i>	10
2.1.7	<i>Konsekvenser av inbyggd fukt</i>	10
2.2	FUKTDIMENSIONERING	12
2.2.1	<i>Innehåll och tillvägagångssätt</i>	12
2.2.2	<i>Ansvarsfördelning</i>	13
2.3	GÄLLANDE FÖRESKRIFTER OCH REGLER	14
2.3.1	<i>Byggregler enligt Hus AMA 98 och RA 98 Hus</i>	14
2.3.2	<i>Byggregler enligt BBR</i>	14
2.3.3	<i>PERs branschregler för våtrum</i>	15
2.3.4	<i>Materialhantering enligt Hus AMA 98</i>	16
2.3.5	<i>Materialhantering enligt BBR</i>	17
2.4	INGÅENDE MATERIAL – TEKNISKA EGENSKAPER	18
2.4.1	<i>Vindskydd</i>	18
2.4.2	<i>Trä</i>	18
2.4.3	<i>Isolering</i>	18
2.4.4	<i>Ångbroms</i>	18
2.4.5	<i>Ångspärr</i>	18
2.4.6	<i>Våtrumsgips</i>	18
2.4.7	<i>Tätskikt</i>	19
2.5	MÄTUTRUSTNING	20
2.5.1	<i>Mätare för relativ fuktighet – RF-givare</i>	20
2.5.2	<i>Termistor</i>	20
2.5.3	<i>Mätare för fuktkvot i trä</i>	21
2.5.4	<i>Våg med tillhörande program</i>	21

3	FÖRSÖK	23
3.1	UTTORKNING AV FUKT I VÅTRUMSYTTERVÄGGAR	23
3.1.1	<i>Försöksuppställning</i>	23
3.1.2	<i>Väggtypernas konstruktion</i>	24
3.1.3	<i>Mätinstrument</i>	26
3.1.4	<i>Mätning</i>	27
3.1.5	<i>Försökets begränsningar</i>	28
3.1.6	<i>Mätresultat</i>	28
3.1.7	<i>Övriga iakttagelser</i>	39
3.2	BESTÄMNING AV SORPTIONSISOTERMER	40
3.2.1	<i>Mätresultat</i>	41
4	BERÄKNINGAR	43
4.1	STATIONÄR DIFFUSIONSBERÄKNING	43
4.1.1	<i>Beräkningens syfte</i>	43
4.1.2	<i>Teori</i>	43
4.1.3	<i>Indata och antaganden</i>	45
4.1.4	<i>Felkällor</i>	45
4.1.5	<i>Resultat av beräkningar</i>	45
4.2	ICKE STATIONÄR DIFFUSIONSBERÄKNING	47
4.2.1	<i>Beräkningens syfte</i>	47
4.2.2	<i>Datorprogrammet 1D-HAM</i>	47
4.2.3	<i>Indata och antaganden</i>	49
4.2.4	<i>Felkällor</i>	52
4.2.5	<i>Resultat av simuleringar</i>	53
5	ANALYS	61
5.1	UTVÄRDERING AV RESULTATEN FRÅN VÄGGFÖRSÖKET	61
5.2	JÄMFÖRELSE MELLAN FÖRSÖKSRESULTAT OCH BERÄKNADE RESULTAT	63
5.3	ANALYS AV RF-GIVARE SOM ANVÄNDS I FÖRSÖKET	64
5.4	ANALYS AV SORPTIONSKURVA	64
5.5	ÖVRIGA ANALYSER	65
6	SLUTSATS	67
6.1	SLUTSATSER AV STUDIEN	67
6.2	STUDIENS TROVÄRDIGHET	68
7	DISKUSSION	69
7.1	ÅNGBROMS	69
7.2	FÖRLÅTANDE MATERIAL	69
7.3	LAGRING AV GIPS	69
7.4	UTFORMNING AV GIVARNA	70
7.5	FÖRSLAG TILL FORTSÄTTA STUDIER	70
	REFERENSER	72
	BILAGOR	75

Beteckningar

Beteckningar är enligt svensk och internationell standard och tradition med undantag för Celsiustemperaturen som betecknas med T.

l, L	längd	[m]
g	fuktflödestäthet	[kg/(m ² ·s)]
R	värmemotstånd	[(m ² ·K)/W]
RF, φ	relativ fuktighet	[%]
T	temperatur	[°C]
u	fuktkvot	[kg/kg]
v	ånghalt	[kg/m ³]
v _{FT}	fukttillskott	[kg/m ³]
v _s	mättnadsånghalt	[kg/m ³]
w	fukthalt	[kg/m ³]
Z	ånggenomgångsmotstånd	[s/m]
λ	värmekonduktivitet	[W/(m·K)]
δ	ångpermeabilitet	[m ² /s]

Definitioner

Absorption

Fuktupptagning i ett material från omgivningen (Nevander & Elmarsson, 1994).

Adsorption

Då vätskemolekyler binds till ett material genom attraktionskrafter (Nevander & Elmarsson, 1994).

Desorption

Fuktavgivning från ett material till omgivningen (Nevander & Elmarsson, 1994).

Diffusion

Vattenmolekylers rörelse i en inhomogen gasblandning som strävar efter att utjämna ånghalten i luft eller vattenångans partialtryck vid konstant totaltryck (Nevander & Elmarsson, 1994).

Fuktkonvektion

Transport av vattenånga i en gasblandning genom att hela gasblandningen rör sig på grund av en differens i totaltryck (Nevander & Elmarsson, 1994).

Fuktkvot

Kvot av förångningsbart vattens massa och materialets totala volym (Nevander & Elmarsson, 1994).

Fukttillskott

Fukttillskottet inomhus är skillnaden i fukthalt mellan inomhus- och utomhusluften (Nevander & Elmarsson, 1994).

Förlåtande material

Med förlåtande material avses här material som inte själva tar skada av till exempel förhöjd fukthalt och som tillåter konstruktionen att torka ut om den blivit fuktig. Ett förlåtande material är till exempel ångbromsen i aktuellt projekt.

Hyroskopisk fukt

Ett materials porsystem eftersträvar samma relativa fuktighet som omgivande luft. Den fukt som därav binds i ett materials porsystem benämns hyroskopisk fukt. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Kapillärkondensation

Då vätskemolekyler kondenserar i en kapillär som har en konkav yta till följd av att attraktionskrafterna är större hos den konkava ytan än de är hos en motsvarande plan yta. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Mättnadsånghalt

Anger den maximala ånghalt som luft vid en given temperatur kan innehålla utan att vatten i vätskefas bildas. Då den relativa fuktigheten är 100% är mättnadsånghalten och luftens ånghalt lika. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Relativ fuktighet, RF

Kvot av verklig ånghalt och ånghalt vid mättnad vid samma temperatur (Nevander & Elmarsson, 1994).

Tätskikt

Med tätskikt i våtrum menas det skikt i väggbeklädnad eller golvbeläggning i ett våtutrymme som är avsett att förhindra att vatten tränger igenom till underliggande golv och väggar (VVSI hemsida).

Ångbroms

Skikt som är lufttätt men diffusionsöppet. Fukt tillåts diffundera genom ett lufttätt material. (Mataki hemsida)

Ånggenomgångsmotstånd

Skikts motstånd mot genomträngning av vattenånga på grund av skillnader i ånghalt eller partialtryck (Nevander & Elmarsson, 1994).

Ånghalt

Kvot av vattenångans massa och total volym (Nevander & Elmarsson, 1994).

Ångpermeabilitet

Anger hur snabbt fukt kan transporteras genom ett material. Transporten sker huvudsakligen på grund av fuktdiffusion. Transportkoefficienten ökar med ökande fukthalt i materialet. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Ångspärr

Skikt med uppgift att hindra eller minska fukttransport genom diffusion och fuktkonvektion (Nevander & Elmarsson, 1994).

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vattenskador antas kosta samhället mer än 5 miljarder kronor årligen, baserat på siffror från 2002, i bostäder är de statistiskt sett så vanliga att varje svensk bostad drabbas ungefär vart tjugofemte år. Under 70- och 80-talen visade skador till följd av läckande tätskikt på en våldsamt kostnadsökning. Det ökade antalet skador torde bero på en kombination av ändrade hygienvanor och användning av nya byggnadsmaterial i ytskikt och i golv- och väggkonstruktioner (Andersson och Kling, 2000). I början av 2000-talet hade skador på tätskikt i våtrumsvägg officiellt minskat jämfört med tidigare undersökningar (VVSI hemsida). Försäkringsbeteendet hos fastighetsägare har dock förändrats de sista åren, självriskerna har ökat och därför saknas många skador i statistiken (Arfvidsson et al., 2005). Skador som uppkommit under garantitid finns inte heller redovisade, varför mörkertalet är stort. Av de registrerade skadorna står skador på tätskikt i kaklade våtrumsvägg för cirka 5 % (VVSI hemsida). Då kaklade badrum nästintill blivit standard vid nyproduktion är ämnet aktuellt. Som underlag för kaklade väggar används och rekommenderas generellt gipsskivor. Samtidigt betraktas gipsskivor av vissa som olämpligt underlag i vårum då gipsens pappöverdrag kan angripas av svart pappersmögel (Redberg, 2003). Svart pappersmögel (*Stachybotrys chartarum*) är giftigt och behöver cellulosa och fukt för tillväxt. Vid en fuktskada finns därmed förutsättningarna för mögelpåväxt. I gipsskivor gynnas även möglets tillväxt av den stärkelse som finns i gipsskivan (Redberg, 2003).

För ett sunt inomhusklimat och en god energieffektivitet görs byggnader idag lufttäta. I lätta regelväggskonstruktioner används en ångspärr, vanligen av polyeten, i ytterväggen. I våtrumsvägg finns dessutom ett tätskikt för att skydda väggen mot vattenspolning och hög luftfuktighet. För att undvika dubbla tätskikt och få ett fungerande fuktskydd ska ångspärren avlägsnas vid våtrumsvägg. Det är dock svårt att åstadkomma skarvar och anslutningar så att husets täthet består, varför ångspärren ofta lämnas kvar. Dubbla tätskikt kan orsaka fuktskador då vatten läcker in mellan två täta skikt och där förhindras att torka ut. Nyligen har ett system med en ångbroms introducerats, ångspärren ersätts med en lufttät ångbroms som långsamt släpper igenom vattenånga genom diffusion. Väggen tillåts då torka ut om det skulle läcka in vatten mellan tätskikten. Inläckage kan till exempel orsakas av hål i det inre tätskiktet. Inbyggd fukt kan också orsaka skadliga fukthalter mellan tätskikt.

1.2 Problemformulering

Kostnader för fuktskador borde kunna reduceras genom en utökad fuktdimensionering. Fuktdimensionering resulterar i byggtekniska lösningar som tar hänsyn till oplanerad fuktbelastning i form av till exempel läckage och byggfukt. I rapporten utvärderas hur uttorkning sker av fuktiga gipsskivor i våtrumsvägg, dels fukt instängd mellan täta skikt i en konventionell vägg och dels fukt i mer förlåtande lösningar vilket resulterar i frågeställningen: ”Fungerar den byggtekniska lösningen med ångbromsen Halotex D50 tillfredställande som en mer förlåtande lösning än de konventionella lösningarna med eller utan ångspärr av polyeten?” Rapporten utvärderar också ett nytt användningsområde för en relativ fuktighetsgivare som används i ett försök.

Projektets ursprungliga tanke var att undersöka hur fukt kan tränga in i våtrumsvägg och hur känsliga olika lätta ytterväggskonstruktioner är för störningar i form av till exempel punkterat tätskikt. Mer specifikt planerades försök där olika ytterväggskonstruktioner skulle duschas och

där tätskiktet skulle utsättas för skada. På grund av att fuktiga gipsskivor byggdes in i försöksväggen av misstag fick arbetet en oväntad vändning.

1.3 Syfte

Studiens huvudsyfte är att utreda hur fukt torkar ut i tre olika konstruktionslösningar för lätta våtrumsväggväggar. Vidare syftar studien till att belysa problematiken kring dubbla tätskikt i våtrumsväggväggar.

Studien syftar också till att utreda för- och nackdelar vid inbyggnad av RF-givaren Honeywell HHH-3610-002 i lätta väggkonstruktioner.

Vidare syftar studien till att undersöka om 1D-HAM är lämpligt för simuleringar av fukt i våtrumsväggväggar.

1.4 Målgrupp

Rapporten riktar sig främst till forskare, teknikutvecklare och studenter med intresse och/eller verksamhet i byggindustrin. Vidare vänder sig rapporten till projektörer med intresse för fuktdimensionering och förlåtande byggnadsmaterial. Rapport vänder sig även till entreprenörer för att understryka vikten av torra byggmaterial.

1.5 Avgränsningar

Laboratieförsöket i studien utförs på lätta regelväggskonstruktioner i tre varianter. I försöket har våtrumsgips använts varför en jämförelse med standardgips bara kan vara teoretisk. Varje väggtyp är cirka 3 m² till ytan. Klimatet i försöksrummen är styrt och kan inte varieras. Det omgivande klimatet är därför oförändrat genom hela studien. Försökets längd är begränsat till 100 dygn och behandlar endast uttorkning under vinterförhållanden.

Icke stationära beräkningar motsvarande försöket utförs endast i datorprogrammet 1D-HAM.

Utvärderingen av de RF-givare som används i försöket är begränsad då givarna inte är individuellt kalibrerade före användning. Givarna är sammansatta och byggda efter en prototyp och eventuella varianter på utförande kan därför endast jämföras i teorin.

1.6 Förväntat resultat

Studien förväntas besvara frågor som:

- Vilka förtjänster har en våtrumsvägg med ångbroms gentemot de mer traditionella byggnadstekniska lösningarna med eller utan ångspärr?
- Överensstämmer studiens beräkningar och försökets resultat? Är programmet 1D-HAM tillämpligt som komplement till försöket?
- Är RF-givarna av sorten Honeywell HHH-3610-002 lämpliga att bygga in vid fuktmätning i väggar?

1.7 Metodik

1.7.1 Experimentella metoder

En stor del av projektet utförs med experimentella metoder. Två typer av experiment utförs där den ena metoden utformas i samråd med handledare och avdelningens tekniker, medan det andra försöket planeras och genomförs efter kända upplägg och mönster. De olika experimentella metodernas reliabilitet, det vill säga tillförlitlighet, utvärderas. Reliabiliteten är ett mått på i vilken utsträckning ett instrument eller ett tillvägagångssätt ger samma resultat vid olika tillfällen under i övrigt lika omständigheter (Bell, 1995).

Resultaten från de experimentella försöken utgör en del av den empiri som ska besvara problemställningen. Mätresultaten generaliseras i viss mån för att kunna utgöra en basis i de simuleringar som utförs. Problemställningen angrips genom kvantitativa perspektiv när det gäller den experimentella metodiken, vilket innebär att relationer mellan olika uppsättningar av mätdata studeras.

1.7.2 Beräkningsmetodik

Beräkningar utförs dels för hand, dels genom datorsimuleringar. Kvalitativa perspektiv, där beteende hos inblandade parter spelar stor roll, beaktas vid bland annat simulering av ”normalt” badrumsklimat.

1.7.3 Litteratursökningsmetodik

Avgränsningar i språkområde görs till skandinaviska språk samt engelska. Källor tryckta från 1990 och framåt används i möjligaste mån. Materialet som undersöks utgörs av böcker, avhandlingar, uppsatser, tidskrifter, broschyrer från olika branschorganisationer, produktblad samt elektroniska källor.

1.7.4 Arbetsgång

Efter inledande samtal med handledare utformades en preliminär problemuppställning. Syfte och mål för projektet formulerades och metodstudier påbörjades. Det stod tidigt klart att det skulle krävas såväl laborationsförsök som simuleringar i beräkningsprogram för att kunna svara på frågeställningen. De experimentella försöken planerades och byggdes upp i klimatkammare med konstant klimat. Mätinstrumenten anpassades i sin utformning till det aktuella användningsområdet och monterades. En teoretisk förståelse för de aktuella byggnadsmaterialen, för gällande regler och förordningar samt för byggnadsfysik eftersträvades under hela projektets gång. Parallellt med de teoretiska studierna samlades empirisk data in i form av mätresultat från försöksväggen. Det visade sig snart att den ursprungliga projektidén fick revideras eftersom fuktigt material byggts in i försöksväggen av misstag. Det visade sig också att det saknades nödvändiga materialdata för våtrumsgips, varför vi fick utföra ytterligare laboratorieförsök.

Uttorkningssimuleringar utfördes i datorprogrammet 1D-HAM 2.0, där det omgivande klimatet kunde justeras till ett verklighetstroget badrums- och utomhusklimat. Även stationära beräkningar för vattenkondensation inuti konstruktioner utfördes.

Mätresultaten sammanställdes, analyserades och jämfördes med beräkningsresultaten. Ett antal slutsatser kunde härifrån bestämmas.

1.8 Rapportens disposition och läsanvisningar

Följande rapport är uppbyggd efter klassiskt manér, det vill säga med teori, empiri, analys, slutsats och diskussion. Teorin, kapitel 2, utgörs dels av byggnadsfysikaliska begrepp och fenomen som är centrala för de resonemang som förs i studien. Den består också av gällande föreskrifter och regler som är allmänt vedertagna i branschen samt av materialdata och information om gällande mätutrustning. Vidare beskrivs vikten av god fuktdimensionering av byggnader. Empiridelen består av ett försökskapitel, kapitel 3, där aktuellt laboratorieförsök med tillhörande resultat beskrivs. Empirin består också av ett beräkningskapitel, kapitel 4, där stationära respektive icke stationära beräkningar beskrivs och redovisas. I analysen, kapitel 5, utvärderas försöks- och beräkningsresultaten och jämförs med varandra. Där analyseras även användandet av aktuell RF-givare. I slutsatsen, kapitel 6, besvaras de tre frågor som redovisas i kapitel 1.6. Där diskuteras även studiens trovärdighet. Diskussioner förs slutligen i kapitel 7 rörande förlåtande material, lagring av gips i byggvaruhandeln och utformning av RF-givarna. Där ges också förslag till fortsatta studier inom frågor som dykt upp under arbetets gång.

2 Teori

2.1 Byggnadsfysik

Nedan beskrivs de byggnadsfysikaliska fenomen som är centrala för de resonemang som förs i studien.

2.1.1 Fuktig luft

All luft innehåller vattenånga, som vanligen mäts som ånghalt, v [kg/m^3]. Luftens maximala fuktinnehåll benämns mättnadsånghalt, v_s [kg/m^3], vilken är temperaturberoende och ökar med ökad temperatur. Den relativa fuktigheten, RF [%], beskriver förhållandet mellan ånghalt och mättnadsånghalt. Då RF når 100 % kondenserar vatten ur luften. (Burström, 2001)

2.1.2 Fukt i material

Allt material innehåller vatten, både vatten som är kemiskt bundet i materialens struktur och absorberat vatten som räknas som fukt i materialet (Burström, 2001)

Ett byggnadsmaterials fuktegenskaper beror på porositet, porstorleksfördelning, struktur och kemisk uppbyggnad. Den hygroskopiska fukthalten beror främst på andelen små porer i materialet. Den relativa fuktigheten i materialet överstiger normalt inte 98 % då materialet står i kontakt med fuktig luft. För högre relativa fuktigheter, 98 – 100 %, måste materialet antingen stå i direkt kontakt med fritt vatten eller måste vattnet i materialet kondensera med anledning av skillnader i temperatur. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Kritiska fuktinnehåll

Kritisk fukthalt kan användas i två betydelser, dels med avseende på beständighet och funktion, w_{krit} , och dels som gränsvärde mellan olika fukttransportmekanismer, w_k (Nevander & Elmarsson, 1994). Den kritiska fukthalten, w_{krit} , är beroende av exponeringstid och temperatur, till exempel ökar mögelrisk med ökad temperatur (Burström, 2001).

Uttorkningsmekanismer

Uttorkning av ett byggnadsmaterial definieras som ”den avgivning av fukt som måste ske för att ett material ska komma i långsiktig fuktjämvikt med sin omgivning”. Uttorkningsförlopp kan delas in i tre skeden, där det under det första skedet sker en avdunstning från en fri vattenyta på materialets yta. Fuktagivningen per tidsenhet är under detta skede i stort sett konstant. Under det första skedet är fukthalten i materialet större än den kritiska fukthalten, $w > w_k$. Vid skede två och tre är materialets yta torr. Nära ytan kommer materialet vara i fuktjämvikt med den omgivande luften eller det omgivande materialet. Längre in i materialet kan fukthalten fortsätta vara så hög att fukttransporten kan ske delvis i vätskefas. Nära ytan måste dock transporten ske genom diffusion, vilket ger en långsam uttorkning. Uttorkningen är inte stationär varför materialets fuktagrande förmåga måste uppmärksammas. Under det andra skedet är ånghalten i materialet någonstans lika med mättnadsånghalten, $v = v_s(T)$. Under det tredje skedet är materialets ånghalt mindre än mättnadsånghalten, $v < v_s(T)$, i hela tvärsnittet. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Uppfuktningmekanismer

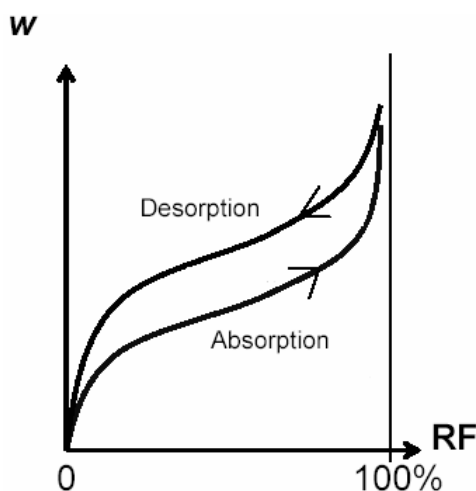
Ett material fuktas upp genom olika mekanismer beroende på hur materialet förvaras. Det skiljs mellan i huvudsak tre olika situationer då ett material kan ta upp fukt, nämligen material i kontakt med fuktig luft, material i kontakt med fritt vatten och material i kontakt med andra material. Då materialet står i kontakt med fuktig luft är dess hygroskopiska egenskaper bestämmande. Fukt upptas i materialet genom två fenomen, nämligen adsorption och kapillärkondensation. Vid låga relativa fuktigheter är det huvudsakligen adsorption som verkar, medan det vid högre värden på den relativa fuktigheten främst är kapillärkondensation som verkar. Då materialet står i kontakt med fritt vatten, eventuellt under övertryck, är den kapillärsugande förmågan bestämmande. När materialet står i kontakt med annat material är både de hygroskopiska egenskaperna och den kapillärsugande förmågan bestämmande. (Nevander & Elmarsson, 1994)

2.1.3 Sorptionskurvan

Då ett material lagras i en omgivning med konstant temperatur och relativ fuktighet kommer materialet med tiden att hamna i jämvikt med omgivningens fukthalt. Med jämvikt menas att materialet tar upp lika mycket fukt som det avger per tidsenhet. Då materialet lagras vid olika relativa fuktigheter kan en kurva, sorptionskurva, över jämviktstillstånden ritas. Då ett material fuktas upp kallas kurvan för absorptionskurva, och då det torkar ut kallas kurvan för desorptionskurva. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Hysteres

Skillnaden mellan absorptions- och desorptionskurvorna benämns hysteres och beror till stor del på porernas form och struktur. Vid uttorkning kan vatten inneslutas i håligheter som inte fylls vid uppfuktning genom kapillärkondensation vid samma relativ fuktighet. Sorptionskurvans utseende redovisas principiellt i figur 2.1 nedan.

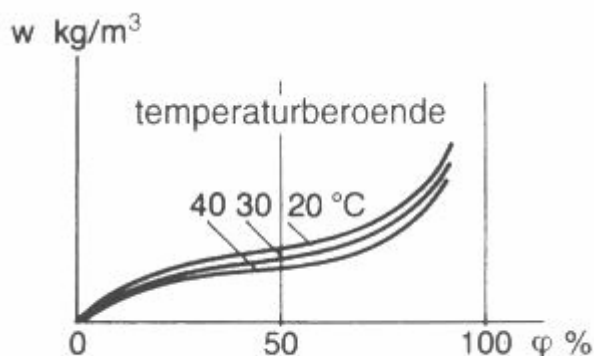


Figur 2.1: Sorptionskurvor (BML, LTH)

Hysteres är ofta ett problem vid fältmätningar då det är osäkert om materialet befinner sig i en uppfuktning- eller uttorkningsfas, varvid mätresultaten kan vara svårbedömda. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Temperaturberoende

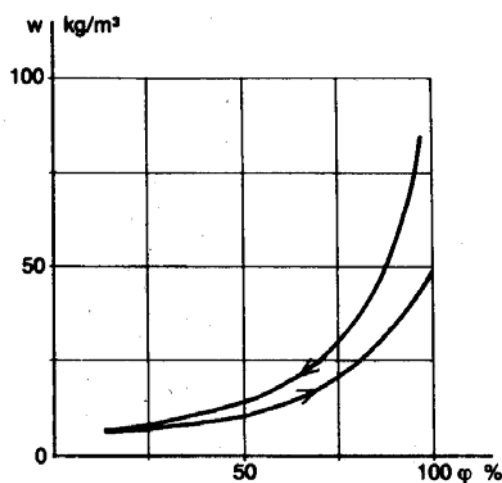
Sorptionskurvorna hos ett material bestäms isotermiskt, det vill säga vid konstant temperatur. Normalt bestäms sorptionskurvan vid 20 °C och tillämpas på de flesta byggnadsmaterial vid avvikande temperaturer eftersom temperaturberoendet är litet inom det byggtkniskt mest intressanta temperaturområdet. Sorptionskurvans temperaturberoende visas principiellt i figur 2.2 nedan. (Nevander & Elmarsson, 1994)



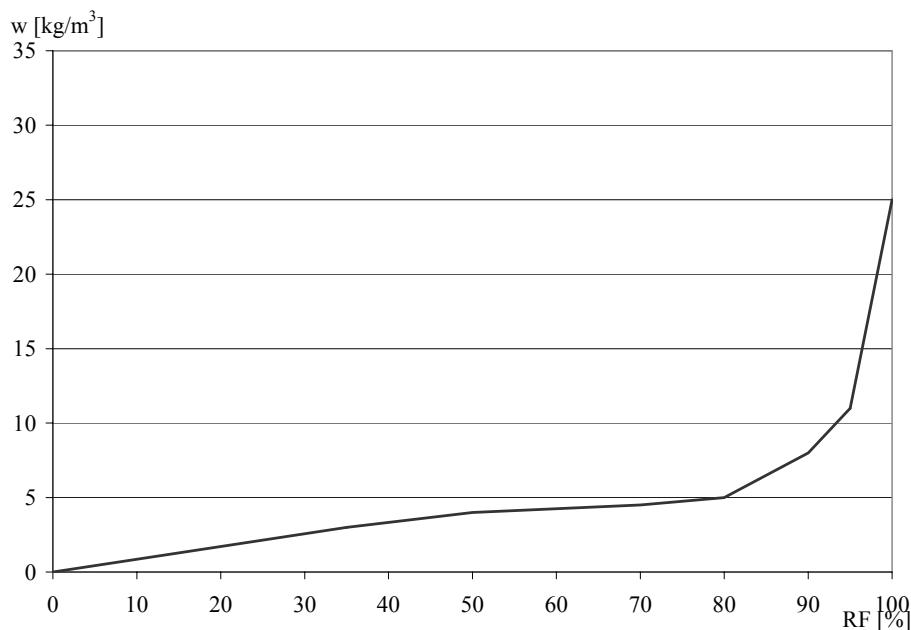
Figur 2.2: Sorptionskurvans temperaturberoende (Nevander & Elmarsson, 1994)

Sorptionskurvor för gips

I studien används sorptionskurvor från Nevander & Elmarsson (1994) och Hedenblad (1996), se figurerna 2.3 och 2.4. Sorptionskurvorna är hos Nevander & Elmarsson(1994) bestämda för gips med en densitet av 1240 kg/m³ och hos Hedenblad för en densitet av 625 kg/m³. Hedenblads kurva är den allmänt vedertagna i branschen och den vi huvudsakligen använder oss av.



Figur 2.3: Nevander & Elmarsson (1994)



Figur 2.4: Desorptionskurva enligt Hedenblad (1996)

2.1.4 Fuktvandringens drivkrafter och riktningar

Fuktdiffusion

Diffusion är en långsam process och sker mer eller mindre genom alla material. Fuktdiffusion avser en fukttransport i ångfas från högre till lägre ånghalt, där drivande potential är skillnad i ånghalt. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Fuktkonvektion

Fuktkonvektion innebär att vattenånga följer med en luftström orsakad av totaltrycksdifferenser. Skillnader i totaltrycket kan uppstå vid temperaturskillnader (termik), vindtryck eller ventilation. Genom en tät plastfolie sker ingen konvektion. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Fukttransport i vätskefas

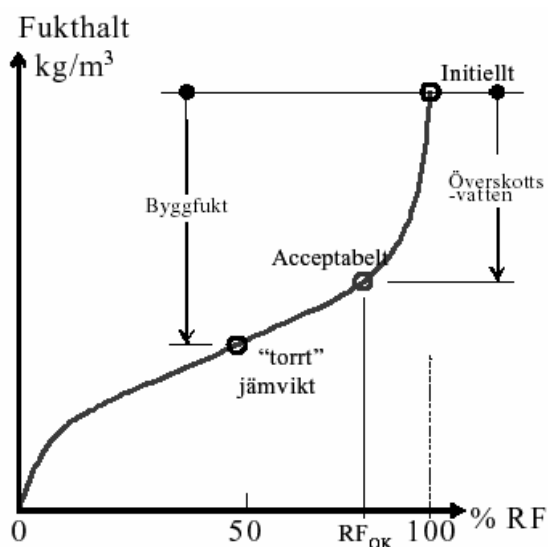
För transport i vätskefas är vattenöverttryck och kapillärsugning de viktigaste drivkrafterna. Transport genom vattenöverttryck innebär att hela det öppna porsystemet är vattenfyllt och vattnet söker sig i första hand till de största porerna. Transport genom kapillärsugning innebär att de små porerna vattenfylls först och att de stora porerna ibland kan vara inaktiva eftersom den kapillära sugkraften i dessa är liten. För att kapillärsugning ska ske måste kapillärerna bilda ett sammanhängande system. Fukthalten överstiger då den kritiska fukthalten, w_k . Transport i vätskefas, då $w > w_k$, har i regel stor kapacitet jämfört med ångdiffusion.

2.1.5 Fuktkällor

Byggfukt

Byggfukt är den mängd vatten som materialet eller byggnadsdelen måste avge för att komma i jämvikt med omgivningen efter inbyggnad, se illustrerad definition i figur 2.5 nedan. Fukt kan tillföras materialet vid tillverkning, lagring, transport och byggnadsproduktion. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Uttorkning av byggfukt är en process som ofta sträcker sig över flera år och efter att inflyttning skett. En stor del av byggfukten kommer att avges till inomhusluften som extra fukttillskott. Processen är icke stationär och varierar alltså med tiden. (Ibid.)



Figur 2.5: Definition av byggfukt (BML, LTH)

Luftfukt

Ånghalten i inomhusluften bestäms i första hand av utomhusluftens ånghalt, fuktproduktionen inomhus och ventilationens storlek. Fuktproduktion inomhus kommer från avdunstning från människor och djur, disk, tvätt, bad, duschning, rengöring, matlagning, avdunstning från växter med mera. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Fukttillskottet varierar i tid och rum och är naturligtvis störst i kök och badrum för bostäder. Fukttillskottet från avdunstning är beroende av den omgivande luftens relativa fuktighet och dämpas då den relativa fuktigheten ökar. Fuktproduktionen är således lägre på sommaren än på vintern. Medelvärdet för fukttillskott är under uppvärmningssäsongen $3,6 \text{ g/m}^3$ i småhus och $2,9 \text{ g/m}^3$ i flerbostadshus. Under sommarhalvåret är fukttillskottet lägre på grund av fönstervädring och torkning av tvätt utomhus. (Ibid.)

Vid beräkningar brukar ett relativt högt värde på fukttillskott, 4 g/m^3 , användas (Fuktcentrum hemsida).

Läckage

Den vanligaste fuktskadan är orsakad av läckage från installationer. Vid val av konstruktiv lösning bör därför konsekvenser av ett eventuellt läckage tas i beaktning. Vattenläckaget måste snabbt kunna upptäckas och skadan bli så begränsad som möjligt. Inbyggda värme- och vattenledningar ska därför i möjligaste mån undvikas. (Nevander & Elmarsson, 1994)

2.1.6 Lufttätet

En byggnads lufttätet över klimatskärmen är viktig. Effekter av konvektion och diffusion samt den isolerande förmågan påverkas negativt av otäteter. I lätta regelväggskonstruktioner utgörs lufttätning oftast av en ångspärr i form av en polyetenfolie. Ångspärren placeras vanligen direkt bakom gipsskivan eller något indragen i väggen vilket medger en installationsspalt. Vid en skillnad i totaltryck över ångspärren uppstår ett massflöde av luft, konvektion, genom ett eventuellt hål. Vilket håll luftströmmen går åt är avgörande. En luftström från kallt till varmt ökar luftens fuktupptagande förmåga och processen blir uttorkande. En luftström från varmt till kallt kan, däremot, leda till att luften kyls av och kondenserar inuti väggens yttre del och därmed orsakar skador. En totaltrycksdifferens i lufttryck på några Pascal ger stor fukttransport genom ett litet hål. Skillnad i partialtryck för vattenånga ger däremot ett litet flöde då den transporten sker genom diffusion. Fuktskador på grund av konvektion är vanliga. (Nevander & Elmarsson, 1994)

En god lufttätning påverkar även vindskyddets effektivitet. Vindskyddets förmåga att hindra luft från att blåsa in i isoleringen beror av väggens tätet. Genomblåsning försämrar isoleringsförmågan och ger därmed upphov till energiförluster. Inblåsning genom klimatskalet kan även ge estetiska och ohälsosamma problem då smutsfläckar lätt uppstår kring otäteter. (Levin red., 1994)

2.1.7 Konsekvenser av inbyggd fukt

Hälsorisker och elak lukt

Under senare år har sjuka-hus-syndromet, eng. sick building syndrome SBS, uppmärksamats i medierna. Av vår tid spenderar vi i snitt 90 % inomhus, inomhusklimatet påverkar oss därmed under en stor del av dygnet. Symtomen för SBS är olika men överlag kan det sammanfattas med människor som mår dåligt i nyproducerade hus (Nevander & Elmarsson, 1994). Alla orsaker till SBS är inte utredda och utöver mätbara faktorer, som kända emissioner, framhävs ett ökat fuktinnehåll i nybyggda hus samt bristfällig ventilation som orsakssamband (Lindvall & Alm, 1992). Fukt inverkar på nedbrytning av material och är en förutsättning för biologisk aktivitet (Elmroth et al., 1992). I gipsskivor är särskilt svart pappersmögel (*Stachybotrys chartarum*) besvärande och kan ge allergier (Redberg, 2003). Liten till måttlig risk för mögelpåväxt i gynnsam temperatur föreligger vid en relativ fuktighet på 70 – 85 %, vid relativa fuktigheter överstigande denna nivå är risken stor (Nevander & Elmarsson, 1994). Kemiska ämnen förekommer vanligen i inomhusluft, men koncentrationen av enskilda ämnen är oftast så låg att det är svårt att härleda hälsobesvär till dem (Lundgren & Pettersson, 1992). Människan är dessutom i många fall känsligare än ett mätinstrument. Emissioner från inbyggda material är svårare att motverka än exempelvis emissioner från möbler vilka lätt kan bytas ut. Hög fuktighet och/eller hög temperatur underlättar emissioner från material.

Fuktbetingade rörelser

Många material sväller och krymper då materialets fukthalt ändras, vilket kan leda till sprickbildning, skevhet och välvning. Av denna anledning ska inte träbaserade skivor användas som underlag bakom kakel. 50 % av svällningen i träbaserade material sker i det övre hygroskopiska området, $RF > 70 \%$. Svällning och krympning i träbaserade produkter är stor i förhållande till gipsskivor. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Energianvändning

Fuktiga material har en negativ inverkan på byggnadens energianvändning, ett fuktigt material har större värmeledningsförmåga än ett torrt. Uttorkning av ett material kräver också energi vilket medverkar till en högre energianvändning. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Estetiska aspekter

Fukt kan lämna kvar märken efter uttorkning. Mögel och blånadssvampar, orsakade av fukt, missfärgar även underlaget. Köldbryggor kan orsaka ojämn nedsmutsning. (Nevander & Elmarsson, 1994)

2.2 Fuktdimensionering

”Med fuktdimensionering avses de åtgärder i byggprocessen som syftar till att säkerställa att byggnaden inte får skador eller andra olägenheter som direkt eller indirekt orsakas av fukt.” (Fuktcentrum hemsida). Genom en fuktdimensionering under projekteringen kan känsliga material bytas ut mot mindre känsliga alternativ. I rapporten undersöks ett byggtekniskt alternativ som anses vara mindre känsligt än det traditionella.

För att förhindra att fuktskador uppstår bör byggnader fuktdimensioneras precis som de dimensioneras statistiskt. Fukt på fel ställe kan negativt påverka konstruktioners beständighet, stabilitet och energibalans samt ge upphov till elak lukt, ohälsa och missfärgning. Skador på grund av fukt är vanliga och mycket kostsamma att reparera, därför är det viktigt att beakta fuktaspekter redan vid projektering. (Nevander & Elmarsson, 1994)

För att undvika framtida fuktskador måste en viss säkerhetsmarginal finnas. Dagens konstruktioner kan ha för liten marginal eftersom kunskapen om fuktpåverkan är liten. Fuktsäkerhetsarbetet är beroende av enkla och tillförlitliga simuleringar och provningsmetoder, så länge det saknas sådana är det svårt att fuktsäkra byggnader. Materialfabrikanter har en bristfällig provning av sina produkter innan de introduceras på marknaden men framförallt saknas längre fullskaleförsök tillsammans med omgivande material. Sambanden mellan varaktighet och fuktnivåer är betydande medan kunskapen är otillräcklig. Därför bör man istället för att utnyttja ett materials tålighet hålla material så torra som möjligt då kunskapen om materialen i sitt sammanhang är dålig. (BBR Byggvägledning)

2.2.1 Innehåll och tillvägagångssätt

Vid fuktdimensionering av byggnader tas hänsyn till fuktkällor, fuktmekanik, material-egenskaper, kritiska fukttillstånd samt fuktskaderisker som är aktuella för den specifika byggnaden. Arbetet med fuktteknisk dimensionering är osäkert då underlag för fuktkriterier, gränsvärden och materialegenskaper inte är helt utredda. Definiering av dessa är svårt då de är beroende av temperatur och varaktighet. Risk för påverkan av oförutsedda fel och felaktig användning eller skötsel bör också beaktas. Riskbedömning för fuktsäkerhet är relativt outredd. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Fuktdimensionering utförs under projekteringsskedet. Bygghandlingar kontrolleras för att säkerställa att krav på tekniska egenskaper finns specificerade och att dessa egenskaper lyfts fram för fuktkänsliga material och konstruktioner. Detta är nödvändigt för att en eventuell ersättning av materialet/konstruktionen inte blir fukttekniskt sämre än ursprunglig lösning. Känsliga detaljutformningar kontrolleras och redogörs i utförliga ritningar eller beskrivningar, gärna med en arbetsgång om så är motiverat. I fuktdimensioneringen föreskrivs även hur och när fukthalter ska mätas i trä och betong och hur de bör rapporteras. Vid utformning och bedömning av detaljlösningar ska hänsyn tas till de byggtoleranser som gäller och till verkligheten då noggrannheten i utförandet inte bör överskattas. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Kontrollering av handlingar görs enklast med hjälp av en checklista där de olika byggnadsdelarna systematiskt går igenom med avseende på ovannämnda fuktkriterier. (Nevander & Elmarsson, 1994)

2.2.2 Ansvarsfördelning

Upphandling och inköp inför ett byggnadsprojekt sker oftast centralt och inköpare har ett stort ansvar då varor och produkter måste vara fukttekniskt likvärdiga de som är förordade i handlingarna. Det krävs byggnadsfysikalisk kunskap för att på rätt sätt ersätta material och konstruktioner. En inköpare måste vara kunnig i vilka delar av konstruktionen och vilka material som är extra känsliga för fukt för att undvika misstag. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Ansvar för att bygghandlingar följs, utförandekontroller och provning görs, samt att material hamnar på rätt plats ligger under produktionsskedet på ansvarig arbetsledare. Fuktskador som beror på fel i utförande kan ha orsakats till exempel av kvarlämnat skräp, byggskador, otillräckligt väderskydd eller otillräcklig mätning av torkning av byggfukt. (Nevander & Elmarsson, 1994)

I förvaltningsskedet ligger ansvaret hos fastighetsägaren att driftsinstruktioner följs och att skador utreds i erforderlig utsträckning innan åtgärder görs. (Nevander & Elmarsson, 1994)

2.3 Gällande föreskrifter och regler

Nedan redovisas de krav och regler som tillämpas vid byggnation av lätta våtrumsväggar.

2.3.1 Byggregler enligt Hus AMA 98 och RA 98 Hus

Våtrum

I utrymmen med hög fuktbelastning, till exempel storkök, bad- och duschanläggningar, ska stomme och stomkomplettering bestå av material med hög beständighet mot kontinuerlig fuktpåverkan. I övriga våtrum, till exempel badrum i bostäder, kan även skivkonstruktioner användas om de har dokumenterat hög fuktstabilitet och monteras så att rörelser minimeras. Underlaget ska vara anpassat till aktuell väggbeklädnad och fuktpåverkan. Om skivväggar bekläds med vattentäta skikt på båda sidor ska utrymmet mellan skivorna ventileras. (RA 98 Hus)

Trä

Ur fuktsynpunkt ska skydd mot röta åstadkommas genom konstruktivt träskydd, vilket innebär att konstruktionen utformas så att träets fuktkvot endast under korta perioder överskrider 20 % (RA 98 Hus). Där inget annat anges får virke vid inbyggnad ha en fuktkvot som högst motsvarar fuktkvotklass 18, det vill säga med maximal fuktkvot 22. Virket ska vid inbyggnad vara fritt från smuts och mögel. Mellan syll och betong ska ett fuktskydd placeras. (Hus AMA 98)

Gips

Gipsskivor som ska användas i våtutrymmen ska förses med vattentäta ytskikt. För att uppnå nödvändig styvhet i väggar med gipsskivor med bredd av 900 mm som ska bekläs med fogplattor av kakel ska regelavståndet vara högst 450 mm vid enkel skiva 9,0 - 13,0 mm tjocklek (RA 98 Hus). Ökad styvhet kan åstadkommas genom användning av hårda gipsskivor eller flera lager av gipsskivor.

Ångspärr

Ångspärr av LD-polyeten får inte kontinuerligt utsättas för högre temperatur än 35 °C då det finns risk för att plasten bryts ned (RA 98 Hus). Detta måste särskilt beaktas vid rördragning för värme i ytterväggar och golv. Plastfoliens skarvar kläms eller svetsas, klämda skarvar utförs med överlapp om minst 200 mm (Hus AMA 98). En guide för praktiskt genomförande finns i Adalberth (1998). Tejpning av skarvar rekommenderas inte då tejen har otillräcklig beständighet (Nevander & Elmarsson, 1994). Ångspärren ska placeras med anliggning mot värmeisoleringen (Hus AMA 98).

2.3.2 Byggregler enligt BBR

Allmänna fuktkrav

Byggnader ska utföras så att det inte uppstår skador, mikrobiell tillväxt, elak lukt eller andra olägenheter på grund av byggfukt eller inträngande fukt. För våtutrymmen gäller att ytskikt, fogar, anslutningar och genomföringar utformas så att rengöring underlättas. Fogar, anslutningar, infästningar och genomföringar ska vara vattentäta. (BBR)

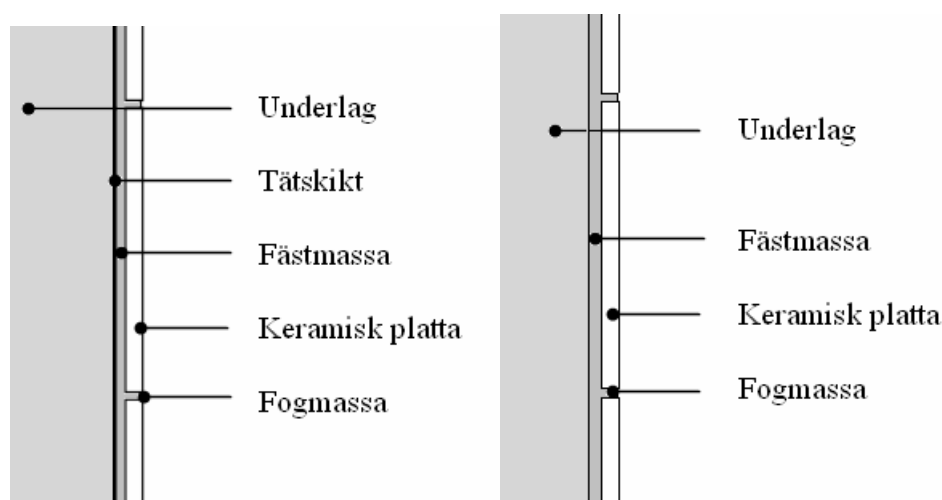
Krav på lufttätethet

Genomsnittligt luftläckage genom byggnadens klimatskärm ska enligt kapitel 9 i BBR vid ± 50 Pa tryckskillnad för bostäder inte överstiga $0,8 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ (BBR).

Krav på vattentätethet

Beroende på användningsområde delas vägg- och golvkonstruktioner in i olika täthetsklasser. Vattenavvisande tätskikt, VA, ska användas då golv och väggar utsätts för vattenstänk, våtrengöring, kondensvatten och hög luftfuktighet. Vattenavvisande tätskikt är enligt PERs branschregler kakel- eller klinkerplattor monterade utan tätskikt. (BBR)

Då golv och väggar utsätts för vattenspolning, vattenspill eller utläckande vatten ska ytskiktet vara vattentätt, VT, om angränsande byggnadsdelar och utrymmen inte tål sådan fuktpåverkan. Figur 2.6 nedan visar skillnad i uppbyggnad av vattentätt respektive vattenavvisande tätskikt. (Ibid.)



Figur 2.6: Vattentätt respektive vattenavvisande tätskikt

2.3.3 PERs branschregler för våtrum

Plattsättningsentreprenörers Riksförening, PER, grundades 1954 och består av svenska företag med plattsättningsentreprenader som huvudsaklig verksamhet.

PERs branschregler för vattentäta keramiska väggbeklädnader och golvbeläggningar i våtutrymmen är framtagna av den byggkeramiska branschen genom Byggkeramikrådet och uppfyller kraven för tätskikt enligt Boverkets Byggregler. Reglerna gäller inte för bassänger och bassängrum eller beklädnader med tjocka skikt av bruk med membranisolering av asfalt eller liknande material. Golv- och väggkonstruktioner för våtrum måste vara godkända av Byggkeramikrådet. Konstruktionerna måste typprovas och godkännas vart femte år. (BKR hemsida)

Generella krav på underlag

I första hand ska massiva, icke fukt känsliga konstruktioner, såsom betong, lättbetong eller putsat murverk, användas som underlag i våtutrymmen. I bostäder kan även skivkonstruktioner användas som underlag. Generellt ska underlaget vara torrt och rengjort från lösa partiklar, spackelrester, formolja och dylikt. Underlagets fukthalt ska hållas på lägsta möjliga nivå. (BKR hemsida)

Krav på skivkonstruktioner

I våtutrymmen ska skivkonstruktioner vara dokumenterat lämpliga eller avsedda som underlag för keramiska plattor. Skivor får vid uppfuktning inte ändra storlek eller röra sig i längsled, ej heller buckla då den keramiska konstruktionen kan skadas och vattentätheten försämras. Därför får skivor av trä inte användas som underlag i väggkonstruktioner. En vattentät väggbeklädnad är i det närmaste diffusionstät och vid ytterväggar ska därför inte någon ytterligare ångspärr utföras i konstruktionen. (BKR hemsida)

Tätskikt

Tätskikt ska väljas efter tillverkarens godkända konstruktion. Det ska vara rekommenderat för det aktuella underlaget och användas efter tillverkarens anvisningar. Tätskiktet ska vara synligt under och efter påstrykning. (BKR hemsida)

Det finns tätskikt av två slag, deformationsupptagande och ej deformationsupptagande. De ej deformationsupptagande tätskikten kallas för tunnflytande dispersioner. Tjockflytande massor och plastmattor är deformationsupptagande. Tjockflytande massor påföres i tjocklekar kring 1 mm. För väggar rekommenderas att tätskikten ska vara deformationsupptagande. På stabila skivkonstruktioner, såsom gipsväggar, kan även tunnare tätskikt användas. (Ibid.)

Förseglingar används vid skivskarvar och hörn för att ta upp rörelser från skjuv- och dragbelastning så att tätskiktets täthet bibehålls. Vid underlag av släta skivmaterial används en tunn självhäftande tejp, som även ska fästas över skruvrader då tunna tätskikt används. (Ibid.)

Fästmassor

Fästmassa ska för VT-konstruktioner följa tätskiktstillverkarens godkända konstruktion. För skivväggar kan fästmassa väljas utan krav på deformationsupptagande förmåga. Fästmassa ska påföras i sådan mängd att hela utrymmet mellan plattan och underlaget blir utfyllt med fästmassa. Vid skivväggar kan fästmassa väljas utan krav på deformationsupptagande förmåga. (BKR hemsida)

Fogmassor

Fogmassor kan vara deformationsupptagande eller ej deformationsupptagande. Vid rörelsefogar ska mjukfog avsedd för våtutrymmen användas. (BKR hemsida)

Spackel

För våtrum rekommenderas att spackling utförs med produkter av mineraliskt bundet, vattenfast material med bindemedel av typen cement, gips (anhydrit) eller likvärdigt. Spackel med organiska bindemedel, såsom sandspackel, ska ej användas. (BKR hemsida)

2.3.4 Materialhantering enligt Hus AMA 98

I Hus AMA 98 beskrivs krav på olika byggnadsdelar och på utförande, hur material ska hanteras i byggprocessen omnämns inte specifikt. Funktionskrav kopplade till hantering finns beskrivna.

2.3.5 Materialhantering enligt BBR

I BBR beskrivs en övergripande materialhantering. Allmänt ska byggnadsmaterial hanteras så att dess kritiska fuktillstånd inte överskrids i något skede av byggprocessen. Under projektering och planering av ett byggprojekt ska förutsättningar ges för en fuktsäker materialhantering. Lagrade och monterade material och konstruktioner skyddas med väl luftad täckning utan risk för skadlig kondensfukt. Byggarbetsplatsen ska ges förutsättningen att ha beredskap att omgående ta hand om levererade material och produkter. Lagringsplats väljs förhållandevis torr, väl dränerad, med god avrinning därifrån och utan risk för jordstänk vid nederbörd. Byggentreprenören ska kontrollera materialens fuktillstånd både vid leverans och före inbyggnad. Det är särskilt viktigt att kontrollera fukt känsliga material, fuktiga material som ansluts mot fukt känsliga material och konstruktioner samt material i täta, oventilerade konstruktioner med begränsad uttorkningsmöjlighet. (BBR Byggvägledning)

Oorganiska material

Oorganiskt material kan angripas av nedbrytande mikroorganismer om det smutsas ner av humushaltig- eller annan organisk smuts. För att undvika angrepp ska oorganiskt material hållas rent och torrt. (BBR Byggvägledning)

Träbaserade material

Trä och träbaserade material har en god beständighet om de behandlas torrt och rent. Trä och träbaserade material är organiska vilket innebär att de innehåller näring åt mikroorganismer. Nedbrytande organismer behöver fukt för att trivas och därför är det viktigt att hålla organiskt material torrt. Allt virke kan vid tidigare hantering från avverkning till sågverk och byggarbetsplats utsatts för förhållanden som gynnar påverkan från mikroorganismer. Tillfälliga angrepp av mögel, blånad och andra mikroorganismer underlättar för framtida angrepp genom att göra träet känsligare och mindre motståndskraftigt mot fukt. Hur trä förvaras påverkar alltså risken för röta och nedsatt hållfasthet senare under en byggnads livslängd. Därför bör virke skyddas mot väta såsom nederbörd, markfukt och kondens samt nedsmutsning med humus och annat organiskt material som kan vara angripet av mikroorganismer. Lagring bör ske fritt, luftat och uppallat från marken. (BBR Byggvägledning)

2.4 Ingående material – Tekniska egenskaper

Följande kapitel behandlar material som ingår i försöksväggarna. Det ligger en svårighet i att välja korrekta materialdata då det för många material saknas uppgifter. Många materialdata varierar med antingen temperatur eller relativ fuktighet eller rent av båda varför det är extra komplicerat att välja korrekta data.

2.4.1 Vindskydd

Vindskyddet Halotex W10 är ett diffusionsöppet vindskydd. Materialet är uppbyggt av en stomme i fiberduk och belagt med PE-copolymer. Ånggenomgångsmotståndet är $<20\,000$ s/m. (Mataki hemsida)

2.4.2 Trä

Alla träslag är uppbyggda av cellulosa, hemicellulosa och lignin, vilka har stor förmåga att binda vattenmolekyler. (Burström, 2001)

Värmekonduktiviteten, λ -värdet, ligger på $0,14$ W/(m·K). Vid normala relativa fuktigheter har trä ett mycket stort fuktinnehåll. Vid fuktkvoter på 15 – 16 % finns risk för mögelpåväxt. (Follin et al., 1994)

2.4.3 Isolering

Glasull är ett obrännbart material med hög ångpermeabilitet och mycket låg värmekonduktivitet, λ . λ -värdet är normalt $0,030 - 0,039$ W/(m·K) för glasull. Mineralull är vattenavvisande och saknar hygroskopiska och kapillärsugande tendenser. Vatten som kommit in i produkterna genom regn eller dränkning torkar ut om isoleringen lagras torrt och luftigt. (Isover hemsida)

2.4.4 Ångbroms

Ångbromsen Halotex D50 är en diffusionsöppen ångbroms. Materialet är uppbyggt av en stomme i fiberduk och är belagt med PE-copolymer. Ånggenomgångsmotståndet är $140\,000$ s/m. (Mataki hemsida)

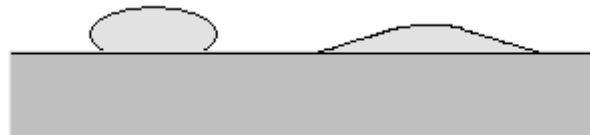
2.4.5 Ångspärr

Polyeten är det vanligaste materialet i ångspärrar. Enligt Sveriges Plastförbunds ”Verksnorm 2000, utgåva 2” ska folien vara minst $0,20$ mm tjock och transparent. Den ska dessutom vara alkalibeständig. Ånggenomgångsmotståndet är större än $2\,000\,000$ s/m. (Nevander & Elmarsson, 1994)

2.4.6 Våtrumsgips

Våtrumsgips är en gipsskiva med vattenavvisande egenskaper som används i utrymmen med hög fuktbelastning. Gipsskivan är glasfiberarmerad och därmed mer slagtålig än en standardgipsskiva. Gipskärnan och dess omslutande kartongskikt är hos våtrumsgips impregnerat med vaxemulsion alternativt silikonlösning. (Danogips hemsida)

Principen för en vattenavvisande impregnering är att förändra randvinkeln på ytan genom att belägga porväggarna med ett vattenavvisande skikt, se figur 2.7 nedan. Silikoner har en polär och en opolär sida. Den polära sidan binds till porväggen, medan den opolära sidan vänds utåt och stöter bort vattnet. (Nevander & Elmarsson, 1994)



Figur 2.7: Principen för vattenavvisande impregnering jämfört med oimpregnerat material

Vid normala variationer i luftens RF är de fuktbedingade rörelserna obetydliga. Längdändring när RF varierar från 40 % till 90 % är 0,04 %. Tjocklekssvällning är försumbar. Ånggenomgångsmotstånd är enligt tillverkaren försumbart. (Danogips hemsida)

Våtrumsgips skiljer sig från standardgips och utegips. Ånggenomgångsmotståndet är lägre för våtrumsgips. Dessutom är standardgips och utegips inte impregnerade eller glasfiberarmerade. Tjocklekssvällning hos utegips är större än för våtrumsgips och standardgips. Densiteten hos våtrumsgipsen är 1000 kg/m^3 (Ibid.)

2.4.7 Tätskikt

Tätskiktet är uppbyggt av ett dispersionsbaserat membran, bestående av 55 % syntetgummi-dispersion och 45 % mineraliskt fyllmedel (CC Höganäs hemsida).

2.5 Mätutrustning

Nedan beskrivs de mätinstrument som används i försöken. RF-givare, termistor och fuktkvotsmätare ingår i väggförsöket. För bestämning av sorptionskurva används våg kopplad till ett Matlab-program.

2.5.1 Mätare för relativ fuktighet – RF-givare

Till väggförsöket används en RF-givare från Honeywell, HIH-3610-002. RF-givaren är avsedd att användas inom områden som kylning, torkning och meteorologi. Givaren är kapacitiv och ger en resistans som varierar med kapacitansen mot den fuktiga luften (Elfa hemsida). RF-givaren är mycket liten och kan byggas in i väggen utan att störa väggens uppbyggnad. Storleken är avgörande då den ska placeras på våtrumgipsen och täckas med tätskikt, fog och kakel. RF-givaren är uppbyggd i skikt, det skyddar den mot störning av exempelvis damm eller olja. Sensorn är känslig mot UV-ljus varvid användning i oskyddade miljöer blir begränsad. I figur 2.8 visas RF-givare och termistor sammansatta för inbyggnad i vägg. (Honeywell hemsida)

Reaktionstiden för givaren är 15 sekunder vid 25 °C i luft som rör sig långsamt. Noggrannheten är ± 2 % RF i området 0 – 100 % RF, vid 25 °C under förutsättning att vatten inte kondenserar på sensorn. Vid längre exponering i luft med relativ fuktighet ≥ 90 % sker en reversibel förändring av mätresultatet på 3 % RF som återgår vid kalibrering. Vid långa mätperioder är stabiliteten hos givaren ± 1 % RF vid 50 % RF efter 5 år. Då vatten kondenserat på sensorn måste givaren kalibreras för att visa riktiga mätvärden. Detta görs i 10 % RF vid 20 °C. (Ibid.)



Figur 2.8: RF-givare med termistor

2.5.2 Termistor

Termistorn är en resistansgivare, uppbyggd av ett halvledarmaterial där motståndet ändras proportionellt med temperaturen. Sambandet resistans/temperatur är olinjärt och definieras av fabrikanter. Termistorn har hög resistans och är därför okänslig för kabels tvärsnittsarea. Det mekaniska måttet är litet, givarens diameter kan variera mellan 0,5 och 2 mm. Tack vare den ringa storleken ändras motståndet i termistorn snabbt, därför är mätnoggrannheten god, någon tiondels grad. (Mitec hemsida)

2.5.3 Mätare för fuktkvot i trä

Resistiva fuktkvotsmätare baseras på sambandet mellan materialets fuktkvot och dess likströmsresistans. För trä varierar resistansen med fukttinnehåll, träslag, temperatur, innehåll av harts och salter samt mätarens placering. (Ohlsson div)

Beroende på hur djupt elektroderna slås in i materialet kommer det omgivande klimatets variationer ha varierande påverkan. Slås elektroderna i grunt i materialet kommer det omgivande klimatet ha större och snabbare påverkan på fuktkvoten än om elektroderna slås i djupt. (Ibid.)

I väggförsöket används en fuktkvotsmätare av typen Protimeter Mini Digital, som mäter fuktkvoter i intervallet 8 – 85 % med en mätonoggrannhet på mindre än ± 1 % i området 8 – 28 %. (Ibid.)

2.5.4 Våg med tillhörande program

Vågen för vägning av gipsprover är kopplad till ett program, Weighsimple, i Matlab. Programmet är utvecklat av Lars Wadsö, LTH. Mätning sker med 1/10 000-dels grams noggrannhet. Då programmet registrerat fem likvärdiga mätvärden i följd registreras vägningen.

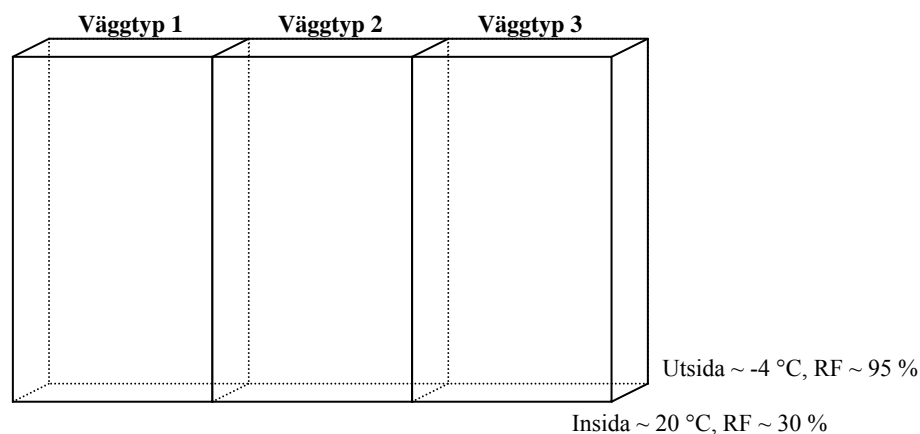
3 Försök

3.1 Uttorkning av fukt i våtrumsvägg

De försök studien bygger på, är observationer av uttorkningsförloppet för tre olika väggtyper. Väggtyperna väljs utifrån en vanlig konstruktion, variationerna motsvarar hur konstruktionen vanligen utförs, hur den egentligen ska utföras samt en alternativ lösning. Försöket har ändrat inriktning under försökstiden. Två av tre gipsskivor var högt uppfuktade vid inbyggnad. Den tredje gipsskivan hade en mer normal fukthalt vid försökets start. De mätinstrument som brukas, används här för första gången i denna typ av försök. Mätinstrumenten väljs då deras storlek möjliggör inbyggnad mellan gipsskivan och det rollade tätskiktet. Försökets längd väljs till 100 dygn.

3.1.1 Försöksuppställning

I studien utförs försök på tre väggtyper som är aktuella som våtrumsvägg. Väggtyperna varierar med avseende på ångspärren, i övrigt är de identiskt uppbyggda. Gipsskivorna är i två av försöksmodellerna uppfuktade vid montering. Uttorkningsförloppet registreras av inbyggda givare som mäter relativ fuktighet och temperatur på gipsens fram och baksida. Mätning av fuktkvot utförs i regelväggens vertikala regler för att se om fukten i gipsskivorna påverkar bakomliggande regler. Försöket utförs i V-husets laborationshall på Lunds Tekniska Högskola. Försöksuppställningen byggs upp i en klimatkammare, bestående av två rum med en skiljevägg, där skiljeväggen byggs upp av de väggtyper som ingår i försöket. Olika klimat uppnås på respektive sida av skiljeväggen, på så sätt kan försöket utföras med utomhusklimat på ena sidan av väggen och inomhusklimat på den andra. Klimatkammarens skiljevägg är cirka 3 m hög och 3 m lång, principiell figur över väggen visas i figur 3.1 nedan.



Figur 3.1: Försöksväggen uppbyggd som skiljevägg

3.1.2 Väggtypernas konstruktion

Väggtyp 1

Traditionell våtrumsvytervägg med dubbla tätskikt enligt följande uppbyggnad;

Vindskydd, Halotex W10, 0,5 mm

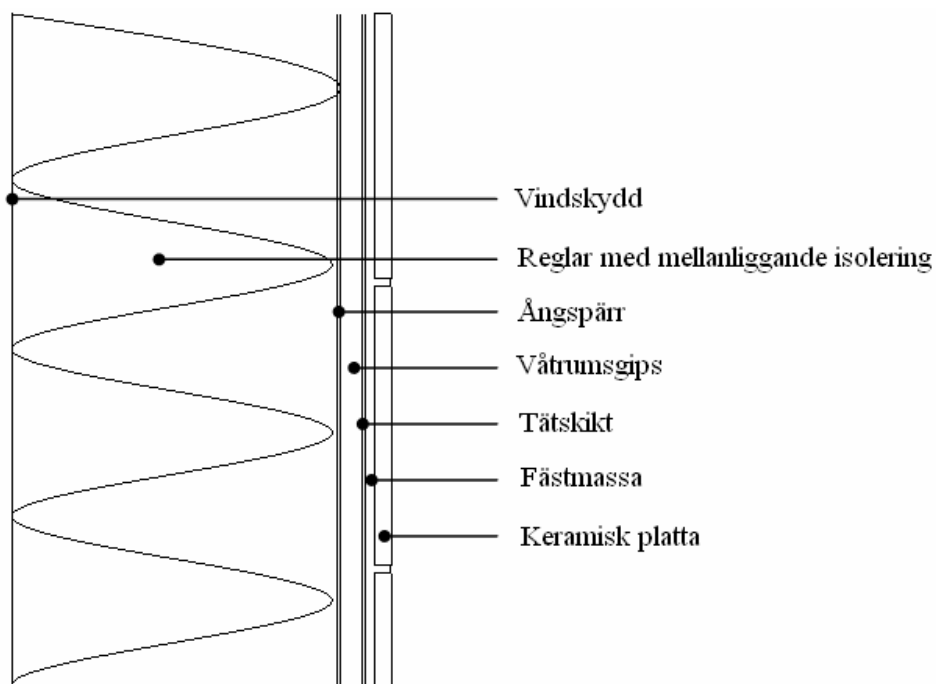
Isolering och reglar 195 mm

Ångspärr, Tenotät 0,2 mm

Våtrumsgips 12,5 mm

Tätskikt

Kakelbeklädnad



Figur 3.2: Väggtyp 1 i sektion

Väggtyp 2

Våtrumsvytervägg med ångspärr utbytt mot en lufttät ångbroms enligt följande uppbyggnad;

Vindskydd, Halotex W10, 0,5 mm

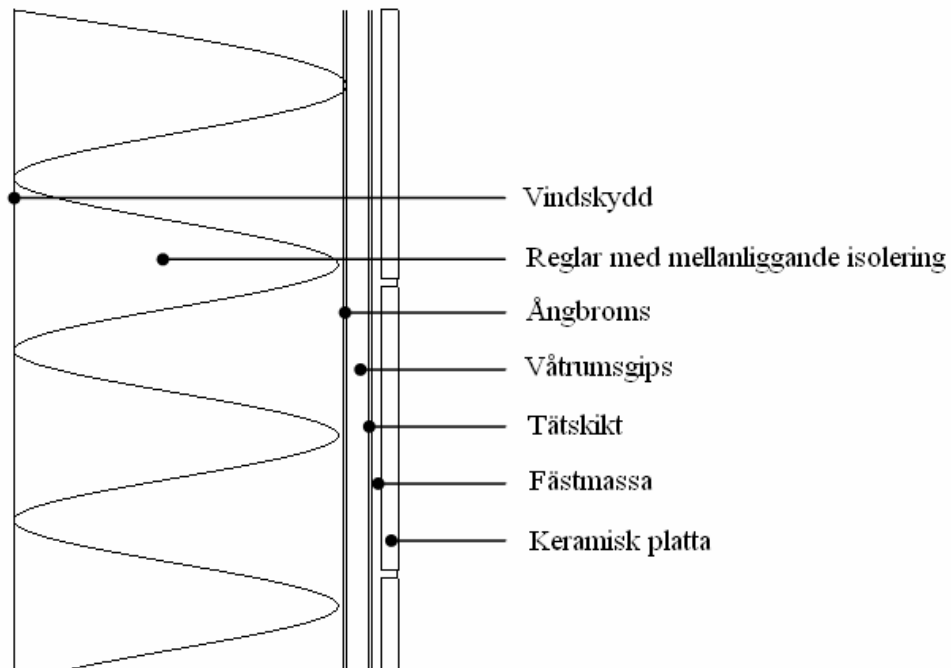
Isolering och reglar 195 mm

Ångbroms, Halotex D50, 0,2 mm

Våtrumsgips 12,5 mm

Tätskikt

Kakelbeklädnad



Figur 3.3: Väggtyp 2 i sektion

Väggtyp 3

Våtrumsvägg med enkelt tätskikt enligt följande uppbyggnad;

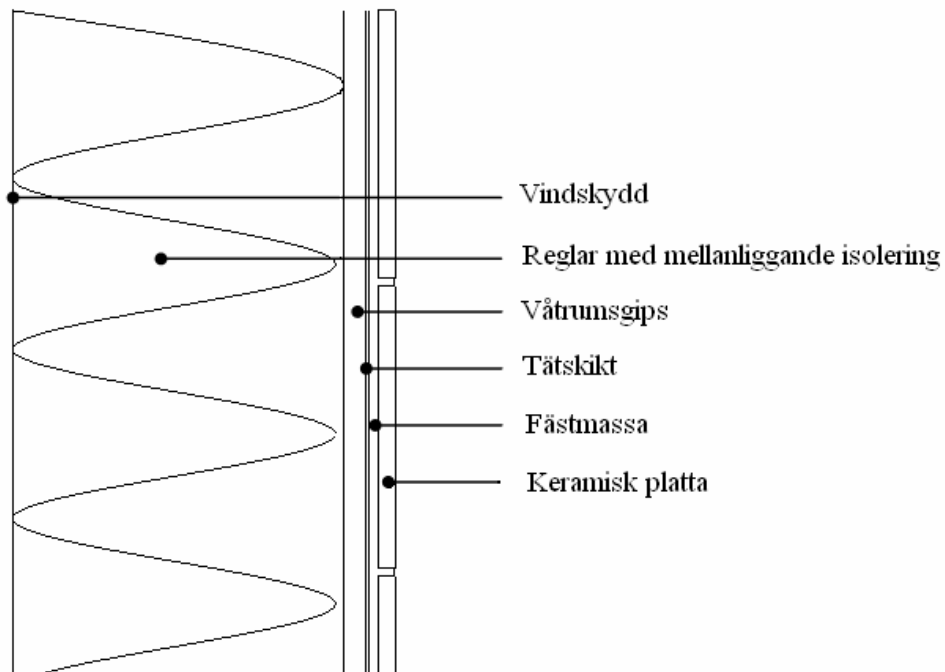
Vindskydd, Halotex W10, 0,5 mm

Isolering och reglar 195 mm

Våtrumsgips 12,5 mm

Tätskikt

Kakelbeklädnad

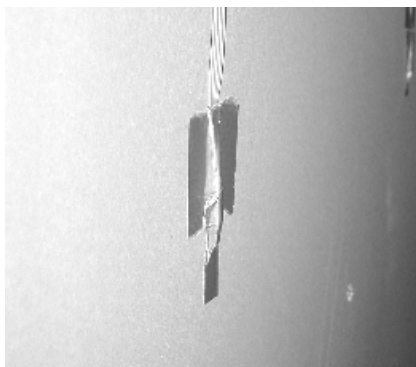


Figur 3.4: Väggtyp 3 i sektion

3.1.3 Mätinstrument

Mätinstrument för att mäta relativ fuktighet respektive temperatur i väggen väljs utifrån storlek, funktion och kostnad. RF-givaren är en Honeywell HIH-3610-002 och temperaturmätaren är en termistor vilka beskrivs i teorikapitlet. Honeywellinstrumenten har inte använts tidigare på Avdelningen för Byggnadsfysik. Mätpunkterna är svåråtkomliga inuti konstruktionen och leverering av mätdata behövs kontinuerligt under försökets längd. Kabeln från mätinstrumenten kopplas till en mät dator vilken omformar signaler över mätinstrumenten till mätvärden, formler för omformning redovisas i bilaga 1. Då mätinstrumenten byggs in är det också viktigt att de är underhållsfria. De valda instrumenten är små och kan därför monteras mellan gipsskiva och tätskikt.

RF-givaren har tre utgångar och termistorn har två. Mätinstrumenten monteras tillsammans, utgångarna löds fast mot varsin ledare i en platt femledarkabel. Varje lödning täcks med en krympslang och en större krympslang monteras sedan över anslutningarna. Den stora krympslangen skyddar delvis RF-givaren och termistorn men RF-givarens sensor lämnas otäckt. Mätinstrumenten tejpas på gipsskivans in- och utsida med RF-givarens sensor in mot gipsskivan, figur 3.5 nedan. Tejpen skyddar sensorn vid applicering av tätskikt och påverkar troligtvis inte mätningarna. Mätinstrument och kabel på gipsens insida rollas därefter över med tätskikt.



Figur 3.5: Givare monterad på gipsskiva, skyddad med silvertejp

Fuktkvotmätning sker manuellt, stift slås in i reglarna bakom gipsskivorna, se figur 3.6 nedan. En kabel dras från varje stift och placeras lättåtkomligt utanför väggen.



Figur 3.6: Stift för mätning av träfuktkvot i regelstomme

3.1.4 Mätning

Mätning av RF och temperatur i väggen sker en gång per timme, dygnet runt. Med dessa parametrar kan ånghalten bestämmas. Ånghalt och temperatur behövs för de beräkningar och simuleringar som utförs. Mätutrustningen i väggen är kopplad till en mät dator som töms kontinuerligt, se figur 3.7 nedan. Fuktkvot mäts manuellt.



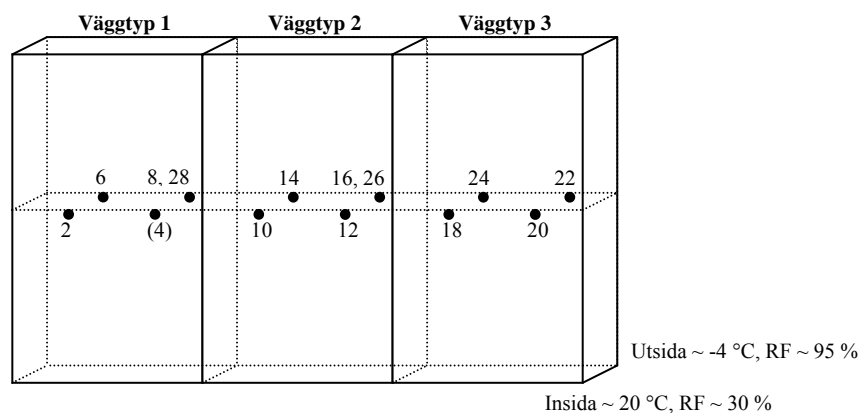
Figur 3.7: Mät dator HMG

Mätpunkter i omgivningen

För att möjliggöra för jämförelser mellan försöksresultat och motsvarande beräkningar mäts temperatur och relativ fuktighet även i omgivningens luft. Genom att jämföra omgivningens klimatvariationer med väggens mätvärden fås även ett mått på väggens och givarnas reaktionstid gentemot omgivande klimat. Mätningen utförs med samma typ av givare som finns inbyggda i försöksväggen. Givare finns placerade i rummen på respektive sida om försöksväggen.

Mätpunkter i försöksväggen

I försöksväggen mäts relativ fuktighet och temperatur på gipsens yta. Varje väggtyp förses med fyra mätpunkter, två på gipsens framsida och två på gipsens baksida. Mätarna är placerade mitt på skivan mellan bakomliggande reglar, se figur 3.8 nedan. Stift för mätning av fuktkvot monteras i mittregeln på varje väggtyp i samma höjd som övriga mätinstrument. Islagsdjupet på elektroderna är ungefär 10 mm.



Figur 3.8: Schematisk bild över mätpunkter på gipsskivorna i försöksväggen

3.1.5 Försökets begränsningar

Uttorkningen av väggen sker utan fuktillförsel på väggens yta, vilket varit normalt vid duschplats i ett badrum. Luftfuktigheten i klimatrummet är låg och ej varierad vilket ej heller stämmer överens med ett verkligt badrumsklimat där både luftfuktighet och temperatur är högre och mer varierad än i försöket. Väggtypen utan ångspärr/ångbroms, väggtyp 3, har en torr gipsskiva vid försökets start, uttorkningen kan därför inte jämföras med de övriga väggtyperna.

3.1.6 Mätresultat

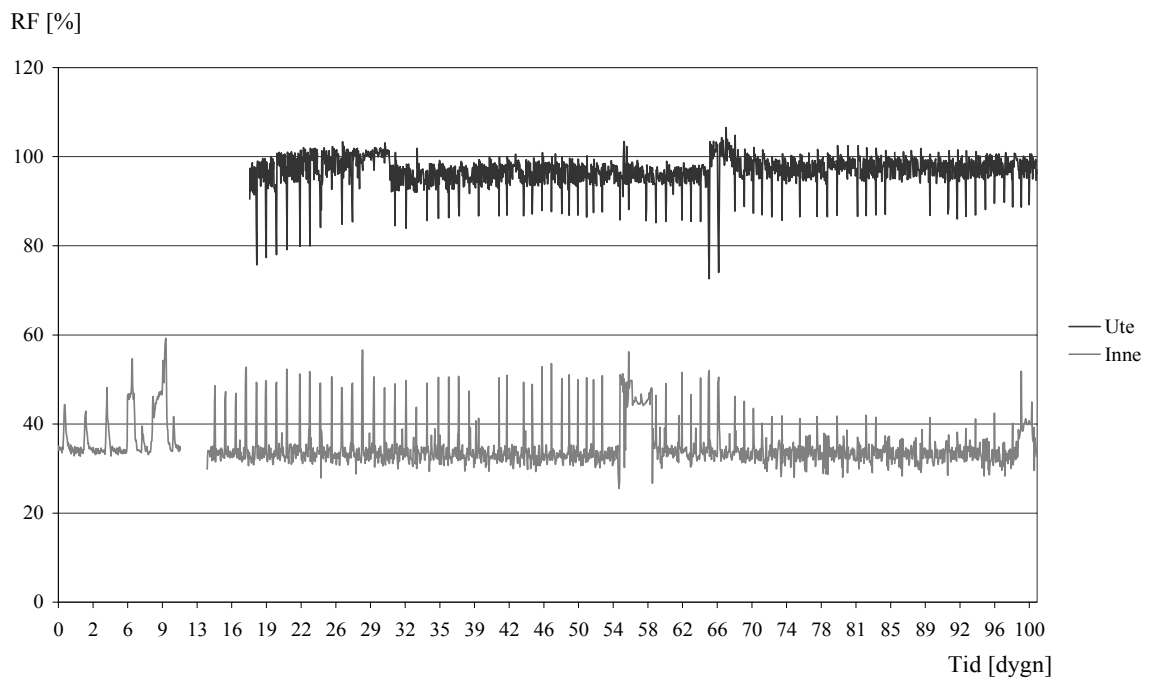
Nedan redovisas de resultat som uppmätts på väggförsöket. Resultat för både ånghalt och RF redovisas. Resultaten är uppdelade enligt Träreglar, Omgivande klimat, Medelvärden för alla väggtyper, Väggtyp 1, Väggtyp 2, samt Väggtyp 3. Avbrott på mätkurvorna härstammar från en felsökning och är inte orsakade av givarna. Felsökningen orsakades av att vi trodde att RF-givarna visade på för höga luftfuktigheter. Aggregatet i det varma klimatrummet går sönder efter det 93:e dygnet, vilket tydligt ses i resultaten.

Träreglar

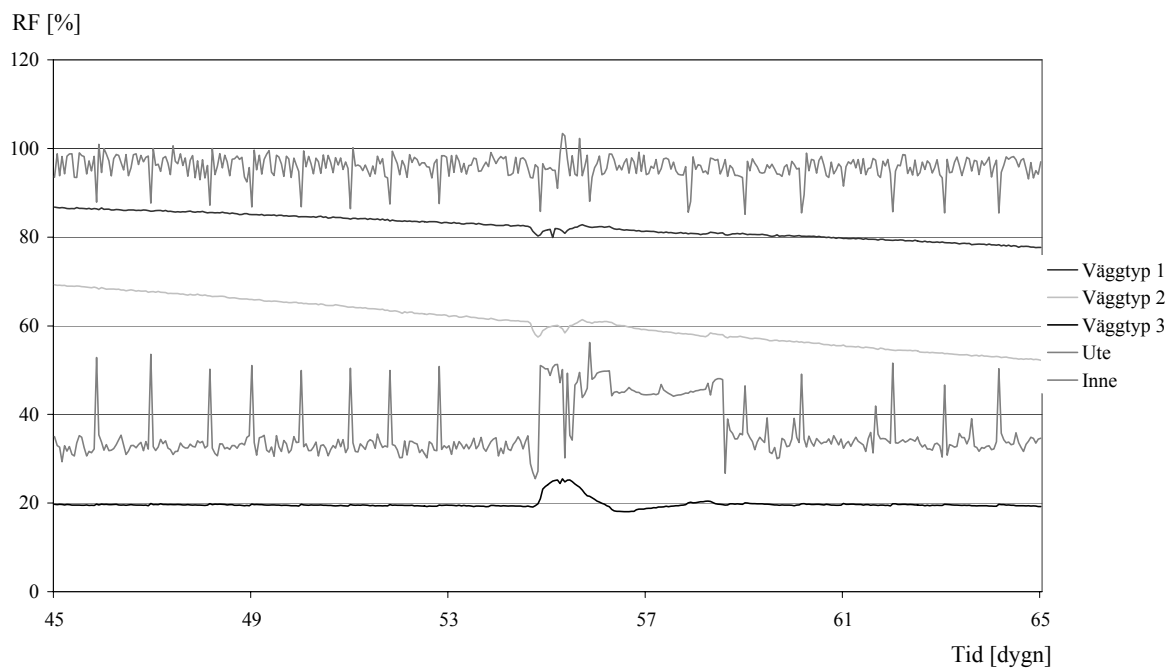
Fuktkvoten för träreglarna ligger under hela mätperioden under och omkring 8 %. Inga större variationer registreras.

Omgivande klimat

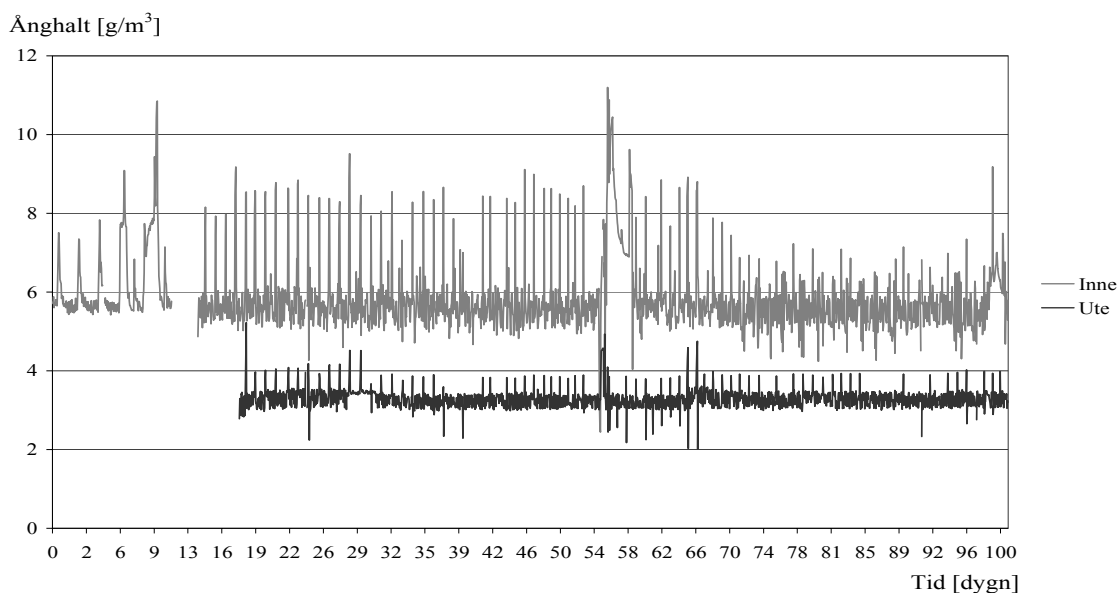
Det varma klimatrummet ska hålla temperaturen 20 °C samt en relativ fuktighetsnivå på 30 %. Temperaturen uppvisar för mätperioden ett medelvärde på 19,5 °C och ett medianvärde på 19,4 °C. Högsta uppmätta temperatur under perioden visar ett värde på 27,2 °C och lägsta 9,3 °C. Den relativa fuktigheten under mätperioden visar ett medelvärde på 34,9 % och ett medianvärde på 33,7 %, i figur 3.9 nedan visas uppmätta RF-värden för det omgivande klimatet. Då klimatrummens aggregat stängs av för avfrostning av aggregatet i det kalla utrymmet en gång per dygn erhålls dygnstoppar på upp till 60 % i det varma utrymmet. Avfrostning sker mellan klockan två och tre på natten. Lägsta uppmätta värde under perioden visar en relativ fuktighet på 25,5 %. Dygnsvariationen i relativ fuktighet avspeglas i väggens relativa fuktighetsnivåer under uttorkningsprocessen, se figur 3.10 nedan. Ånghalten uppvisar ett medelvärde på 5,8 g/m³ under mätperioden. Lägsta uppmätta värde visar en ånghalt på 2,4 g/m³ och högsta 11,2 g/m³. Uppmätt ånghalt i det omgivande klimatet redovisas i figur 3.11 nedan.



Figur 3.9: RF i ute- respektive inneklimat

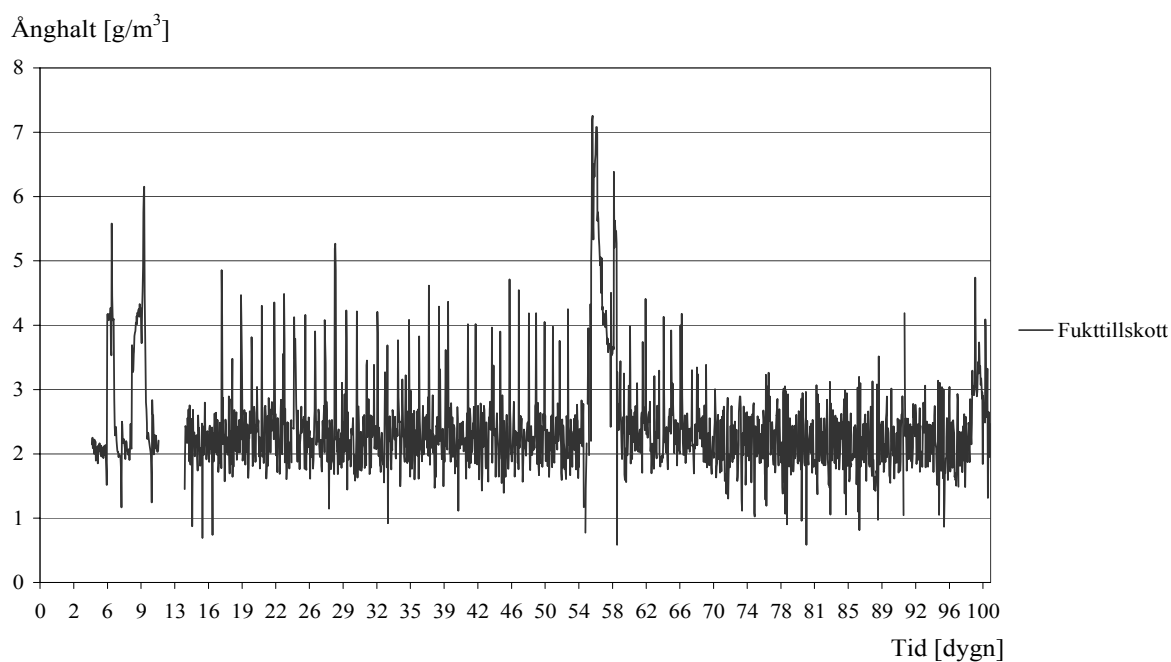


Figur 3.10: En tydlig störning registreras i klimatrummet under denna tidsperiod vilket avspeglas i väggen



Figur 3.11: Ånghalt i ute- respektive inneklimat

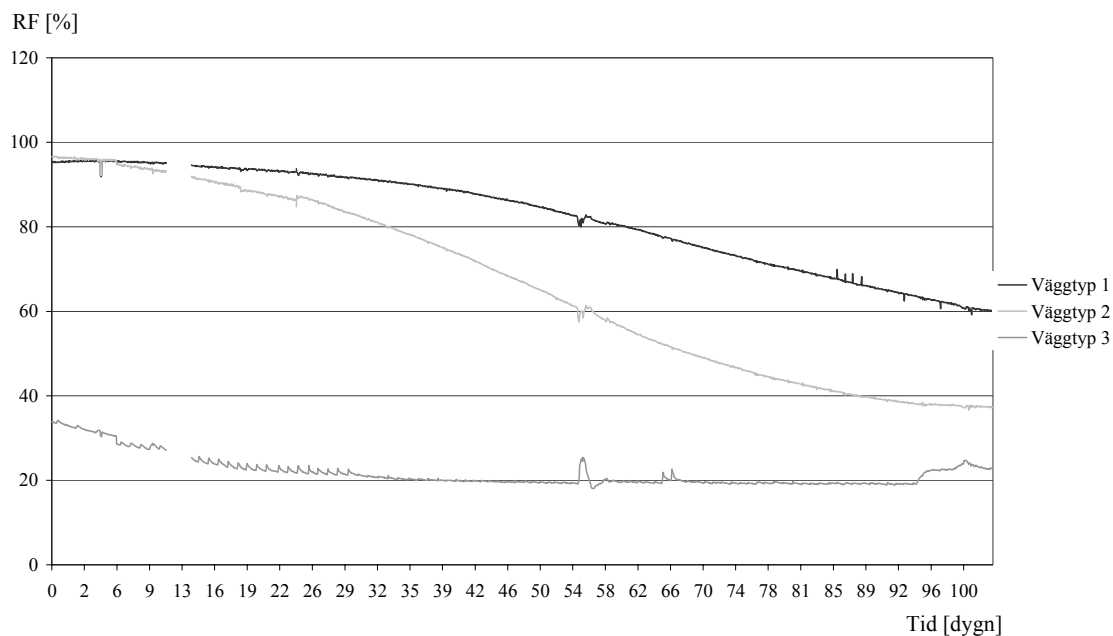
Det kalla klimatrummet ska hålla temperaturen $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ samt en relativ fuktighetsnivå strax under 100 %. Temperaturen uppvisar för mätperioden ett medelvärde på $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ och ett medianvärde på $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vid avfrostning av aggregatet har dygnstopparna under mätperioden normalt en temperatur på $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Högsta uppmätta temperatur under perioden visar ett värde på $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ och lägsta $-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Den relativa fuktigheten under mätperioden visar ett medelvärde på 96,9 % och ett medianvärde på 97,3 %. Lägsta uppmätta värde under perioden visar en relativ fuktighet på 72,6 %, medan de högsta värdena visar på relativa fuktigheter på över 100 %, se figur 3.9 ovan. De höga relativa fuktigheterna diskuteras i analysen, kapitel 5. Ånghalten uppvisar ett medelvärde på $3,3\text{ g/m}^3$ under mätperioden. Lägsta uppmätta värde visar en ånghalt på $2,0\text{ g/m}^3$ och högsta $4,8\text{ g/m}^3$, se figur 3.11 ovan. Fuktillskottet, v_{FT} , som visas i figur 3.12, varierar mellan 0,6 och $7,3\text{ g/m}^3$. Medelvärdet ligger på $2,4\text{ g/m}^3$ och medianvärdet på $2,3\text{ g/m}^3$.



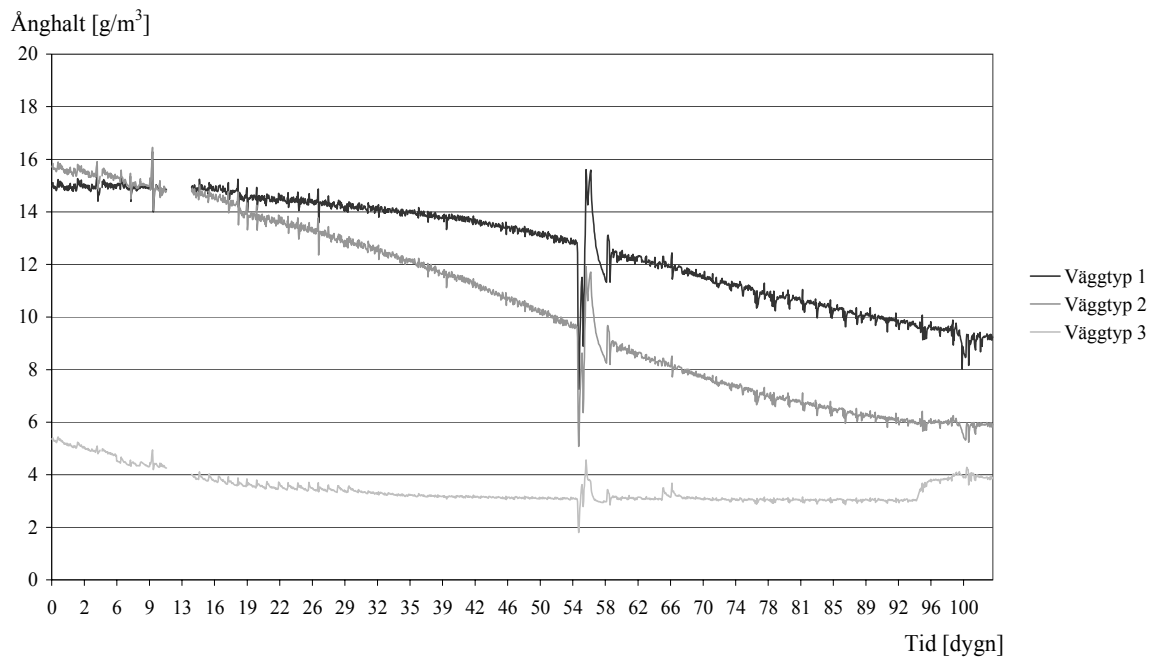
Figur 3.12: Uppmätt fukttillskott i inneklimat

Medelvärden för alla väggtyper

Medelvärden av uttorkningsförloppet för ånghalt och relativ fuktighet visar på tydliga skillnader i uttorkning för de olika väggtyperna, figur 3.13 och figur 3.14 nedan. Störningar på kurvorna motsvaras av problem med klimatanläggningen i det varma klimatrummet.



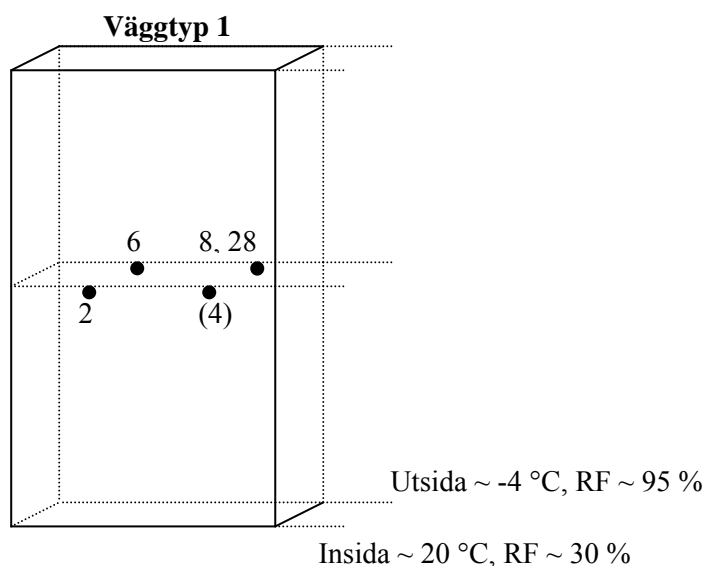
Figur 3.13: Medelvärde på RF för de tre väggtyperna



Figur 3.14: Medelvärde på ånghalten för de tre väggtyperna

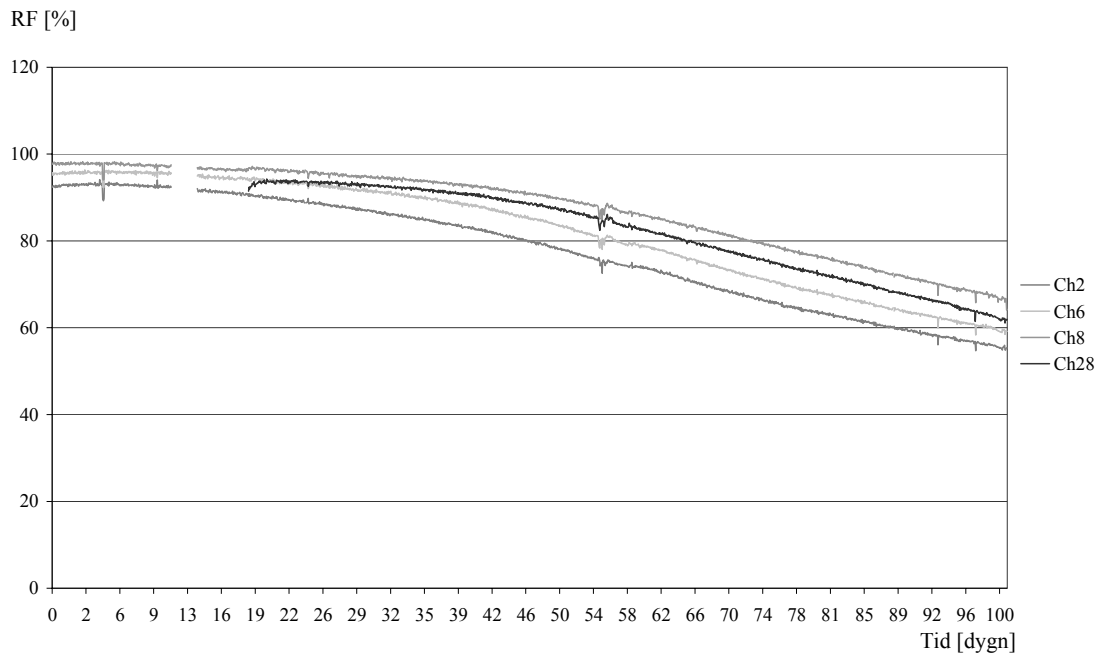
Väggtyp 1

I väggtyp 1 monteras en fuktig gipsskiva i väggkonstruktionen. Vid försökets start varierar den relativa fuktigheten mellan 93 % och 98 % vid de olika mätpunkterna. Mät punkt 4 utgår ur försöket på grund av kabelbrott. Mät punkt 28 är monterad i efterhand som komplement till de övriga givarna i väggen. Uppställning visas i figur 3.15 nedan.



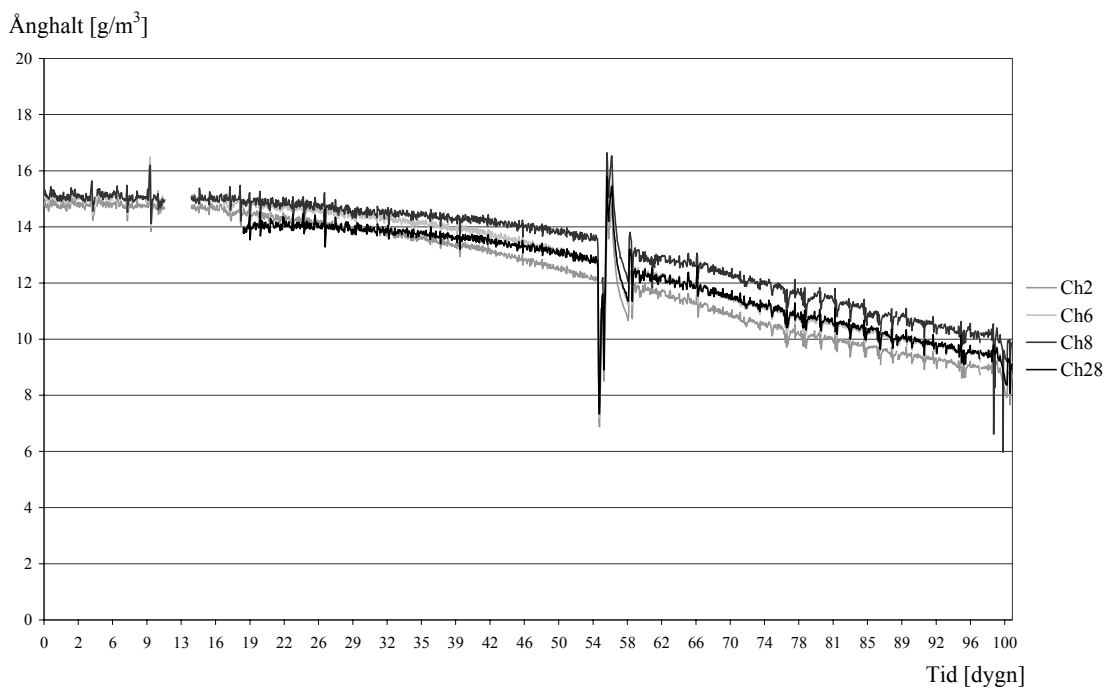
Figur 3.15: Mätpunkter på gipsskiva i väggtyp 1

Givarna visar under uttorkningen jämna RF-värden och de följer varandra väl, se figur 3.16 nedan. Fram till dygn 40 torkar gipsskivan långsamt, därefter sker uttorkning med en högre hastighet. Brytpunkten motsvaras av ett RF-värde på cirka 90 %. Efter 100 dagar har väggens RF-värden sjunkit till mellan 57 % och 68 %. Mätvärdena på gipsens utsida varierar så att mätpunkterna 8 och 28 har ett högre RF-värde än mätpunkt 6. Temperaturen bakom gipsskivan varierar så att mätpunkterna 8 och 28 har en något högre temperatur än mätpunkt 6.



Figur 3.16: Diagram på uttorkningsförlopp, RF, för väggtyp 1

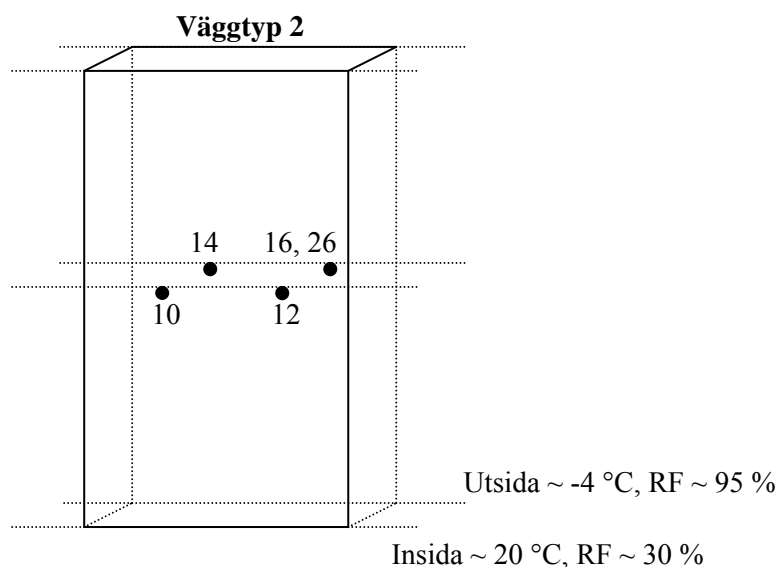
Ånghaltens startvärde är 15 g/m^3 för alla givare och vid mätslut är medelvärdet drygt 9 g/m^3 , se figur 3.17 nedan. Mätserie 8 har vid mätslut det högsta värdet, cirka 10 g/m^3 . Mätserie 28 ligger på $9,1 \text{ g/m}^3$ och mätserie 2 och 6 ligger på $8,8 \text{ g/m}^3$. Mätserierna närmast väggtyp 2, serie 8 och 28, har högre värden än mätvärdena mot omgivande vägg.



Figur 3.17: Diagram på uttorkningsförlopp, ånghalt, för väggtyp 1

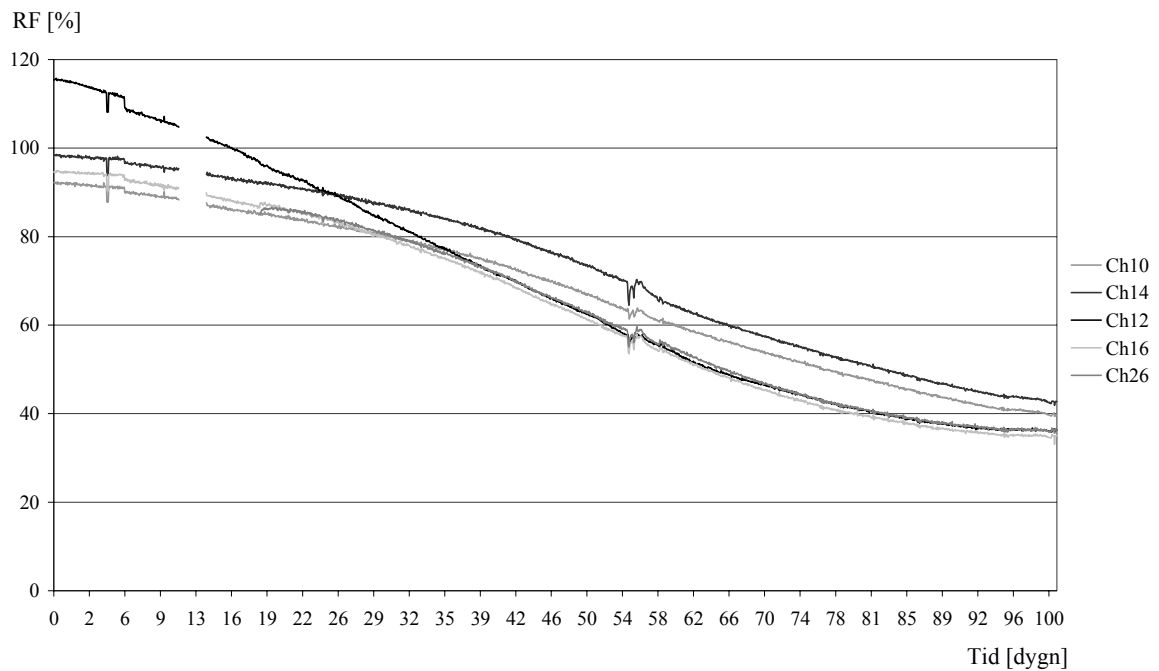
Väggtyp 2

I väggtyp 2 monteras en fuktig gipsskiva i väggkonstruktionen. Vid försökets start varierar den relativa fuktigheten mellan 92 % och 98 % vid de olika mätpunkterna. I mätpunkt 12 visar mätningen initieellt 115 %, vilket troligtvis beror på att vatten kondenserat på mätinstrumentets sensor. Mätvärdena ansluter senare till de övriga kurvorna. Mät punkt 26 är monterad i efterhand som komplement till de övriga givarna i väggen. Uppställning visas i figur 3.18 nedan.



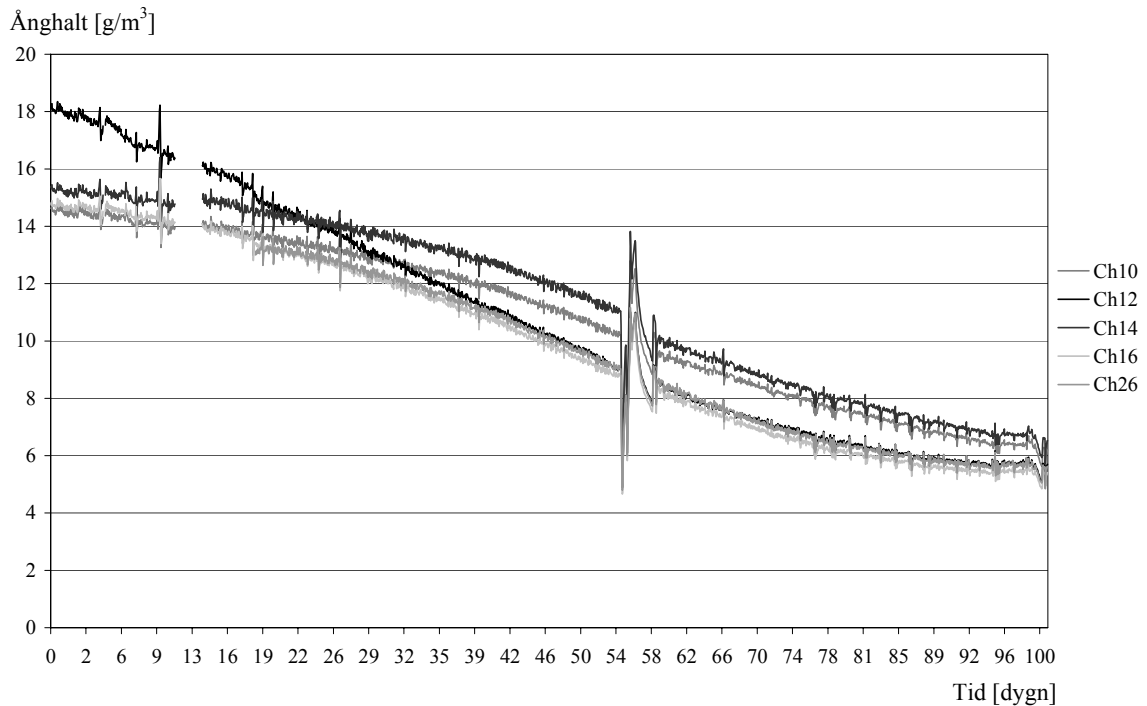
Figur 3.18: Mätpunkter på gipsskiva i väggtyp 2

Givarna visar under uttorkningen jämna RF-värden och de följer varandra väl, om än inte lika väl som föregående väggtyp, se figur 3.19 nedan. Efter 30 dygn torkar gipsskivan med en högre hastighet än innan. Brytpunkten motsvaras av ett RF-värde på cirka 85 %. Mot slutet av försöksperioden avstannar uttorkningen något. Efter 100 dagar har väggens RF-värden sjunkit till mellan 34 % och 41 %. Mätvärdena på gipsens utsida varierar så att mätpunkt 14 har ett högre RF-värde än mätpunkt 16 och 26. Mätvärdena på gipsens insida varierar så att mätpunkt 10 har ett högre RF-värde än mätpunkt 12. Temperaturen i mätpunkterna är mycket jämn.



Figur 3.19: Diagram på uttorkningsförlopp, RF, för väggtyp 2

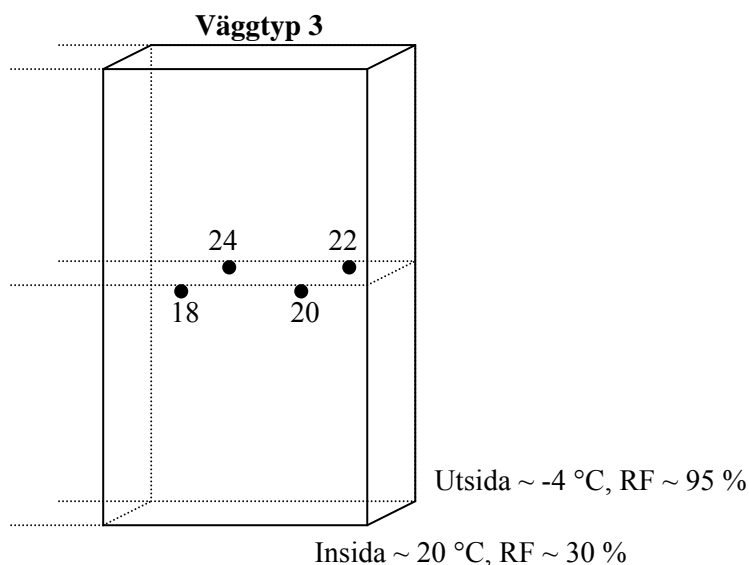
Ånghaltens startmedelvärde är 15 g/m^3 och vid mätslut är medelvärdet 6 g/m^3 , se figur 3.20 nedan. Mät punkt 14 har vid mätslut det högsta värdet, cirka $6,5 \text{ g/m}^3$. Mät punkt 10 ligger på $6,2 \text{ g/m}^3$ och mätpunkterna 12, 16 och 26 ligger på cirka $5,5 \text{ g/m}^3$. Mätvärdena närmast väggtyp 1, i punkt 10 och 14, är högre än mätvärdena närmast väggtyp 3.



Figur 3.20: Diagram på uttorkningsförlopp, ånghalt, för väggtyp 2

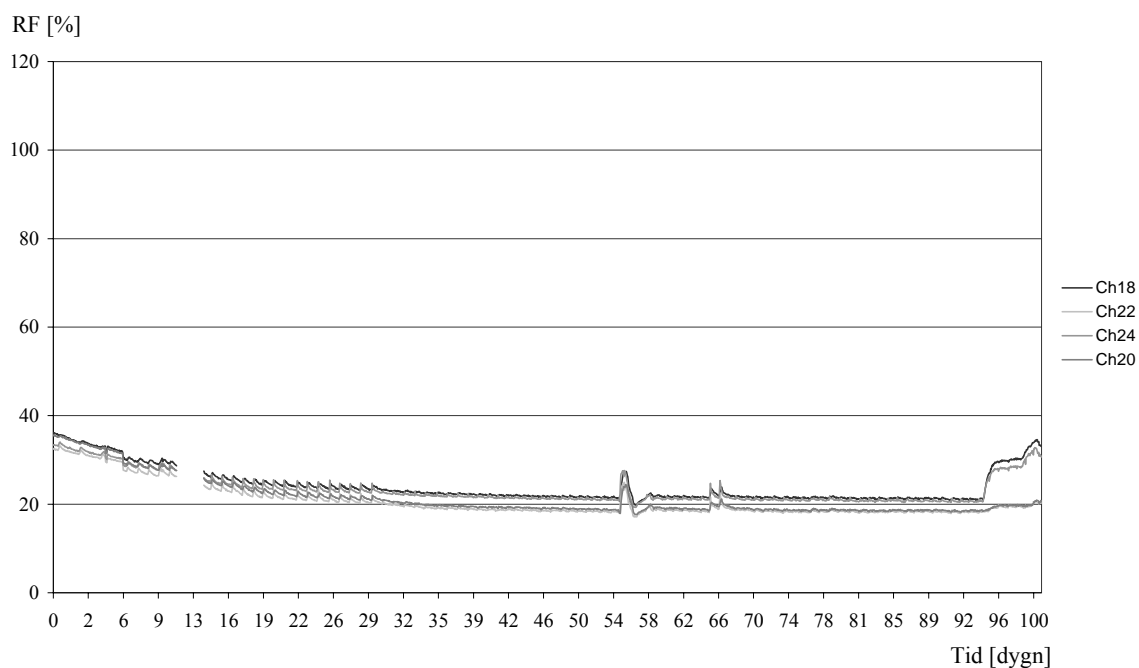
Väggtyp 3

I väggtyp 3 har en torr gipsskiva monterats i väggkonstruktionen. Vid försökets start varierar den relativa fuktigheten mellan 33 % och 36 % vid de olika mätpunkterna. Uppställning visas i figur 3.21 nedan.



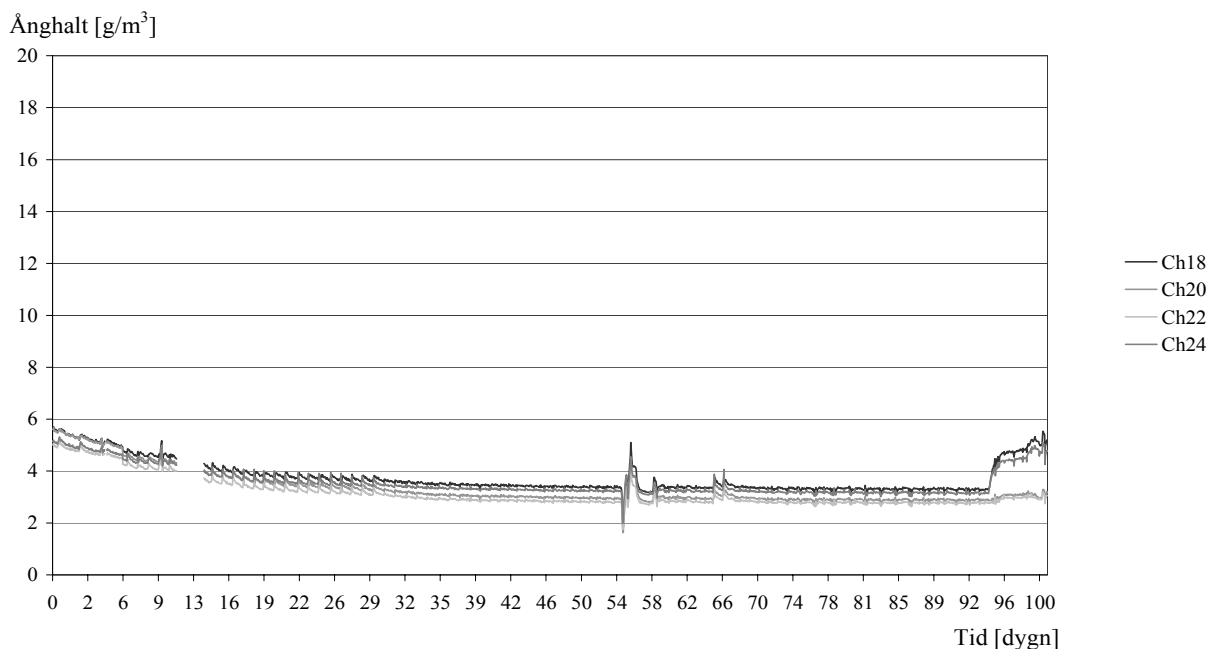
Figur 3.21: Mätpunkter på gipsskiva i väggtyp 3

Givarna visar under uttorkningen jämna RF-värden och de följer varandra väl, se figur 3.22 nedan. RF-värdena är jämna men har dygnsvarierande toppar under uttorkningsförloppet. Variationerna motsvaras av dygnsvariationer i insidans klimat. När uttorkningen avstannar och kurvan planar ut försvinner variationerna. Vid dygn 20 avstannar uttorkningshastigheten och vid dygn 50 är uttorkningen avslutad. Efter 100 dygn har väggens RF-värden sjunkit till mellan 18 % och 21 %. RF-värdena är grupperade så att mätpunkt 18 och 24 har högre mätvärden än mätpunkt 20 och 22. Skillnaderna är små och resultaten diskuteras i analysen i kapitel 5.



Figur 3.22: Diagram på uttorkningsförlopp, RF, för väggtyp 3

Ånghaltens startmedelvärde är drygt 5 g/m^3 och vid mätslut är medelvärdet 3 g/m^3 , se figur 3.23. Mät punkt 18 har strax innan mätslut det högsta värdet, $3,4 \text{ g/m}^3$. Mät punkt 24 ligger på $3,1 \text{ g/m}^3$, mät punkt 20 $2,9 \text{ g/m}^3$ och mät punkt 22 $2,8 \text{ g/m}^3$. Mätvärdena närmast väggtyp 2, i punkt 18 och 24, är högre än mätvärdena närmast omgivande vägg.



Figur 3.23: Diagram på uttorkningsförlopp, ånghalt, för väggtyp 3

3.1.7 Övriga iakttagelser

Kondens på vindskyddets insida

På vindskyddets insida kondenserar vatten under de första försöksveckorna. Den kondenserade mängden är relativt stor och vatten rinner ner längs vindskyddet och fryser.

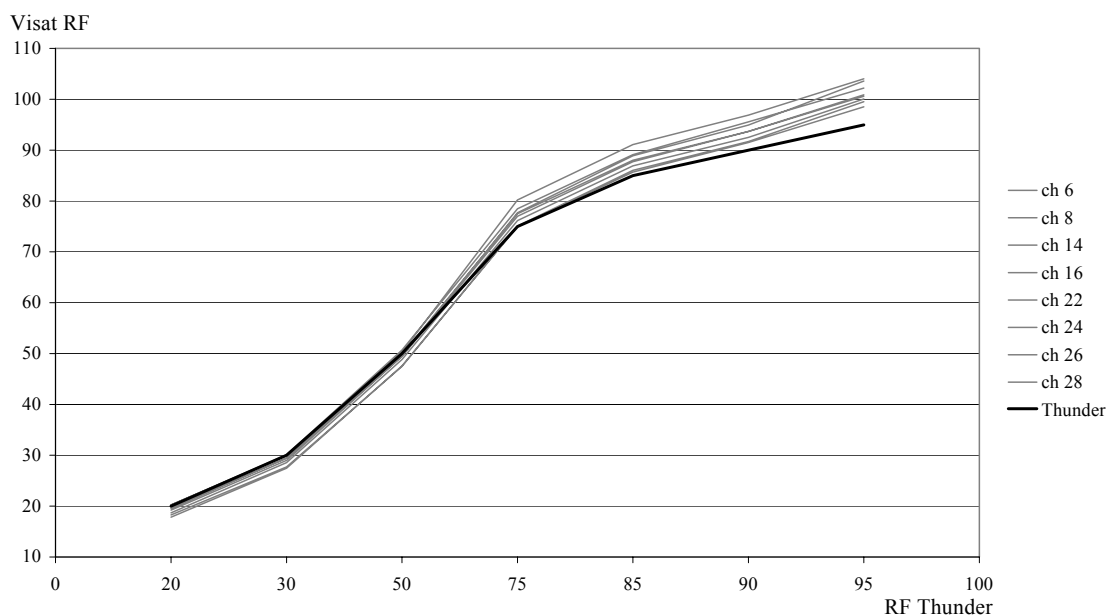
RF-givare

RF-givarna levererar jämna mätvärden under försökets gång. Vid störningar i klimatrummens klimat reagerar givarna snabbt. Mätvärdena från väggen följer med kort fördröjning de registrerade ändringarna i klimatrummens givare. I början av mätningen gav några av givarna för höga mätvärden, den relativa fuktigheten visade på långt över 100 %. Dessa kurvor sjunker senare för att ansluta sig till de andra mätpunkternas kurvnivåer. Mätarna fungerar i stort sett problemfritt under försökets längd, 100 dygn.

Kalibrering av RF-givare

Efter försökets avslut kalibreras de RF-givare som är åtkomliga utan att väggen behöver rivas. Kalibrering sker med hjälp av en Thunder, en kalibreringskammare för RF-givare. Givarna testas vid RF-nivåerna 20, 30, 50, 75, 85, 90 samt 95 %.

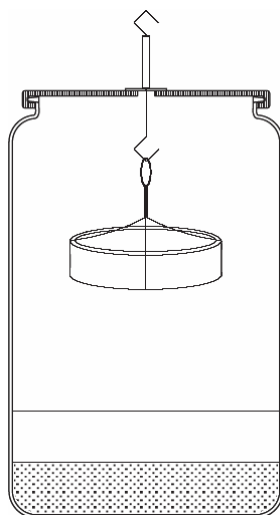
Kalibreringens resultat visar att givarna följer varandra och kalibreringskurvan väl men att spridningen ökar med ökat RF, se figur 3.24 nedan. Vid låga RF-nivåer visar givarna på lägre värden än kalibreringskurvan, spridningen är cirka 2 procentenheter mellan högsta och lägsta värde. Vid höga RF-nivåer visar givarna på högre värden än kalibreringskurvan, givarnas spridning ligger mellan 4 och 9 procentenheter över kalibreringskurvan. Kalibreringsresultaten visar inga synliga skillnader i noggrannhet mellan de givare som varit placerade i torrt klimat och de givare som utsatts för höga RF-nivåer under försöket. Ingen hänsyn har tagits till kalibreringsresultaten i mätresultaten från försöken.



Figur 3.24: RF-givarnas spridning

3.2 Bestämning av sorptionsisotermer

För att bestämma sorptionsisotermer för våtrumsgips används den så kallade burkmetoden. Burkmetoden innebär att sorptionskurvorna bestäms genom vägning av provkroppar inneslutna i täta glasburkar med olika mättade saltlösningar vid konstant omgivande temperatur och relativ fuktighet, se burkuppställning i figur 3.25 nedan. Beroende av vilken saltlösning som används får luften i burken olika relativa fuktigheter. För att torka ut materialproverna används en molekylsikt. Molekylsikten består av små kulor som absorberar fukten i den omgivande luften. Provet sätts i en glasburk där det sedan sakta avger den fukt det innehåller till luften. Fukten absorberas därefter av kulorna i molekylsikten och materialet blir med tiden helt torrt. Materialets sorptionsisotermer bestäms genom att provkroppar vägs regelbundet över olika saltlösningar där de uppnår ett jämviktstillstånd. Då jämviktstillståndet är uppnått flyttas provkropparna mellan burkar med olika saltlösningar och processen upprepas. Finessen med den här metoden är att provet aldrig behöver lämna sin burk vid vägning. Ur vikt kurvorna kan sedan sorptionsisotermerna bestämmas. (Svennberg, 2003)



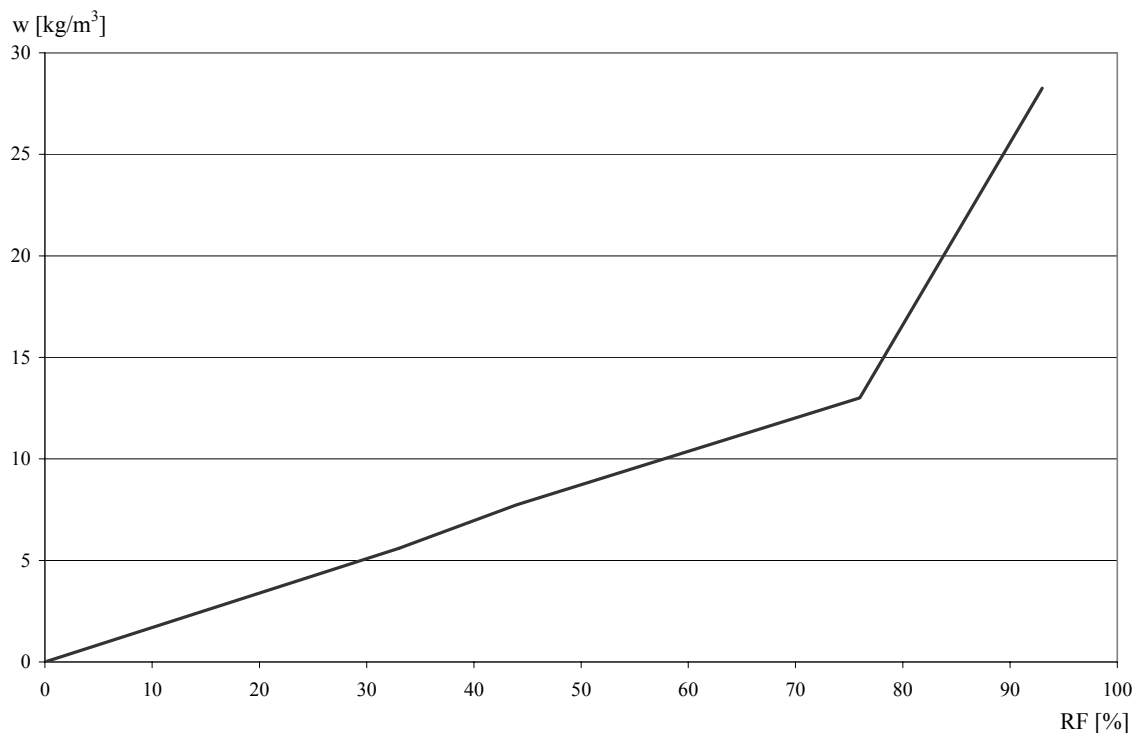
Figur 3.25: Burkuppställning med provkropp

Materialet torkas ner till en relativ fuktighet av 0 %. Beroende på vilken torkningsmetod som används kan stora skillnader visas i materialets sorptionsisoterm. I tidigare metoder har torkning av gips skett i torkugnar vid en temperatur av 50 °C. Nya rön visar dock på att temperaturen inte får vara för hög då det kemiskt bundna vattnet i materialet riskerar att avges. För torkning av prover används istället en molekylsikt, torkning sker vid 23 °C (Wilkes et al., 2004).

Burkmetoden är ännu inte validerad men för gips anses den fungera väl. Försöket görs med fyra mätpunkter samt torkning. Använda saltlösningar motsvarar relativa luftfuktigheter på 33 %, 44 %, 76 % samt 93 %.

3.2.1 Mätresultat

Försöket ger inte de resultat vi hoppas på, utan visar sig vara betydligt mer tidskrävande än planerat. Därför ges ingen desorptionskurva, utan endast en absorptionskurva enligt figur 3.26 nedan. Absorptionskurvan är dessutom inte korrekt bestämd då torrvikten inte kunde bestämmas till fullo. Uttorkningstiden visar sig var betydligt större än vad som ryms i projektets tidsramar. Absorptionskurvan ger dock en indikation på hur våtrumsgips förhåller sig till standardgips. För vårt försök skulle en desorptionskurva vara betydligt mer intressant och användbar eftersom försöket utreder uttorkning av gipsskivor, men eftersom tiden inte räcker till får endast en kurva accepteras. Hur förhållandet ser ut redovisas i kapitel 5.4.



Figur 3.26: Absorptionskurva för våtrumsgips enligt försök

4 Beräkningar

4.1 Stationär diffusionsberäkning

Med en stationär diffusionsberäkning beräknas hur väggens fuktprofil kommer att se ut när väggen torkat ut.

Ett stationärt diffusionsflöde avser ett flöde som är oföränderligt i tiden. Materialens fuktlagrande förmåga försummas och fuktillståndet kommer beräkningsmässigt momentant att anpassa sig till omgivningen. Beräkningen visar om det finns risk för att vatten kan kondensera någonstans i konstruktionen. En stationär beräkning enligt nedan ger en god bild över konstruktionens medelfuktillstånd under längre tidsperioder. (Nevander & Elmarsson, 1994)

4.1.1 Beräkningens syfte

Beräkningarna utförs på de tre olika väggtyperna som används i försöken och syftar till att påvisa skillnaden mellan de olika väggtypernas slutliga fuktillstånd. Resultaten av beräkningarna används även för att kontrollera de simulerade icke stationära beräkningarnas slutvärden.

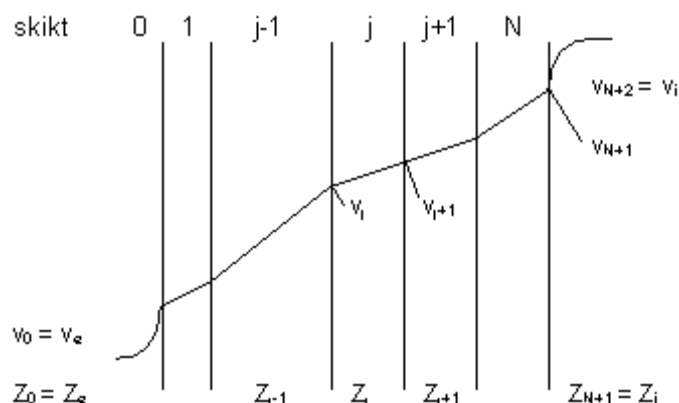
4.1.2 Teori

Den stationära beräkningen utförs enligt Glaser-metoden. Principiell bild av variationen av ånghalt över en flerskiktsvägg visas i figur 4.1 nedan. Diffusionsberäkningar bottenar i Ficks första lag och för ytterväggar gäller

$$g = \frac{v_i - v_e}{Z_T} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$$

där

g = fuktflödestätheten	$[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$
v_i = ånghalt i inomhusluft	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
v_e = ånghalt i uteluft	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
Z = ånggenomgångsmotstånd	$[\text{s}/\text{m}]$
$Z_T = \Sigma Z$	$[\text{s}/\text{m}]$



Figur 4.1: Variation av ånghalt över en flerskiktsvägg

Ånghalten varierar över konstruktionen och beräknas i gränsskikten mellan två material enligt

$$v_j = v_{j-1} + \frac{Z_{j-1}}{Z_T} (v_i - v_e) \quad [\text{kg/m}^3]$$

där

$$v_j = \text{ånghalt i skiktgräns } j \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$v_{j-1} = \text{ånghalt i skiktgräns } j-1 \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$Z_{j-1} = \text{ånggenomgångsmotstånd i skikt } j-1 \quad [\text{s/m}]$$

Då fuktberäkningar utförs måste även temperaturen tas i beaktande. Temperaturen över en konstruktion beräknas i princip på samma sätt som ånghalten.

$$T_j = T_{j-1} + \frac{R_{j-1}}{R_T} (T_i - T_e) \quad [^\circ\text{C}]$$

där

$$T_j = \text{temperatur i skiktgräns } j \quad [^\circ\text{C}]$$

$$T_{j-1} = \text{temperatur i skiktgräns } j-1 \quad [^\circ\text{C}]$$

$$T_i = \text{temperatur i inomhusluft} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$T_e = \text{temperatur i uteluft} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$R_{j-1} = \text{värmemotstånd i skikt } j-1 \quad [(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$$

$$R_T = \Sigma R \quad [(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$$

I skiktövergångar $j-1, j$ beräknas sedan den relativa fuktigheten enligt

$$\varphi_j = \frac{v_j}{v_s(T_j)} \quad [\%]$$

där

$$\varphi_j = \text{relativ fuktighet, RF} \quad [\%]$$

$$v_s(T_j) = \text{mättnadsånghalt i skikt } j \quad [\text{kg/m}^3]$$

4.1.3 Indata och antaganden

För det omgivande klimatet i klimatrutten används medelvärden för mätperioden med avseende på temperatur och relativ fuktighet. De materialdata som används i beräkningarna redovisas i tabell 4.1 nedan.

Tabell 4.1: Tabell över materialdata, utförlig tabell med källor redovisas i bilaga 2.

Väggdel	Tjocklek L [mm]	Värmevägsmotstånd R [(m ² ·K)/W]	Ånggenomgångsmotstånd Z [s/m]
Vindskydd	0,5	-	20 000
Isolering	195	5,13	11 000
Ångspärr	0,2	-	3 300 000
Ångbroms	0,2	-	140 000
Gips	12,5	0,06	försumbart
Tätskikt	1,0	-	1 500 000
Fog och kakel	10	0,01	20 000
Övergångsmotstånd ute		0,04	försumbart
Övergångsmotstånd inne		0,13	försumbart

4.1.4 Felkällor

Ångpermeabiliteten, δ , är hos många material starkt beroende av aktuellt fuktillstånd och således en funktion av φ , $\delta = \delta(\varphi)$. Använda värden är hämtade från fabrikörens produktinformationsblad där inget fukt samband beaktas, vilket ger ett osäkert beräkningsresultat. Vid stationära beräkningar bestäms aktuellt fuktillstånd överslagsmässigt och därefter lämpligt beräkningsvärde för ångpermeabiliteten, varför felet blir förhållandevis litet. Ånggenomgångsmotståndet, Z, är en funktion av ångpermeabiliteten enligt $Z = L/\delta$, och är således också beroende av det aktuella fuktillståndet. (Nevander & Elmarsson, 1994)

4.1.5 Resultat av beräkningar

Beräkningarna visar att det under en längre tidsperiod inte finns någon risk för fukt-kondensation någonstans i de olika väggkonstruktionerna då temperaturen är konstant, se tabell 4.2 nedan. I väggtyp 1 antar den relativa fuktigheten högre värde i gipsskivan än i de övriga väggtyperna, värdena är dock inte så höga att risk för skada föreligger. I väggtyp 2 antar den relativa fuktigheten värden som inte skiljer sig nämnvärt från väggtyp 3 vilket tyder på att fukt tillåts att diffundera genom materialen. Beräkningarna redovisas i bilaga 3.

Tabell 4.2: Tabell över RF i skiktövergångar.

Skiktövergångar	Väggtyp 1	Väggtyp 2	Väggtyp 3
Ute/Vindskydd	95,5	95,5	95,5
Vindskydd/Mineralull	95,8	96,4	96,4
Mineralull/Ångspärr	21,0		
Mineralull/Ångbroms		21,2	
Mineralull/Gips			21,3
Ångspärr/Gips	31,8		
Ångbroms/Gips		22,5	
Gips/Tätskikt	31,3	22,2	20,9
Tätskikt/Kakel	36,1	36,0	35,9
Kakel/Inne	36,1	36,1	36,1

Då RF ligger nära 100 % kan vatten kondensera på vindskyddet om temperaturen sjunker på den kalla sidan eftersom den fukt bärande förmågan hos luften minskar med lägre temperatur. I verkligheten är temperaturen i klimatrumsen inte konstant varför kondensation på vindskyddet mycket väl kan inträffa. Temperaturen behöver bara sjunka någon grad för att vatten ska kondensera. I försöket tillkommer även fuktbelastning från de blöta gipsskivorna vilket inte ingår i beräkningarna. De beräknade resultaten jämförs med uppmätta värden i analysen i kapitel 5.

4.2 Icke stationär diffusionsberäkning

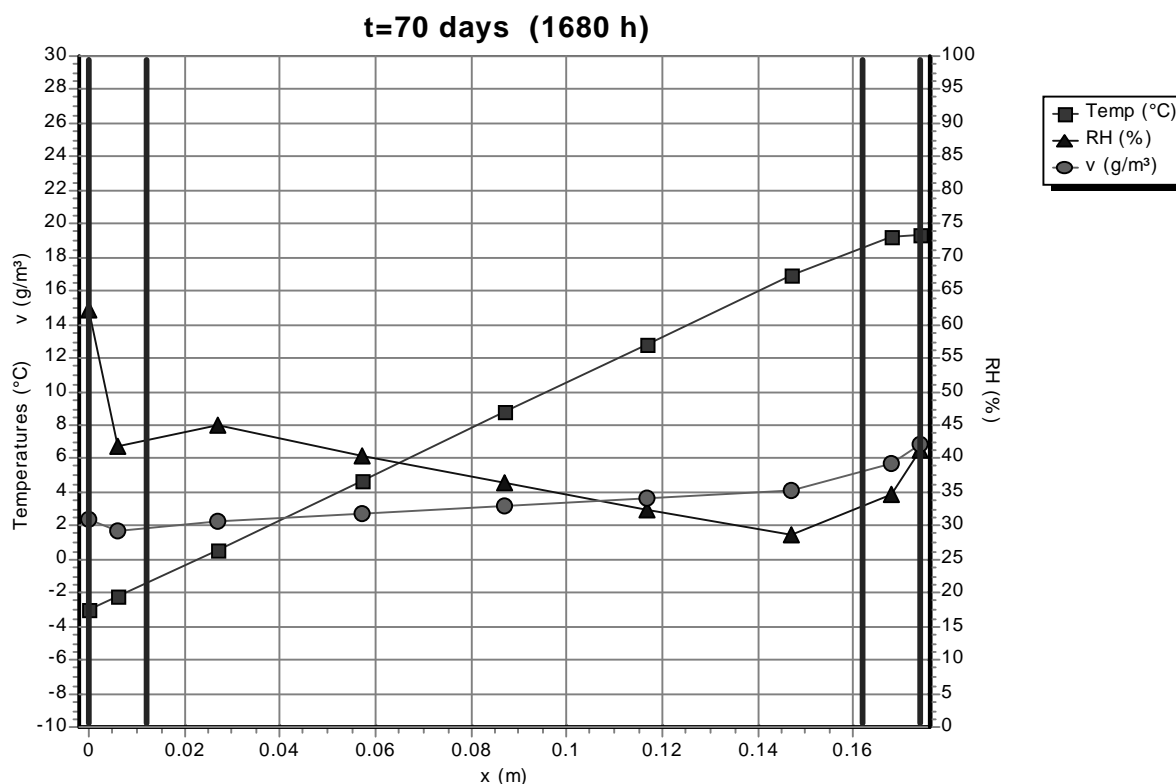
Ett icke stationärt diffusionsflöde avser ett flöde som är föränderligt i tiden. De fuktlagrande egenskaperna hos materialen beaktas och metoden är lämplig för att studera hur fuktillståndet kan variera i en konstruktion under kortare tidsperioder. Icke stationära diffusionsflöden kan beräknas dels för hand med den så kallade framåtdifferensmetoden eller med hjälp av datorprogram. (Nevander & Elmarsson, 1994)

4.2.1 Beräkningens syfte

De icke stationära beräkningarna syftar till att simulera en uttorkningsprofil för de olika väggmodellerna dels med de förutsättningar som råder i klimatrummet och dels för verkliga klimat. De syftar också till att jämföra olika parametrars enskilda påverkan på uttorkningen.

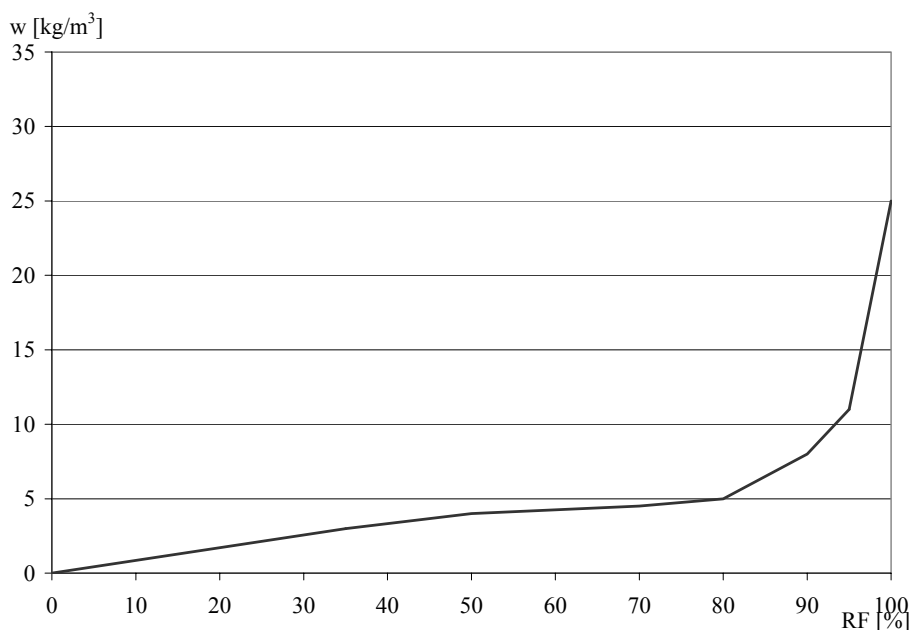
4.2.2 Datorprogrammet 1D-HAM

Uttorkningsberäkningar utförs med PC-programmet 1D-HAM version 2.0. Programmet är utvecklat av Carl-Eric Hagentoft och Thomas Blomberg år 2000. 1D-HAM behandlar uttorkning och uppfuktning av flerkomponentsväggar med hänsyn till värme-, luft- och fukttransport i en dimension. Programmet levererar en väggs fuktförhållande med avseende på temperatur, relativ fuktighet och fukthalt under en bestämd tid och framställs grafiskt genom en bild på väggen i tvärsnitt vid en viss tidpunkt, se figur 4.2 nedan.

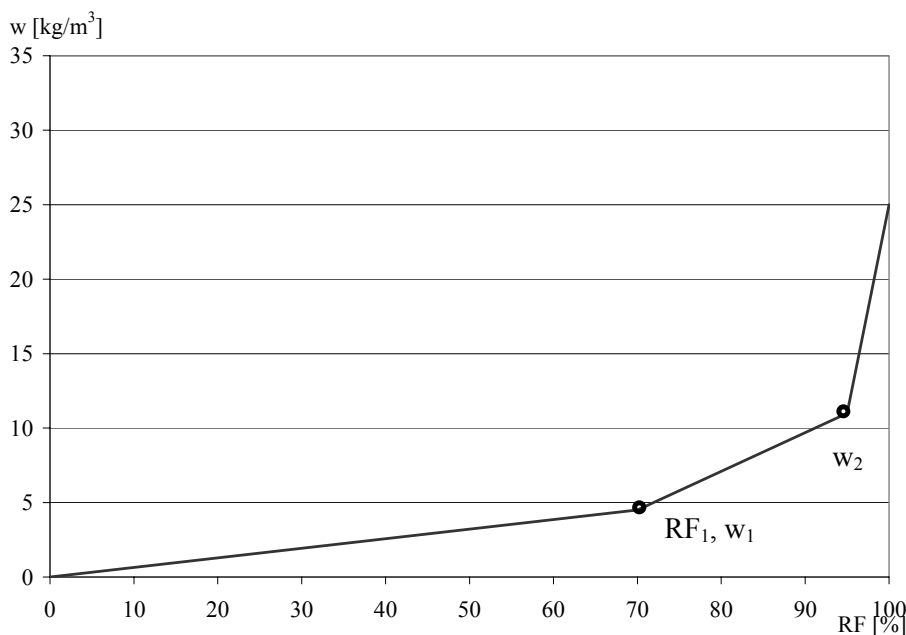


Figur 4.2: Grafisk framställning av en väggs fukt- och värmetilstånd

I programmet används materialdata och värden för väggens starttillstånd med avseende på ånghalt och temperatur, väggens omgivande klimat samt ytabsorption av solstrålning. Omgivande klimat anges i separat klimatfil. Fukthalten i omkringliggande klimat jämfört med väggens fukthalt är reglerande potential för uttorkningsförloppet. Väggens olika materialskikt indelas i lager och varje lager kan delas upp i ett antal celler vilket gör simuleringen mer noggrann. Transportkoefficienten antas konstant för varje lager. Uttorkningsberäkningen sker med finita elementmetoden och avser värme-, luft- och fukttransport i en dimension. Värmetransport beräknas med avseende på konvektion och ledning. Lufttransport beräknas med avseende på luftläckage baserat på tryckskillnader och luftgenomgångsmotstånd. Fukttransport beräknas med avseende på diffusion och konvektion i gasfas. Överföringen mellan angränsande beräkningsceller är baserad på en analytisk lösning för kopplade processer av luftflöden genom två lager av olika material i kontakt med varandra. För att beskriva sambandet mellan relativ fuktighet och fukthalt använder programmet en förenklad sorptionskurva för varje lager. Ursprunglig och förenklad kurva redovisas i figur 4.3 respektive 4.4 nedan. Sorptionskurvan förenklas så att den beskrivs av tre raka linjer. Fukthalten w_1 och relativa fuktigheten RF_1 ger en brytpunkt på kurvan. Fukthalten w_2 ger den fukthalt som motsvarar den övre gränsen av den hygroskopiska delen av kurvan. Luftflödet genom väggen är konstant och kan varieras i tid och riktning. Randvärden anges med ett värde på varje parameter per timme. (Buildingphysics hemsida)



Figur 4.3: Verklig desorptionskurva för gips (Hedenblad, 1996)



Figur 4.4: Anpassad desorptionskurva för gips

4.2.3 Indata och antaganden

För att beräkningen ska kunna utföras förenklas väggen så att endast gipsskiva, ångspärr eller ångbroms och tätskikt beaktas. De materialdata som används redovisas i tabell 4.3. I simuleringen utgörs väggen då endast av ett lager, motsvarande gipsskivan. Programmet hanterar inte täta skikt som är tunna varför ångspärr och ångbroms respektive tätskikt anges som ytmotstånd på respektive sida av gipsskivan, därav måste förenkling ske. Luftläckaget genom väggen sätts till minsta möjliga i programmet då väggen är tät och temperaturdifferensen över gipsskivan är mycket liten.

Simuleringar görs med klimatdata från klimatrutten. Variationer på ursprungssimuleringen utförs sedan, temperaturen inomhus och ånghalten inomhus ökas. Avsikten med att justera de olika parametrarna var för sig är att kunna få en uppfattning om hur uttorkningen ser ut i de olika fallen och se hur stor betydelse parametrarna har i jämförelse med varandra. Simulering utförs också med klimatdata från verkligt uppmätta förhållanden.

Gipsskivorna antas från start ha en relativ fuktighet på 95 % varifrån uttorkning sker. Värdet väljs med utgångspunkt från resultaten från väggförsöken.

Programmet 1D-HAM hanterar i vårt fall endast ett lager, bestående av gipsskivan och dess ytmotstånd. I beräkningen delas lagret in i sju celler över vilka simuleringar utförs. Antalet celler bestäms av önskad noggrannhet i simuleringarna. Ett udda antal celler bestäms för att matcha simuleringarna för temperaturen mot simuleringarna för RF vilken beräknas för lagrets mittpunkt.

Resultaten från de icke stationära beräkningarna jämförs med de stationära beräkningarna för de olika fallen för att få en uppfattning om dess rimlighet.

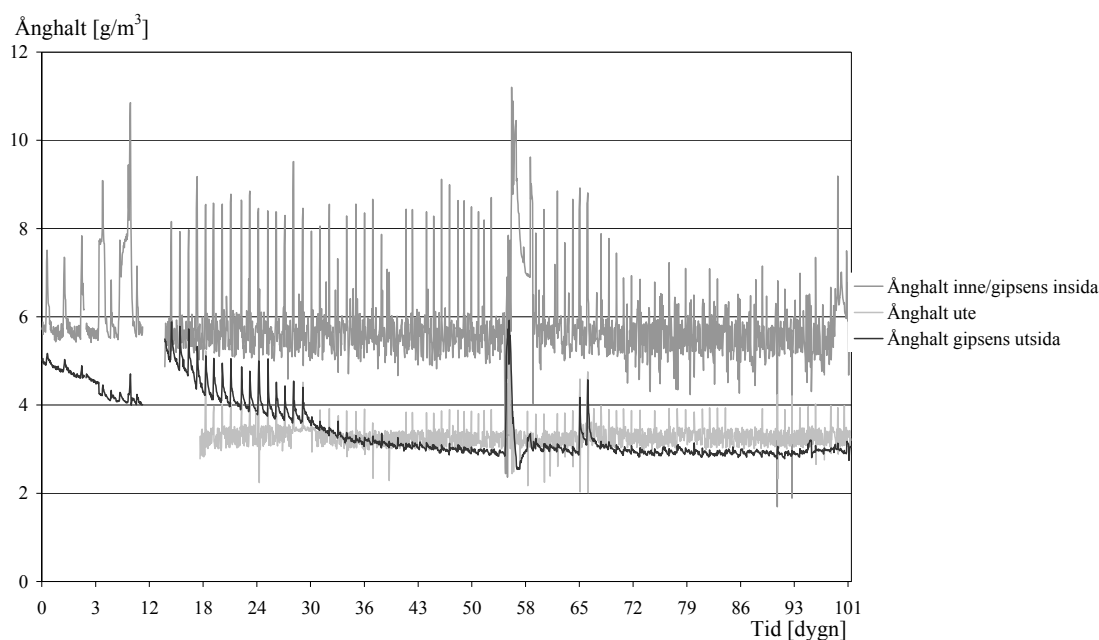
Tabell 4.3: Tabell över materialdata, utförlig tabell med källor redovisas i bilaga 2.

Väggdel	Tjocklek L [mm]	Värmemotstånd R [(m ² ·K)/W]	Ånggenomgångsmotstånd Z [s/m]	Värmekapacitet C [J/K·m ³]
Ångspärr	0,2	-	3 300 000	
Ångbroms	0,2	-	140 000	
Gips	12,5	0,06	försumbart	806 600
Tätskikt	1,0	-	1 500 000	

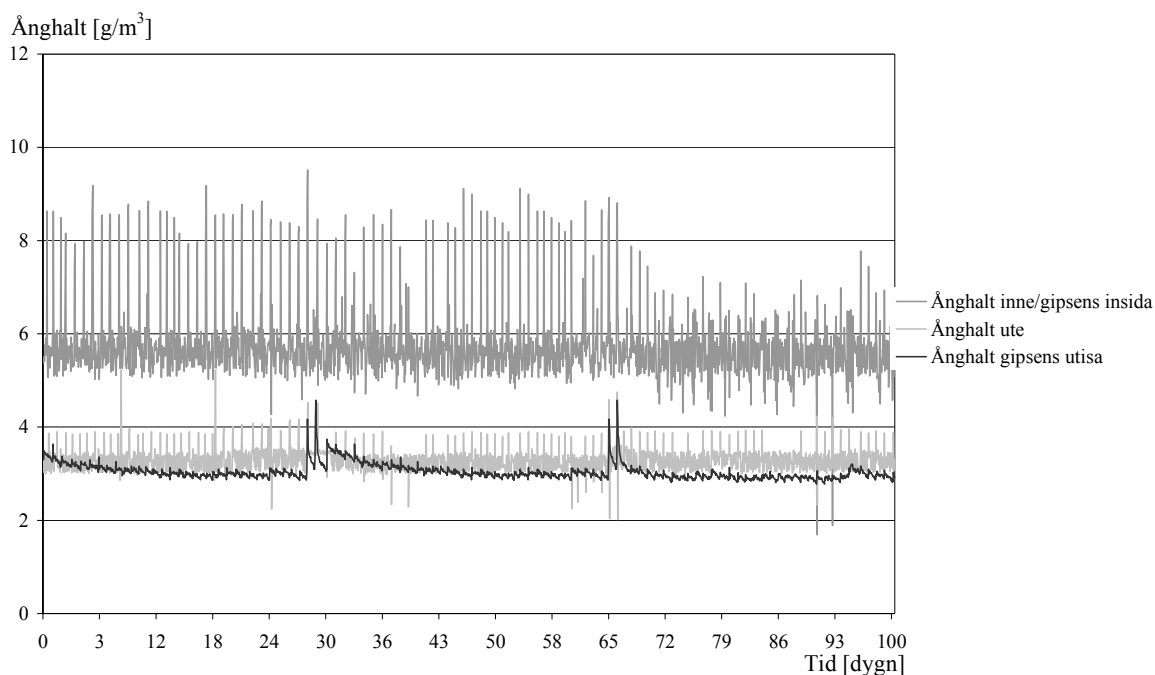
Klimatfil motsvarande klimatrum

Avsikten med en klimatfil som speglar klimatrumsvariationer är att kunna få en uppfattning om hur väl programmet speglar verkligheten med avseende på uttorkning.

Klimatfilen utgår från de loggade mätvärdena i försöksväggen. Mätvärden från start och fram till dygn 100 används. Mätvärdena justeras så att perioder med ojämnt klimat ersätts med jämnare perioder. Ursprunglig och justerad klimatfil redovisas i figur 4.5 respektive 4.6 nedan. I klimatfilen anges temperatur och ånghalt på gipsens ut- och insida utanför tätskikt och ångspärr respektive ångbroms. Värden för temperaturer i väggen hämtas från punkt 18 och 22 i väggtyp 3. Temperaturen är i dessa punkter representativ även för de andra väggtyperna. Värden för ånghalt på gipsens utsida hämtas från RF-givaren i punkt 22. Bakom gipsskivan i väggtyp 3 finns ingen ångspärr eller ångbroms och gipsskivan är torr vid start, därför antas detta värde som normvärde för hela väggen. Fukthalten på gipsens insida utanpå tätskiktet antas vara samma som i rumsluften då skiktet av kakel och fog är genomsläppligt eftersom fogen är genomsläpplig.



Figur 4.5: Ojusterad ånghalt



Figur 4.6: Justerad ånghalt

Variation 1 – Ökad temperatur inomhus med 5 grader

Temperaturen inomhus antas öka 5 grader Celsius för att undersöka hur uttorkningsförloppet påverkas av en temperaturhöjning. I klimatfilen anpassas temperaturen på gipsens ut- och insida till de ändrade temperaturförhållandena. Omräkning görs genom en stationär beräkning av uppmätta temperaturer i klimatfilen. Utgångstemperaturer är i denna beräkning de temperaturer som uppmätts i de båda klimatrutorna. De RF-värden som används är de samma som i den ursprungliga klimatfilen, vilket medför att ånghalten i skivorna ökar. RF-värdena antas vara de samma för att risken för mögelpåväxt ska kunna utvärderas.

Variation 2 – Ökad ånghalt inomhus med 5 g/m³

Ånghalten inomhus antas öka 5 g/m³ för att undersöka hur uttorkningsförloppet påverkas av ett fuktigare klimat. I klimatfilen anpassas ånghalten på gipsens ut- och insida till de ändrade ånghaltsförhållandena. Omräkning av uppmätt ånghalt på gipsens utsida görs genom en stationär beräkning. Temperaturer på gipsens ut- och insida är de samma som i den ursprungliga klimatfilen.

Verkligt klimat

Avsikten med att simulera ett klimat liknande ett normalt badrumsklimat är att få en uppfattning om hur uttorkningen kan se ut i verkligheten och om det föreligger risk för skador samt om resultaten från försöket går att applicera på ett fall med verkligt klimat. Klimatet utomhus utgörs av klimatdata från Karlstad under månaderna december, januari och februari under ett "normalår". Karlstads klimat valdes då medeltemperaturen från december till februari är $-4,2$ °C. Inomhusklimatet byggs upp av ånghalten utomhus adderat med en upprepning av en mätning av fuktillskott från en studie på badrum i Växjö (Bagge et al., 2004). Även inomhustemperaturen är hämtad från denna studie. Genom stationära

beräkningar görs för varje värde på det omgivande klimatet en omvandling till ånghalt och temperatur för den aktuella placeringen av mätpunkter i väggen.

4.2.4 Felkällor

Ångpermeabilitet är fuktberoende

Ångpermeabiliteten, δ , bör vid icke stationära beräkningar justeras allteftersom fuktillståndet ändras i konstruktionen. Detta kan ske genom att sambandet $\delta(\varphi)$ formuleras som ett matematiskt funktionssamband, antingen genom en kontinuerlig funktion eller genom en polygonkurva. I aktuella beräkningar används inte något sådant samband, vilket kan ge upphov till felkällor.

Tidsintervall

I programmet simuleras hela timvärden, vilket innebär att en tillfällig förhöjning av luftens ånghalt, som kanske endast varar i tio minuter, får en varaktighet i programmet på 60 minuter. Det kan också vara tvärt om. Då klimatet i Växjöstudien endast loggades en gång i timmen kan ånghaltstoppar passerat obemärkta då fukten vädrats ut när klimatet inte loggas. En annan felkälla är att fogen mellan kakelplattorna och tätskiktet buffrar fukt efter vattenbegjutning, där sker en viss fördröjning från det att väggen spolats tills fukten försvinner från materialet. Hur stor den fördröjningen är vet vi inte.

Förhöjd ånghalt bakom fuktiga gipsskivor

I simuleringarna borde klimatfilens ånghalt bakom ångspärren eller ångbromsen vara något högre än väggtyp 3, vilken används, under uttorkningen. Detta på grund av att en fuktig gipsskiva avger fukt som höjer ånghalten något bakom ångspärr och ångbroms. Detta har inte beaktats och kan vara en möjlig felkälla.

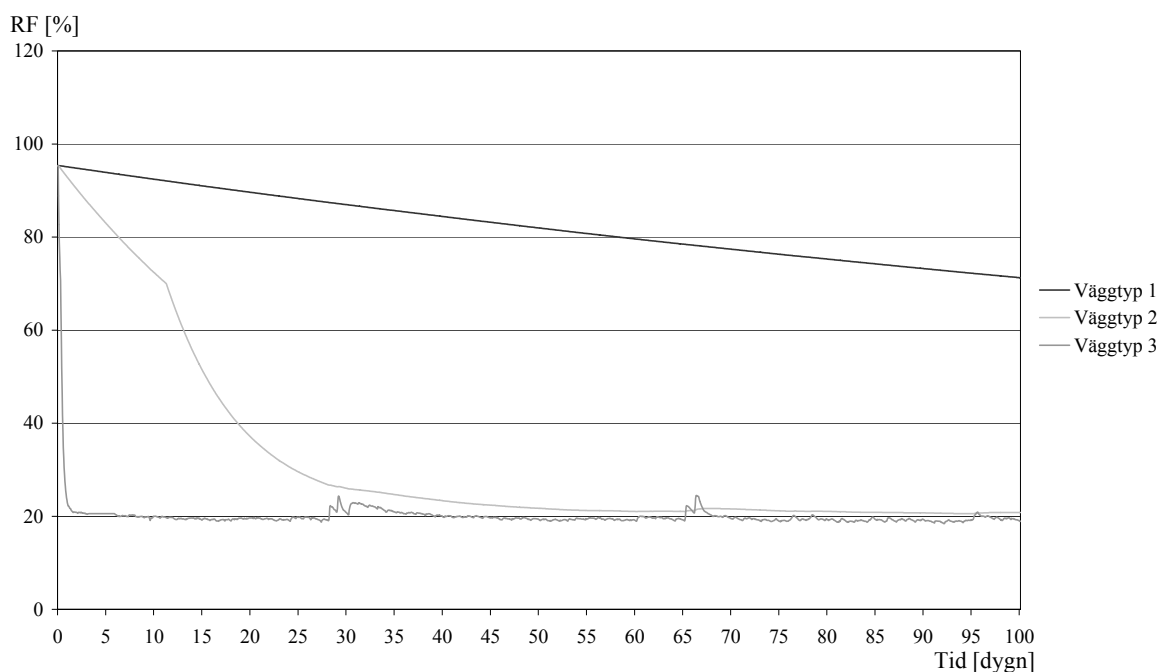
Luftläckage

Luftläckaget är i programmet satt till noll men kan i verkligheten vara högre.

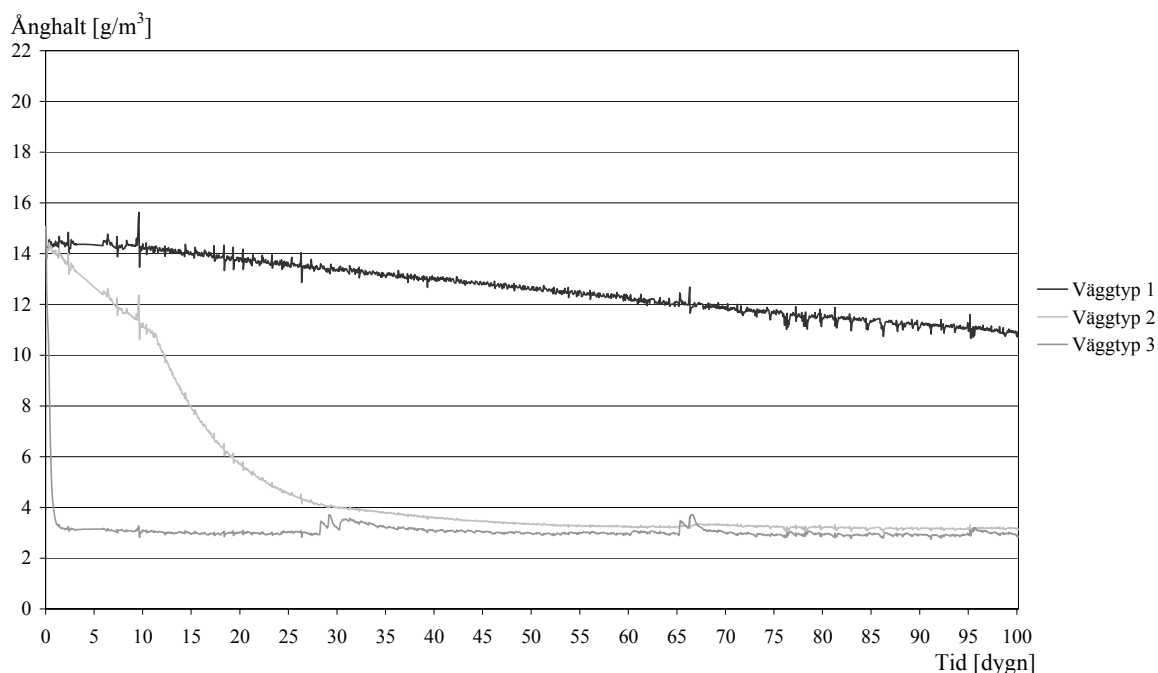
4.2.5 Resultat av simuleringar

Klimatfil motsvarande klimatrum

De simuleringar som utförs med klimatdata för de klimatrum som används i försöken visar att den relativa fuktigheten för väggtyp 1 sjunker från 95 % RF till 71 % under 100 dygn, se figur 4.7 nedan. Motsvarande värden för ånghalten är $14,3 \text{ g/m}^3$ respektive $10,7 \text{ g/m}^3$. RF sjunker från 95 % till 22 % i väggtyp 2 under de första 50 dyggen då jämvikt uppnås. Motsvarande värden för ånghalten är $14,3 \text{ g/m}^3$ respektive $3,3 \text{ g/m}^3$, se figur 4.8 nedan. Krusningarna på ånghaltskurvorna beror på temperaturvariationer i klimatrutten. Väggtyp 3 kommer i jämvikt med omgivningen snabbt, inom en vecka från start är RF i jämvikt med det omgivande klimatet. Den relativa fuktigheten antar i väggtyp 3 ett värde på 20 % och ånghalten ett värde på 3 g/m^3 . Den stationära beräkningen visar för väggtyp 3 motsvarande värden på 21 % och $3,4 \text{ g/m}^3$. Simuleringen uppvisar vid en relativ fuktighet på 70 % en brytpunkt, vilken beror på hur sorptionskurvan för gipset definieras i programmet. Detta gäller för alla simuleringar nedan.



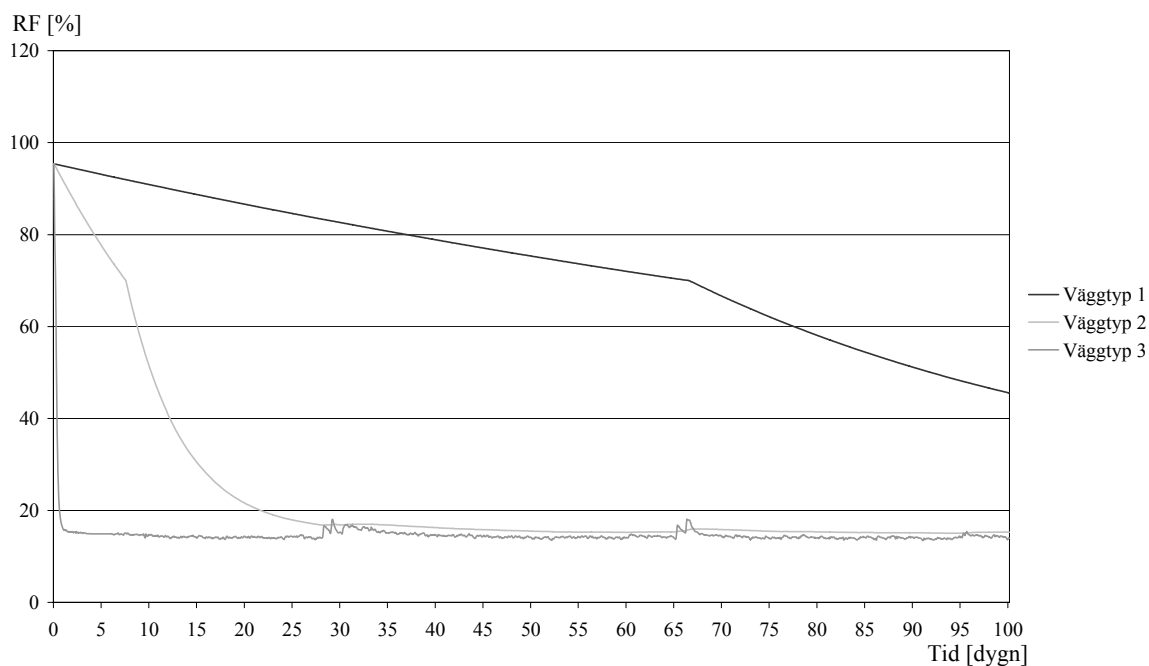
Figur 4.7: Simuleringar av relativ fuktighet utförda med klimatrutterns klimatdata



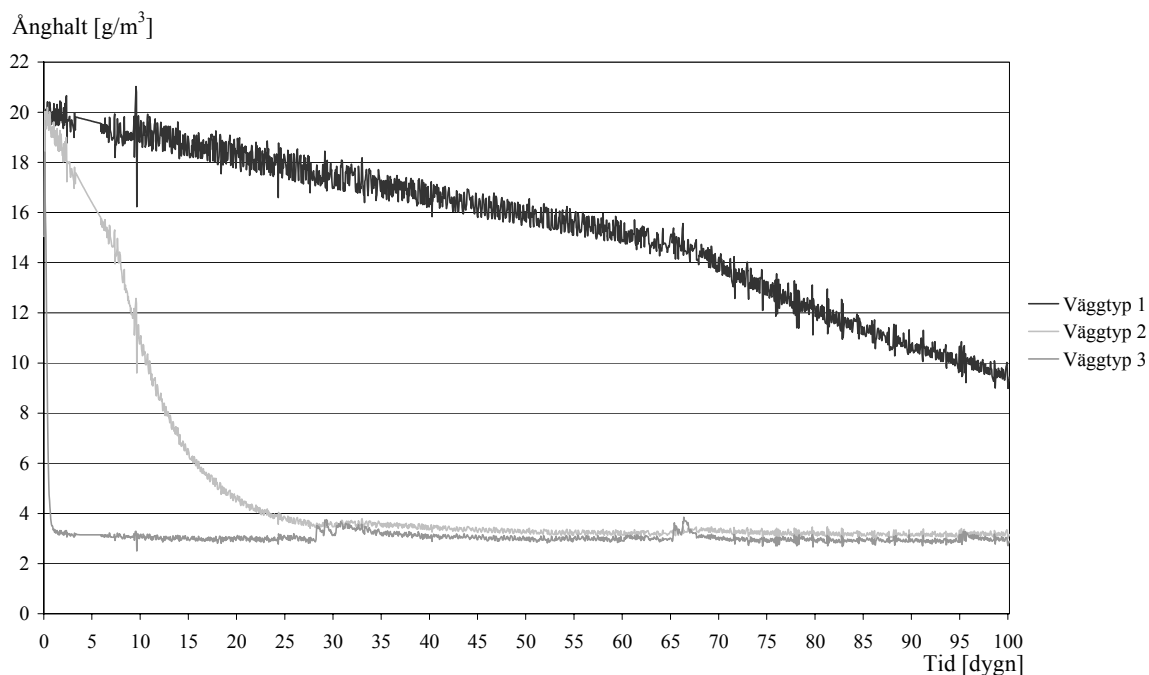
Figur 4.8: Simuleringar av ånghalt utförda med klimatrummets klimatdata

Variation 1 – Ökad temperatur inomhus med 5 grader

De simuleringar som utförs med klimatdata med ökad temperatur inomhus visar att den relativa fuktigheten för väggtyp 1 sjunker från 95 % RF till 45 % under 100 dygn. Motsvarande värden för ånghalten är $20,2 \text{ g/m}^3$ respektive $9,4 \text{ g/m}^3$. RF sjunker från 95 % till 16 % i väggtyp 2 under de första 50 dygnen då jämvikt uppnås. Motsvarande värden för ånghalten är $20,2 \text{ g/m}^3$ respektive $3,2 \text{ g/m}^3$. Diagram över simulerat uttorkningsförlopp visas i figur 4.9 respektive 4.10 nedan. Ånghalten visar att jämviktstillstånden i väggtyp 2 och 3 ligger på ungefär samma värden som för simuleringen med klimatrumsklimat. Den relativa fuktigheten antar i väggtyp 3 ett värde på 14 % och ånghalten ett värde på $2,9 \text{ g/m}^3$. Den stationära beräkningen visar motsvarande värden på 16 % och $3,4 \text{ g/m}^3$.

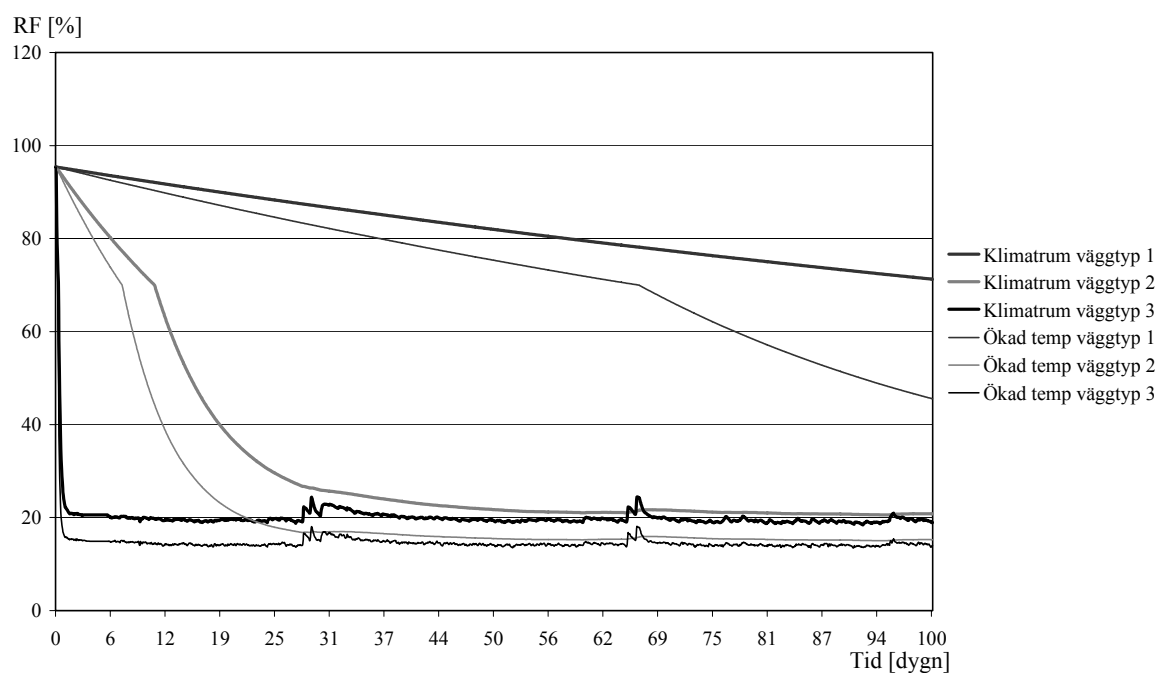


Figur 4.9: Simuleringar av relativ fuktighet utförda med ökad inomhustemperatur



Figur 4.10: Simuleringar av ånghalt utförda med ökad inomhustemperatur

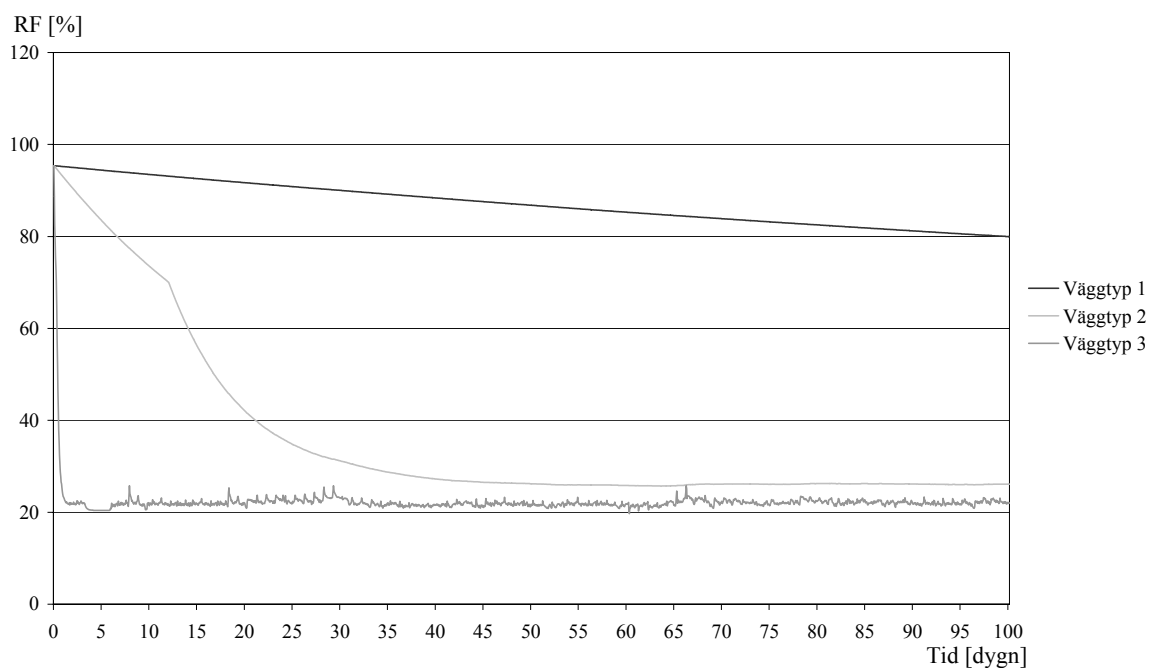
Då temperaturen höjs inomhus och RF-värdena bibehålls kommer ånghalten i väggen att öka. En jämförelse mellan klimatrummets simulering och simulering med ökad temperatur visas nedan i figur 4.11. RF-värdena jämförs för att visa på hur risken för mögel förändras.



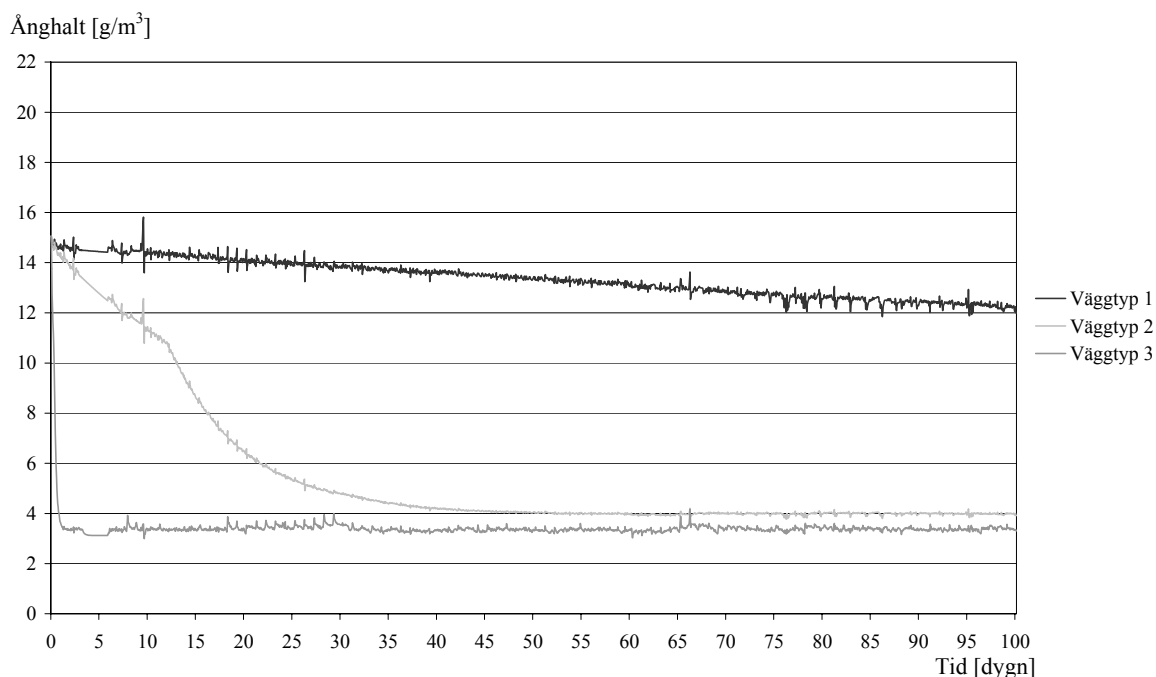
Figur 4.11: Simulering med ökad inomhustemperatur jämförd med simulering av klimatrumsklimat

Variation 2 – Ökad ånghalt inomhus med 5 g/m^3

De simuleringar som utförs med klimatdata med ökad ånghalt inomhus visar att den relativa fuktigheten för väggtyp 1 sjunker från 95 % RF till 80 % under 100 dygn. Motsvarande värden för ånghalten är $14,8 \text{ g/m}^3$ respektive $12,1 \text{ g/m}^3$. RF sjunker från 95 % till 26 % i väggtyp 2 under de första 50 dygnen då jämvikt uppnås. Motsvarande värden för ånghalten är $14,8 \text{ g/m}^3$ respektive 4 g/m^3 . Den relativa fuktigheten antar i väggtyp 3 ett värde på 22 % och ånghalten ett värde på $3,3 \text{ g/m}^3$. Den stationära beräkningen visar motsvarande värden på 22 % och $3,5 \text{ g/m}^3$. Diagram över simulerat uttorkningsförlopp visas i figur 4.12 respektive 4.13 nedan.

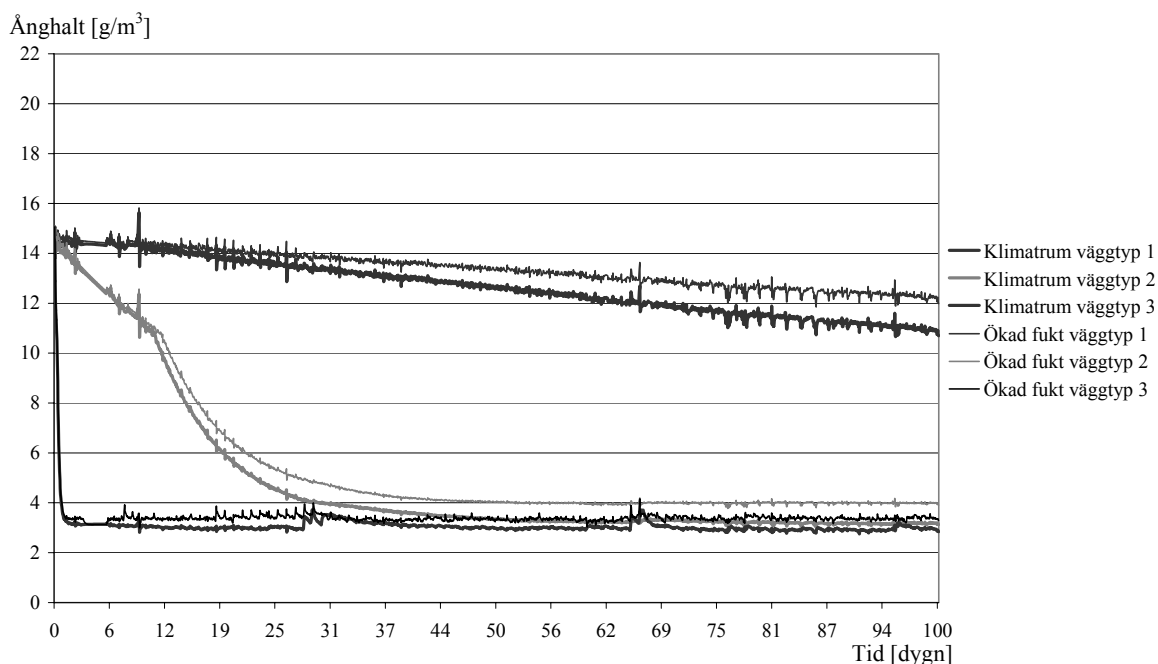


Figur 4.12: Simuleringar av relativ fuktighet utförda med förhöjd ånghalt inomhus



Figur 4.13: Simuleringar av ånghalt utförda med förhöjd ånghalt inomhus

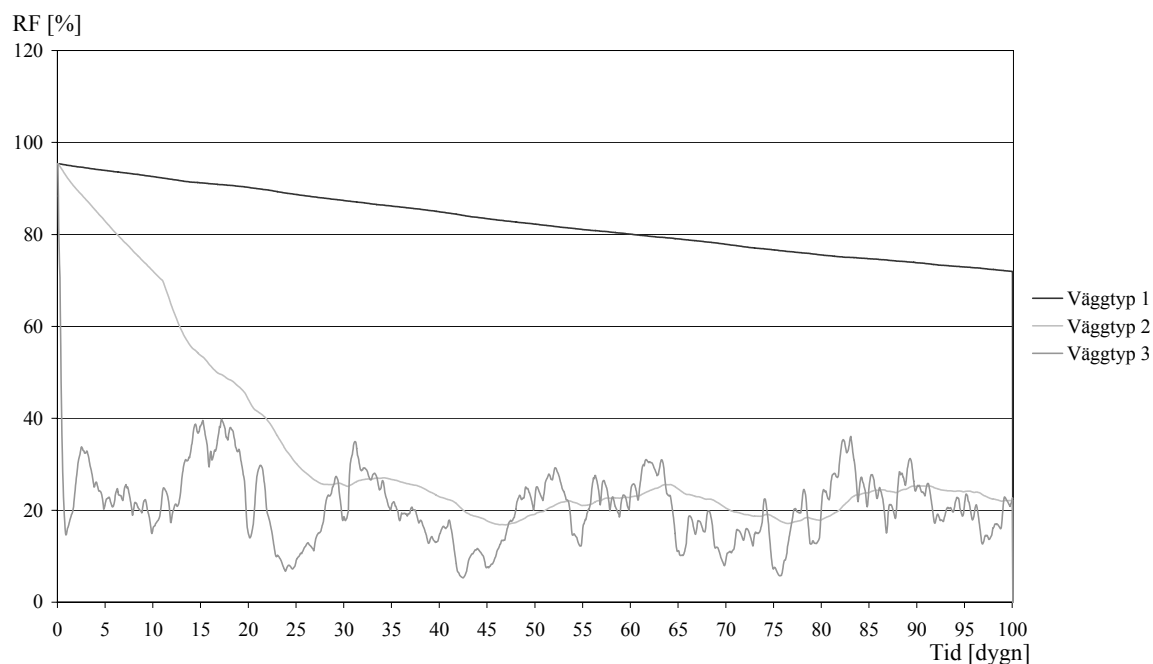
Då ånghalten i inomhusluften höjs sker uttorkningen något långsammare än i den ursprungliga klimatfilen. De slutliga värdena på ånghalten efter 100 dygn antar högre värden än för simuleringen med klimatrums-klimat. Ånghalten visar även att gipsskivan i väggtyp 2 och 3 uppnår ett högre fuktillstånd vid jämvikt än i klimatrums-klimatet., se figur 4.14 nedan.



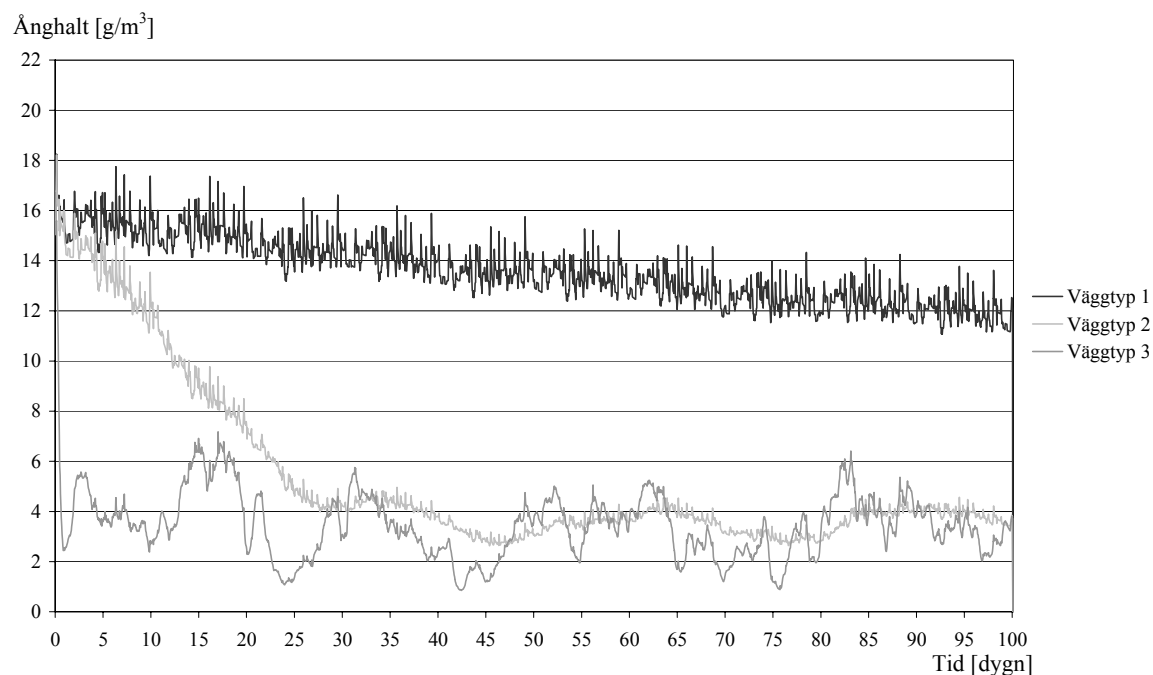
Figur 4.14 Simulering med ökad inomhusfukthalt jämförd med simulering av klimatrumsklimat

Verkligt klimat

Uttorkningsprofilerna skiljer sig från de övriga simuleringarna. Det varierande omgivande klimatet visar sig tydligt i simuleringen med kraftiga utslag i ånghalten. Tendenserna för vågtyp 1 är dock minskad ånghalt över tiden. Resultaten hos vågtyp 1 skiljer sig inte mycket från simuleringarna med klimatrumsklimatet om topparna i ånghaltsdiagrammen negligeras. Det verkliga klimatet har högre temperatur än klimatrummet, men även ett högre fukttillskott, vilket kan ge uttorkningsprofiler som ser ut på samma sätt som klimatrumsklimatets uttorkningsprofiler. Simuleringarna visar att den relativa fuktigheten sjunker från 95 % RF till 72 % i vågtyp 1 under 100 dygn. Motsvarande värden för ånghalten är $14,8 \text{ g/m}^3$ respektive 12 g/m^3 . RF sjunker från 95 % till omkring 20 % i vågtyp 2 under de första 50 dygna och därefter följer väggens fukttillstånd det omgivande klimatet. Motsvarande värden för ånghalten är $15,6 \text{ g/m}^3$ respektive 4 g/m^3 . Diagram över simulerat uttorkningsförlopp visas i figur 4.14 respektive 4.15 nedan. Vågtyp 3 uppvisar större krusningar på kurvorna för såväl relativ fuktighet som ånghalt jämfört med vågtyp 2, men kommer lika snabbt i jämvikt med det omgivande klimatet som i de övriga simuleringarna.



Figur 4.14: Simuleringar av relativ fuktighet utförda med verkligt klimat



Figur 4.15: Simuleringar av ånghalt utförda med verkligt klimat

5 Analys

5.1 Utvärdering av resultaten från väggförsöket

Klimatrummen

Medelvärde på fukttillskottet mellan de olika klimatrummen är $2,3 \text{ g/m}^3$, vilket kan jämföras med värdet $2,9 \text{ g/m}^3$ som uppmätts för flerbostadshus under uppvärmningssäsongen.

Onoggrannhet av mätningar

Onoggrannheten hos temperaturmätningarna uppgår till $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket påverkar mätnadsånghalten. Onoggrannheten i mätningarna av den relativa fuktigheten påverkar ånghalten. Vid höga relativa fuktigheter blir onoggrannheten större än vid låga och därmed blir felet större. Vid kalla temperaturer är temperaturberoendet mindre än för varma temperaturer med avseende på fukt bäring. En felmarginal på $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ger således ett större fel vid återgivning av mätnadsånghalten vid varmare temperaturer än vid kalla temperaturer. Felet hos RF-givaren kunde enligt kalibreringen, se kapitel 3.1.7, uppgå till 9 % vid 95 % RF och $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Ger samtidigt termistorn en felmätning på $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ blir felet i ånghalten $1,7 \text{ g/m}^3$. Mätningarna visar vid den här temperaturen och relativa fuktigheten att kondensation sker, trots att det i verkligheten inte är fallet. Än värre är det då mätningarna visar att ingen kondensation sker, men då det i verkligheten sker kondensation. Då RF-givarna visar för höga värden vid höga relativa fuktighetsnivåer är risken mindre för feltolkning.

Skillnader i uttorkningshastighet

De olika väggtypernas uttorkningsförlopp visar på stora skillnader i uttorkningshastighet. Väggtyp 1 och 2 uppvisar tydliga skillnader i hastighet men även tydliga likheter i kurvornas form. Uttorkningshastigheten påverkas markant av valet mellan ångbroms och ångspärr. Uttorkningsförloppet för väggtyp 3 kan endast delvis jämföras med de övriga eftersom gipsskivan var torr från start. Väggtyp 3 kommer snabbt i jämvikt från sitt startvärde.

Spridning i mätresultat

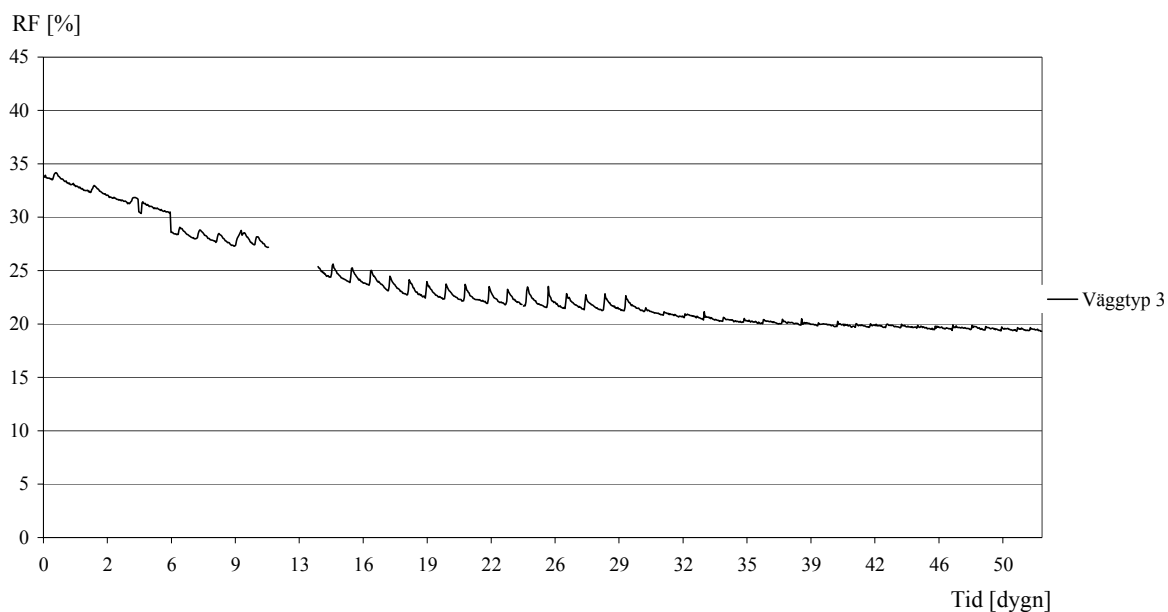
En viss spridning förekommer i mätningarnas resultat, även i de resultat från givare som är placerade intill varandra. Spridningen beror troligen till stor del av de individuella givarnas mätnoggrannhet och är inte större än att den kan accepteras. Noggrannheten i mätningarna påverkas av RF-nivån, ju högre RF desto sämre mätnoggrannhet utlovas av tillverkaren. Då givarna är uppe i mycket höga RF-nivåer blir noggrannheten sämre men eftersom kurvorna följs åt är noggrannheten acceptabel. Då RF-givarna levererar mätvärden över 100 % beror det troligen på den låga noggrannheten och att vatten kondenserat på givaren.

Variationer av gipsskivornas ånghalt

Ånghalterna i väggtyp 1 är högre i mätpunkterna närmast väggtyp 2, ånghalterna i väggtyp 2 är högre i mätpunkterna närmast väggtyp 1 och likaså är ånghalterna i väggtyp 3 högre i mätpunkterna närmast väggtyp 2. Skillnaderna är små och kan bero av mätarnas individuella mätnoggrannhet eller slumpmässiga skillnader inom väggarna, men även att det sker en fukttransport mellan gipsskivorna. Om påverkan är riktig är skillnaderna så små att en fuktig gipsskiva inte borde ha skadlig inverkan på en närliggande skiva under uttorkning. I försöket borde skivorna varit åtskilda med en ångspärr för att förhindra fuktvandring mellan skivorna.

Uttorkningskurvornas utseende

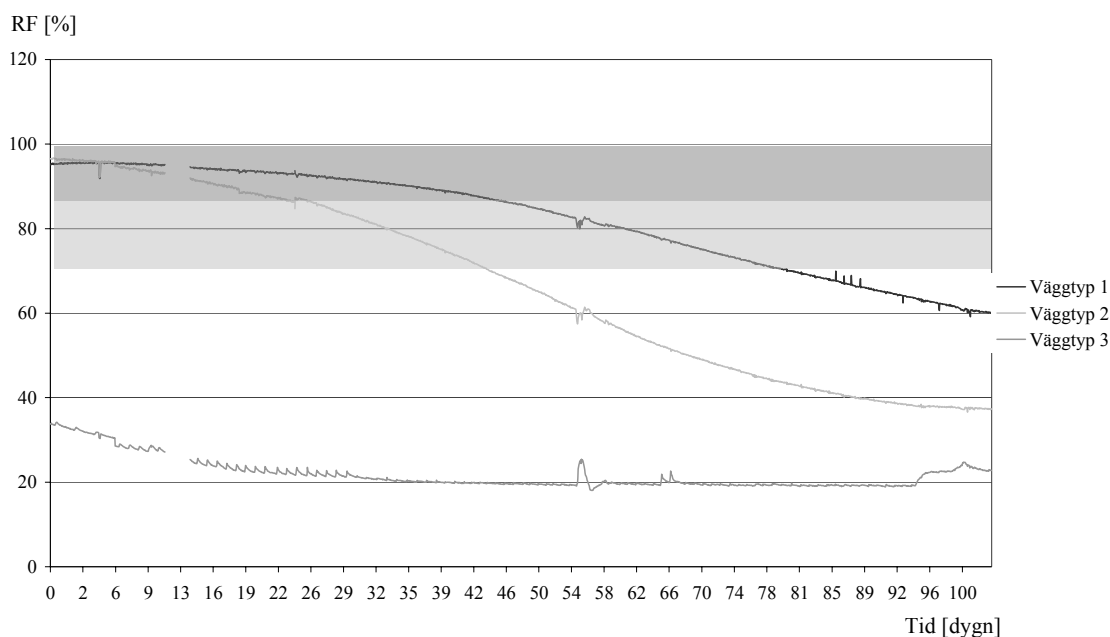
I väggtyp 1 och väggtyp 2 verkar uttorkningshastigheten avklinga under slutet av försökstiden. Detta kan förklaras med att den drivande potentialen, i detta fall skillnaden i ånghalt, minskar i takt med att gipsskivan torkar ut. I väggtyp 3 förekommer lokala toppar i första tredjedelen av kurvan, se figur 4.16 nedan. Topparna orsakas troligen av att sorptionskurvan har ett temperaturberoende, se kapitel 2.1.3. Att topparna enbart syns i väggtyp 3 beror på att väggens fuktinnehåll är betydligt lägre än för väggtyp 1 och 2. Avvikande klimat i de omgivande rummen visar sig därför tydligare.



Figur 5.1: Simuleringar av ånghalt utförda med verkligt klimat

Mögelrisk

I försöket åskådliggörs tydligt att inbyggd fukt kan leda till mögelangrepp i väggar byggda likt väggtyp 1 och väggtyp 2. I väggarna är temperaturen gynnsam för mögelpåväxt. Hög mögelrisk föreligger i väggtyp 1 fram till 50 dagar och låg till måttlig risk fram till 80 dagar efter inbyggnad. I väggtyp 2 föreligger hög mögelrisk fram till 25 dagar och måttlig risk fram till 45 dagar efter inbyggnad se figur 5.2. Det mörkare fältet visar hög risk för mögelpåväxt och det ljusare fältet visar låg till måttlig risk för mögelpåväxt.



Figur 5.2: Mögelrisk för de olika väggkonstruktionerna

Fuktkvot i träreglar

Fuktkvoten för träreglarna ligger under hela mätperioden långt under högsta tillåtna fuktkvot vid inbyggnad. Variationerna i klimatrumsen visar inte något utslag i värdena på fuktkvoterna, vilket kan härledas till elektrodernas islagsdjup och fuktvariationernas längd som är för kort. Klimatrummens variationer dämpas av materialen mellan rummen och fuktkvotsmätaren.

5.2 Jämförelse mellan försöksresultat och beräknade resultat

Stationär beräkning

De stationära beräkningarna, som beskrivs i kapitel 4.1, visar ett fukttillstånd då väggen kommit i jämvikt med ett omgivande klimat. Torkning av gipsskivan sker mot den kalla sidan med skillnad i ånghalt som drivande potential. Eftersom gipsskivan är försedd med ett ”tätt” material mot den varma sidan och att uttorkningen sker åt den kalla sidan kommer gipsskivan anta lägre fuktighetsnivå än vad det varma rummet har. De stationära beräkningarna belyser detta påstående. För väggtyp 3 kan en stationär beräkning jämföras med väggförsöket eftersom fuktnivån i försöket uppnått jämvikt med det omgivande klimatet. Jämförelsen visar att beräkningen stämmer väl överens med väggförsöket. Den relativa fuktigheten i beräkningen är 21 % vid jämvikt medan den i väggförsöket ligger på strax under 20 %, vilken ligger inom ramen för en mätnoggrannhet på ± 2 % RF.

Icke stationär beräkning

Uttorkningsförloppen enligt de icke stationära simuleringarna stämmer dåligt överens med de från försöken, jämför exempelvis figur 3.13 kapitel 3.1.6 och figur 4.8 i kapitel 4.2.5. Simuleringarna med data från klimatrumsen visar snabbare uttorkning för väggtyp 2 än vad försöken uppvisar. Väggtyp 1 torkar i simuleringarna ut något långsammare än i försöken. I simuleringarna antas att även väggtyp 3 har samma ånghalt som de övriga väggtyperna vid start, men i försöket är ånghalten lägre vid start. Programmet visar för väggtyp 3 en snabbare uttorkning än vad verkligheten utvisar. Ånghalten vid jämvikt visar dock samma värde såväl för simuleringen som för försöket.

Skillnaderna mellan simuleringarna och försöken kan bero på ett antal felkällor som listas i kapitel 4.2, men även att noggrannheten i mätningarna är för låg. Det bör än en gång poängteras hur svårt det är att välja korrekta materialdata och att programmet räknar med konstanta parametrar som i verkligheten varierar med temperatur eller relativ fuktighet. Då ett material torkar ut skiljs det i teorin mellan tre olika uttorkningsskeden där uttorkningen beräknas på olika sätt. I verkligheten är dock uttorkningen mer komplex och inga tydliga gränser mellan dessa skeden existerar. Datorprogrammet 1D-HAM behandlar uttorkningen efter två av dessa tre skeden, fukttransport i vätskefas behandlas inte i programmet.

Stationär beräkning i jämförelse med icke stationär beräkning

Det förekommer skillnader mellan de stationära och de icke stationära beräkningarna. De icke stationära beräkningarna utförs under en tidsperiod på 100 dygn, medan de stationära beräkningarna inte tar hänsyn till tidsaspekten utan ger ett sluttillstånd i väggen då den uppnått jämvikt med det omgivande klimatet. De stationära beräkningarna beaktar inte heller väggens starttillstånd. De icke stationära beräkningarna beaktar väggens starttillstånd och borde således ge ett resultat som ligger närmare verkligheten. I de icke stationära beräkningarna beaktas inte temperatur- och RF-beroendet hos materialen och felet blir således större än för de stationära beräkningarna eftersom både temperaturen och den relativa fuktigheten varierar under uttorkningen.

5.3 Analys av RF-givare som används i försöket

Då mätnoggrannheten hos givaren är lägre vid höga relativa fuktigheter än vid låga bör användningsområdet generellt sett begränsas till relativt torra miljöer. Om givaren ska användas vid högre relativa fuktigheter bör mättiden vara kort och kalibrering bör kunna ske med enkelhet alternativt måste en osäkerhet i mätresultaten accepteras.

I väggförsöket verkar givarna fungera väl. Mätnoggrannheten är tillräckligt stor för denna typ av försök där en felmarginal på $\pm 5\%$ accepteras. Givarna levererar värden som inte skiljer sig från varandra i större utsträckning och uttorkningsprofilerna följer varandra väl.

Givarnas största fördel och den absoluta förutsättningen för att de ska kunna användas i aktuellt försök är deras ringa storlek. Då sensorn sitter relativt skyddad från smuts och damm i väggen är det aktuella utförandet med krympslang som släpps nedanför sensorn en acceptabel utformning. Den nedsmutsning av sensorn som är aktuell i försöket bedöms inte påverka givarens reaktionshastighet.

5.4 Analys av sorptionskurva

Svårigheten med att få fram korrekta materialdata understryks än en gång i försöket med bestämning av sorptionskurvor för våtrumsgips. Under försökets gång konstateras att uttorkningen av gipsskivan tar väldigt lång tid och att tidsperioden ligger utanför examensarbetets tidsram. Här konstateras även att uttorkning av ett material är en process som inte sker med konstant hastighet, utan att uttorkningshastigheten avtar med materialets fukthalt enligt de olika uttorkningsskedena i kapitel 2.1.2. Absorptionskurvan ligger alltid under desorptionskurvan för samma material och vid en jämförelse med Hedenblad (1996) märks att absorptionskurvan från försöket ligger ovanför desorptionskurvan för standardgips. Detta kan tyda på att våtrumsgips kan ha större benägenhet att lagra fukt än vad standardgips har. Det kan också tyda på att försöksproverna inte torkade ut tillräckligt och att en felaktig torrsvikt därför erhöles. Absorptionskurvan ligger då högre än om gipsen skulle varit helt torr.

Det bör också poängteras att gipssammansättningen från olika tillverkningspartier kan skilja sig från varandra och att sorptionskurvorna därför ser annorlunda ut. Vid en jämförelse med Nevander & Elmarsson (1994) där sorptionskurvorna bestämdes 1972, märks att sorptionskurvan från försöket ligger långt under absorptionskurvan för standardgips. En jämförelse mellan Hedenblad (1996) och Nevander & Elmarsson (1994) visar att sorptionskurvorna hos Nevander & Elmarsson (1994) antar fukthalter som är mycket högre än hos Hedenblad (1996). Gipsen har olika densiteter i Hedenblad (1996) och Nevander & Elmarsson (1994). Av de olika densiteterna att döma verkar det vara olika typer av gips och en jämförelse rakt av kan vara att förhast.

5.5 Övriga analyser

Kondens på vindskyddet

Under försökets gång upptäcks vattenansamling på insidan av vindskyddet i väggen. De stationära beräkningarna bekräftar att det inte krävs stor minskning i temperatur för att vatten ska kondensera. I samband med att aggregatet frostas av en gång per dygn sker en temperatursänkning i det kalla klimatrummet då aggregatet sätts igång. Temperatursänkningen är tillräcklig för att kondensation ska kunna ske.

Ångbromsens användarvänlighet

För att uppnå lufttätet i ett klimatskal har en ångbroms stora vinster jämfört med att inte använda någon form av ångspärr alls i våtrumsvägg. Användarvänligheten är högre då ångbromsen monteras på samma sätt som en vanlig ångspärr och skarvar är lätta att få lufttäta. Då tätheten är enkel att uppnå är risken för konvektion liten. Då ingen ångspärr eller ångbroms används är tätheten svårare att uppnå och risken för konvektionsproblem är därmed större. Känsligheten för skador i tätskiktet är därför extra stor.

6 Slutsats

6.1 Slutsatser av studien

Vilka förtjänster har en våtrumsvägg med ångbroms gentemot de mer traditionella byggnadstekniska lösningarna med eller utan ångspärr?

I en våtrumsvägg med ångbroms tillåts fukt att torka ut snabbare än i en vägg med en tätare ångspärr. Trots att uttorkningen sker snabbare med ångbroms förekommer risk för mögelpåväxt under en längre tid. I ett verkligt badrumsklimat är fukthalten högre vilket kan göra uttorkningsprocessen längre jämfört med försökets resultat. Tidsperioden med risk för mögelpåväxt borde därför vara något längre i verkligheten.

Systemet med ångbroms är lättare att få lufttätt än ett system utan ångspärr/ångbroms och i det avseendet är användarvänligheten bättre. Anslutningar mellan våtrumsvägg och övriga ytterväggar är lättare att få täta samtidigt som risken för konvektion vid hål i tätskikt minskas. Ångbromsen kan användas antingen i hela eller i en del av en byggnad.

Ångbromsen fungerar som ett mellanting, mitt emellan systemen med eller utan ångspärr. Materialet är mer förlåtande än alternativet avseende uttorkning av fukt i det ena fallet och användarvänlighet i det andra. Ångbromsen fungerar bra som ett förlåtande alternativ till de traditionella byggnadstekniska lösningarna för våtrumsvägg.

Överensstämmer studiens beräkningar och försökets resultat? Är programmet 1D-HAM tillämpligt som komplement till försöket?

Programmet 1D-HAM har givit överensstämmande resultat för väggtypen med ångspärr jämfört med försökets resultat. Beräkningarna med ångbroms ger en snabbare uttorkning än den som redovisats i försöket. Beräkningarna för väggtypen utan ångspärr/ångbroms visar på en snabbare uttorkning än den registrerade trots att gipsskivan här var torr vid försökets start. Då programmets simuleringar bortser från flera parametrar kan det vara bra att utvärdera för vilka väggtyper/väggdelar som programmet är applicerbart på. Programmet kan ses som en vägledning men fungerar inte helt tillfredställande. Resultatet ger snarare indikationer på hur uttorkningen ser ut och hur de olika väggtypernas uttorkning förhåller sig till varandra samt hur variationer i klimatdata inverkar på resultatet. Vid användning av programmet bör man vara medveten om att det underskattar vissa problem, till exempel att uttorkningstiden blir kortare än i verkligheten.

Är RF-givarna av sorten Honeywell HIH-3610-002 lämpliga att bygga in vid fuktmätning i väggar?

I aktuellt försök fungerar givarna bra. Reaktionstiden är kort och noggrannheten är tillräckligt stor. Då fuktiga gipsskivor byggdes in i väggen av misstag var det ursprungliga användningsområdet betydligt torrare. Tillförlitligheten i mätresultaten anses vara goda trots de höga fuktnivåerna som inledde försöket. Då miljön som omger givarna är relativt ren fungerar utformningen med oskyddad sensor bra. En nackdel är att givarna måste kopplas med sladd till en mät dator vilket begränsar deras användningsområde. Slutsatsen blir alltså att för fuktmätning i lätta regelväggar i relativt torra och rena miljöer fungerar RF-givarna väl med deras aktuella utformning.

6.2 Studiens trovärdighet

Trovärdighet av RF-givarnas användningsområde

Honeywellinstrumenten har aldrig använts förut i liknande försök, men de verkar ge trovärdiga resultat. Mätkurvorna följer varandra väl och små variationer av den relativa fuktigheten registreras av samtliga givare. Då givarna inte gick igenom en noggrann kalibrering före försökets start och att samtliga givare inte kan kalibreras efter försökets avslut föreligger en viss osäkerhet i hur stor mätnoggrannheten är i verkligheten.

Trovärdighet vid val av materialdata

I projektet stöttes svårigheter på ett flertal gånger vid val av materialdata. Hänsyn till temperatur- och fuktberoende hos materialen kunde inte tas. Särskilt bör ånggenomgångsmotståndet för våtrumsgips ifrågasättas. Materialtillverkaren, Danogips, kunde inte bistå med materialdata, varken när det var fråga om sorptionskurvor för våtrumsgips eller ånggenomgångsmotstånd, eftersom de inte hade materialdatan helt enkelt.

Trovärdighet hos simuleringarna

Då det föreligger stor osäkerhet i valda materialdata minskar trovärdigheten i beräkningarna. Eftersom programmet inte hanterar temperatur- och fuktberoende hos ingående parametrar måste trovärdigheten i simuleringarna ifrågasättas. Trovärdigheten hade blivit ännu sämre då försöket följt ursprunglig plan med vattenbegjutning av väggen. Bristerna i 1D-HAM hade blivit ännu mer uppenbara eftersom transport i vätskefas försummas.

7 Diskussion

7.1 Ångbroms

Studien har haft sitt fokus på uttorkning av gipsskivor i våtrumsvägg under förutsättning att inget vatten tillsätts på den varma sidan. Då väggen vattenbegjuts, till exempel vid duschning, kommer kakelfogen att släppa genom fukt som sedan stannar kvar framför tätskiktet. Den relativa fuktigheten kan uppgå till nära 100 %. Uttorkningen sker mycket långsamt eftersom vatten tillförs regelbundet vid duschning. Det förs i branschen en diskussion om huruvida de rollade tätskikten är så täta som de marknadsförs som. Även om tätskiktet är tätt kan skador uppkomma och fukt kan släppas igenom. Med ångbroms tillåts fukt att vandra genom väggen, men riskerar att kondensera på den kalla sidan. De stationära beräkningarna, enligt kapitel 4.1, bekräftar att fuktnivån på vindsyddet redan innan vattentillförsel är hög, uppåt 95 % RF. Ångbromsen har alltså en uppenbar förtjänst i att gipsskivan tillåts att torka ut, vilket poängteras i rapporten, men stora fuktmängder kan samlas längre ut i väggen och särskilt då väggen vattenbegjuts. Det blir alltså en fråga om var i väggen det är minst skadligt med fukt.

7.2 Förlåtande material

Då byggtiderna kortas av läser vi allt oftare om byggfukt som inte tillåts torka ut till erforderlig nivå på grund av pressade tidsscheman och dess skadeverkan. För att minska problemen är det viktigt att bedriva forskning kring och utveckla nya förlåtande material som tillåter viss uttorkning av byggfukt. Stråvan ska naturligtvis vara att material ska vara torra då de byggs in och att byggfukt i till exempel betonggolv ska torka ut innan golvet beläggs med en tät beläggning. Ett förlåtande material hanterar inte bara byggfukt. De kan även användas i konstruktioner där fuktskador är vanliga, såsom våtrumsvägg där tätskiktet kan skadas och vatten tränga in i konstruktionen.

Då renoveringar och ombyggnader är på modet, vilket inte minst märks på alla renoveringsprogram som sänds i TV, är utvecklingen av mer fuktsäkra byggsystem aktuell. Som privatperson är det lätt att göra fel, förlåtande material som delvis tar hänsyn till eventuella byggfel och fuktskador borde ha en framtid på byggmarknaden. Intressenter för utvecklingen av förlåtande material kan vara bygghandel, byggföretag och försäkringsbolag.

Byggföretagen är, efter att i flera fall ha misslyckats med nya oprövade konstruktioner, inte speciellt benägna att använda sig av nya byggtekniska lösningar och material. För att få igång utvecklingen av nya förlåtande material behövs därför initiativ från annat håll för att utvecklingen ska gå framåt.

7.3 Lagring av gips

Fuktiga gipsskivor byggdes in i väggen av misstag. Orsaken till detta är troligen att gipskivorna var fuktiga vid leverans. Skivorna byggdes in direkt efter leverans, problemet uppdagades då mätutrustningen kopplats in. Efter samtal med olika bygghandlare konstaterades att gips lagras i isolerade hallar med lite återvärme (telefonkontakt Beijerbygghandel Helsingborg) eller i oisolerade hallar (telefonkontakt, Beijerbygghandel Malmö). Båda lagren räknades som en typ av kallager. Lagringstiden för standardgips var 1-2 veckor och för ovanligare gipsprodukter som exempelvis våtrumsgips mellan 1-2 månader. Att endast hälften av skivorna levererades fuktiga torde bero på att tillräckligt många

gipsskivor inte fanns i lager på byggvaruhandeln, utan några levererades direkt efter leverans från fabrik.

Om gips tagit upp så stora mängder fukt från lagring på bygghandel är det allvarligt. Särskilt våtrumsgips som ofta byggs in i täta konstruktioner. Det syns inte på en gipsskiva att den är fuktig. Så länge den inte blöts ner med vatten i vätskefas syns ingen skillnad. Metoder för att på ett lätt sätt mäta fuktighet i gips saknas, det är därför svårt för arbetsledare på byggen att kontrollera att material är torrt vid leverans.

7.4 Utformning av givarna

Då givarens sensor är känslig för kondensation bör givaren utformas så att sensorn skyddas från vatten. Samtidigt bör sensorn skyddas från smuts och damm för att slippa fördröjning av ändringar i omgivningens relativa fuktighet. Beroende av var givaren ska användas och vilka krav som finns på givarens ”reaktionstid” kan den utformas på olika sätt.

Den aktuella utformningen av givaren för det här projektet ger ingen skyddande verkan för sensorn mot smuts då krympslangen släpps nedanför sensorn. Skulle dock krympslangen dras upp över sensorn skulle fördröjningen av ändringar i den relativa fuktigheten bli alltför stor. Givaren skulle dock kunna placeras i ett stumt rör som medger luftflöde men hindrar smuts från att tränga in. Givarens reaktionstid blir i det här fallet kort. Ett stumt rör kan dessutom skydda mot eventuella skador. Nackdelen är att ett runt rör är mer skrymmande än givaren med krympslang.

Sensorn skulle även kunna skyddas mot smuts av en luftgenomsläpplig ”nylonstrumpa”. Nackdelen är att smuts kan fastna på strumpan och orsaka fördröjningar. Ytterligare en risk är att salt kan fastna på strumpan och orsaka direkta felvisningar. Givarens reaktionstid blir i det här fallet längre beroende på hur mycket smuts som fastnar på strumpan.

7.5 Förslag till fortsatta studier

Tänkbara användningsområden för Honeywell-givarna

Kan honeywell-givarna i framtiden användas på brädgården eller på byggarbetsplatserna som en slags lagringskontroll? Kan de användas för att kontrollera fukthalten i material på ett enkelt sätt i fält? Kan de komma att bli trådlösa i framtiden och byggas in i väggar och golv? Kan de användas som ”kondensvakter” i simhallar, tryckerier och dylikt?

Kan honeywell-givarna vara ett billigt alternativ till att låta konsulter göra fuktmätningar på material? Kan de exempelvis gjutas in i betong? En mätkonsult kostar från 500-2500 kr/timme + moms beroende på vad som ska mätas (exklusive resor).

Utvärdering av Honeywellinstrumentens validitet (giltighet)

I vilka situationer kan givarna användas med ett tillförlitligt resultat?

Logistikprojekt

Undersökning av gipsskivans väg från fabrik till färdig vägg. Var ligger den största faran för att en gipsskiva ska fuktas upp, på brädgården eller på byggarbetsplatsen? Hur länge behöver en gipsskiva ligga i fuktigt klimat innan den tagit upp farligt mycket fukt respektive hur länge behöver den efter uppfuktning stå inomhus för att torka till en acceptabel fukthalt?

Framtiden för våtrumsgips

Hur ser framtiden ut för gips i våtutrymmen, kommer fibercementskivorna att ta över? Hur beständig är våtrumsskivans silikonimpregnering?

Ångbromsar som alternativ till PE-folie

Vilka övriga förtjänster har ångbroms gentemot polyetenfolien? Hur ser de ekonomiska aspekterna ut vid användande i hela hus? Vilka nackdelar finns?

Referenser

TRYCKTA KÄLLOR

(Adalberth, 1998)

Adalberth, K. (1998): *God lufttäthet. En guide för arkitekter, projektörer och entreprenörer* (Stockholm: Byggforskningsrådet)

(Andersson & Kling, 2000)

Andersson, J. & Kling, R. (2000): *Bygg vattenskadesäkert. Vaska visar vägen* (Stockholm: Byggforskningsrådet)

(Arfvidsson et al., 2005)

Arfvidsson, J. et al. (2005): *Tätskikt i våtrum. Rapport TVBH-7226 Lund 2005* (Lund: Avdelningen för byggnadsfysik, LTH)

(Bell, 1995)

Bell, J. (1995): *Introduktion till forskningsmetodik* (Lund: Studentlitteratur)

(Burström, 2001)

Burström, P-G. (2001): *Byggnadsmaterial. Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper* (Lund: Studentlitteratur)

(Follin et al., 1994)

Follin, T. et al. (1994): *Våtrumshandboken* (Solna: Svensk Byggtjänst)

(Hagentoft, 2002)

Hagentoft, C-E. (2002): *Vandrande fukt Strålande värme* (Studentlitteratur)

(Hedenblad, 1996)

Hedenblad, G. (1996): *Materialdata för fukttransportberäkningar* (Stockholm: Byggforskningsrådet)

(Johannesson, 1981)

Johannesson, G. (1981): *Active heat capacity. Report TVBH-1003* (Lund: LTH)

(Levin red., 1994)

Levin, P. red. (1994): *Byggnadsteknikens grunder – kompendium i byggnadsteknik, grundkurs för V* (Stockholm: Avdelningen för byggnadsteknik, KTH)

(Nevander & Elmarsson, 1994)

Nevander, L E. & Elmarsson, B. (1994): *Fukthandbok. Praktik och teori* (Stockholm: AB Svensk Byggtjänst)

(Redberg, 2003)

Redberg, M. (2003): *Gipsskivor har inget i badrum att göra*. Byggindustrin nr 15 sid 30

(Svennberg, 2003)

Svennberg, K. (2003): *Determination of Moisture Properties for Materials Exposed to the Indoor Air. Rapport TVBH-3042 Lund 2003* (Lund: Avdelningen för byggnadsfysik, LTH)

(Bagge et al., 2004)

Bagge, H. et al. (2004): *Byggnads- och installationsteknikens utveckling under 1900-talet. Analys inför ombyggnad av flerbostadshus i Växjö. Rapport TVBH-7225 Lund 2004* (Lund: Avdelningen för byggnadsfysik, LTH)

(Lindvall & Alm, 1992)

Lindvall, T. & Alm, R. (1992): *Hus och hälsa. Människan och inomhusklimatet* (Stockholm: Byggnadsforskningsrådet)

(Elmroth et al., 1992)

Elmroth, A. et al. (1992): *Hus och hälsa. Fukt och byggt teknik* (Stockholm: Byggnadsforskningsrådet)

(Lundgren & Pettersson, 1992)

Lundgren, B. & Pettersson, H. (1992): *Hus och hälsa. Byggnadsmaterial och metoder* (Stockholm: Byggnadsforskningsrådet)

WEBBASERADE KÄLLOR

BBR	(2004-10-01)	http://www.boverket.se/cgi-bin2/main.cgi?p=/publikationer/Boverketsbyggregler.htm
BBR Byggvägledning	(2004-10-01)	http://varu.byggbokhandeln.com/bibas/frameset.ASP?IPCheck=SSO: Byggvägledning 9
BKR HEMSIDA	(2004-10-01)	http://www.BKR_hemsida.se : Branschregler
BML LTH	(2005-03-17)	http://www.byggnadsmaterial.lth.se
Buildingphysics	(2005-02-17)	http://www.buildingphysics.com/1d-ham.htm : 1D-HAM Manual
CC Höganäs	(2005-02-27)	http://www.cchoganas.se/uploaded/2003/6/23/FB_7_Tatmembran_1.pdf
Danogips	(2004-11-03)	http://www.danogips.se/ : Produktinformation
Elfa	(2005-02-10)	http://www.elfa.se/no/fakta.pdf : Givare
GVK	(2004-10-01)	http://www.gvk.se/hem/index.asp?art_cat=65 : Tätskikt/keramik
Honeywell	(2004-10-29)	http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/humiditymoisture/technical/faq_hummoisture.stm#Q3

Hus AMA 98	(2004-10-01)	http://varu.byggbokhandeln.com/bibas/frameset.ASP?IPC heck=SSO: Hus AMA 98
Mataki	(2005-02-17)	http://www.mataki.se : <i>Halotex D50. Broschyr</i>
Isover	(2004-11-01)	http://sg-isover.inforce.dk/sw207.asp
Mitec	(2004-11-26)	http://www.mitec.se/cgi-bin/webbpub-s/ak_webbpub-s.cgi?funk=F&nr=00051&Sprak_ID=sv : <i>Termistorn</i>
RA 98 Hus	(2004-10-01)	http://varu.byggbokhandeln.com/bibas/frameset.ASP?IPC heck=SSO: RA 98 Hus
VVSI	(2004-10-01)	http://www.vvsi.se/index.php3?use=publisher&id=1397 &lang=1&sektion=1 : <i>Vattenskaderapport</i>
Fuktcentrum	(2005-02-10)	http://www.fuktcentrum.lth.se/TVBH-3032%20del%203.pdf

KONFERENSHANDLING

(Wilkes et al., 2004)

Wilkes, K. et al. (2004): *Effect of Drying Protocols on Measurement of Sorption Isotherms of Gypsum Building Materials* Proceedings of Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX International Conference. Artikel / 178

ÖVRIGT

(Ohlsson, div.)

Tryckt material om fuktkvotsmätare utan källa, tillhandahållet av Ohlsson, A., LTH

(Telefonkontakt, Beijerbygghandel Helsingborg)

Beijerbygghandel Helsingborg (2005-02-22): telefonkontakt med säljare

(Telefonkontakt, Beijerbygghandel Malmö)

Beijerbygghandel Malmö (2005-02-22): telefonkontakt med säljare

Bilagor

Bilaga 1

”Programmering” av mätdator

Programvaran HmgLog används för omvandling från uppmätt spänningsfall över mätinstrumenten till relativ fuktighet respektive temperatur. Omvandlingssamband erhålls från tillverkare.

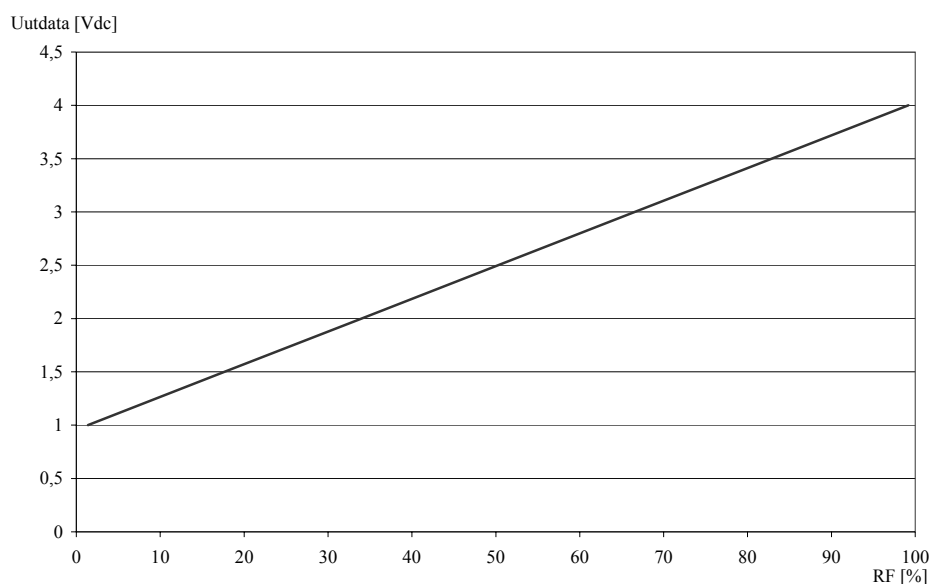
För givarna som mäter relativ fuktighet ges följande linjära samband vid 5 volt input

$$U_{\text{utdata}} = 0,958 \cdot V \quad \text{då RF} = 0 \%$$

$$U_{\text{utdata}} = 3,268 \cdot V \quad \text{då RF} = 75,3 \%$$

Sambandet kan då tecknas

$$RF = 32,60 \cdot U_{\text{utdata}} - 31,23 \quad [\%]$$



Figur XX: Linjärt samband U_{utdata} och relativ fuktighet

Över temperaturmätaren, termistorn, mäts motståndet (μS). Sambandet är direkt och ingen omvandling behöver göras.

Korrektion av RF med avseende på temperaturen

Givarna påverkas av temperatur vilket korrigeras i efterhand enligt samband från tillverkare.

$$\text{VerkligtRF} = \frac{\text{GivarensRF}}{(1,0546 - 0,00216T)} \quad [\%]$$

där temperaturen är i $^{\circ}\text{C}$.

Bilaga 2

Tabell över materialdata

Väggdel	Produkt-namn	Tillv.	Tjocklek L, mm	Värmemotstånd R, m ² K/W	Änggenom-gångsmotstånd Z, s/m	Värmekapacitet C, J/Km ³	Källor
Vindskydd	Halotex W10	Mataki	0,5	-	20 000		Z<20 000 enligt tillverkarens produktblad, 20 000 används
Isolering		Isover	195	5,26	11 000		8 300<Z<13 300 enligt Nevander & Elmarsson (1994), 11000 används
Ångspärr	Tenotät	Mataki	0,2	-	3 300 000		Z enligt tillverkarens produktblad
Ångbroms	Halotex D50	Mataki	0,2	-	140 000		Z enligt tillverkarens produktblad
Gips	Våtrumsgips	Danogips	12,5	0,06	försumbart	806 600	Z och R enligt tillverkarens produktblad C enligt Johannesson, G. (1981): <i>Active heat capacity. Report TVBH-1003</i> (Lund: LTH)
Tätskikt		CC Höganäs	1,0	-	1 500 000		Z Uppskattat, halva värdet från tät PVC-matta enligt Nevander & Elmarsson (1994)
Fog och kakel		CC Höganäs	10	0,01	20 000		Z uppskattat utifån bruk, R uppskattat utifån KC-bruk enligt Nevander & Elmarsson (1994)
Övergångsmotstånd ute				0,04	försumbart		
Övergångsmotstånd inne				0,13	försumbart		

Bilaga 3**Stationär diffusionsberäkning****Beräkning av RF-fördelning inuti konstruktion Väggtyp 1**

Skikt	l [mm]	λ [W/mK]	δ $\cdot 10^{-6}$ [m ² /s]	R [m ² K/W]	Z [s/m]	T [°C]	v_s [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute	-	-	-	0,04	0	-4,3	3,44	3,33	96,9
Vindskydd	0,5	-	-	-	20 000	-4,1	3,49	3,33	95,5
Mineralull	195	0,038	17,7	5,13	11 000	-4,1	3,49	3,34	95,8
Ångspärr	0,2	-	-	-	3 300 000	18,6	15,92	3,35	21,0
Gips	12,5	0,22	-	0,06	0	18,6	15,92	5,07	31,8
Tätskikt	1,0	-	-	-	1 500 000	18,9	16,2	5,07	31,3
Kakel	10	1,0	0,5	0,01	20 000	18,9	16,2	5,85	36,1
Inne	-	-	-	0,13	0	18,9	16,2	5,86	36,1
						19,5	16,78	5,86	34,9
				Summa R	Summa Z				
				5,37	4 851 000				

Beräkning av RF-fördelning inuti konstruktion Väggtyp 2

Skikt	l [mm]	λ [W/mK]	δ *10 ⁻⁶ [m ² /s]	R [m ² K/W]	Z [s/m]	T [°C]	v_s [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute	-	-	-	0,04	0	-4,3	3,44	3,33	96,9
Vindskydd	0,5	-	-	-	20 000	-4,1	3,49	3,33	95,5
Mineralull	195	0,038	17,7	5,13	11 000	-4,1	3,49	3,36	96,4
Ångbroms	0,2	-	-	-	140 000	18,6	15,92	3,38	21,2
Gips	12,5	0,22	-	0,06	0	18,6	15,92	3,59	22,5
Tätskikt	-	-	-	-	1 500 000	18,9	16,20	3,59	22,2
Kakel	10	1,0	0,5	0,01	20 000	18,9	16,20	5,83	36,0
Inne	-	-	-	0,13	0	18,9	16,20	5,86	36,1
						19,5	16,78	5,86	34,9
				Summa R	Summa Z				
				5,37	1 691 000				

Beräkning av RF-fördelning inuti konstruktion Väggtyp 3

Skikt	l [mm]	λ [W/mK]	δ *10 ⁻⁶ [m ² /s]	R [m ² K/W]	Z [s/m]	T [°C]	v_s [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute	-	-	-	0,04	0	-4,3	3,44	3,33	96,9
Vindskydd	0,5	-	-	-	20 000	-4,1	3,49	3,33	95,5
Mineralull	195	0,038	17,7	5,13	11 000	-4,1	3,49	3,37	96,4
Gips	12,5	0,22	-	0,06	0	18,6	15,92	3,38	21,3
Tätskikt	-	-	-	-	1 500 000	18,9	16,20	3,38	20,9
Kakel	10	1,0	0,5	0,01	20 000	18,9	16,20	5,82	35,9
Inne	-	-	-	0,13	0	18,9	16,20	5,86	36,1
						19,5	16,78	5,86	34,9
				Summa R	Summa Z				
				5,37	1 551 000				