

Fukt- och temperaturrelörelser i fasad- och vindskyddsskivor

Anton Jönsson och Daniel Remnetorp |
Byggnadsmaterial | LTH | Lunds universitet



Fukt- och temperaturrelöser i fasad- och vindskyddsskivor

Anton Jönsson
Daniel Remnetorp



LUND
UNIVERSITY

Master Thesis, Report 5117, Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, 2019

Examensarbete, Rapport 5117, Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund, 2019

Fukt- och temperaturrörelser i fasad- och vindsyddsskivor
Moisture and thermal induced movements of facade and sheathing boards

Anton Jönsson & Daniel Remnetorp

ISRN LUTVDG/TVBM-19/5117-SE (1-66)

Fibercementskiva, cementbunden fiberskiva, oorganisk kompositgipsskiva, gipsskiva, kalciumsilikatskiva, cementspånskiva, längdutvidgningskoefficient, krympning, svällning, töjning, sorption, sorptionsisoterm, relativ fuktighet, klimatbox

Fibre cement board, cement particle board, inorganic composite gypsum board, calcium silicate board, coefficient of thermal expansion, swelling, shrinkage, strain, sorption, isotherm, moisture content, relative humidity, climate box

© Copyright: Anton Jönsson & Daniel Remnetorp 2019
Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2019
Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2019.

Byggnadsmaterial
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.byggnadsmaterial.lth.se

Division of Building Materials
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
www.byggnadsmaterial.lth.se/english

Förord

Det här examensarbetet är den sista och avslutande delen i vår utbildning till Civilingenjör inom väg- och vattenbyggnad.

Examensarbetet har utförts under våren 2019 på avdelningen för Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola, i nära samarbete med Skanska Teknik Malmö. Handledare för examensarbetet har varit Magnus Åhs, verksam på avdelningen för Byggnadsmaterial och Christian Danås på Skanska Teknik Malmö. Examinator har varit Peter Johansson, verksam på avdelningen för Byggnadsmaterial.

Stort tack till Magnus Åhs för all din tid och engagemang. Tack till Stefan Backe för all hjälp i labbet. Tack Peter Johansson och samtliga på avdelningen för Byggnadsmaterial för all hjälp och för en trevlig tid hos er.

Tack till Christian Danås, Jens-Erik Jörgensen och Patrik Bengtsson, på Skanska Teknik Malmö för all hjälp och input till arbetet.

Vi vill även passa på att tacka våra familjer och vänner som stöttat oss under detta arbete.

Anton Jönsson och Daniel Remnetorp Lund, juni 2019

Abstract

The use of boards as facades and sheathing is today common practice. Facade and sheathing boards are located far out in the building envelope and are thus subjected to variations of the surrounding relative humidity and temperature. Recently different kinds of damage on the boards have been brought to attention. The damage is varying and include cracking or warping of the boards. The damage may depend on moisture and thermal induced movement in the boards and it is therefore of interest to study these movements.

The main purpose of this master's thesis is to evaluate the magnitude of moisture and thermal induced movement for different boards. The boards include four fibre cement boards, one cement particle board, one gypsum board and one calcium silicate board.

Essential theory of moisture and heat is presented using relevant literature. The moisture and thermal induced movements were obtained by placing samples of the boards in different generated climates. Different relative humidities were generated using climate boxes and different temperatures were generated using ovens. Moisture and thermal induced movements and also sorption isotherms were evaluated for all boards.

The result includes sorption isotherms of all boards. The result also includes the moisture induced movements between 0 %, 33 %, 95 % and 100 % relative humidity, during both absorption and desorption. The thermal induced movements between 20 °C and 105 °C are also included in the result.

The results show that the moisture induced movements of the boards generally are the largest for the cement particle board. The gypsum board has one of the smallest moisture induced movements. Most boards exhibit considerably larger shrinkage than swelling. The moisture induced movements are generally large between 0 % to 33 % relative humidity and between 95 % to 100 % relative humidity. The thermal induced movements are the largest for the gypsum board, followed by the fibre cement boards and the cement particle board. The calcium silicate board exhibits the smallest thermal induced movements.

Which of the moisture or thermal induced movements that is the largest differ a lot between the boards and depend on which interval of temperature and relative humidity the board is exposed to. The moisture induced movements are considerably larger than the thermal induced movements for the cement particle board. The gypsum board shows considerably larger thermal than moisture induced movements.

Sammanfattning

Användningen av fasad- och vindskyddsskivor i ytterväggskonstruktioner är i dag utbredd. Skivorna är monterade långt ut i ytterväggen och utsätts således för variationer i omgivande relativ fuktighet och temperatur. På senare tid har skador såsom buktning av skivorna och sprickbildning hos skivorna uppmärksamats. Skadorna kan bero på rörelserna hos skivorna och det är således av intresse att undersöka rörelser som beror av förändrad relativ fuktighet och temperatur.

Huvudsyftet med det här examensarbetet är att experimentellt utvärdera fukt- och temperaturrörelser för olika skivor. Skivorna som studerades var fyra fibercementskivor, en cementspånskiva, en gipsskiva och en kalciumsilikatskiva.

Grundläggande teori kring fukt och värme beskrivs genom att sammanställa relevant litteratur. Längdförändringarna utvärderades experimentellt genom att placera provkroppar från skivorna i olika genererade klimat. Olika relativa fuktigheter genererades med hjälp av klimatboxar och olika temperaturer genererades med hjälp av ugnar.

Resultatet innefattar sorptionsisotermer för alla skivor. Resultatet innefattar även erhållna fuktbetingade rörelser mellan 0 %, 33 %, 95 % och 100 % relativ fuktighet, under både absorption och desorption. Temperaturbetingade rörelser mellan 20 °C och 105 °C inkluderas även i resultatet.

Cementspånskivan uppvisar generellt de största fuktbetingade rörelserna och gipsskivan uppvisar bland de minsta fuktbetingade rörelserna. För merparten av skivorna är krympningen betydligt större än svällningen. De fuktbetingade rörelserna är generellt stora mellan 0 % och 33 % relativ fuktighet samt mellan 95 % och 100 % relativ fuktighet. De temperaturbetingade rörelserna uppmätts som störst för gipsskivan följt av fibercementskivorna och cementspånskivan. Kalciumsilikatskivan uppvisar de minsta temperaturbetingade rörelserna.

Vilken av de fukt- eller temperaturbetingade rörelserna som är störst skiljer sig mycket mellan olika skivor och beror på vilket intervall av relativ fuktighet och temperatur skivan exponeras för. För cementspånskivan är de fuktbetingade rörelserna betydligt större än de temperaturbetingade. För gipsskivan är de fuktbetingade rörelserna betydligt mindre än de temperaturbetingade.

Innehåll

1. Inledning	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Syfte och mål	3
1.3. Avgränsningar	3
2. Teori	5
2.1. Materialstruktur	5
2.2. Fukt i luft	6
2.3. Fukt i material	8
2.3.1. Adsorption	9
2.3.2. Kapillärkondensation	10
2.4. Fukttransport	11
2.4.1. Fuktdiffusion	11
2.4.2. Kapillärsugning	12
2.4.3. Fuktkonvektion	13
2.5. Sorptionsisoterm	13
2.6. Fuktbetingade rörelser	16
2.7. Temperatur och värme	19
2.7.1. Värmetransportsätt	19
2.8. Temperaturbetingade rörelser	20
2.9. Sprickbildning och buktning	21
3. Material	23
3.1. Skivtyper	23
3.2. Cementbundna skivmaterial	23
3.3. Gipsskivor	25
3.4. Kalciumsilikatskivor	26
4. Metoder	27
4.1. Beräkningar för uppskattning av tid för jämvikt	27
4.1.1. Antaganden	27
4.1.2. Beräkning	28
4.2. Utformning av provkroppar	29
4.3. Bestämning av sorptionsisoterm och fuktrörelser	30
4.3.1. Genererade klimat med saltlösningar	31
4.3.2. Uttorkat tillstånd	33
4.3.3. Fuktmättat tillstånd	34
4.3.4. Vägning och utvärdering av fuktkvot	35
4.3.5. Längdmätning och utvärdering av rörelser	36
4.4. Bestämning av temperaturrörelser	37
5. Resultat och diskussion	39
5.1. Sorptionsisoterm	39
5.2. Fuktbetingade rörelser	45
5.3. Temperaturbetingade rörelser	55
5.4. Beräkningar för uppskattning av tid för jämvikt	58
5.5. Kombinationen av fukt- och temperaturbetingade rörelser	58

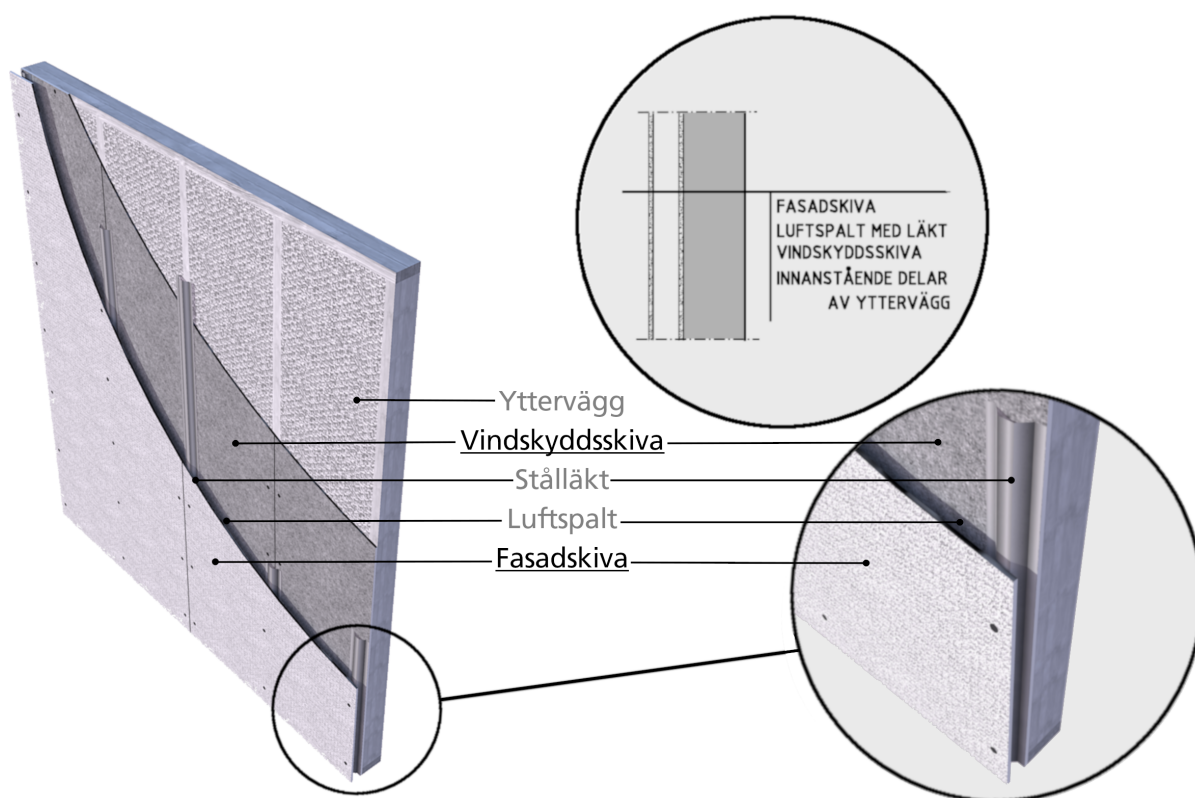
5.6. Sprickbildning och buktning	59
5.7. Felkällor	60
6. Slutsats	61
7. Vidare studier	63
Referenser	66
Bilagor	
A. Ickestationära beräkningar	
B. Förlopp för uttorkning och uppfuktning	
C. Fuktbetingade rörelser över tid	
D. Temperaturrörelser	

1. Inledning

I det här avsnittet beskrivs bakgrunden till examensarbetet för att sedan beskriva examensarbetets syfte och mål. Slutligen beskrivs avgränsningarna som examensarbetet haft.

1.1. Bakgrund

Det finns många olika typer av utförande av ytterväggar som uppfyller de byggnadsfysiska krav som ställs på dem [1]. Användningen av fasad- och vindskyddsskivor i ytterväggskonstruktioner är i dag utbredd. För att förklara begreppen som nyttjas i examensarbetet används en vanlig regelvägg med luftspalt som illustration, se Figur 1.



Figur 1. Exempel på uppbyggnad av yttre delar av en yttervägg.

Skivtyperna som behandlas i examensarbetet är *fasadskivor* och *vindskyddsskivor*. Begreppet fasadskiva syftar på det yttersta skiktet i ytterväggen. Fasadskivan fästs vanligtvis på läkt av trä, aluminium eller stål och bakom fasadskivan finns oftast ett lager luft, en *luftspalt*. Innanför läkt och luftspalten placeras en vindskyddsskiva. Ibland placeras ett lager isolering framför vindskyddsskivan, detta lager kallas i många fall även det för fasadskiva [2]. Det är inte denna typ av skiva som detta arbete syftar på.

Det yttersta skiktet, i det här fallet fasadskivan, har som uppgift att avleda slagregn samt förhindra att materialen innanför bryts ner av exempelvis solljus [1]. Vindskyddsskivan har som uppgift att förhindra att det blåser in i ytterväggen och bör även vara fuktbeständig mot eventuell fukt som tränger förbi fasadbeklädnaden [1].

Skivorna är monterade långt ut i ytterväggen och kan därför bli utsatta för varierande fuktighet och temperatur. Hos många material leder en förändring i fukttinnehåll och temperatur till längd- och volymförändringar [3]. Skivorna är ofta monterade på sätt som förhindrar skivornas rörelse. Förhindrade rörelser hos material kan få följder såsom buktning och sprickbildning. Skivornas fukt-tillstånd vid montering har också betydelse för vilka skador som uppstår.

På senare tid har skador uppmärksammats på olika skivmaterial för fasad- och vindskyddsskivor. Skadorna är varierande och visar sig bland annat genom att skivorna buktar längs fasaden. En annan förekommande skada är att skivorna spruckit. Två exempel på hur skador hos fasad- och vindskyddsskivor uppenbarar sig i praktiken visas i Figur 2. I Figur 2 (a) visas en fasadskiva där en spricka uppkommit i ett av hörnen vilket medfört att en bit av skivan lossnat. I Figur 2 (b) visas en vindskyddsskiva som spruckit tvärs över.



(a) Sprickbildning i hörnet av en monterad fasadskiva där en bit av skivan lossnat.



(b) Sprickbildning tvärs över en monterad vindskyddsskiva.

Figur 2. Två skador som uppmärksammats i praktiken.

Orsakerna till skadorna är inte klarlagda men skulle kunna bero på rörelser i skivorna. Hur stora rörelserna för olika skivor är och i vilka klimat rörelserna uppkommer är därför av intresse att undersöka. Genom att öka kunskapen kring hur olika skivmaterials längd förändras i olika omgivande klimat är förhoppningen att i framtiden begränsa eller helt undvika rörelsebetingade skador. Att öka förståelsen kring hur förändring av fukttinnehåll och temperatur påverkar skivornas rörelse är därför viktigt.

1.2. Syfte och mål

Det övergripande syftet med detta arbete är att öka kunskapen kring vad rörelser hos olika typer av fasad- och vindsskyddsskivor beror på, deras storlek och vilka skador rörelserna skulle kunna medföra.

Målet med examensarbetet är att experimentellt utvärdera fukt- och temperaturbetingade rörelser hos sju olika typer av skivor. Skivornas fukt- och temperaturbetingade rörelser undersöks genom att studera mellan vilka relativa fuktigheter rörelserna inträffar samt hur stora dessa rörelser är. I anslutning till dessa experiment utvärderas även sorptionsisotermer för de olika skivtyperna. De temperaturbetingade rörelserna utvärderas genom att jämföra längderna vid olika temperaturer.

1.3. Avgränsningar

Fukt- och temperaturrörelserna utvärderades experimentellt för sju olika skivor från tre olika leverantörer. Skivorna som undersöks är fyra fibercementskivor, en cementspånkiva, en oorganisk kompositgipsskiva och en kalciumsilikatskiva. Skivorna som utvärderas är skivor som används i stor utsträckning och därav intresset att undersöka dem. Skivorna som utvärderades experimentellt är nödvändigtvis inte samma skivor som uppmärksammas i skadefallen.

Längdförändringen hos skivorna uppmättes i en riktning.

Fukt- och temperaturbetingade rörelser och sorptionsisotermer utvärderades i konstanta klimat med relativ fuktighet på cirka: 0 % (14 % för gips), 33 %, 95 % och 100 %. Intervallet mellan 33 % och 95 % RF användes för att motsvara en RF variation vilken skivorna i praktiken kan tänkas exponeras för.

De fukt- och temperaturbetingade rörelserna utvärderades inte under cyklisk exponering av RF och temperatur. En cyklisk exponering kan till exempel innebära att skivorna exponeras för en hög RF, sedan en låg RF och slutligen en hög RF igen.

Temperaturbetingade rörelser utvärderades i temperaturintervallet 20 °C till 105 °C för alla skivtyper utom gips, där intervallet 20 °C till 40 °C användes.

Karbonatisering i cementbundna material samt eventuella effekter av karbonatiseringen beaktas inte i det här examensarbetet.

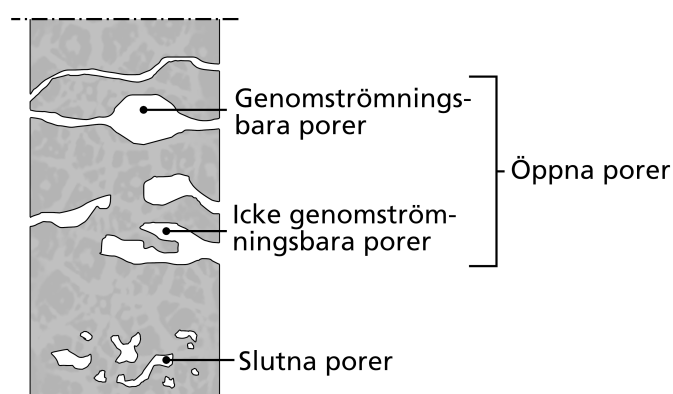
2. Teori

I det här avsnittet beskrivs grundläggande begrepp för att karakterisera material, materialegenskaper, fukt och temperatur. Fukt- och temperaturrelater är en väsentlig del av examensarbetet och därför läggs det stor vikt vid att beskriva bakomliggande teori som påverkar dessa.

2.1. Materialstruktur

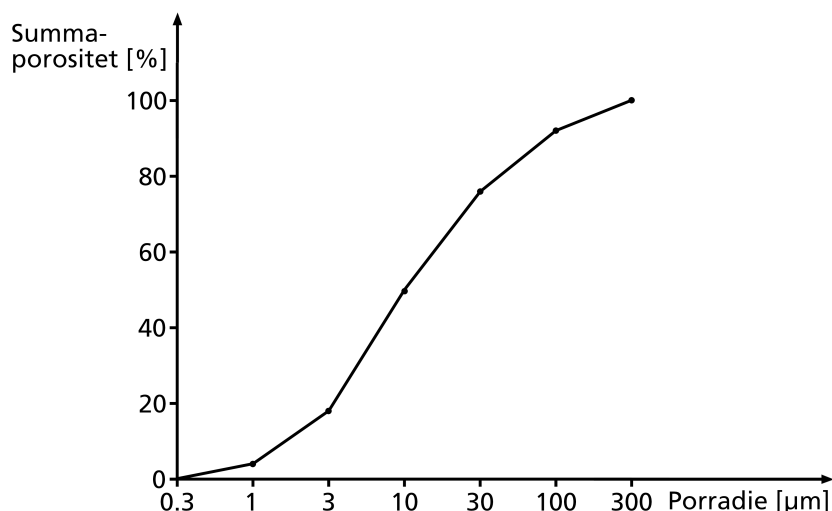
Byggnadsmaterial kan kategoriseras som *kompakta* eller *porösa* [3]. Många material som i dagligt tal definieras som kompakta är egentligen porösa. Kompakta material är bland annat metaller, plaster och glas. Porösa material är exempelvis trä, betong och gips.

Ett poröst material består av kompakt material och porer. De porer där luft och vätska kan tränga in benämns som *öppna porer* och de porer som inte är åtkomliga för luft och vätska kallas *slutna porer* [3]. En illustration av öppna och slutna porer visas i Figur 3.



Figur 3. Indelning av olika typer av porer.

Porstorleksfördelning och *specifik yta* är två begrepp som är viktiga för materialets fuktegenskaper [3]. Porstorleksfördelningen anger genom att dela in porvolymen i en serie intervall mellan olika porstorlekar (exempelvis porradiar), volymandelarna olika stora porer i ett material. Två material med lika stor porvolym kan på grund av olika porstorleksfördelningar uppvisa stora skillnader i fuktegenskaper. Porstorleksfördelningen kan bland annat uttryckas som *summaporositeten* vilken då anger summan av volymandelarna under en viss porstorlek, se Figur 4



Figur 4. Ett exempel på summaporositeten för ett material.

Specifik yta [m^2/kg], definieras som omslutningsarean hos porerna för en viss mängd material [3]. För två material med lika stor porvolym, är den specifika ytan större för materialet med mindre medeldiameter hos porsystemet. Ett material med fina porer har alltså större specifik yta än ett material med grova porer även om porositeten är lika stor.

Ett poröst materials egenskaper beror även på porsystemets struktur, det vill säga hur porerna är ordnade och sammankopplade i materialet. Ett material där egenskaperna är oberoende av riktning kallas *isotrop* [3]. Trä är ett *anisotrop* material vilket innebär att egenskaperna varierar i olika riktningar [3]. Träets anisotropi beror på uppbyggnaden av materialet. Träet består av långa ihåliga celler som är ordnade på ett sätt som förenklat kan liknas vid en rörbunt. Dessa celler är en typ av fibrer och följer stammens längdriktning. Cellernas väggar, *cellväggarna*, består bland annat av *cellulosa* [3]. Träet kan delas in i tre huvudriktningar. *Fiberriktningen*, vilket namnet antyder, är riktningen parallellt med fibrerna och således stammens längdriktning. *Radiell riktning* är vinkelrätt mot fiberriktningen och vinkelrätt mot stammens årsringar. *Tangentiell riktning* syftar på riktningen som är parallell med årsringarna och samtidigt vinkelrätt mot fiberriktningen.

Ett materials *densitet*, ρ [kg/m^3], ges av ekvation (1),

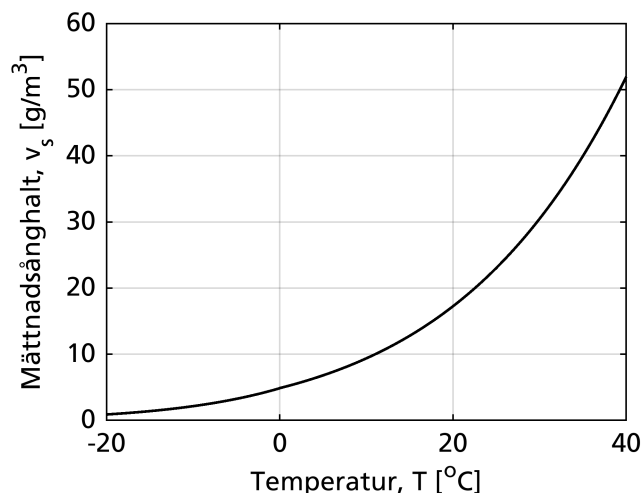
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

där m [kg], är materialets massa, och V [m^3], är materialets volym. Volymen inkluderar även volymen porer och för att förtydliga detta kallas densiteten även *skrymdensitet*. En annan benämning är *torrdensitet*, vilket används för att förtydliga att det är materialets torra massa och torra volym som används [3].

2.2. Fukt i luft

Luft är en gas som kan innehålla en viss mängd fukt i form av vattenånga. Mängden vattenånga i luft benämns som *ånghalt*, v [kg/m^3] [4]. Ett annat sätt att definiera mängden fukt i luft är som ett partialtryck vattenånga utöver totaltrycket, kallat partiellt ångtryck. Luft kan bara innehålla en viss mängd fukt innan fukten faller ut [4], och den mängden definieras som *mättnadsånghalten*, v_s [kg/m^3]. Mättnadsånghalten är temperaturberoende och en högre temperatur i luften innebär att

luften kan innehålla en större mängd vattenånga. Ett samband mellan mätnadsånghalt och temperatur kan ses i Figur 5 [5].



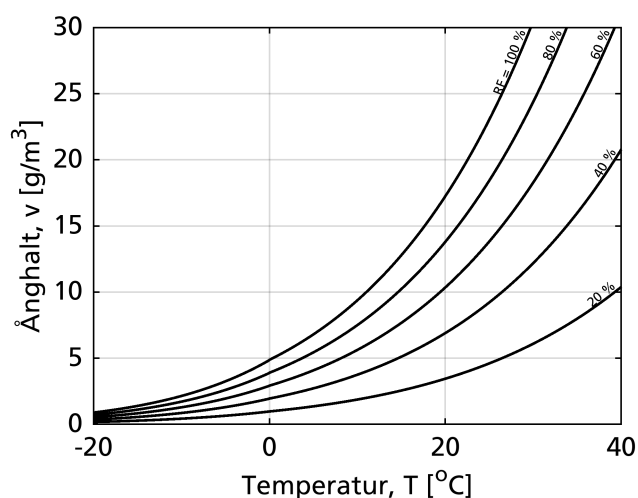
Figur 5. Mättnadsånghalten som funktion av temperatur.

Den temperatur då ånghalt och mätnadsånghalt är lika stora benämns som *daggpunkt*, och om temperaturen är lägre än daggpunkten sker *kondensation* [4]. Kondensation innebär att vattenånga faller ut till flytande vatten, vilket sker på kalla ytor.

Relativ fuktighet, RF [%], definieras som förhållandet mellan luftens ånghalt och luftens mätnadsånghalt, se ekvation (2) [4].

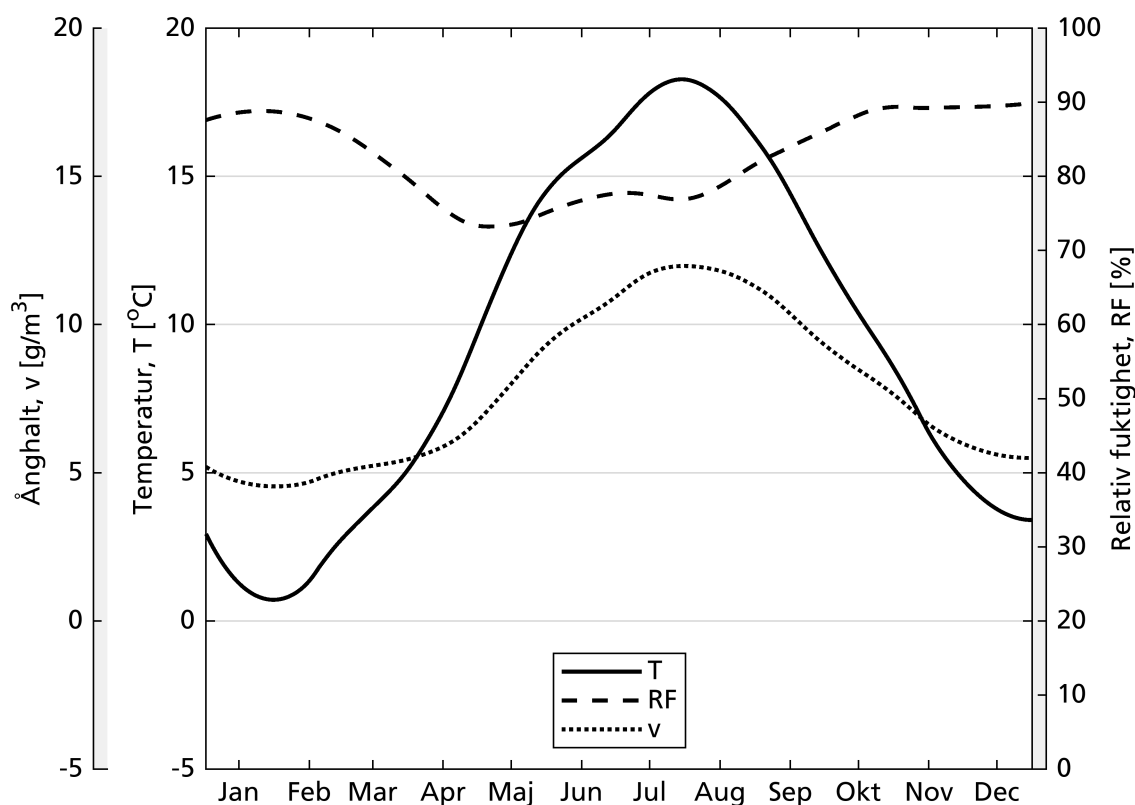
$$RF = \frac{v}{v_s} \quad (2)$$

Relativ fuktighet betecknas även med φ , eller ϕ . Hur fuktig luften är kan alltså beskrivas av RF vilket är beroende av temperatur och aktuell ånghalt [3], relationen mellan de tre parametrarna visas i Figur 6.



Figur 6. Relationen mellan temperatur, ånghalt och RF.

Temperatur, ånghalt och RF är sällan konstanta [1]. Det finns konstgjorda klimat som håller dem alla tre konstanta men normalt sätt varierar de både inomhus och utomhus över året [1]. I Figur 7 visas årsvariationen hos temperatur, ånghalt och RF för utomhusklimat i Malmö. Figur 7 är baserad på meteorologiska data från SMHI [6].



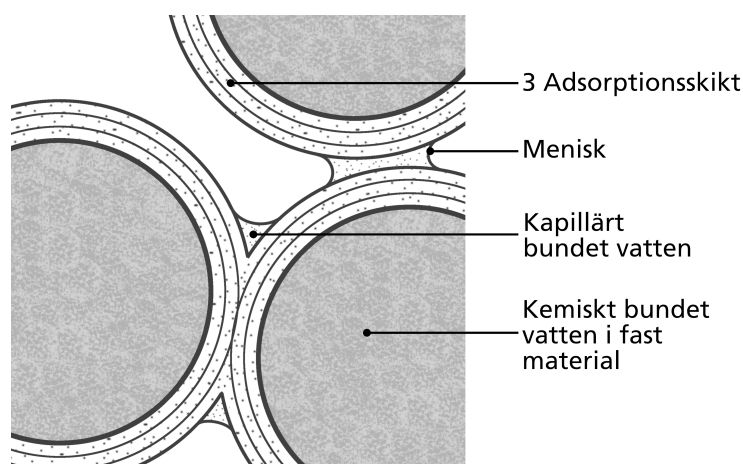
Figur 7. Dygnsmedelvärdet av temperatur, ånghalt och RF under ett år för Malmö baserat på åren 2012-2017.

RF utomhus varierar mellan cirka 85 % på vintern och cirka 70 % på sommaren [1]. Den relativa fuktigheten i utomhusluften understiger sällan 30 % RF (mindre än 1 % av tiden) [7]. RF inomhus är ofta cirka 30 % på vintern och cirka 60 % på sommaren [1]. Att RF inomhus är lägre beror bland annat på att temperaturen inomhus ofta är högre än utomhus. Ånghalten inomhus är beroende av ånghalten utomhus, men även ventilationens storlek, temperatur och fuktproduktion inomhus påverkar ånghalten. Fuktproduktionen är fukt som tillförs inneklimatet på grund av verksamheten inuti.

2.3. Fukt i material

Vatten binds i material på två olika sätt, *fysikaliskt* eller *kemiskt* [4]. I fysikaliskt bundet vatten ingår *adsorberat vatten* och *kapillärt vatten* [4]. Adsorberat vatten är ett litet antal skikt uppbyggt av vattenmolekyler på porytan. Kapillärt vatten binds i porerna via *kapillärkondensation* eller *kapillärsugning*. Kemiskt bundet vatten ingår i uppbyggnaden av vissa material. Exempel på material med kemiskt bundet vatten är betong och gips. Ett exempel på ett material som inte har kemiskt bundet vatten är trä. Utöver bundet vatten kan även *fritt vatten* absorberas av ett material, vilket är det återstående vattnet som finns utanför materialet eller i mycket grova porer. Begreppet fukt syftar på vatten som

förångas vid 105 °C [3]. Vatten som är kemiskt bundet räknas inte till begreppet fukt. Hur vatten är bundet i ett material visas i Figur 8. I Figur 8 är det fysikaliskt bundna vattnet fixerat kapillärt och i adsorptionsskikt.



Figur 8. Fysikaliskt och kemiskt bundet vatten i ett material.

Två olika sätt att ange fuktmängden i material är i *fuktkvot* eller *fukthalt* [1]. Fuktkvoten, u [kg/kg], är förhållandet mellan massan av innehållande fukt och massan torrt material. Fukthalten, w [kg/m³], är ett mått som beskriver fuktinnehållet per volymenhet av materialet. Förhållandet mellan fuktkvoten och fukthalten kan beskrivas enligt ekvation (3),

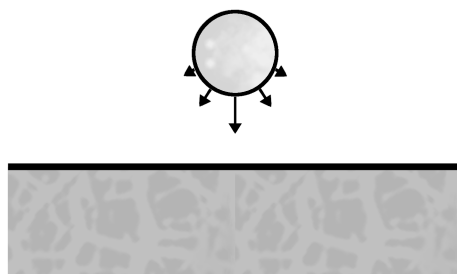
$$w = u \cdot \rho \quad (3)$$

där ρ [kg/m³], är skrymdensiteten hos materialet [3].

Ett material som har förmågan att ta upp fukt från luften benämns som *hygrokopiskt* [4]. Hygrokopisk fukt är fukt som absorberats från luften då RF är lägre än 98 % [3]. Material kan vara olika mycket hygrokopiska, exempelvis kan trä (gran) absorbera cirka 140 kg/m³, cementpasta (vct 0,6) cirka 410 kg/m³ och betong cirka 140 kg/m³ [8].

2.3.1. Adsorption

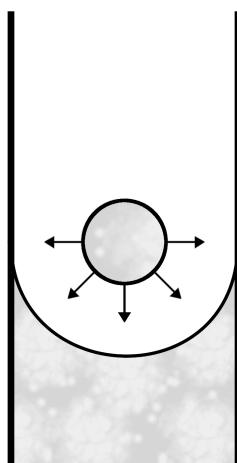
Fenomenet adsorption är då molekyler binder till ett materials ytor av attraktionskrafter [4]. Attraktionskrafterna medför att vattenmolekyler binds i skikt mot porytor i materialet. Antalet skikt beror på hur hög RF är, högre RF leder till fler antal skikt. Ju fler skikt som bildas desto mer fukt binds i materialet. En parameter som styr den sammanlagda mängden bundet vatten är hur stor specifik yta materialet har [4]. Eftersom en större specifik yta innebär mer yta att bilda skikt mot så kan material binda mer vatten genom adsorption. En vattenmolekyls attraktionskrafter mot plan yta illustreras i Figur 9.



Figur 9. En vattenmolekyls attraktionskrafter mot en plan yta.

2.3.2. Kapillärkondensation

Kapillärkondensation sker då vattenmolekyler i luft binder till vattenmenisker [4]. På samma sätt som vattenmolekyler attraheras mot porer i materialet, attraheras de mot plana vattenytor. Attraktionskraften är ännu starkare mot krökta vattenytor [4]. Attraktionen mot vattnets inåtbuktade yta eller så kallad *menisk* tydliggörs i Figur 10, vilket kan jämföras med attraktioner mot plana ytor som tydliggörs i Figur 9.



Figur 10. En vattenmolekyls attraktionskrafter mot menisk och porväggar.

Vid vilken RF som kapillärkondensation sker är bland annat beroende av porradien [4]. I Tabell 1 ges exempel på porradier och vid vilken RF kapillärkondensation sker för respektive storlek.

Tabell 1. RF då kapillärkondensation inträffar för olika porradier [4].

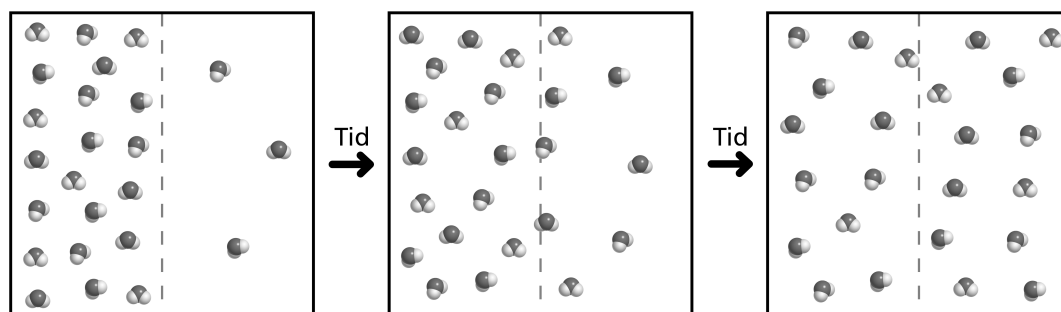
Porradie [nm]	RF [%]
0,5	10
1,5	47
15	93
150	99,1
500	99,8

2.4. Fukttransport

I materialets porer transporteras fukt antingen genom *fuktdiffusion*, *kapillärsugning* eller *fuktkonvektion* [1]. Fuktdiffusion och fuktkonvektion är transportsätt för fukt i ångfas och kapillärsugning är för fukt i vätskefas. De olika transportsätten samverkar oftast i verkligheten [1].

2.4.1. Fuktdiffusion

Diffusion är en transport av vattenmolekyler som sker i fuktig luft i strävan av att utjämna skillnader i koncentrationen av vattenmolekyler i luften. Den drivande potentialen för diffusion kan bland annat uttryckas i ånghalt [1]. Transporten av vattenmolekyler via diffusion sker från en hög ånghalt till en låg [3]. Diffusion av vattenmolekyler visas i Figur 11.



Figur 11. Diffusion av vattenmolekyler från en hög koncentration till en låg koncentration.

Fukttransport med skillnad i ånghalt som drivande potential betecknas g [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$] och definieras här med ekvation (4),

$$g = -\delta_v \cdot \frac{dv}{dx} \quad (4)$$

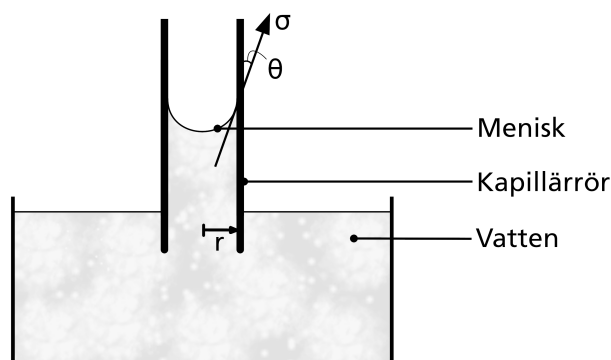
där δ_v [m^2/s], är *ångpermeabilitet*, dv [kg/m^3], skillnaden i ånghalt och dx [m], tjocklek av materialskikt. Ångpermeabilitet är ett mått på fukttätheten för ett material [4]. Ångpermeabiliteten är olika för olika material och varierar beroende på hur fuktigt materialet är. Ett större fuktinnehåll i materialet innebär i allmänhet en ökad ångpermeabilitet.

Det går även att uttrycka fukttätheten med materialets *fuktmotstånd*, Z_v [s/m], vilket beskrivs med ekvation (5) [4].

$$Z_v = \frac{dx}{\delta_v} \quad (5)$$

2.4.2. Kapillärsugning

Fukt i form av flytande vatten sugs upp i material genom kapillärsugning. Dess drivkraft är undertrycket vid den krökta vattenytan i ett kapillärrör [1]. Vatten har en *ytspänning* på grund av kohesionskrafter mellan dess molekyler. Ytspänningen betecknas med σ [N/m]. I material kan porer verka likt vertikala rör. På grund av samverkan mellan vattnets kohesions- och adhesionskrafter mot materialet får vattenytan i vertikala porer en krökning. Vattenytan bildar då en vinkel mot den fasta väggen, *randvinkeln*, θ [°] [1], se Figur 12.



Figur 12. Randvinkel och ytspänning vid kapillärsugning i kapillärrör.

Utifrån den krökta vattenytan finns uppåtriktade krafter, specifikt nämnt kapillärkrafter, som suger upp vattnet längs väggarna på porerna [1]. Vertikala porer suger upp vatten tills det att tyngden av vattenpelaren är lika stor som kapillärkrafterna. Kapillärsugning kan uttryckas genom ett undertryck, p [Pa], som förekommer vid menisken, mer specifikt nämnt som *porvattenundertryck* [1]. Undertrycket kan beräknas med ekvation (6),

$$p = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{r} \quad (6)$$

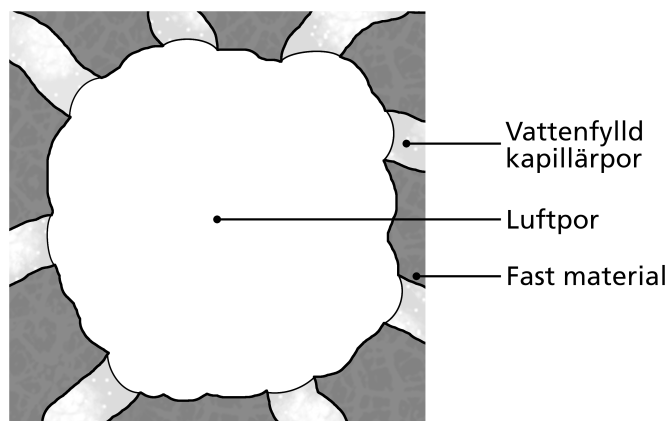
där σ [N/m], är ytspänningen, θ [°], är randvinkeln och r [m], är radien på röret eller poren [1]. Då randvinkeln, θ , är 0 för vanliga byggnadsmaterial så kan ekvation (6) förenklas till ekvation (7).

$$p = \frac{2 \cdot \sigma}{r} \quad (7)$$

Materials kapillära egenskaper beror på porstrukturen [1]. Fina porsystem har stor sugkraft, stor maximal stighöjd men låg sughastighet och det omvända gäller för grova porsystem.

Vilket tidigare nämnts sker kapillärkondensation vid olika RF beroende på porradien. Då den kapillära sugningen också beror på porradien, beror således ett materials fukttransport på porstrukturen.

Små porer (porstorlek cirka 1-7 nm) innehåller adsorberat vatten redan vid låga RF [3]. Vattnet är hårt bundet till porerna och fukttransporten genom dem blir mycket begränsad. Merparten av fukttransporten i ett material sker i sammanhängande porer, *kapillärporer* (porstorlek cirka 0,1-100 μm). Porer som är större än kapillärporerna kallas *luftporer* [3]. Luftporerna är inte direkt sammankopplade med varandra utan är ofta sammankopplade via kapillärporer. Då luftporerna är större än kapillärporerna har inte dessa samma sugförmåga och fortsätter således vara fyllda med luft då kapillärporerna fylls med vatten, se Figur 13. Då ett material sänks ner i vatten kommer, även efter jämvikten är uppnådd, delar av materialet fortfarande innehålla luft och detta tillstånd benämns *kapillärmättat* [3]. Tillståndet då alla porer är vattenfyllda i ett material benämns som *vattenmättat*.



Figur 13. En luftpor med anslutande vattenfyllda kapillärporer.

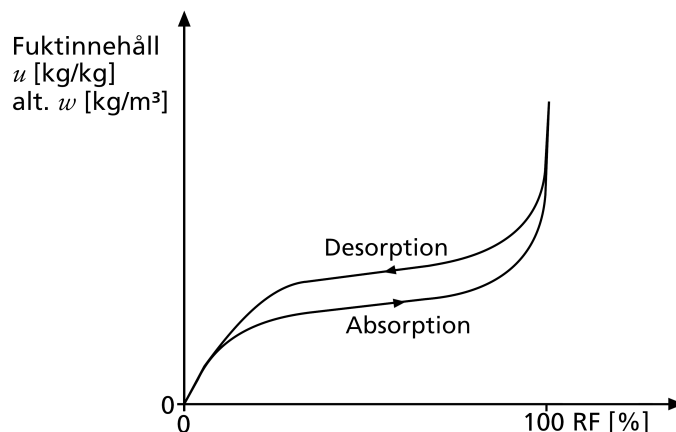
2.4.3. Fuktkonvektion

Konvektion är ett fysikaliskt fenomen då det på grund av lufttrycksskillnader blir en transport i strömmande luft [1]. Lufttrycksskillnader kan bero på vind, ventilation eller temperaturskillnader. När luften strömmar följer fuktinnehållet i luften med. Med luften transporteras således fukt och fukttransporten kallas fuktkonvektion. Fuktkonvektion är inte speciellt betydelsefullt vid fukttransport i material utan är mest relevant i större sammanhang med exempelvis klimatavskiljande konstruktioner såsom ytterväggar.

2.5. Sorptionsisoterm

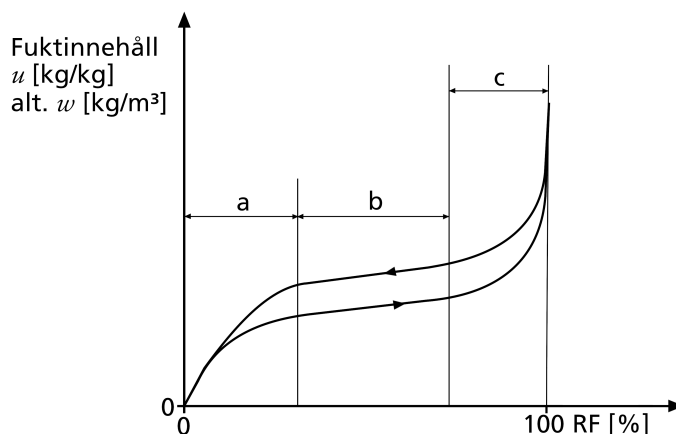
En *sorptionsisoterm* visar sambandet mellan materialets fuktinnehåll i jämvikt med omgivande RF vid konstant temperatur [3]. Alternativa benämningar till sorptionsisoterm är *sorptionskurva* och *jämviktsfuktkurva*. Fuktinnehållet kan redovisas som fuktkvot (u) eller fukthalt (w).

Fuktinnehållet begränsas av två kurvor som visar lägsta respektive högsta fuktinnehåll vid olika RF, en absorptionskurva och en desorptionskurva. Utgångstillståndet har betydelse för vilken kurva som erhålls [3]. Om materialet är fullständigt uttorkat och fuktas upp till ett vattenmättat tillstånd, erhålls absorptionsisotermen. Desorptionsisotermen erhålls vid uttorkning från fullständigt vattenmättat tillstånd. Sorptionsisotermen kan exempelvis se ut som i Figur 14. Skillnaden mellan absorption och desorption försummas ibland, och en medelkurva används som sorptionsisoterm [1].



Figur 14. En typisk sorptionsisoterm med en övre kurva för desorption och en undre kurva för absorption.

Fuktinnehållet i ett material varierar sällan linjärt med fuktigheten i luften. Hur stor förändringen av fuktinnehåll är beror på materialet och vilken fukttupptagningsmekanism som är dominerande vid rådande RF [4]. En typisk sorptionsisoterm kan förenklas till att ha olika stor förändring av fuktinnehåll i tre olika intervall enligt Figur 15. För materialet i Figur 15 sker det stor förändring av fuktinnehåll genom adsorption i intervall *a*. Materialet har en porstruktur som medför en mindre förändring av fuktinnehåll i intervall *b*. I intervall *c* är det istället stor förändring av fuktinnehåll främst genom kapillärkondensation. Förändringen av fuktinnehåll över ett fuktighetsområde, det vill säga lutningen på sorptionsisotermen, är materialets *fuktkapacitet*.

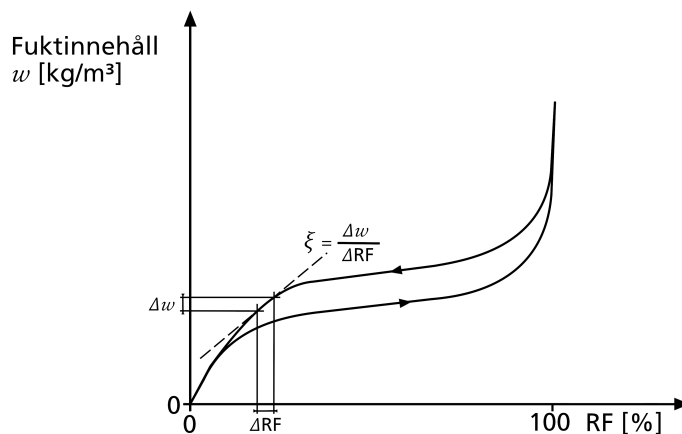


Figur 15. Tre intervall med olika lutningar för en typisk sorptionsisoterm.

Materialets fuktkapacitet, ξ [-], beskrivs med ekvation (8),

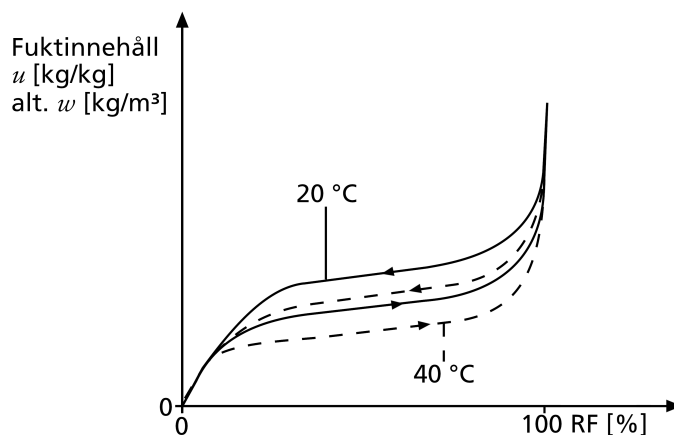
$$\xi = \frac{dw}{dRF} \quad (8)$$

där dw [kg/m³], är förändring i fukthalt och dRF [-], är förändring i RF [4]. Ett exempel på fuktkapaciteten för ett intervall visas i Figur 16. Ett material med relativt stor fuktkapacitet vid låga och höga RF har en sorptionsisoterm lik sorptionsisotermen i Figur 16.



Figur 16. Ett exempel på fuktkapacitet för ett material i desorption på ett intervall nära 20 % RF.

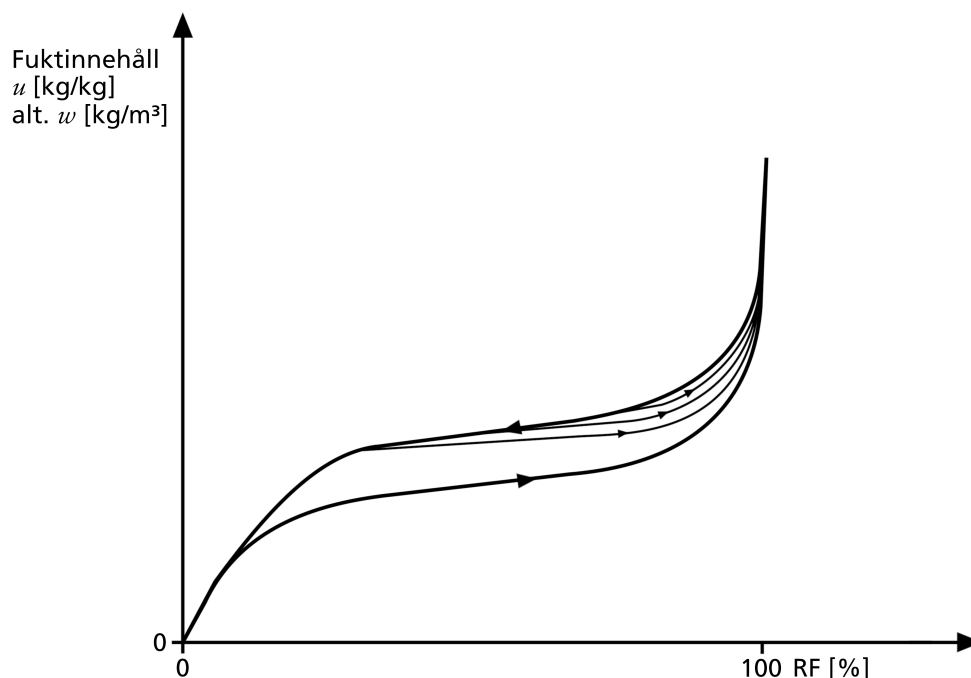
Fuktinnehållets temperaturberoende kan redovisas med hjälp av olika sorptionsisoterm, se Figur 17. För byggnadsmaterial används i Sverige vanligen sorptionsisoterm för temperaturen 20 °C [4].



Figur 17. Ett exempel för temperaturberoende redovisat med flera sorptionsisoterm.

Att det är en skillnad mellan adsorption och desorption i sorptionsisotermen innebär att fenomenet *hysteres* förekommer [3]. Det finns flera förklaringsmodeller till varför hysteres uppstår och hittills råder det oenighet vilken modell som är mest korrekt.

Absorptionsisotermen och desorptionsisotermen visar det lägsta respektive högsta fuktinnehållet vid olika RF, vilket innebär att fuktinnehållet i ett material kan ges mellan kurvorna [4]. Ett exempel är då ett material torkas från vattenmättat tillstånd och följer desorptionsisotermen, om materialet sedan utsätts för uppfuktning till vattenmättat tillstånd kommer fuktinnehållet följa en ny kurva. De här kurvorna mellan absorption- och desorptionsisotermen benämns scanningkurvor och kan exempelvis se ut som i Figur 18.



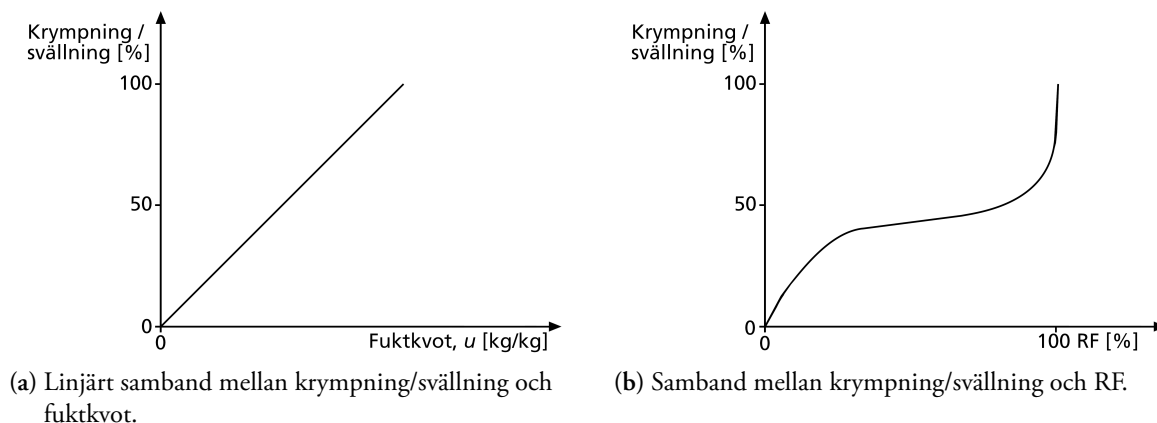
Figur 18. Ett exempel på tre stycken scanningkurvor för en sorptionsisoterm. Scanningkurvorna utgår från sorptionsisotermen för desorption.

2.6. Fuktbetingade rörelser

Rörelser som beror av uppfuktning och uttorkning finns hos alla porösa material [3]. Uppfuktning eller uttorkning av ett material innebär att materialet *sväller* respektive *krymper* [9].

Krympning och svällning som sker oförhindrad och utan fuktgradient (se avsnitt 2.9) kallas *fri* krympning och svällning [9]. Att utvärdera fria fuktrörelser vid förändring av fukttinnehåll i ett material är i regel endast teoretiskt möjligt [9]. I praktiken ändras fukttinnehållet olika snabbt i olika delar, vilket leder till spänningar i materialet. Vid utvärdering av fria fuktrörelser bör därför skillnaden i fukttinnehåll mellan olika delar av materialet vara så liten som möjligt. Förändringar av fukttinnehållet bör således begränsas till små förändringar över lång tid.

Den fria krympningen och svällningen varierar linjärt med fukttinnehållet för merparten av hygroskopiska material [9]. Då fukttinnehållet hos materialet ökar så ökar svällningen proportionellt mot fukttinnehållet. De fuktbetingade rörelserna i förhållande till fuktkvoten visas i Figur 19 (a). Förhållandet mellan fuktkvoten/fukthalten och RF för materialet ges som tidigare nämnts i avsnitt 2.5, av materialets sorptionsisoterm. Är sorptionsisotermen känd kan således de fuktbetingade rörelserna uppskattas i det aktuella RF intervallet, se Figur 19 (b).

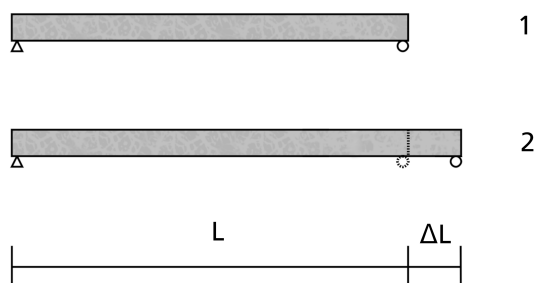


Figur 19. Principiella samband för krympning/svällning och fukttillstånd.

Materialets relativa fuktbetingade rörelse anges i [m/m], eller [%], och ges i denna rapport beteckningen ε_f (där index f indikerar fukt) och beskrivs med ekvation (9),

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta L}{L} \quad (9)$$

där ΔL [m], är längdförändringen och L [m], är ursprungslängden. Kvoten mellan längdförändringen och ursprungslängden benämns också som materialets *töjning*. Längdskillnadens förhållande till ursprungslängd visas i Figur 20.



Figur 20. Svällning från ursprungslängden, L , med längdskillnaden, ΔL .

För isotropa material är den relativa längdändringen lika stor i alla riktningar [3]. Den relativa volymändringen kan således uppskattas vara samma som tre gånger den relativa längdändringen. Vissa material, till exempel trä som är anisotropt, har däremot stor skillnad i fuktbetingade rörelser i olika riktningar.

Fuktrörelserna i ett material beror på flera olika mekanismer [9]. Vilka mekanismer och i vilka material dessa gäller är ännu inte helt känt [3]. En mekanism som skulle kunna beskriva de fuktbetingade rörelserna är att vattenmolekyler, som är strukturellt bundna till materialet, avgår respektive återgår vid förändrad ånghalt. Materialets volym är större då vattenmolekylerna är bundna till materialet. När de bundna vattenmolekylerna avgår krymper materialet och när de återgår sväller materialet. En annan mekanism som kan beskriva fuktbetingade rörelser, är då materialet torkar från vattenmättat tillstånd och menisker bildas där vattnet är kapillärt bundet [3]. Dragspänningar uppstår i det

kapillärt bundna vattnet och medför tryckspänningar längs med de kapillära porerna i materialet, vilket medför att materialet krymper.

De fuktbetingade rörelserna skiljer sig mycket mellan olika material [9]. Vissa material med stora porer med stort fuktinnehåll, uppvisar trots en stor fuktavgivning inte en stor krympning vid uttorkning. Storleken på porerna i porsystemet är då så pass stora att det inte bildas tillräckligt stora undertryck hos porerna. Dessutom utgör det adsorberade vattnet endast en liten del av det totala fuktinnehållet [9]. Hos många material med väldigt fina porer i porsystemet leder ofta uttorkning till stor krympning då det är en relativt hög andel adsorberat vatten.

Cementbaserade materials krympning och svällning beror till stor del på två typerna av porer i materialet [9]. Gelporer bildas i cementgelen då vatten reagerar med cement. Gelporer är små och innehåller därför en stor andel adsorberat vatten. När det adsorberade vattnet avdunstar vid torkning krymper gelen och således materialet. Den andra typen, kapillärporer är det mellanrum mellan cementkornen som reaktionsprodukterna inte fyllt ut [9]. Kapillärporerna är stora och innehåller därför endast fukt i flytande form vid högre RF (över cirka 45 %). Vattnet i kapillärporerna är bundet med kapillärkrafter och när materialet torkar ökar porvattenundertrycket. Detta ökade porvattenundertryck medför i sin tur att materialet krymper. Cementbaserade material får en stor krympning som inte återgår, en så kallad *irreversibel* krympning vid torkning till RF lägre än 11 % [9]. Laborrietester visar även att den allra första uttorkningen av cementpasta ger upphov till irreversibel krympning [10]. Fenomenet kan delvis förklaras genom att porerna omfördelas till ett kontinuerligt porsystem i cementpastan, vilket sänker spänningarna längs med de kapillära porerna, vilket i sin tur medför en mindre krympning.

I många cementbundna material kombineras cement med olika typer av fibrer vilket påverkar de fuktbetingade rörelserna. Historiskt har det varit vanligt med till exempel asbestfibrer. Fuktrörelserna för material av cement och asbestfibrer är mellan cirka 0,1 % (1 mm/m) och 0,3 % (3 mm/m) [11].

Fuktbetingade rörelse hos trä är mycket stora (upp till 10 %) [9]. I träbaserade material sker fuktbetingade rörelser på grund av fukt upptagen i cellväggarna [9]. Trä upptar fukt i cellväggarna tills den så kallade *fibermättnadspunkten* är uppnådd, vilket motsvarar en fuktkvot på mellan 23-30 % för de flesta typer av träslag [3]. Fibermättnadspunkten motsvarar jämvikt med cirka 100 % RF. Då cellväggarna inte tar upp någon fukt vid uppfuktning över fibermättnadspunkten, sker inte heller någon fuktbetingad rörelse över fibermättnadspunkten [3].

Fuktbetingade rörelser hos skivmaterial har tidigare studerats i ett examensarbete av A. Persson och D. Pehrsson [12]. I examensarbetet studeras fuktbetingade rörelser för olika typer av våtrums och vindskyddsskivor. Skivtyperna som testas är bland annat en cementspånskiva, en formplywoodskiva, magnesiumoxidsskivor och olika typer av gipsskivor. De fuktbetingade rörelserna studeras i olika intervall mellan 11 % och 100 % RF. Slutsatserna som dras av författarna är bland annat att magnesiumoxidskivorna uppvisar, relativt de andra skivorna, störst fuktbetingade rörelser, följt av cementspånskivan och formplywoodskivan [12]. Gipsskivorna uppvisar enligt författarna betydligt mindre fuktbetingade rörelser än resterande skivor.

2.7. Temperatur och värme

Temperatur är en fysikalisk storhet som beskriver ett objekts innehåll av *termisk energi* (värmeenergi). Termisk energi kännetecknas av oordnade rörelser hos molekyler och atomer inne i objektet [3]. En minskad temperatur minskar och en ökad temperatur ökar de oordnade rörelserna hos molekylerna och atomerna [3]. Temperatur ges vanligen i enheterna Kelvin [K] eller Celsius [°C]. Även begreppet *värme* syftar i denna rapport på innehållet av termisk energi (värmeenergi). Mängden värme som transporteras genom ett material benämns som värmeflöde [W] [3].

Värmeflödet genom en area kallas värmeflödestätheten q [W/m²] [3]. Värmeflödestätheten ges enligt ekvation (10),

$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad (10)$$

där λ [W/(mK)], är värmekonduktiviteten, dT [K], är skillnaden i temperatur och dx [m], är tjockleken.

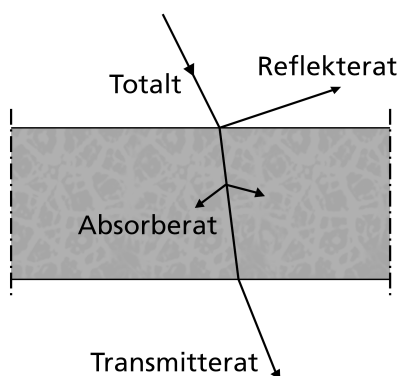
Den värmemängd som krävs för att höja temperaturen i ett material med en grad benämns som *värmekapacitet* [J/K] [3]. Vatten har relativt stor *specifik värmekapacitet* [J/(kgK)], vilket är värmekapaciteten per kg av materialet [3]. Hur fuktigt ett material är har därför stor inverkan på värmekapaciteten. Till exempel har trä cirka 15 % högre värmekapacitet om det är uppfuktat till 10 % fuktkvot jämfört med torrt trä.

2.7.1. Värmetransportsätt

Värmetransport sker genom tre olika mekanismer: ledning, strålning och konvektion [3]. Transporten sker från en högre temperatur till en lägre temperatur.

Transportsättet *ledning* innebär att molekyler och atomer med hög rörelseenergi överför energi genom att stöta in i molekyler och atomer med lägre rörelseenergi [3]. *Värmeledning* ur byggnadsteknisk bemärkelse syftar ofta på alla tre transportsätten samtidigt [3].

Alla kroppar avger och tar emot strålning [1]. Strålningen som träffar ett material kan delas upp i tre delar [3], vilket visas i Figur 21. En del som *reflekteras*, det vill säga studsar av kroppens yta utan att värma upp den. En del *absorberas*, vilket innebär att den värmer upp kroppen. Den tredje delen går igenom materialet, vilket benämns att strålningen *transmitteras*. Storleken på värmeflödestätheten hos strålningen påverkas av ett materials yta och färg [3].



Figur 21. Strålning som delas upp i de tre delarna reflekterad, absorberad och transmitterad strålning.

Konvektion innebär att värme transporteras med hjälp av ett strömmande medium, ofta luft men kan även vara vatten [3]. Konvektion kan delas in i *naturlig* och *påtvingad* konvektion. Naturlig konvektion uppstår på grund av att varm luft är lättare än kall, vilket medför att rörelser i luften uppstår. Påtvingad konvektion är däremot beroende av yttre påverkan såsom vind eller fläktar.

2.8. Temperaturbetingade rörelser

Temperaturförändringar ger upphov till rörelser i alla material [3]. Hos merparten av material sker denna rörelse genom att materialet utvidgar sig när temperaturen ökar och när temperaturen minskar, minskar volymen. Ett undantag till detta är vatten. Vatten har som högst densitet vid 4 °C, vilket innebär att volymen för vatten ökar när temperaturen minskar från 4 °C.

Ett materials relativa temperaturbetingade rörelse betecknas med storheten ε_T (där index T indikerar temperatur), anges i [m/m] eller [%] och visas i ekvation (11),

$$\varepsilon_T = \frac{\Delta L}{L} = \alpha \cdot \Delta T \quad (11)$$

där ΔL [m], är längdändringen, L [m], är ursprungslängden och α [1/K], är längdutvidgningskoefficienten [3]. Längdutvidgningskoefficienten beskriver längdutvidgningsens temperaturberoende som ett linjärt samband. ΔT [K], är skillnaden i temperatur.

Längdutvidgningskoefficienten för furu, cementbruk, asbestcement och mässing i normala temperaturer visas i Tabell 2. Materialen i Tabell 2 används i examensarbetets metod samt jämförs med resultatet.

Tabell 2. Längdutvidgningskoefficienten för furu, cementbruk, asbestcement och mässing [3] [11] [13].

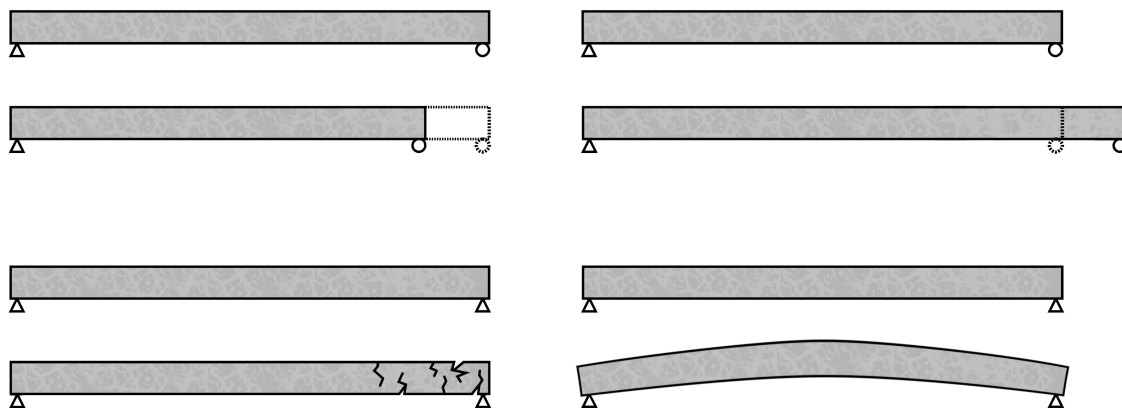
Material	Längdutvidgningskoefficienten α [$10^{-6}/K$]
Furu parallellt med fiberriktningen [3]	5
Furu vinkelrätt med fiberriktning [3]	34
Cementbruk [3]	8-14
Asbestcement [11]	9-12
Mässing [13]	19

I Sverige kan byggnadsdelar utomhus uppskattas variera mellan cirka $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3]. I vissa fall kan temperaturer bli något högre, till exempel på tak och fasader som vetter mot söder eller väster. Ett linjärt samband kan inte användas för stora temperaturintervall i höga temperaturer, då längdutvidgningskoefficienten varierar något med temperaturen [3]. Längdutvidgningskoefficientens förändring vid höga temperaturer kan bland annat bero på att materialet smälter eller att kemiskt bundet vatten avgår.

2.9. Sprickbildning och buktning

Förhindrade rörelser hos material kan leda till följder såsom *sprickbildning* i eller *buktning* av en skiva. Sprickbildning är ofta ett resultat av att *spänningen* i ett material överstiger dess *hållfasthet*. Spänning, σ [Pa], är belastning per ytenhet och hållfastheten [Pa] motsvarar den spänning då materialet går till brott [3]. Olika belastningsfall ger ofta olika hög hållfasthet. Ett material som blir belastat av dragspänningar går till brott då materialets *draghållfasthet* överstigs. På samma sätt går ett material som belastas av tryckspänningar till brott då *tryckhållfastheten* överstigs. Skillnaderna mellan drag- och tryckhållfastheten kan vara stora för ett material [3]. När ett material belastas över hållfastheten kan olika typer av brott ske beroende på materialet, exempelvis sprickbildning.

Spänningar i materialet kan uppstå på olika sätt, det kan vara på grund av extern mekanisk belastning men kan också bero på att materialet har en förhindrad rörelse. Ett element som är fritt att röra sig vid temperaturändring kommer få en töjning. Om töjningen är förhindrad orsakas istället en spänning i elementet [14]. På samma sätt orsakas spänningar vid förhindrade fuktrörelser. Ett exempel av sprickbildning på grund av förhindrad rörelse visas i Figur 22 (a).



(a) Sprickbildning vid förhindrad krympning.

(b) Buktning vid förhindrad svällning.

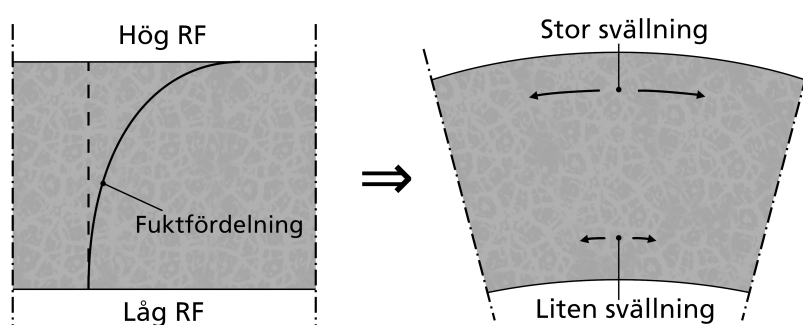
Figur 22. Två möjliga konsekvenser av förhindrad rörelse.

Tryckspänningar som verkar axiellt i ett element kan om de överskrider en viss gräns få elementet ur sitt jämviktsläge, vilket orsakar deformation såsom buktning [15]. Tryckspänningar i en skivas plan leder till instabilitet av skivan. Hur skivan deformeras är beroende av dess randvillkor, och i praktiken är det infästningen av skivan som avgör randvillkoren. Ett exempel på buktning av en skiva vid förhindrad töjning visas i Figur 22 (b).

Spänningsutvecklingen vid förhindrade fukt- och temperaturrelser hos cementfiberskivor har bland annat studerats av S.A.S. Akers och M. Partl [16]. De menar att spänningsutvecklingen vid förhindrade rörelser är komplex och till stor del beror på porstorleksfördelningen och/eller densiteten hos

materialet. En av slutsatserna som dras är att åldrade material, det vill säga material som varit utsatt för varierande klimat utomhus i 5 år, utvecklar spänningar långsammare och får en mindre krympning än material som inte åldrats [16].

Sprickbildning och buktning hos material kan även beror på olika stora töjningar inom materialet [9]. I det fall ett homogent material utsätts för olika klimat på olika sidor kan en varierande fuktfordelning genom materialet uppkomma, en *fuktgradient*. Fuktgradienten i materialet kan medföra att materialet krymper och/eller sväller olika mycket i olika delar av materialet [9]. Ett exempel på ojämn svällning orsakad av en fuktgradient visas i Figur 23. Då materialet krymper/sväller ojämnt, kan materialet deformeras genom att krökas [9]. En asymmetrisk fuktfordelning genom materialet kan även leda till dragspänningar i yttre delar av materialet som i sin tur medför sprickbildning i de yttre skikten.



Figur 23. Ojämn svällning orsakad av en fuktgradient.

3. Material

I det här avsnittet beskrivs vilka olika typer av skivor som används i försöken. En kort sammanställning av leverantörernas redovisning av densitet, fukt- och temperaturrelörelser, ingående beståndsdelar, samt övrig relevant information ges även i det här avsnittet.

3.1. Skivtyper

I det här arbetet har sju olika skivor undersökts. I Tabell 3 redogörs det för skivornas produktnamn, typ av skiva, tjocklek och benämning av skivorna.

Tabell 3. De använda skivornas produktnamn, typ av skiva, tjocklek och benämning i denna rapport.

Produktnamn	Typ av skiva	Tjocklek [mm]	Benämning
Cembrit Windstopper	Fibercementskiva	4,5	A
Cembrit Patina	Fibercementskiva	8	B
Cembrit Solid	Fibercementskiva	8	C
Siniat Conchipe	Cementspånskiva	8	D
EQUITONE Tectiva	Fibercementskiva	8	E
Knauf Weatherboard 2.0	Oorganisk kompositgipsskiva	9,5	G
Promat Masterboard	Kalciumsilikatskiva	10	H

3.2. Cementbundna skivmaterial

Cementbundna skivmaterial delas i det här arbetet upp i underkategorierna *fibercementskivor* och *cementspånskivor*. Det första cementbundna skivmaterialet som användes i stor utsträckning tillverkades runt år 1900 av asbest och cement [17]. Ett exempel på skivmaterial av asbestcement är det som i Sverige benämns som eternitskivor. Då asbest upptäcktes vara cancerogent upphörde tillverkningen av skivorna med asbest i Sverige i slutet på 1970-talet [3]. Asbesten har nu ersatts av bland annat, träspån, cellulosafibrer, plastfibrer och/eller glasfibrer.

Cembrit Windstopper

Cembrit Windstopper Extreme är av leverantören avsedd att användas som vindskyddsskiva. Skivan klarar enligt leverantören [18] av att vara utan fasadbeklädnad under 12 månader. Leverantörens redovisade materialegenskaper visas i Tabell 4 [18]. Skivans innehåll redovisat av leverantören visas i Tabell 5. Viktprocent av de olika ingående materialen är inte redovisat.

Tabell 4. Redovisade materialdata för Cembrit Windstopper Extreme från leverantör [18].

Egenskap	Redovisad data	Redovisat som
Densitet	1450±15 % [kg/m ³]	Density
Fuktbetingade rörelser	-	-
Temperaturbetingade rörelser	-	-

Tabell 5. Innehållet i Cembrit Windstopper Extreme redovisat av leverantör [18].

Ingående material	Vikt [%]
Portlandcement	-
Kalkstensfiller	-
Cellulosa fibrer	-
Polypropylene fibrer	-

Cembrit Patina

Cembrit Patina är av leverantören avsedd att användas som beklädnad på inner- och ytterväggar, samt beklädnad av innertak. Leverantörens redovisade materialegenskaper visas i Tabell 6 [19]. Skivans innehåll är inte redovisat men benämns som en genomfärgad fibercementskiva.

Tabell 6. Redovisade materialdata för Cembrit Patina från leverantör [19].

Egenskap	Redovisad data	Redovisat som
Densitet	1500 [kg/m ³]	Density, dry
Fuktbetingade rörelser	2,6 [mm/m]	Wet-dry-wet (max)
Temperaturbetingade rörelser	10 [10 ⁻⁶ /K]	Coefficient of thermal expansion

Cembrit Solid

Cembrit Solid är av leverantören avsedd att användas som fasad- och undertaksbeklädnad. Leverantörens redovisade materialegenskaper visas i Tabell 7 [20]. En sida är behandlad med en vattenbaserad akrylatfärg och andra sidan är spärrelackerad. Skivans innehåll redovisat av leverantören visas i Tabell 8.

Tabell 7. Redovisade materialdata för Cembrit Solid från leverantör [20].

Egenskap	Redovisad data	Redovisat som
Densitet	≥1,65 [g/cm ³]	Densitet
Fuktbetingade rörelser	3 [mm/m]	Wet-dry-wet (max)
Temperaturbetingade rörelser	8 [10 ⁻⁶ /K]	Coefficient of thermal expansion

Tabell 8. Innehållet i Cembrit Solid redovisat av leverantör [20].

Ingående material	Vikt [%]
Portlandcement	55-60
Kalkstens- och glimmerfiller	30
Cellulosa	5-10
Puzzolansk filler	2-5
PVA fibrer (polyvinylalkohol)	0,5
Pigment	0-0,5

Siniat Conchip

Siniat Conchip är av leverantören avsedd att användas som universal bygg- och fasadskiva. Leverantörens redovisade materialegenskaper visas i Tabell 9 [21]. Skivans innehåll redovisat av leverantören visas i Tabell 10.

Tabell 9. Redovisade materialdata för Siniat Conchip från leverantör [21].

Egenskap	Redovisad data	Redovisat som
Densitet	1270 [kg/m ³]	Densitet
Fuktbetingade rörelser	-	-
Temperaturbetingade rörelser	-	-

Tabell 10. Innehållet i Siniat Conchip redovisat av leverantör [21].

Ingående material	Vikt [%]
Portlandcement	70
Träfiber (Pine)	30

EQUITONE Tectiva

EQUITONE Tectiva är av leverantören avsedd att användas som ventilerad fasadbeklädnad, yttertak, panelbeklädnad, kant- och takfotsbeklädnad, samt interiörväggsbeklädnad. Leverantörens redovisade materialegenskaper visas i Tabell 11 [22]. Skivans innehåll redovisat av leverantören visas i Tabell 12.

Tabell 11. Redovisade materialdata för EQUITONE Tectiva från leverantör [22].

Egenskap	Redovisad data	Redovisat som
Densitet	1,580 [kg/m ³]	Lägsta densitet, Torr
Fuktbetingade rörelser	1,60 [mm/m]	Fuktrörelse, 30-95 %
Temperaturbetingade rörelser	10 [10 ⁻⁶ /K]	Termisk rörelse

Tabell 12. Innehållet i EQUITONE Tectiva redovisat av leverantör [22].

Ingående material	Vikt [%]
Portlandcement	>30
Sand	>30
Cellulosa	<10
Pigment	<10
Wollastonit	<10
Lera	<10
Kalksten	<10

3.3. Gipsskivor

Gipsskivor består av en kärna i gips som är omsluten av papp eller glasfiberväv [3] [23]. Gipsskivor ska inte vattenbegjutas och bör således inte heller sänkas ner i vatten. Gipsskivor bör inte heller långvarigt värmas upp över cirka 45 °C då det kemisk bundna vattnet avgår och gipsens hållfasthet sänks [3].

Knauf Weatherboard 2.0

Knauf Weatherboard 2.0 är av leverantören avsedd att användas som vindskyddsskiva för ytterväggskonstruktioner [23]. Leverantörens redovisade materialegenskaper visas i Tabell 13 [23]. Skivans

innehåll redovisat av leverantören visas i Tabell 14. Vindskyddsskivan klarar enligt leverantören [23] av att vara utan fasadbeklädnad under 6 månader. Leverantören [24] anger på sin hemsida att hållfastheten och styvheten hos gipsskivor minskas då de upptar fukt i RF över 90 %. Gipsskivor ska därför inte användas i utrymmen där RF 80 % ständigt överstigs [24]. Beskrivningen antas vara en mer generell rekommendation av leverantörens alla olika typer av gipsskivor och gäller nödvändigtvis därför inte specifikt för Knauf Weatherboard 2.0.

Tabell 13. Redovisade materialdata för Knauf Weatherboard 2.0 från leverantör [23].

Egenskap	Redovisad data	Redovisat som
Densitet	768 [kg/m ³]	Densitet
Fuktbetingade rörelser	-	-
Temperaturbetingade rörelser	-	-

Tabell 14. Innehållet i Knauf Weatherboard 2.0 redovisat av leverantör [23].

Ingående material	Vikt [%]
Gips (Kalciumsulfat, dihydrat)	90-95
Vax	<1
Glasfiber	<0,2

3.4. Kalciumsilikatskivor

Kalciumsilikatskivor är en typ av fibersilikatskiva [3]. Fibersilikatskivor används ofta som brandskyddande inklädnad till ventilationskanaler, stålkonstruktioner och liknande [3]. Tillverkningen sker normalt vid höga temperaturer och hög fuktighet.

Promat Masterboard

Promat Masterboard är av leverantören avsedd att användas som brandskiva och universalbyggskiva. Leverantörens redovisade materialegenskaper visas i Tabell 15 [25]. Skivans innehåll är inte redovisat av leverantören men benämns som en kalciumsilikatskiva. Skivan tål inte slagregn, men kan monteras delvis exponerad [25]. Enligt leverantören klarar skivorna att uppta fukt från luften utan att svälla. Trots det redovisas ändå att skivan har en rörelse på grund av fukt, se Tabell 15.

Tabell 15. Redovisade materialdata för Promat Masterboard från leverantör [25].

Egenskap	Redovisad data	Redovisat som
Densitet	1050 ± 12,5 % [kg/m ³]	Densitet (23 °C, 50 % RF)
Fuktbetingade rörelser	0,1 [%]	Rörelser pga. fukt 0-100 %
Temperaturbetingade rörelser	29,4 [10 ⁻⁶ /K]	Värmeutvidgningskoefficient 1/°C

4. Metoder

I det här avsnittet beskrivs metoderna för den experimentella delen av examensarbetet. Först beskrivs beräkningar som använts för att uppskatta hur lång tid det skulle ta för skivorna att uppnå jämvikt med olika konstanta klimat. Dessutom beskrivs metoden som använts för att utforma provkroppar. Metoden för bestämning av sorptionsisotemer och fuktbedingade rörelser beskrivs också. Slutligen beskrivs också hur de temperaturbetingade rörelserna bestämts.

4.1. Beräkningar för uppskattning av tid för jämvikt

För att bedöma exponeringstiden för provkropparna att hamna i jämvikt med olika konstanta klimat utfördes ickestationära fuktberäkningar. Resultatet från beräkningarna användes som tidsbegränsning för den experimentella delen. En ickestationär beräkning uppskattade tiden för absorption från 0 % till 33 % RF och sedan från 33 % till 95 % RF. Den andra beräkningen uppskattade tiden för desorption från 100 % till 95 % RF och sedan från 95 % till 33 % RF. I det här avsnittet redogörs det för antaganden till beräkningarna och det första beräkningssteget för en beräkning redovisas. Alla utförda beräkningar redovisas i tabellform i Bilaga A.

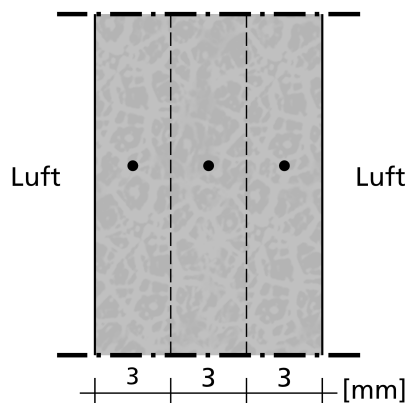
4.1.1. Antaganden

Fibercementskivan var den skivtyp som antogs ta längst tid att nå jämvikt med ett konstant klimat då den har ett högt ånggenomgångsmotstånd. För att utföra beräkningarna behövdes fibercementskivans ångpermeabilitet och sorptionsisoterm. Den experimentella delen av examensarbetet går bland annat ut på att utvärdera sorptionsisotemer hos skivtyperna, fuktegenskaperna var således inte kända när beräkningarna utfördes. Istället användes ångpermeabilitet och sorptionsisoterm för en fibercementskiva som är redovisade av G. Hedenblad [8]. Ångpermeabiliteten redovisas i ett intervall beroende på fibercementskivans densitet [8]. För att inte beräkningarna skulle underskatta tiden det tar att nå jämvikt valdes därför så låg ångpermeabilitet som möjligt. Ångpermeabiliteten som användes för beräkningarna redovisas i Tabell 16.

Tabell 16. Ångpermeabiliteten som användes vid de ickestationära beräkningarna. Sammanställning av värden redovisade av G. Hedenblad [8].

Ångpermeabilitet $\delta_v \cdot 10^{-6}$ [m^2/s]				
0-70 % RF	70-80 % RF	80-90 % RF	90-95 % RF	95-100 % RF
0,25	0,3	0,4	0,5	0,55

Fuktransporten mellan skivan och luften sker på båda sidor. Tjockleken valdes till 9 mm och delades in i 3 stycken lika stora beräkningsceller, vilket visas i Figur 24. Allt fuktflöde beräknas med ånghalt som drivande potential. Övergångsmotståndet mellan material och luft, Z_{yta} [s/m], antogs vara 500 s/m (då det totala övergångsmotståndet för ytorna på in- och utsida av en yttervägg är mindre än 1000 s/m [4]).



Figur 24. Indelning av beräkningsceller för en 9 mm tjock fibercementskiva.

Storleken på tidsstegen anpassades så att de var små från början och ökade sedan successivt för att inte överskatta fukttransporten i det tidiga skedet.

4.1.2. Beräkning

Det första beräkningssteget för uppfuktning från torrt tillstånd till jämvikt med 33 % RF redovisas i det här avsnittet. Övriga beräkningar utförs på motsvarande sätt och redovisas i tabellform i Bilaga A.

Fuktflödet g [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$], mellan två celler eller en cell och luft ges av ekvation (12),

$$g = \frac{\Delta v}{Z_v} \quad (12)$$

där Δv [kg/m^3], är skillnaden i ånghalt och Z_v [s/m], är fuktmotståndet. Fuktmotståndet mellan två celler ges av ekvation (13),

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 = \frac{\delta_1}{x_1/2} + \frac{\delta_2}{x_2/2} \quad (13)$$

där δ [m^2/s], är ångpermeabiliteten och x [m], är celltjockleken. Ånghalten, v [kg/m^3], vid en viss RF, ϕ [%], ges genom att skriva om relationen för RF till ekvation (14),

$$\phi = \frac{v}{v_s} \Rightarrow v = \phi \cdot v_s \quad (14)$$

där v_s [kg/m^3], är mättnadsånghalten. Mättnadsånghalten vid 20 °C är 17,28 g/m^3 , enligt Tabell 8.1.7 i *Fukthandbok* av J. Arfvidsson, L.-E. Harderup och I. Samuelson [4]. Ånghalten i luft med 33 % RF blev med insatta värden i ekvation (14):

$$v = 0,33 \cdot 17,28 \approx 5,70 \text{ g}/\text{m}^3$$

Vid första beräkningssteget antogs ånghalten, v , vara lika stor i samtliga celler. Fukttransporten skedde då endast mellan luften och de yttre cellerna. Då skivan vid det här beräkningssteget var uttorkad (0 % RF), var ånghalten i cellerna 0 g/m^3 . Ångpermeabiliteten ges i Tabell 16 och då RF var 0 % valdes denna till $\delta_v = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Fuktmotståndet för det första beräkningssteget blev med insatta värden i ekvation (13):

$$Z_v = 500 + \frac{0,003/2}{0,25 \cdot 10^{-6}} = 6500 \text{ s}/\text{m}$$

Fuktflödet från de yttre cellerna blev då med insatta värden i (12):

$$g = -\frac{5,70-0}{6500} \approx -8,77 \cdot 10^{-7} \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$$

Skillnaden i fukthalt, Δw [kg/m^3], hos en cell ges av ekvation (15),

$$\Delta w = \frac{\Delta g}{\Delta x} \cdot \Delta t \quad (15)$$

där Δg [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$], är summan av fuktflödena till och från cellen, Δx [m], celltjockleken och Δt [s], är tidssteget. Första tidssteget sattes till en halv dag. Skillnaden i fukthalt blev med ekvation (15):

$$\Delta w = \frac{0-(-)8,77 \cdot 10^{-7}}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,5 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \approx 12,63 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Med hjälp av sorptionsisotermen för fibercementskivan redovisad av G. Hedenblad [8], kunde en skillnad i fukthalt på $12,63 \text{ kg}/\text{m}^3$ avläsas ge en skillnad på cirka 1 % RF. RF ändrades således från 0 % till 1 % i de yttre beräkningscellerna i det första beräkningssteget.

Resterande beräkningssteg utfördes med samma tillvägagångssätt. Tiden för absorption mellan 0-95 % RF redovisas i Tabell 17, samt tiden för desorption mellan 100-33 % RF redovisas i Tabell 18.

Tabell 17. Tiden det tar för att uppnå jämvikt för absorption mellan 0-33-95 % RF.

RF Intervall [%]	Tid [dagar]
0-33	17
33-95	14
0-33-95	31

Tabell 18. Tiden det tar för att uppnå jämvikt för desorption mellan 100-95-33 % RF.

RF Intervall [%]	Tid [dagar]
100-95	30
95-33	12
100-95-33	42

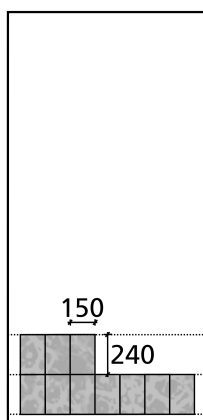
Resultatet från beräkningarna visade att den längsta exponeringstiden som krävdes för jämvikt var 30 dagar, för uttorkning mellan 100-95 % RF. Tidsbegränsningarna i experimenten för uttorkning/uppfoktning till olika konstanta klimat sattes således till 30 dagar.

4.2. Utformning av provkroppar

Av fasad- och vindskyddsskivorna utformades 150 mm breda och 240 mm långa provkroppar. Totalt sex stycken provkroppar sågades ut per skiva. Fasad- och vindskyddsskivorna levererades i varierande storlek där den minsta skivan var 900x2700 mm och den största 1200x2500 mm. Då utrymmet inne i klimatboxarna och ugnarna var begränsat anpassades provkroppar till dessa. Skivorna sågades med hjälp av cirkelsåg.

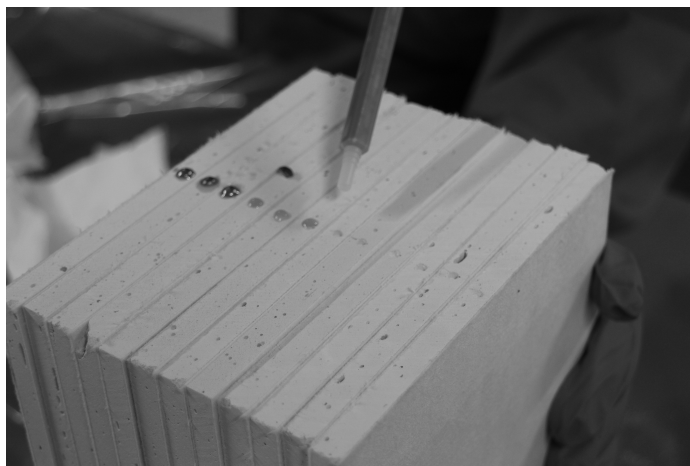
De ursprungliga skivornas kanter var ofta behandlade samt sågade på ett sätt som medförde en yta som var svår att efterlikna med en cirkelsåg. Skivornas kanter sågades därför bort vid utsågningen av provkropparna. Provkropparna utformades också utan skivornas kanter för att provkropparna skulle

vara jämförbara med varandra och för att en provkropp skulle ge fukt- och temperaturegenskaper utan inverkan av olika kanteffekter. Figur 25 visar placeringen av provkropparna i förhållande till skivorna.



Figur 25. Placering av utsågade provkroppar i förhållande till skivan.

För att på ett enkelt sätt och med hög precision kunna mäta längdförändringarna förberedes provkropparna genom att i centrum på den sågade ytan av kortsidorna borra ett hål. I hålet placerades en mässingsdubb. Mässingsdubben fästes genom att applicera en liten mängd epoxilim av typen Loctite EA 3421 [26] i hålet, för att sedan pressa ner mässingsdubben. Utförandet visas i Figur 26. Mässingsdubbarnas vikt bortses från vid vägning av provkropparna och mässingsdubbarnas tjocklek bortses från vid längdmätning.

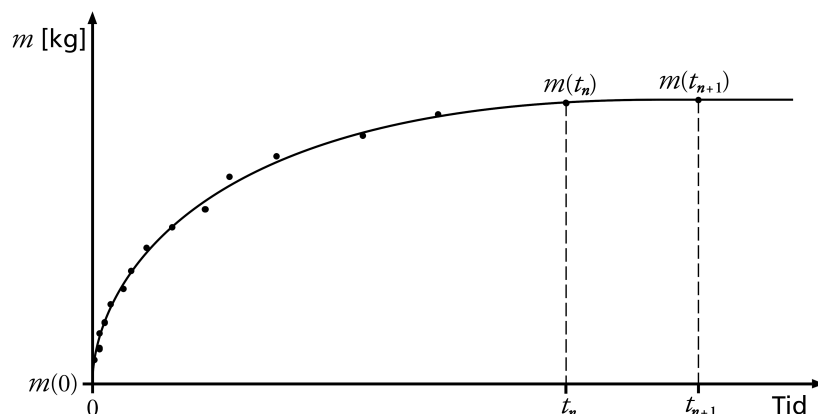


Figur 26. Mässingsdubbarna fästes på provkroppar av skiva G med epoxilim.

4.3. Bestämning av sorptionsisotermer och fuktrörelser

Sorptionsisotermerna för skivorna erhöles av provkropparnas fukttinnehåll i jämvikt med olika konstanta RF. Tre provkroppar per skiva fuktades upp från ett uttorkat till ett fuktmättat tillstånd, och tre stycken torkades ut från ett fuktmättat till ett uttorkat tillstånd. Utöver uttorkat och fuktmättat tillstånd, utvärderades även jämvikt med två andra klimat med konstant RF. Fuktrörelserna för provkropparna erhöles i intervallen mellan de olika konstanta RF.

Jämvikt syftar i det här examensarbetet på en låg viktändring under en viss tid, vilket visas i Figur 27.



Figur 27. Jämvikt vid förlopp för uppfuktning.

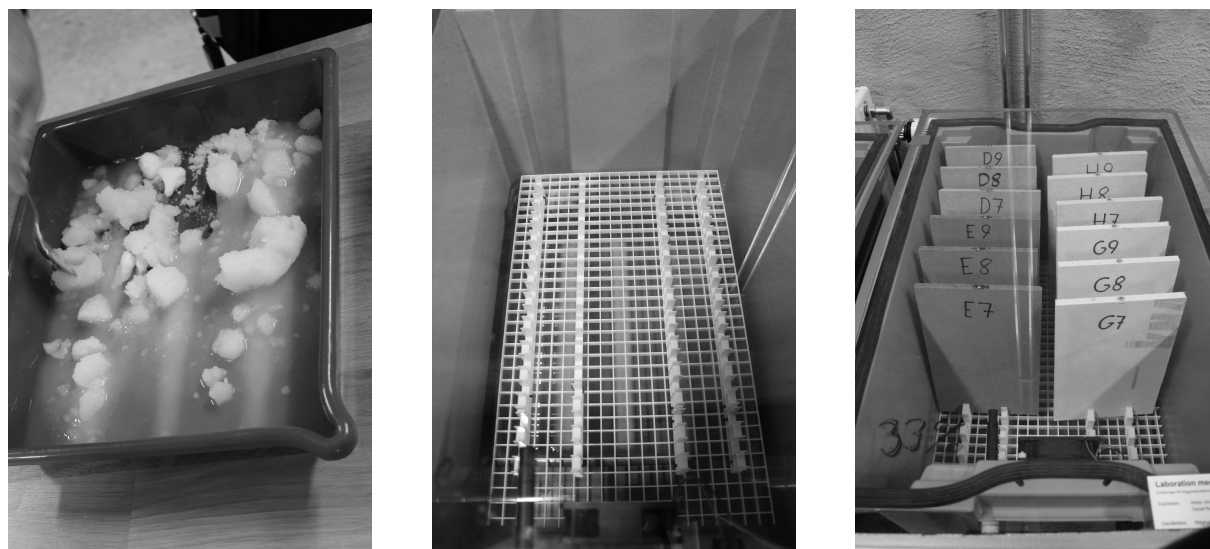
Jämvikt beskrivs med ekvation (16),

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{m(t_{n+1}) - m(t_n)}{(t_{n+1}) - (t_n)} \approx 0 \quad (16)$$

där Δm [kg], är viktskillnad mellan två vägningar, och Δt [s], är tiden mellan vägningarna. $m(t_{n+1})$ [kg], är vikten vid tiden, t_{n+1} [s], och $m(t_n)$ [kg], är vikten vid tiden, t_n [s].

4.3.1. Genererade klimat med saltlösningar

De två konstanta klimaten, utöver det uttorkade och det fuktmättade tillståndet, genererades genom att använda klimatboxar. En klimatbox var en låda innehållande en saltlösning med ovanförliggande raster där provkropparna placerades. Luften i klimatboxen cirkulerades med en fläkt för att säkerställa att RF inte varierade i klimatboxen. Det kopplades även till en RF givare (Testo 605) för att kontrollera att RF inne i klimatboxen hölls konstant. I varje klimatbox placerades upp till tolv stycken provkroppar, se Figur 28 (b) och (c).



(a) Omröring av salt (MgCl_2) och avjoniserat vatten.

(b) Klimatbox med saltlösning (MgCl_2), utan provkroppar.

(c) Klimatbox med saltlösning (MgCl_2), med provkroppar utav D, E, G och H.

Figur 28. Bilderna visar hur en saltlösning användes för att generera ett av de konstanta klimaten för provkropparna.

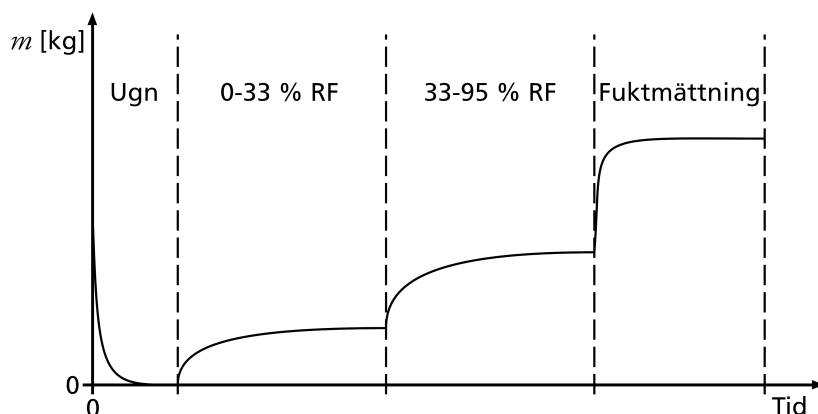
I klimatboxen placerades en övermättad saltlösning. Salterna som användes var Magnesiumklorid (MgCl_2) och Kaliumnitrat (KNO_3). Salterna blandades med avjoniserat vatten för att generera en övermättad saltlösning, se Figur 28 (a). Saltlösningen ansågs övermättad då det efter omrörning iakttoos olösta saltkristaller. Saltlösningarna genererar då de är mättade vid 20 °C relativa fuktigheter i Tabell 19 [27].

Tabell 19. Tabell med relativa fuktigheter genererad av saltlösningar i 20 °C [27].

Saltlösning	Kemisk formel	RF [%]
Magnesiumklorid	MgCl_2	33,07 ± 0,18
Kaliumnitrat	KNO_3	94,62 ± 0,66

Klimatboxarna var placerade i ett klimatrums där temperatur och RF hölls konstant kring 20 °C och 60 % RF. Temperaturen i rummet var under försöken som lägst 19,6 °C och som högst 20,3 °C. RF i rummet varierade mellan 59,4 % och 64,1 % RF. Vägningen och längdmätningen utfördes för en provkropp i taget genom att öppna klimatboxen och ta ut provkroppen. Klimatboxen hölls sedan stängd under tiden provkroppen vägdes och längden mättes.

Hälften av provkropparna placerades i konstanta klimat i ordningen: uttorkning, 33 % RF, 95 % RF och slutligen fuktmätning. Det principiella förloppet för uppfuktning av provkropparna visas i Figur 29. Den andra hälften av provkropparna placerades i motsatt ordning: fuktmätning, 95 % RF, 33 % RF, samt uttorkning.



Figur 29. Principiellt förlopp för uppfuktning av provkropparna.

Provkroppar för skiva A, B och C delade klimatbox. Provkropparna för skiva D, E, G och H delade klimatbox. Eftersom examensarbetet utfördes under en begränsad tid var provkropparna placerades som längst i 30 dagar per genererat klimat. Provkropparna för D, E, G och H i intervallet 100-95 % undantogs tidsbegränsningen och placerades i konstant klimat i 39 dagar. Då flera provkroppar delade klimatbox placerades provkropparna i ett nytt klimat först då alla provkroppar ansågs vara i jämvikt eller då tidsbegränsningen var passerad. De första fyra vägningarna skedde med ett tidsintervall på 30 min för att sedan successivt öka tidsintervallen upp till maximalt sju dagar. Den största viktskillnaden som erhöles vid jämvikt eller då 30 dagar passerat var 0,69 % av dåvarande vikt med ett tidsintervall på 7 dagar.

Användandet av övermättade saltlösningar i klimatboxar för att generera konstanta RF är en metod som använts i flera tidigare studier [12] [28]. Metoden har i en tidigare studie jämförts och utvärderats med andra metoder [29].

4.3.2. Uttorkat tillstånd

För att åstadkomma det uttorkade tillståndet placerades provkropparna i ugnar (Termaks TS 8136 och TS 9053). Provkropparna torkades i 105 °C, förutom provkroppar av skiva G (Knauf Weatherboard 2.0). En av ugnarna som användes visas i Figur 30. Provkropparna för skiva G torkades i 40 °C då det kemiskt bundna vattnet avgår vid temperaturer högre än 45 °C (se avsnitt 3.3). Temperaturen och RF i rummet där ugnen med provkropparna för skiva G var placerad, uppmättes till cirka 22 °C och 36 % RF. Med hjälp av den uppmätta temperaturen och RF i rummet beräknades RF i ugnen till cirka 14 % RF. Vägningen utfördes genom att öppna ugnen och ta ut och väga en provkropp i taget. Längderna mättes före och efter uttorkningen.



(a) Ugnen utan prover.

(b) Ugnen med provkroppar av skivorna D, E och H.

Figur 30. Ugnen som användes för uppvärmning till 105 °C.

Provkropparna placerades efter uttorkning i ugn för att svalna i en klimatbox innehållande en absorbent (molekylsikt 0,4 nm). Absorbenten genererade ett klimat på nära 0 % RF. Provkropparna placerades för att svalna i 18 h i 20 °C. För att minska effekten av att varma provkroppar får en lyfteffekt av luftströmmar då omgivande luft värms upp, erhöles torrvikten först då provkropparna svalnat. Provkropparna placerades i ugnen 29-56 h beroende på provkropp. Vägning utfördes med rätta intervall på 1 h första dagen, samt tre vägningar andra och tredje dagen med 2-5 h mellanrum. Största viktskillnaden som uppmättes vid uttorkat tillstånd var en viktminskning på 0,06 % (av dåvarande vikt), över ett tidsintervall på 4 h.

4.3.3. Fuktmättat tillstånd

Fuktmättat tillstånd erhöles genom att sänka ner provkropparna förutom skiva G (Knauf Weatherboard 2.0) under vatten i en vattenfylld klimatbox, se Figur 31 (a) och (b). Skiva G är tillverkad av gips och bör således inte sänkas ner under vatten (se avsnitt 3.3). För att fuktmättas placerades provkropparna för skiva G i en klimatbox med avjoniserat vatten istället för saltlösning i botten, se Figur 31 (c). Vikten hos alla provkroppar vägdes under 10 dagar med en dags mellanrum. Provkropparna vägdes en och en genom att ta upp dem ur vattnet. För att inte få med vikten av eventuellt vatten på ytorna, torkades innan vägningen varje provkropp av med en fuktig urkramad wettextrasa. Längderna mättes före och efter fuktmätningen. Största viktskillnaden som uppmättes vid fuktmättat tillstånd var en viktökning på 0,20 % (av dåvarande vikt), över ett tidsintervall på 24 h.



(a) Vattenfylld klimatbox utan provkroppar.

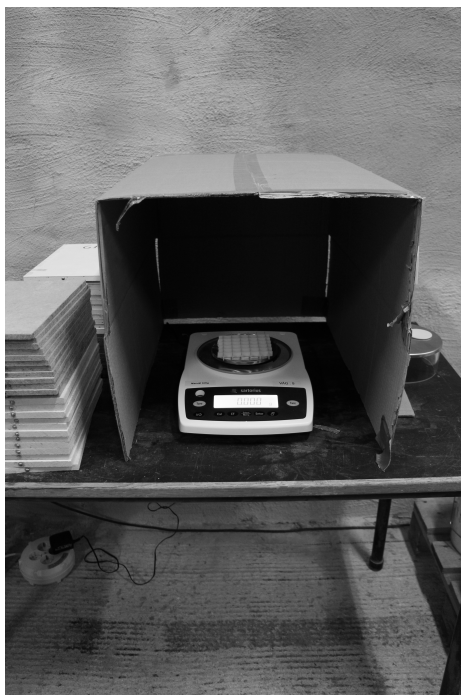
(b) Vattenfylld klimatbox med provkropparna A, B och C.

(c) Klimatboxen med avjoniserat vatten i botten och raster med provkroppar av G.

Figur 31. Klimatboxarna som användes för att fuktmätta provkropparna.

4.3.4. Vägning och utvärdering av fuktkvot

Vägningen av provkropparna utfördes med en våg (Sartorius Entris), vilken visas i Figur 32. En kartonglåda var placerad runt om vågen för att förhindra att vågen skulle ge felaktiga utslag på grund av luftströrelser i rummet. Innan vägningen påbörjades nollställdes och kontrollerades vågen med en referensvikt. Vågen som användes kunde mäta skillnader på ett milligram (10^{-3} g). Referensvikten vägde 200,000 g.



Figur 32. Vågen som användes.

Fuktkvoten hos provkropparna beräknas med ekvation (17),

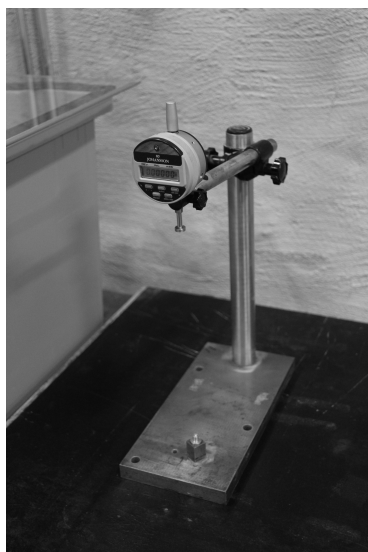
$$u = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (17)$$

där u [%], är fuktkvoten, m_1 [kg], är vägd vikt och m_0 [kg], torrvikten. Ett beräkningsexempel ges av en provkropp som har en torrsvikt på 500 g och efter uppfuktning väger 550 g. Fuktkvoten för denna provkropp blir då med insatta värden i ekvation (17):

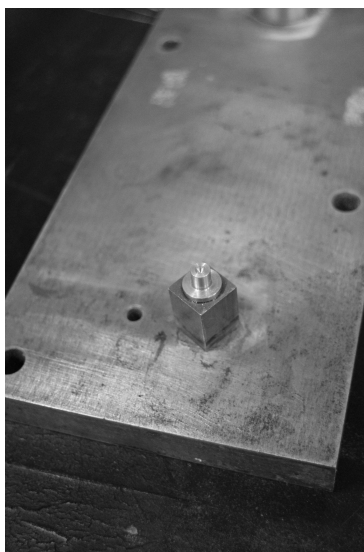
$$u = \frac{550-500}{500} = 10 \%$$

4.3.5. Längdmätning och utvärdering av rörelser

Mätningen av provernas längd gjordes med en längdmätningsrigg. Längdmätningsriggen var ett justerbart stativ som ställdes in efter provkropparnas längd. Längdmätningsriggen visas i Figur 33. På stativets fot satt en konkav urgröpning som matchade den konvexa formen på mässingsdubbarna som satt limmade på provkropparna, se Figur 33 (b). På stativets arm satt en liknande konkav hållare fäst på en mätklocka, se Figur 33 (c). Mätklockan nollställdes innan mätningarna utfördes med hjälp av en referenslängd. Mätklockan kunde mäta längdskillnader på en mikrometer (10^{-6} m). Referenslängden tillverkades genom att limma fast en mässingsdubb i varje ände på en gängstång i stål. Referenslängden var 244,0 mm lång.



(a) Bild på hela längdmätningsriggen.



(b) Konkav urgröpning för kontakt med dubb på provkroppen.



(c) Konkav urgröpning kopplad till en mätklocka.

Figur 33. Längdmätningsriggen som användes vid längdmätning.

Den relativa fukt- eller temperaturbetingade rörelsen (töjningen) hos provkropparna beräknades med hjälp av längdskillnaden mellan två mätningar, med ekvation (18),

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \quad (18)$$

där ε [mm/m], är den relativa rörelsen, L_1 [m], är uppmätt längd och L_0 [m] ursprungslängden för provkroppen. Ett beräkningsexempel är då ursprungslängden hos en provkropp är 223,123 mm. Efter uppfuktning sväller provkroppen och uppmäts till 223,234 mm lång. Med insatta värden i ekvation (18) blir den relativa fukt- eller temperaturbetingade rörelsen:

$$\varepsilon_f = \frac{223,234 - 223,123}{223,123} \approx 0,498 \text{ mm/m}$$

4.4. Bestämning av temperaturrelöser

De temperaturbetingade rörelserna bestämdes genom att mäta längden hos provkropparna vid två olika temperaturer. Längdändringarna bestämdes först då provkropparna var i uttorkat tillstånd. Längden hos provkropparna mättes vid 105 °C och vid 20 °C, förutom provkroppar av skiva G (Knauf Weatherboard 2.0). Längden hos provkropparna av skiva G mättes vid 40 °C och vid 20 °C. Längdmätningen skedde genom att öppna ugnen, plocka ut en provkropp och stänga ugnen. För att inte provkroppen skulle svalna placerades provkroppen så snabbt som möjligt i längdmätningssystemet som stod precis utanför ugnen. Vilket tidigare beskrivits, flyttades provkropparna efter uttorkningen från ugnen för att svalna i 20 °C i en klimatbox innehållande en absorbent. Efter provkropparna svalnat erhöles längden vid 20 °C.

Längdutvidgningskoefficienten för en provkropp bestäms med hjälp av ekvation (19),

$$\alpha = \frac{1}{T_1 - T_0} \cdot \frac{L_1 - L_0}{L_0} \quad (19)$$

där α [1/K], är längdutvidgningskoefficienten, T_1 [°C], ny temperatur, T_0 [°C], den ursprungliga temperaturen, L_1 [m], uppmätt längd och L_0 [m], ursprungslängden. Ett beräkningsexempel är då ursprungslängden hos en provkropp är 223,123 mm i 20 °C, efter den placerats i en 105 °C ugn uppmäts provkroppen vara 223,345 mm. Med insatta värden i ekvation (19) blir längdutvidgningskoefficienten:

$$\alpha = \frac{1}{105 - 20} \cdot \frac{223,345 - 223,123}{223,123} \approx 11,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

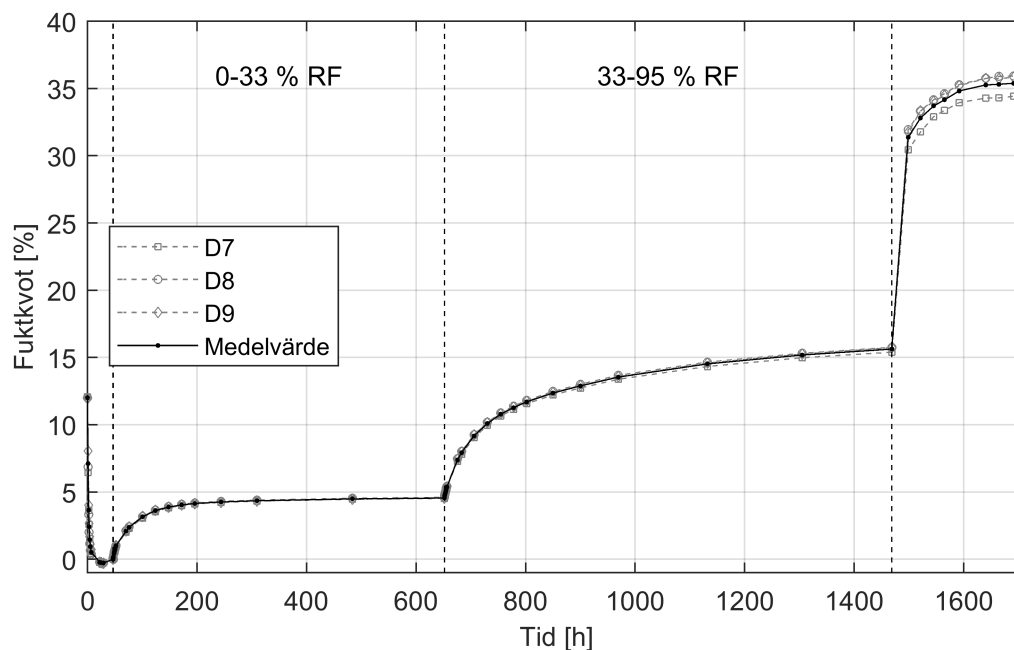
5. Resultat och diskussion

I det här avsnittet presenteras utvärderade sorptionsisotermer samt fukt- och temperaturbetingade rörelser för de olika skivorna. Resultatet diskuteras med utgångspunkt i den presenterade teorin och jämförs med redovisade värden från leverantörer. De ickestationära fuktberäkningarna jämförs med resultatet från experimenten. Slutligen diskuteras samband mellan fukt- och temperaturbetingade rörelser, buktning och sprickbildning, samt felkällor examensarbetet haft.

5.1. Sorptionsisotermer

Sorptionsisotermer för absorption respektive desorption är utvärderad med medelvärdet av tre provkroppar av varje skiva. Provkropparna som utgick från ett uttorkat tillstånd benämns som provkropp 7, 8, 9 och provkropparna som utgick från ett fuktmättat tillstånd benämns som provkropp 1, 2, 3. Uttorknings- och uppfuktningförloppet för alla provkroppar, samt medelvärdet av provkropparna för varje skiva redovisas i Bilaga B.

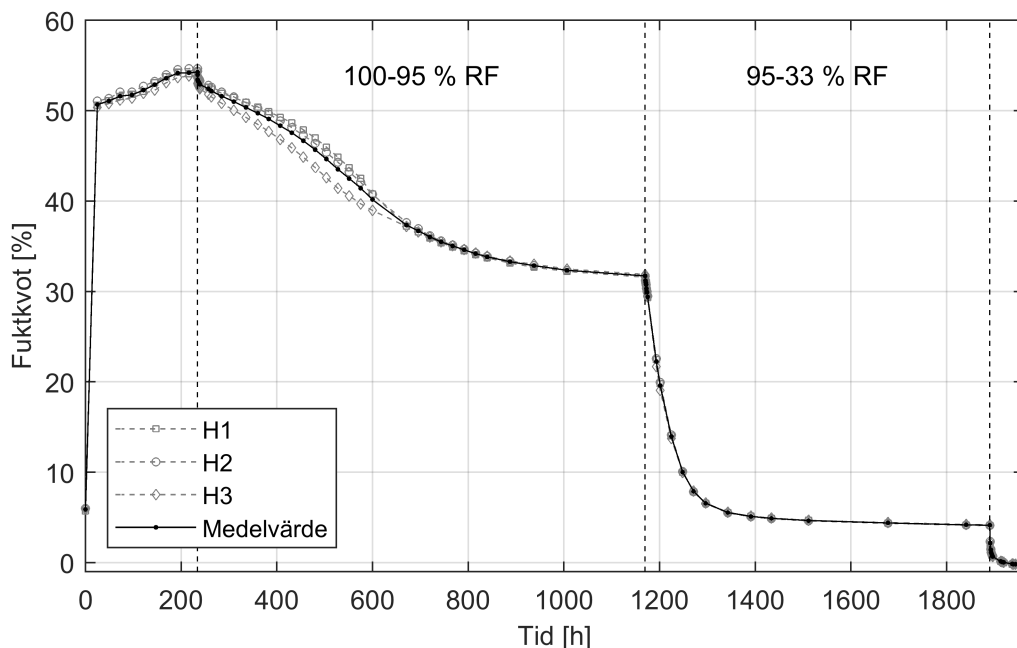
I Figur 34 visas ett exempel på fuktkvotens förändring med tiden för skiva D (Siniat Conchip).



Figur 34. Förändring av fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp D (Siniat Conchip) inklusive dess medelvärde.

I Figur 34 kan det urskiljas en väldigt liten spridning i fuktkvot mellan provkropparna för skiva D, förutom i sista intervallet 95-100 % RF. Den större spridningen i intervallet för fuktmättat tillstånd kan urskiljas hos fler skivor än skiva D, se Bilaga B. Spridningen kan bland annat bero att materialet är inhomogent och att det därför blir variationer mellan provkropparna. Då kurvan i Figur 34 når sitt asymptotiska gränsvärde i intervallet 0-33 % RF är materialet i jämvikt med klimatet. Kurvan i intervallet 33-95 % RF är också nära sitt asymptotiska gränsvärde, men har fortfarande en viss lutning då bytet till nästkommande konstanta klimat sker. Lutningen tyder på att jämvikt med 95 % RF nästan är uppnådd men för att helt uppnå jämvikt erfordras mer tid i detta konstanta klimat.

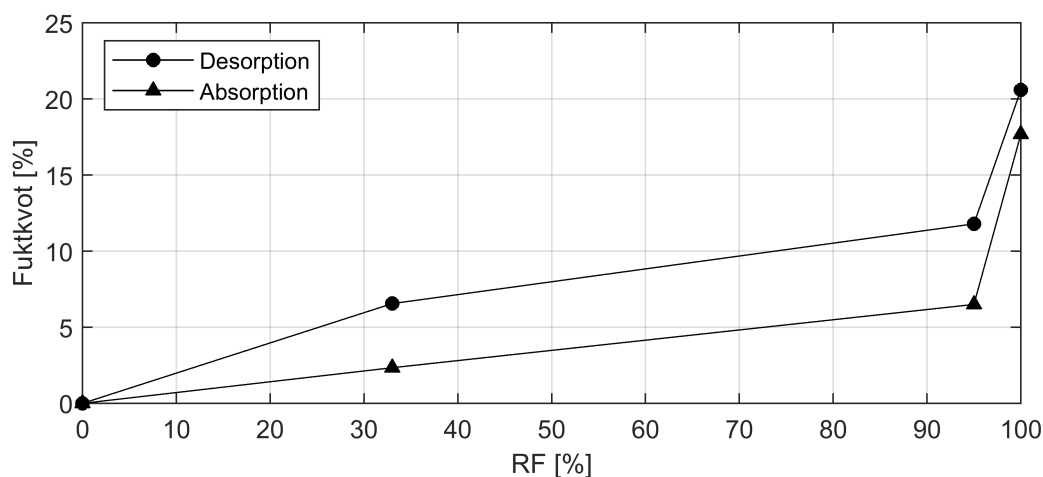
I Figur 35 visas ett exempel på fuktkvotens förändring med tiden för skiva H (Promat Masterboard).



Figur 35. Förändring av fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp H (Promat Masterboard) inklusive dess medelvärde.

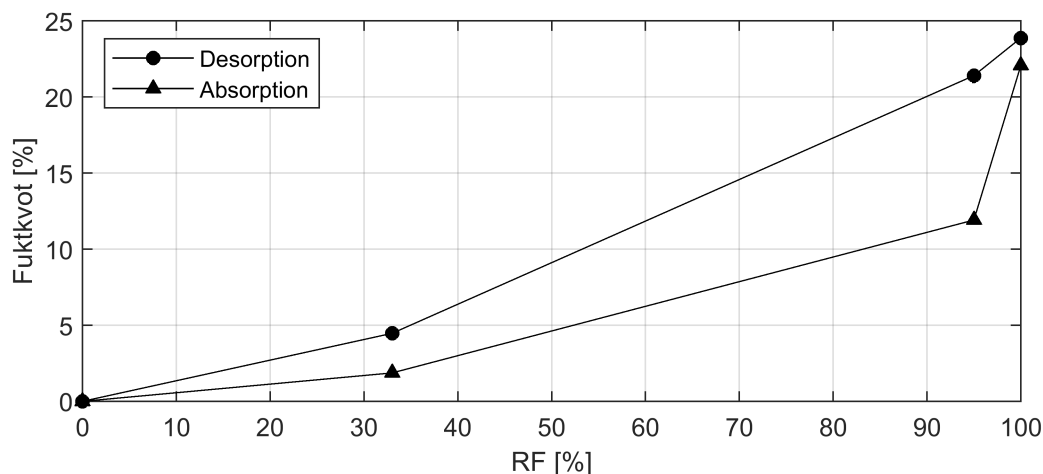
Provkroppar för skiva D, E, G och H delade klimatbox och dessa provkroppar hade märkliga uttorkningsförlopp i intervallet 100-95 % RF, se exemplet med skiva H i Figur 35. Se Bilaga B för skiva D, E och G. I intervallet 100-95 % är det en spridning i fuktkvot mellan provkropparna för alla skivor. Kurvorna har heller inte en tydlig förändring av fuktkvot mot ett asymptotiskt gränsvärde. Orsaken skulle kunna vara att provkropparnas fuktavgivning var snabbare än fuktupptagningen hos den övermättade saltlösningen, och därför kunde inte ett konstant RF genereras.

Sorptionsisotermen för varje skiva visas i Figur 36-42.



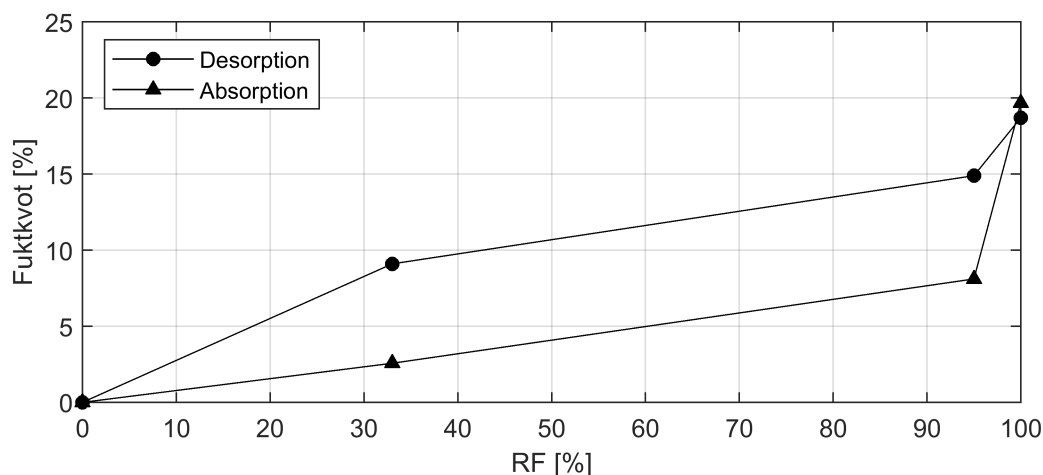
Figur 36. Sorptionsisoterm för skiva A (Cembrit Windstopper).

Den högsta fuktkvoten för skiva A (Cembrit Windstopper) är cirka 21 % vid 100 % RF, se Figur 36. Vid 33 % RF är fuktkvoten cirka 2,3 % under absorption respektive 6,6 % under desorption. Vid 95 % RF är fuktkvoten cirka 6,5 % under absorption respektive 11,8 % under desorption. Skillnad i fukttinnehåll mellan absorption och desorption tyder på att hysteres förekommer för skiva A (se avsnitt 2.5).



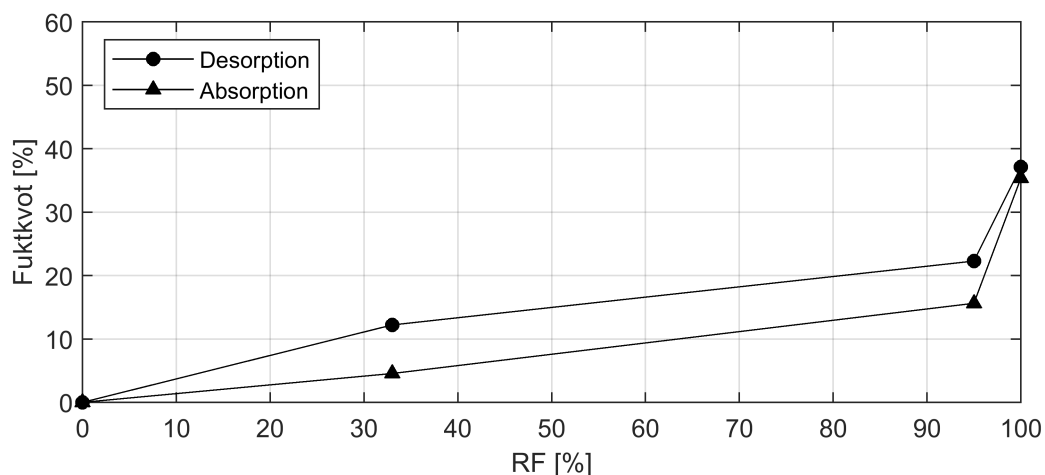
Figur 37. Sorptionsisoterm för skiva B (Cembrit Patina).

Vid 33 % RF är fuktkvoten cirka 1,9 % under absorption respektive 4,5 % under desorption för skiva B (Cembrit Patina), se Figur 37. Vid 95 % RF är fuktkvoten cirka 11,9 % under absorption respektive 21,4 % under desorption. Det är en större skillnad i fukttinnehåll mellan absorption och desorption vid 95 % RF än vid 33 % RF, vilket skulle kunna bero på porstorleksfördelningen i materialet.



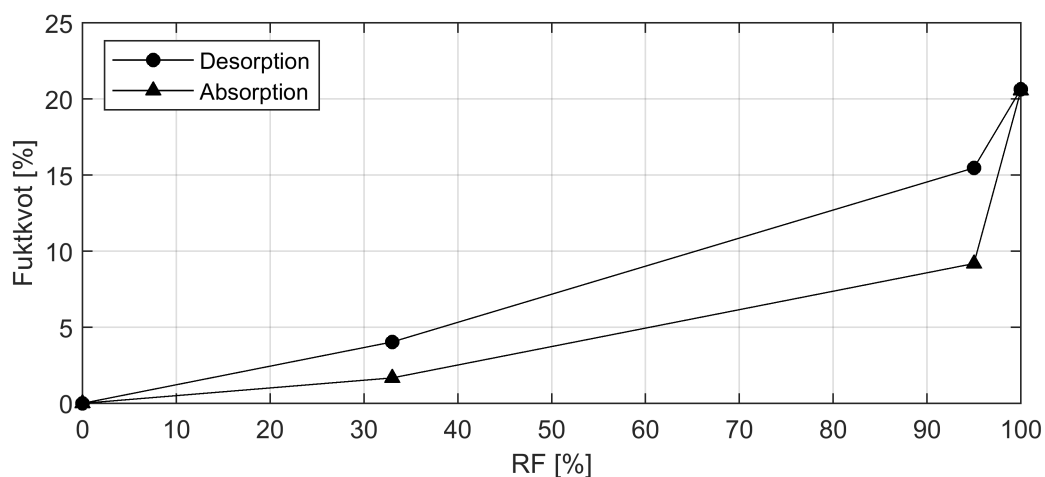
Figur 38. Sorptionsisoterm för skiva C (Cembrit Solid).

Sorptionsisotermen för skiva C (Cembrit Solid) visar en skillnad mellan absorptionsisotermen och desorptionsisotermen, se Figur 38. Det är däremot inte troligt att hela skillnaden beror på hysteres. I Bilaga B kan skiva C urskiljas att inte helt uppnå fuktjämvikt med både 33 % och 95 % RF. Skillnaden mellan absorptionsisotermen och desorptionsisotermen kan således bero på att skiva C inte gavs tillräckligt med tid att uppnå jämvikt med de konstanta klimaterna.



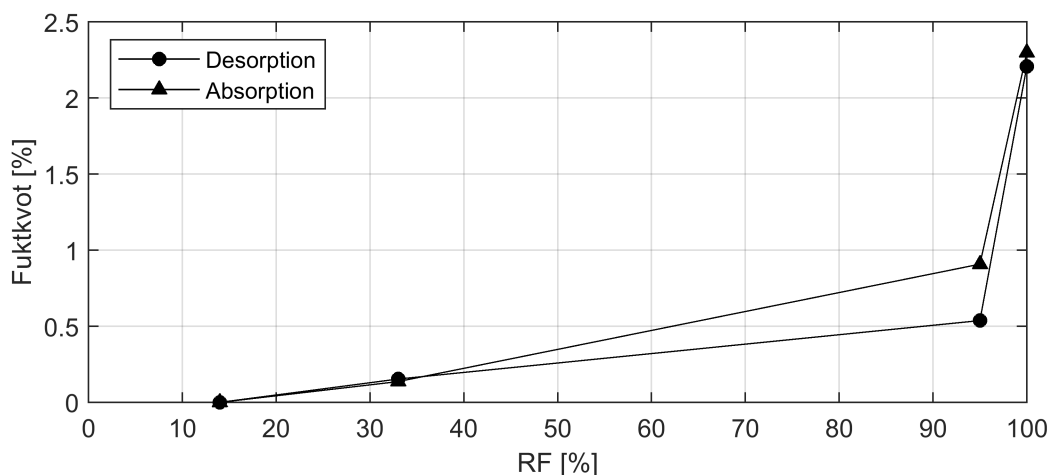
Figur 39. Sorptionsisoterm för skiva D (Siniat Conchip).

För skiva D (Sinat Conchip) är den högsta fuktkvoten cirka 37,1 %, se Figur 39, vilket är näst högst för alla undersökta skivor. Vid 33 % RF är fuktkvoten cirka 4,6 % under absorption respektive 12,2 % under desorption. Vid 95 % RF är fuktkvoten cirka 15,6 % under absorption respektive 22,3 % under desorption.



Figur 40. Sorptionsisoterm för skiva E (EQUITONE Tectiva).

Den högsta fuktkvoten för skiva E (EQUITONE Tectiva) är cirka 20,6 % vid 100 % RF, se Figur 40. Vid 33 % RF är fuktkvoten cirka 1,7 % under absorption respektive 4,0 % under desorption. Vid 95 % RF är fuktkvoten cirka 9,2 % under absorption respektive 15,5 % under desorption.



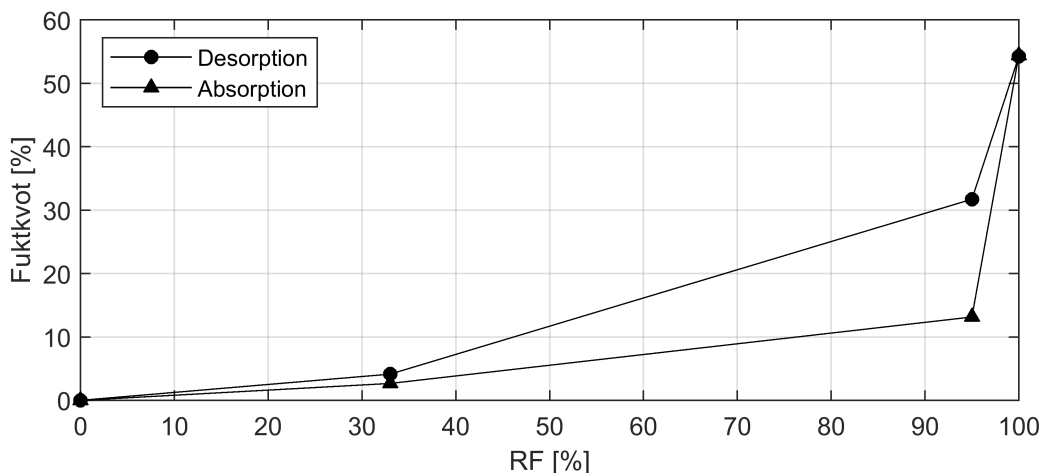
Figur 41. Sorptionsisoterm för skiva G (Knauf Weatherboard 2.0). Observera att sorptionsisotermen inte är komplett då skiva G torkades i 14 % RF och inte 0 % RF.

Sorptionsisotermen för skiva G (Knauf Weatherboard 2.0) visar att fukttinnehållet är som högst cirka 2,3 % fuktkvot vid 100 % RF, se Figur 41. Skiva G har en högsta fuktkvot som är cirka 9 gånger mindre än högsta fuktkvot för merparten av fibercementskivorna, och cirka 18 gånger mindre än högsta fuktkvot för kalciumsilikatskivan. Skillnaden kan förklaras genom att skiva G är den enda skivan tillverkad i gips, eller att den har en porstorleksfördelning som skiljer sig. Provkropparna av skiva G sänktes inte ner i vatten likt de andra provkropparna, vilket kan ha medfört en något lägre fuktkvot vid 100 % RF. Vikten fuktkvoten är baserad på, det vill säga torrvikten för de andra skivorna, är för skiva G vikten vid cirka 14 % RF, se Figur 41. Hade vikten vid 0 % RF varit känd hade fuktkvoten ökat.

Absorptionskurvan i Figur 41 är högre än desorptionskurvan. Förloppet för uttorkning och uppfuktning av provkroppar av skiva G (Knauf Weatherboard 2.0) skiljer sig från resterande skivor, se Bilaga B. För uppfuktningförloppet går det att urskilja att provkropparna inte riktigt uppnår jämvikt i intervallet 95-100 % RF och att provkropp G9 skiljer sig från de andra två. Under uttorkningsförloppet uppnår inte heller provkropparna jämvikt då de placerades i en klimatbox med 100 % RF, dessutom är det en negativ fuktkvot i det första intervallet. Ett material kan inte ha en negativ fuktkvot, och felet grundas antagligen i att torrvikten är högre än ursprungsvikten. De här avvikelserna tyder på att provkropparna kemiskt binder vatten, (se avsnitt 2.3), då de utsätts för 100 % RF.

Skiva G placerades i en klimatbox innehållande en absorbent för att svalna efter den torkat i ugn. I klimatboxen med absorbenten var det cirka 0 % RF och det är troligt att gipsskivan således torkat ytterligare. Detta skulle kunna ha inverkan på sorptionsisotermen i Figur 41 genom att punkterna för jämvikt vid 0 % fuktkvot flyttas till en något lägre RF.

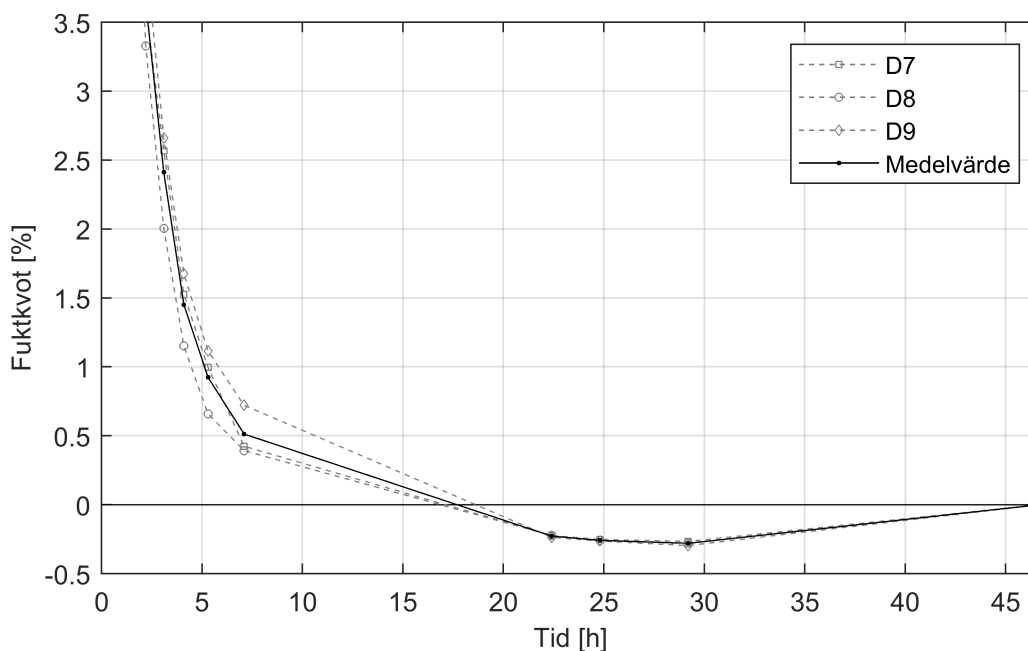
En ytterligare konsekvens av att skiva G inte torkats till ett helt uttorkat tillstånd, är att den erhållna absorptionskurvan teoretiskt inte är den riktiga absorptionskurvan. Den erhållna kurvan är snarare en scanningkurva (se avsnitt 2.5).



Figur 42. Sorptionsisoterm för skiva H (Promat Masterboard).

Den högsta fuktkvoten för skiva H (Promat Masterboard) är cirka 54,4 % vid 100 % RF, se Figur 42. Vid 33 % RF är fuktkvoten cirka 2,7 % under absorption respektive 4,1 % under desorption. Vid 95 % RF är fuktkvoten cirka 13,1 % under absorption respektive 31,7 % under desorption. Skiva H har relativt de andra skivorna en stor fuktkapacitet, se Figur 42. Detta beror förmodligen på porvolymen och porstorleksfördelningen hos skiva H. Leverantören (se avsnitt 3.4) anger att skiva H inte bör placeras där den kan bli utsatt för slagregn. Det är troligt att detta delvis är på grund av den stora fuktkapaciteten hos skiva H.

I Figur 43 visas ett exempel på uttorkningsförloppet till uttorkat tillstånd för skiva D (Siniat Conchip).

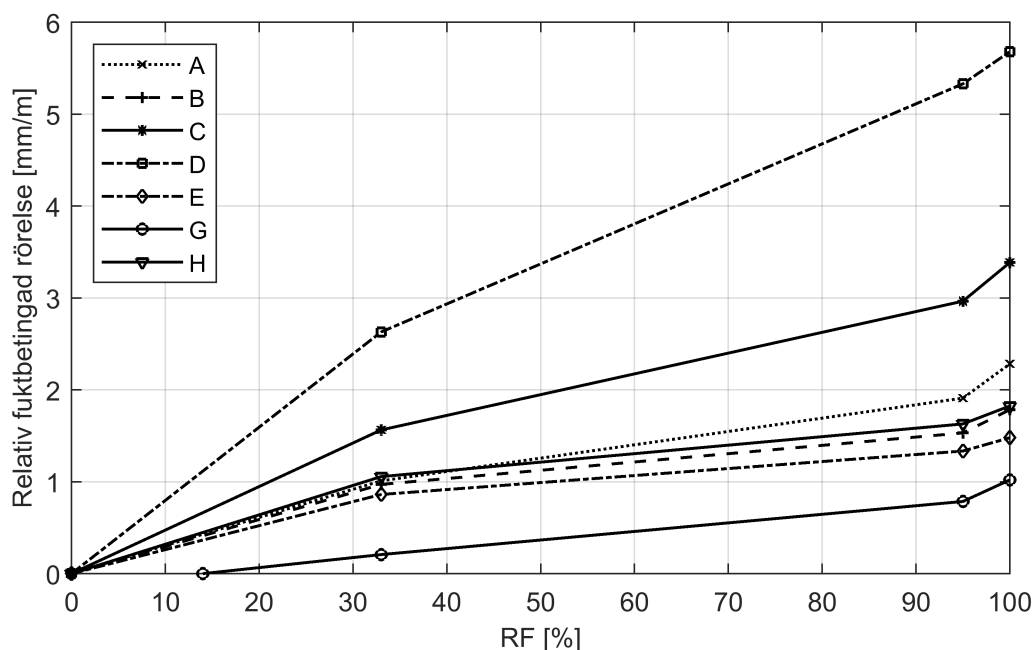


Figur 43. Uttorkningsförlopp till uttorkat tillstånd för tre provkroppar av skivtyp D (Siniat Conchip) inklusive dess medelvärde.

I Figur 43 kan fuktkvoten iakttas vara negativ under uttorkningen i ugn. Liknande resultat finns dessutom hos andra skivor. Provkropparnas torra vikt uppskattades först då provkropparna hade svalnat i 20 °C i en klimatbox med en absorber som genererade cirka 0 % RF. Anledningen till att provkropparna placerades för att svalna var för att dessa inte skulle påverkas av lyftkrafter från omgivande luft på grund av temperaturskillnaderna mellan provkroppen och luften. En viss skillnad i fuktkvot mellan provkropparna som varma (105 °C), vid cirka tiden 30 h och som avsvalnade (20 °C), vid cirka 45 h kan iakttas i Figur 43. Detta visar bland annat inverkan av lyftkrafterna på provkropparna. De negativa fuktkvoterna skulle även kunna bero på att klimatboxen med absorber inte lyckats hålla konstant 0 % RF och att provkropparna då absorberat små mängder fukt. Klimatboxen öppnades då provkropparna placerades i klimatboxen, vilket troligen kan ha höjt RF inne i klimatboxen en kort tid.

5.2. Fuktbetingade rörelser

De fuktbetingade rörelserna (svällning) för de olika skivorna vid uppfuktning visas i Figur 44. Resultatet är baserat på medelvärdet av 3 provkroppar av varje skiva. De fuktbetingade rörelserna för varje provkropp över tid redovisas i Bilaga C.



Figur 44. Svällning vid uppfuktning för samtliga skivor.

Swällningen vid uppfuktning, samt i vilka RF intervall rörelserna sker har sammanställts i Tabell 20.

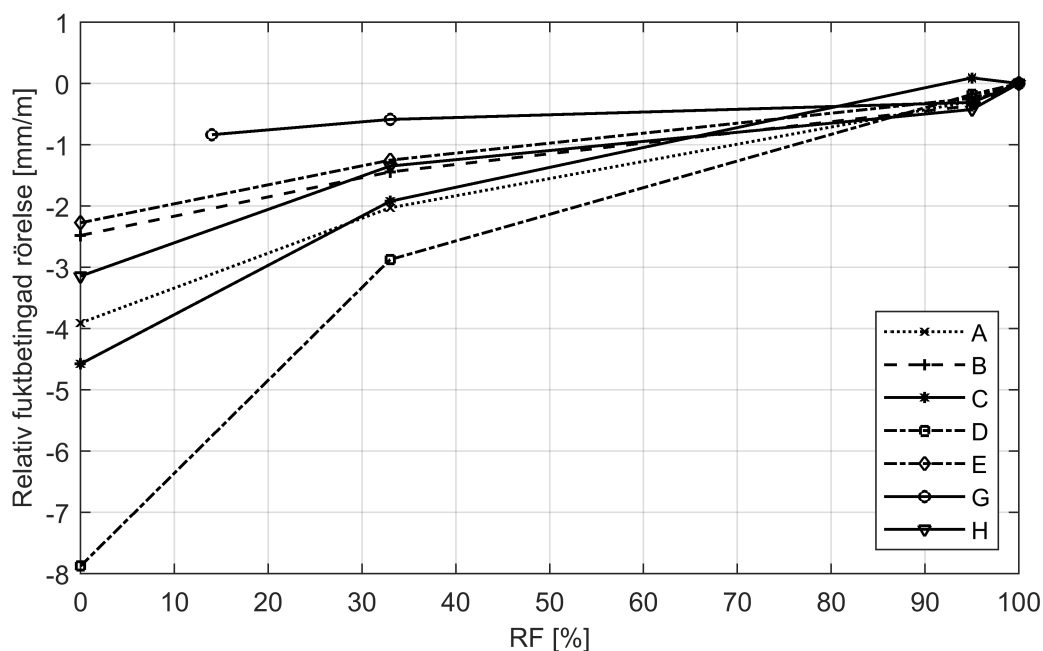
Tabell 20. Relativ fuktbetingad rörelse vid absorption och i vilket RF intervall rörelsen sker.

Skiva	Relativ fuktbetingad rörelse [mm/m]			
	Intervall, RF [%]			
	0-33	33-95	95-100	0-100
A (Cembrit Windstopper)	1,01	0,90	0,37	2,28
B (Cembrit Patina)	0,97	0,56	0,25	1,78
C (Cembrit Solid)	1,56	1,40	0,42	3,39
D (Siniat Conchip)	2,63	2,69	0,35	5,68
E (EQUITONE Tectiva)	0,86	0,47	0,14	1,48
G (Knauf Weatherboard 2.0)	0,21*	0,58	0,23	1,02
H (Promat Masterboard)	1,03	0,57	0,19	1,82

*För G (Knauf Weatherboard 2.0) är RF intervallet mellan 14-33 % RF

Störst fuktbetingad rörelse i intervallet 33-95 % RF uppvisar skiva D, cementspånskivan. Minsta rörelsen har skiva E, en fibercementskiva.

De relativa fuktbetingade rörelserna (krympning) för de olika skivorna vid desorption visas i Figur 45.



Figur 45. Krympning vid uttorkning för samtliga skivor.

Krympningen vid uttorkning, samt i vilka RF intervall rörelserna sker sammanställs i Tabell 21.

Tabell 21. Relativ fuktbetingad rörelse vid desorption och i vilket RF intervall rörelsen sker.

Skiva	Relativ fuktbetingad rörelse [mm/m]			
	Intervall, RF [%]			
	100-95	95-33	33-0	100-0
A (Cembrit Windstopper)	-0,29	-1,74	-1,88	-3,91
B (Cembrit Patina)	-0,36	-1,08	-1,04	-2,48
C (Cembrit Solid)	0,09	-2,01	-2,66	-4,58
D (Siniat Conchip)	-0,18	-2,70	-5,02	-7,88
E (EQUITONE Tectiva)	-0,24	-1,01	-1,02	-2,27
G (Knauf Weatherboard 2.0)	-0,31	-0,28	-0,25*	-0,84
H (Promat Masterboard)	-0,42	-0,92	-1,80	-3,14

*För G (Knauf Weatherboard 2.0) är RF intervallet mellan 33-14 % RF

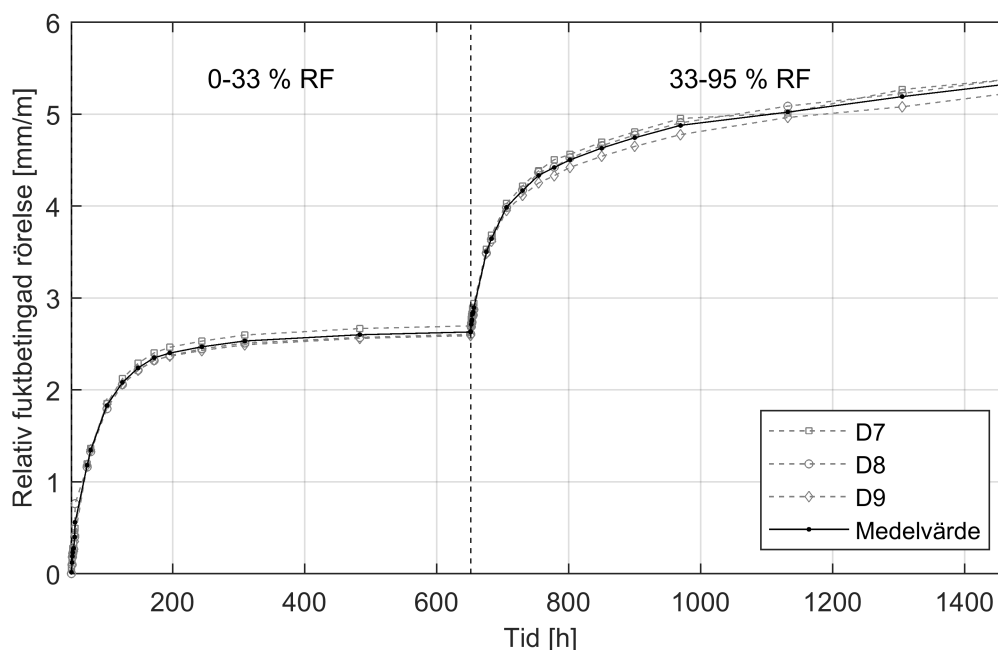
Störst fuktbetingad rörelse i intervallet 95-33 % RF uppvisar skiva D, cementspånskivan. Näst störst fuktbetingad rörelse i intervallet uppvisar skiva A, B, C, E, vilka alla är fibercementskivor. Näst minst fuktbetingad rörelse i intervallet har skiva H, kalciumsilikatskivan. Minst rörelse uppvisar skiva G, gipsskivan.

Den inbördes ordningen på storleken hos de fuktbetingade rörelser förhåller sig likadant mellan skivorna under både svällning i intervallet 0-100 % och krympning i intervallet 100-0 % RF. Exempelvis har skiva D (Siniat Conchip) den största fuktbetingade rörelsen under absorption jämfört med alla andra skivor, samt uppvisar den största rörelsen under desorption, se Tabell 20 och 21.

Alla skivor uppvisar betydligt större krympning jämfört med svällning mellan 0 % och 100 % RF, utom skiva G (Knauf Weatherboard 2.0). Enligt tidigare nämnd teori (se avsnitt 2.6) ger uttorkning av cementbundna material till RF under 11 % upphov till en irreversibel krympning. Resultatet från den här undersökningen bekräftar detta. En anledning till att gipsskivan inte uppvisar större krympning jämfört med svällning kan vara att den inte torkades till 11 % RF. Det irreversibla förloppet (se avsnitt 2.6) beror på en omfördelning av porerna i porsystemet, huruvida omfördelningen även sker hos gips är inte undersökt.

De fuktbetingade rörelserna mellan 0 % RF och 33 % RF är generellt stora relativt rörelserna mellan 0 % RF och 100 % RF, se Tabell 20 och 21. Enligt teorin (se avsnitt 2.6) medför en stor förändring i fuktinnehåll för de flesta material även en stor fuktbetingad rörelse. Då det för merparten av skivorna sker en stor fuktupptagning respektive fuktavgivning mellan 0 % och 33 % RF (se avsnitt 5.1) bekräftas teorin.

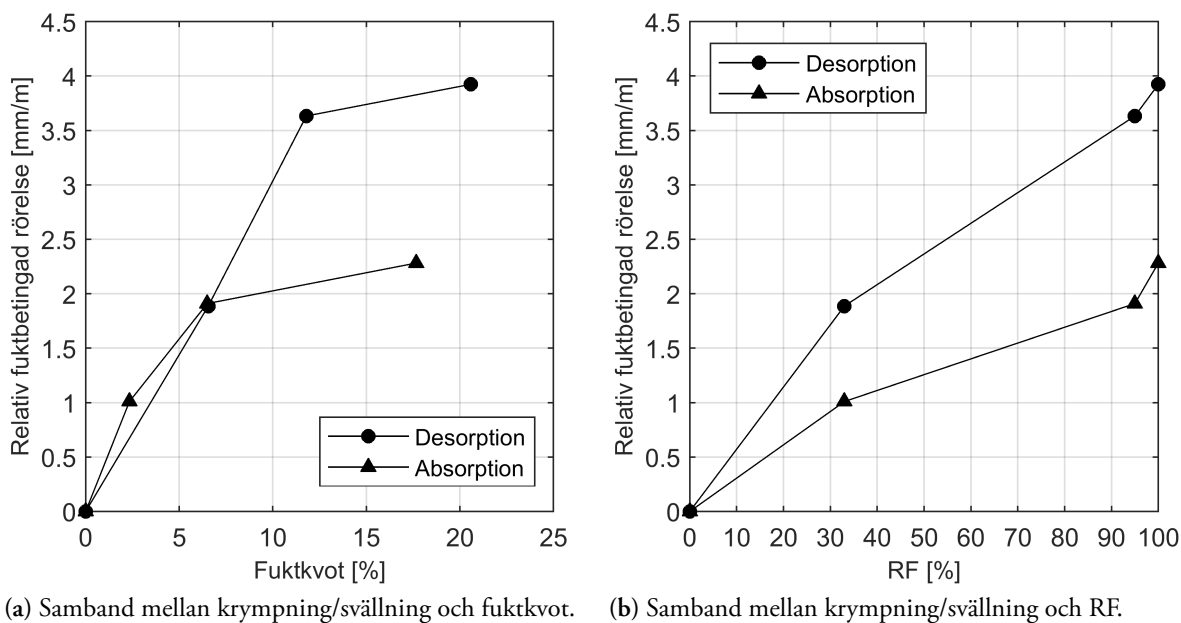
Utvecklingen av de fuktbetingade rörelserna över tid för skiva D (Siniat Conchchip) visas i Figur 46. Samtliga skivor redovisas i Bilaga C.



Figur 46. Förändring av relativ fuktbetingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp D (Siniat Conchchip) inklusive dess medelvärde.

Fuktbetingade rörelser hos skivmaterial har studerats i ett tidigare examensarbete av A. Persson och D. Pehrsson [12]. I deras examensarbete utvärderas längdförändringen med hjälp av klimatboxar i bland annat intervallet 11 % till 100 % RF. En av skivorna vars längdförändring utvärderades i deras examensarbete, med produktnamnet Ivarsson Conchchip, kan antas vara liknande en av skivorna som utvärderades även i det här examensarbetet, med produktnamnet Siniat Conchchip (skiva D). Den relativa fuktbetingade rörelsen för Ivarsson Conchchip redovisas i deras examensarbete som 2,45 mm/m i intervallet 11-100 % RF [12]. I det här examensarbete är den fuktbetingade rörelsen för Siniat Conchchip 2,69 mm/m i intervallet 33-95 % RF, vilket trots ett mindre intervall visar på en större fuktbetingad rörelse. En möjlig orsak till skillnaden skulle kunna vara att skivan är anisotrop (se avsnitt 2.1) och således har olika egenskaper i olika riktningar. Det är möjligt att längdändringen i deras examensarbete utvärderades i en annan riktning av skivan. Då deras examensarbete utfördes 2013 och produktnamnet för skivan ändrats är det möjligt att innehållet och tillverkningen av skivan har förändrats.

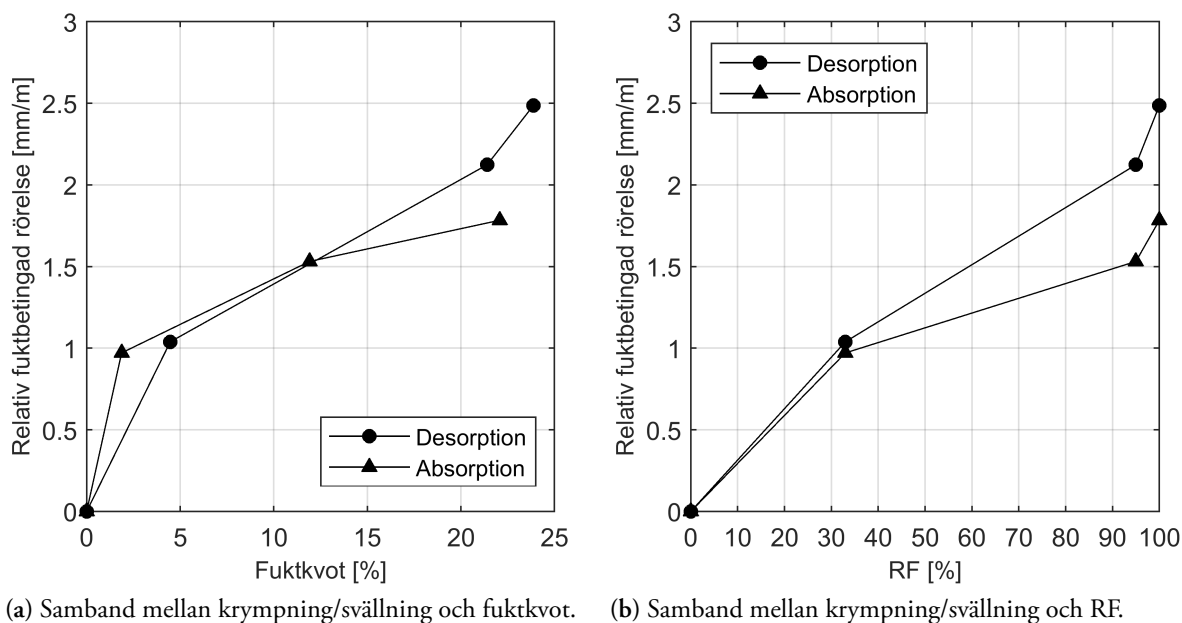
Sambandet mellan fuktkvoten och relativ fuktbedingad rörelse samt sambandet mellan RF och relativ fuktbedingad rörelse för alla skivor visas i Figur 47-53.



Figur 47. Sambandet mellan relativ fuktbedingad rörelse och fukttillstånd för skiva A (Cembit Windstopper).

Skiva A (Cembit Windstopper) sväller cirka 1,0 mm/m vid en fuktkvotsökning från 0 % till 2,3 %, se Figur 47 (a). Svällningen på cirka 1,0 mm/m motsvarar en ökning från 0 % RF till 33 % RF, se Figur 47 (b).

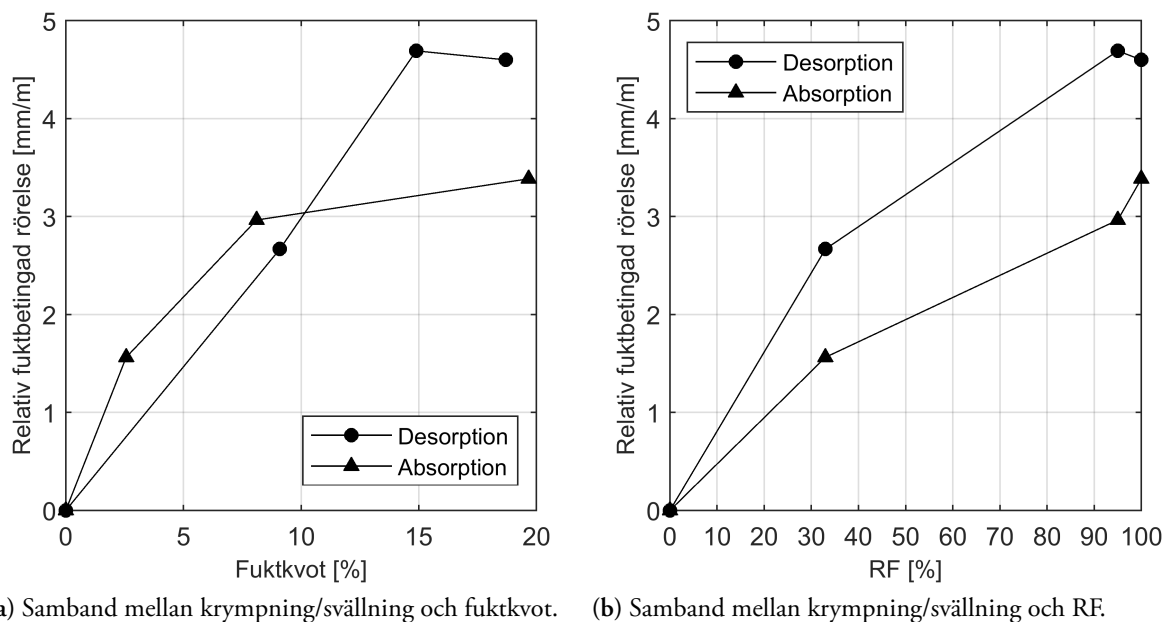
Figur 47 (b) visar sambandet mellan krympning/svällning och RF. Sambandet mellan krympning/svällning och RF är för skiva A är mycket likt det samband mellan krympning/svällning och RF som presenteras av L.-O. Nilsson, se Figur 4.3.1 i [9] (Figur av R. Springenschmid och W. Fleischer 1993). Det utvärderade sambandet bekräftar således den presenterade teorin.



(a) Samband mellan krympning/svällning och fuktkvot. (b) Samband mellan krympning/svällning och RF.

Figur 48. Sambandet mellan relativ fuktbetingad rörelse och fukttillstånd för skiva B (Cembrit Patina).

Skiva B (Cembrit Patina) krymper cirka 2,5 mm/m vid en fuktkvotsminskning från 23,9 % till 0 %, se Figur 48 (a). Skiva B sväller cirka 1,8 mm/m vid en ökning från 0 % RF till 100 % RF, se Figur 48 (b).

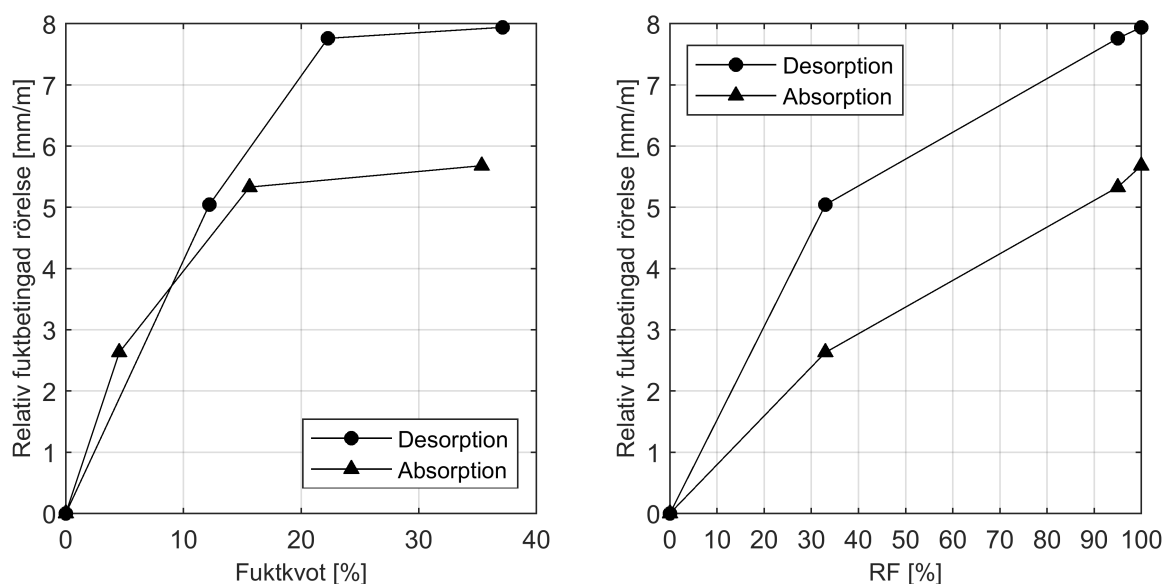


(a) Samband mellan krympning/svällning och fuktkvot. (b) Samband mellan krympning/svällning och RF.

Figur 49. Sambandet mellan relativ fuktbetingad rörelse och fukttillstånd för skiva C (Cembrit Solid).

Skiva C (Cembrit Solid) uppvisar näst störst fuktbetingad rörelse, mellan 0 % och 100 % RF samt mellan 33 % och 95 % RF. Skiva C har således störst fuktbetingade rörelse av alla fibercementskivor i dessa intervall.

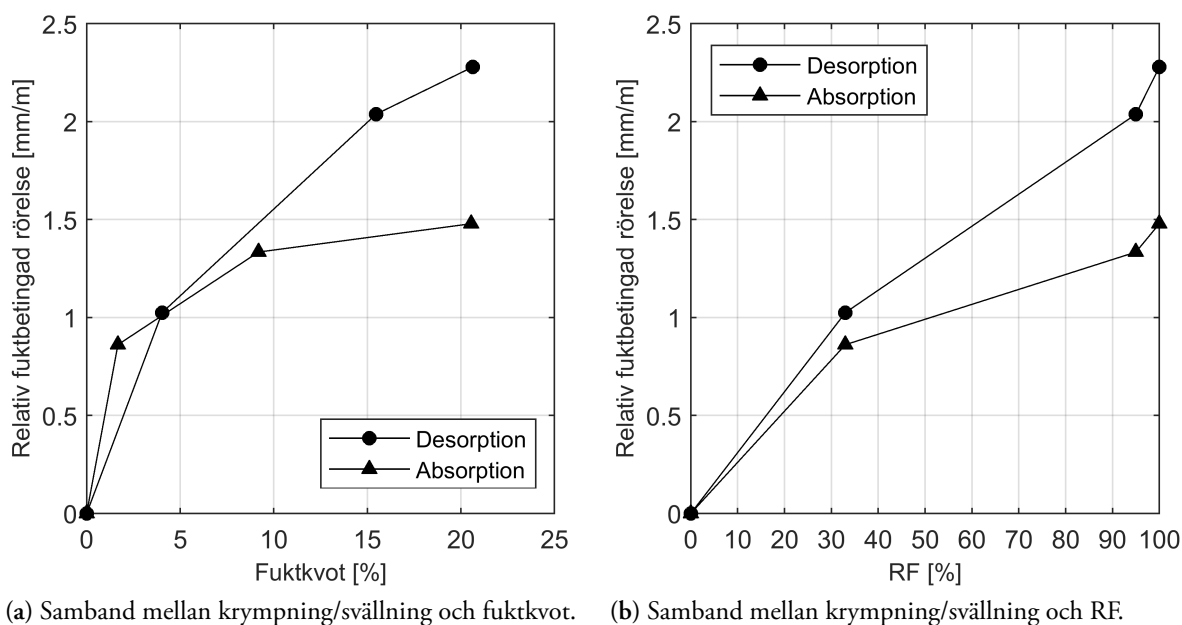
Skiva C (Cembrit Solid) uppvisar, till skillnad från alla andra skivor, en svällning i intervallet 100-95 % RF, se Tabell 21 och Figur 49. Vilket tidigare nämnts (se avsnitt 2.6), varierar den fria krympningen för många material linjärt med fuktkvoten. Fuktkvoten har tydligt minskat för skiva C och det är därför märkligt att inte materialet krymper i detta intervall, Figur 49. Fuktfördelningen inuti skiva C var inte känd. Skiva C är den enda skivan som har målats på en sida och spärrlackerats på andra. Ytbehandlingarna på skivan kan ha betydelse för hur fukttransporten i materialet sker och kan således påverka fuktfördelningen inuti skivan. De fria fuktrörelserna för skiva C skulle, på grund av ytskikten, kunna ta längre tid att utvecklas än för de andra skivorna och således vara en anledning till det avvikande resultatet.



(a) Samband mellan krympning/svällning och fuktkvot. (b) Samband mellan krympning/svällning och RF.

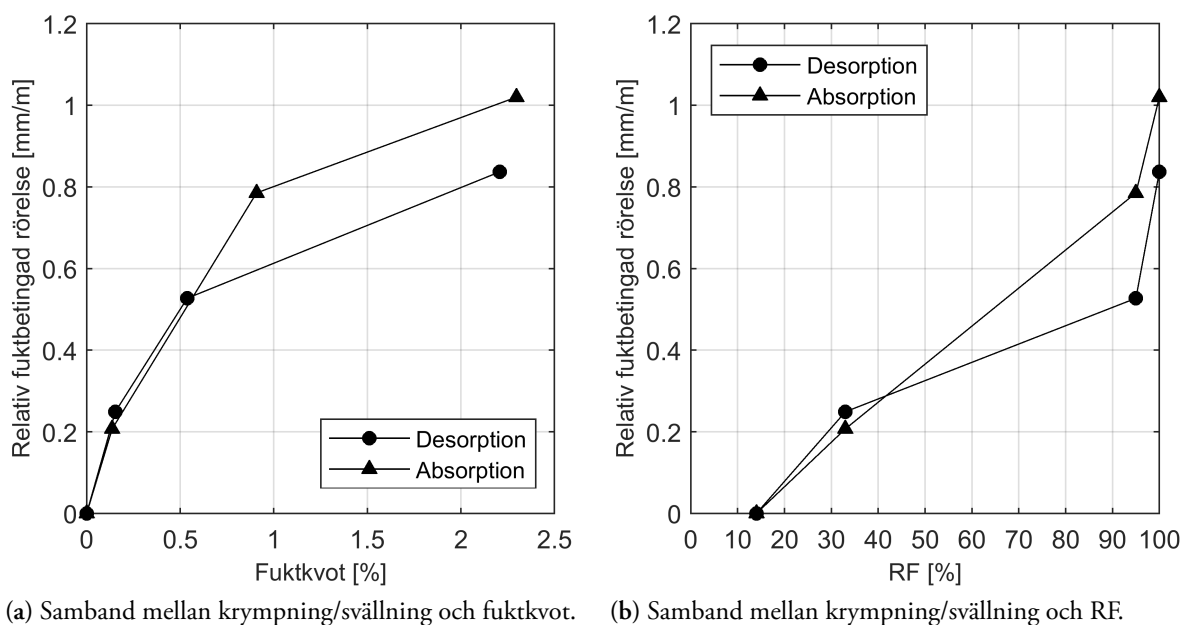
Figur 50. Sambandet mellan relativ fuktbetingad rörelse och fukttillstånd för skiva D (Siniat Conchchip).

Svällningen för skiva D (Siniat Conchchip) är cirka 5,7 mm/m mellan 0 % RF och 100 % RF, se Figur 50 (b). Skiva D uppvisade störst fuktbetingade rörelser och är den enda cementspånskivan. Skiva D innehåller cirka 30 % träspån och 70 % portlandcement (se avsnitt 3.2). Trä har stora fuktrörelser då vattenmolekyler binder till och avgår från cellväggarna i träet (se avsnitt 2.1), således beror de stora fuktbetingade rörelserna rimligtvis på träspånen i skiva D.



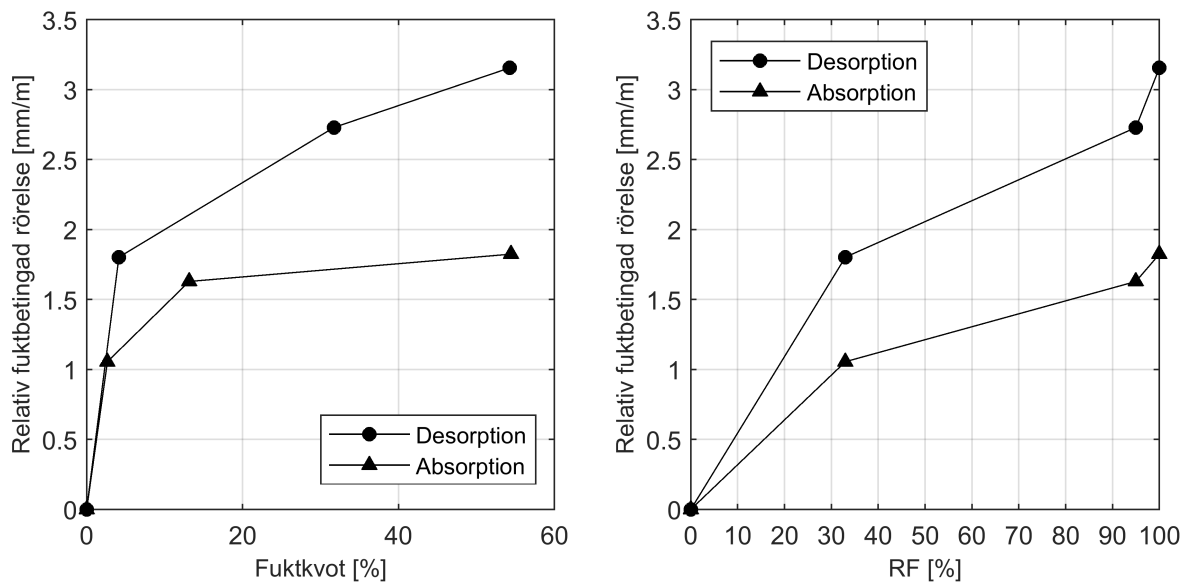
Figur 51. Sambandet mellan relativ fuktbedingad rörelse och fukttillstånd för skiva E (EQUITONE Tectiva).

Svällningen för Skiva E (EQUITONE Tectiva) ökar från cirka 0,9 mm/m till cirka 1,4 mm/m (cirka 0,5 mm/m) vid en fuktkvotsökning från cirka 1,7 % till cirka 9,2 %, se Figur 51 (a). Svällningen motsvarar en ökning från 33 % RF till 95 % RF, se Figur 51 (b).



Figur 52. Sambandet mellan relativ fuktbedingad rörelse och fukttillstånd för skiva G (Knauf Weatherboard 2.0).

Svällningen för skiva G (Knauf Weatherboard 2.0) är cirka 1,0 mm/m mellan 14 % RF och 100 % RF, se Figur 52. Krympningen för skiva G är cirka 0,8 mm/m mellan 100 % RF och 14 % RF, se Figur 52.



(a) Samband mellan krympning/svällning och fuktkvot. (b) Samband mellan krympning/svällning och RF.

Figur 53. Sambandet mellan relativ fuktbetingad rörelse och fukttillstånd för skiva H (Promat Masterboard).

För merparten av alla skivor går det inte att urskilja linjära samband mellan relativ fuktbetingad rörelse och fuktkvot, se Figur 47-53 (a). Tidigare presenterad teori (se avsnitt 2.6) visar att sambandet mellan fri krympning/svällning och fuktkvot för många material är linjärt. Att erhållna samband inte är helt linjära kan bero på att den uppmätta krympningen/svällningen inte är fullständig fri krympning/svällning eller att teorin inte är applicerbar på skivorna som undersökts.

Eftersom sambanden mellan relativ fuktbetingad rörelse och fuktkvot till viss del är linjära, resulterar det i att sambanden mellan relativ fuktbetingad rörelse och RF får ett liknande utseende till respektive erhållen sorptionsisoterm från avsnitt 5.1, se Figur 47-53 (b). Den eventuella irreversibla krympningen kan urskiljas i Figur 47-53 (a) som skillnaden mellan kurvan för absorption och desorption, och i Figur 47-53 (b) kan den urskiljas som skillnaden mellan punkterna vid 100 % RF.

De fuktbetingade rörelserna mellan 95 % och 100 % RF är stora relativt skillnaden i RF för alla skivor, utom för skiva C (Cembrit Solid). Alla skivor uppvisar en hög fuktkapacitet mellan 95 % och 100 % och bör enligt presenterad teori (se avsnitt 2.6) således också uppvisa stora fuktbetingade rörelser. De fuktbetingade rörelserna för skivorna är däremot små i förhållande till den stora fuktupptagningen och fuktavgivningen som för skivorna sker i detta RF intervall, vilket kan urskiljas i Figur 47-53 (a).

De fuktbetingade rörelserna som redovisats i produktdatablad sammanställs med de experimentellt utvärderade i Tabell 22.

Tabell 22. Fuktbetingade rörelser och RF intervall redovisade i produktdatablad av leverantör samt experimentellt utvärderade.

Skiva	Relativ fuktbetingad rörelse [mm/m]		Fuktområde	
	Enligt produktdatablad	Experimentellt resultat	Enligt produktdatablad	Experimentellt, RF [%]
A (Cembrit Windstopper)	-	-3,91	-	100-0
B (Cembrit Patina)	2,6	-2,48	dry-wet-dry (max)	100-0
C (Cembrit Solid)	3	-4,58	dry-wet-dry (max)	100-0
D (Siniat Conchip)	-	-7,88	-	100-0
E (EQUITONE Tectiva)	1,6	0,47	30-95 % RF	33-95
G (Knauf Weatherboard 2.0)	-	-0,84	-	100-0
H (Promat Masterboard)	1	1,82	0-100 % RF	0-100

De utvärderade fuktbetingade rörelserna skiljer sig något jämfört med vad som är angivet i produktdatabladen. Vilken metod som använts för att bestämma de fuktbetingade rörelserna (se avsnitt 3.1) är inte känt. För skiva B (Cembrit Patina) anges den fuktbetingade rörelsen som wet-dry-wet (max), vilket kan tolkas som att rörelserna motsvarar den största krympningen/svällningen som uppmätts mellan ett uttorkat tillstånd och fuktmättat tillstånd. I produktdatabladen anges rörelsen som 2,6 mm/m. Skiva B uppvisar större krympning än svällning. Svällningen mellan 100-0 % RF blev uppmätt till -2,48 mm/m vilket är väldigt likt vad som är redovisat i produktdatabladet.

Den fuktbetingade rörelsen hos skiva C (Cembrit Solid) anges också som wet-dry-wet (max) och skiljer sig kraftigt mellan vad som är redovisat och vad som uppmätts i detta examensarbete. Rörelsen anges som 3,0 mm/m och krympning i intervallet 100-0 % uppmättes till -4,58 mm/m. Huruvida rörelserna är uppmätta i samma intervall eller ifall ett snävare intervall använts redovisas inte i produktdatabladen. En möjlig orsak till skillnaden kan också vara att leverantörens värden skulle kunna vara utvärderade under ett kortare tidsintervall och därav den betydligt mindre fuktbetingade rörelsen.

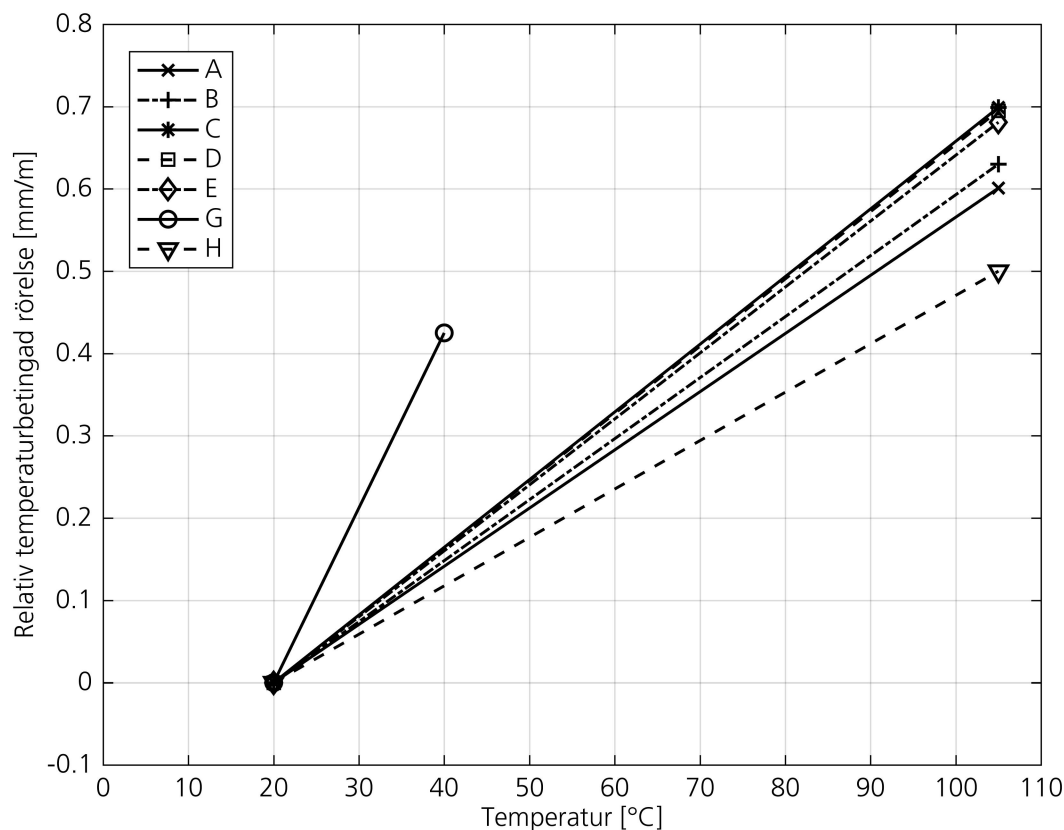
De fuktbetingade rörelserna för skiva E (EQUITONE Tectiva) redovisas som fuktrörelse, 30-95 % (se avsnitt 3.1), vilket antas vara likt intervallet 33-95 % RF. Huruvida fuktrörelserna syftar på både krympning och svällning framgår inte. Fuktrörelserna anges till 1,60 mm/m vilket är större än både krympning och svällning i intervallet 33-95 % RF. Uppmätt svällning var 0,47 mm/m och krympningen var -1,01 mm/m. Angivet intervall är lite större, 30-95 % RF jämfört med 33-95 % RF, men då skillnaderna mellan intervallen är små kan rimligtvis inte det vara anledningen till skillnaden i resultatet. De fuktbetingade rörelserna kan till exempel vara angivna för en annan riktning av skivan.

I produktdatablad till skiva H (Promat Masterboard) redovisas de fuktbetingade rörelserna som rörelser pga. fukt 0-100 % (se avsnitt 3.1), vilket antas vara likt intervallet 0-100 % RF som använts i detta examensarbete. Om rörelserna enbart innefattar svällning eller om krympning även beaktas framgår inte. De fuktbetingade rörelserna anges till 0,1 % (vilket motsvarar 1 mm/m). Utvärderade fuktbetingade rörelser skiljer sig kraftigt från de redovisade, då den uppmätta svällningen i intervallet 0-100 % RF blev 1,82 mm/m och uppmätt krympning i intervallet 100-0 % RF blev -3,14 mm/m. Både svällning och krympning är således betydligt större än vad som anges i produktdatabladen som fuktbetingade rörelser. Det är möjligt att skillnaderna beror på att det redovisade intervallet 0-100 % exempelvis inte innefattar att sänka ner provkropparna i vatten.

Fibercementskivan (EQUITONE Tectiva) har fuktrörelser i samma storleksordning som asbestcement och är den cementbundna skivan med minst fuktrörelser. Cemenspånskivan (Siniat Conchip) har betydligt större fuktrörelser än asbestcement. Fuktrörelserna för asbestcement är mellan 1 mm/m och 3 mm/m [11].

5.3. Temperaturbetingade rörelser

De relativa temperaturbetingade rörelserna för alla olika skivor visas i Figur 54. Resultaten är baserat på medelvärden av 5-6 provkroppar. Resultatet för enskilda provkroppar visas i Bilaga D.



Figur 54. Medelvärdet av den relativa temperaturbetingade rörelsen för varje skiva.

Relativa temperaturbetingade rörelser, vilket mätområde, samt hur stor längdutvidgningskoefficienten är för de olika skivorna redovisas i Tabell 23.

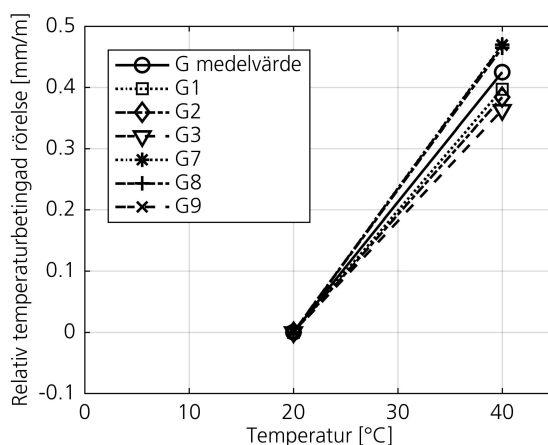
Tabell 23. Relativ temperaturbetingad rörelse, mätområde och längdutvidgningskoefficient.

Skiva	Mätområde [°C]	ε_T [mm/m]	α [$10^{-6}/K$]
A (Cembrit Windstopper)	20-105	0,60	7,1
B (Cembrit Patina)	20-105	0,63	7,4
C (Cembrit Solid)	20-105	0,70	8,2
D (Siniat Conchip)	20-105	0,70	8,2
E (EQUITONE Tectiva)	20-105	0,68	8,0
G (Knauf Weatherboard 2.0)	20-40	0,42	21,2
H (Promat Masterboard)	20-105	0,50	5,9

Resultatet visar att skiva G (Knauf Weatherboard 2.0) hade en relativ temperaturbetingad rörelse som skiljde sig markant från de andra skivtyperna, se Figur 54 och Tabell 23. Skiva G hade en relativ temperaturbetingad rörelse på 0,42 mm/m. Storleken hos rörelsen är liknande de andra skivorna, men då rörelsen uppmättes över ett mycket mindre temperaturintervall än för resterande skivtyper innebär det att skiva G hade en längdutvidgningskoefficient som var cirka tre gånger större än resterande skivor, se Tabell 23. Att längdutvidgningskoefficienten för skiva G skiljer sig avsevärt från de andra anses vara rimligt då det här är den enda skivan tillverkad av gips.

I Figur 54 och Tabell 23 syns det att alla skivor förutom skiva G har liknande längdutvidgningskoefficienter. Dessutom kunde skivorna A, B, C, D och E urskiljas ha en något högre längdutvidgningskoefficient än skiva H. Att skivorna A, B, C, D och E har liknande längdutvidgningskoefficient anses rimligt eftersom de alla är cementbundna skivor. Skiva H (Promat Masterboard) är den enda kalciumsilikatskivan och därav anses dess skillnad från de andra rimlig.

De temperaturbetingade rörelserna för provkroppar av skiva G samt medelvärdet av dessa visas i Figur 55.



Figur 55. Relativ temperaturbetingad rörelse för alla provkroppar samt medelvärdet av provkropparna för skiva G (Knauf Weatherboard 2.0).

Provkropparna 7, 8 och 9 av skiva G uppvisar alla tre en större relativ temperaturbetingad rörelse än provkropparna 1, 2 och 3, vilket kan ses i Figur 55. Vilket tidigare nämnts, användes provkropparna 1, 2 och 3 för att bestämma egenskaper under desorption och placerades således i ett fuktmättat tillstånd och torkades successivt ut. De temperaturbetingade rörelserna utvärderades för provkropparna 1, 2 och 3 således efter materialet varit i ett fuktmättat tillstånd. För provkropparna 7, 8 och 9 utvärderades de temperaturbetingade rörelserna innan uppfuktning. Skillnaden mellan provkropparna 1, 2, 3 och 7, 8, 9 tyder på att materialet kan ha genomgått förändringar då det fuktats upp, vilket i sin tur kan medföra skillnader för vissa egenskaper såsom temperaturbetingade rörelser. Den här skillnaden kan också iaktas hos skiva A (Cembrit Windstopper) och skiva H (Promat Masterboard) se Bilaga D.

Längdutvidgningskoefficienterna som redovisats i produktdatablad sammanställs med resultatet från studien i Tabell 24.

Tabell 24. Längdutvidgningskoefficienter redovisade i produktdatablad av leverantörer och experimentellt utvärderade längdutvidgningskoefficienter.

Skiva	Längdutvidgningskoefficient, α [$10^{-6}/K$]	
	Enligt produktdatablad	Experimentellt resultat
A (Cembrit Windstopper)	-	7,1
B (Cembrit Patina)	10	7,4
C (Cembrit Solid)	8	8,2
D (Siniat Conchip)	-	8,2
E (EQUITONE Tectiva)	10	8,0
G (Knauf Weatherboard 2.0)	-	21,2
H (Promat Masterboard)	29,4	5,9

Längdutvidgningskoefficienterna för skiva B (Cembrit Patina) och E (EQUITONE Tectiva) blev lägre än de som redovisats i produktdatablad. Skillnaden kan bero på att längdutvidgningskoefficienterna redovisats med en viss säkerhetsmarginal. Det kan också bero på att en annan metod eller ett annat temperaturintervall använts. Uppmätt längdutvidgningskoefficient för skiva C var $8,2 \cdot 10^{-6}/K$, vilket var väldigt lik den enligt produktdatablad på $8 \cdot 10^{-6}/K$.

Det är en stor skillnad mellan erhållen längdutvidgningskoefficient för skiva H på $5,9 \cdot 10^{-6}/K$ och den enligt produktdatablad på $29,4 \cdot 10^{-6}/K$, leverantörens redovisade värde är mer än fyra gånger så stort. Vad skillnaden kan bero på är svårt att fastställa men då skillnaden är så pass stor bör den observeras. Det kan vara så att skiva H är ett anisotrop material och att det således är stor skillnad för längdutvidgningskoefficienten mellan olika riktningar och redovisat värde är baserat på en annan riktning än den som utvärderats i det här examensarbetet.

Skivorna A, B, D, E och H hade alla en provkropp med avvikande värden som bortsågs från. Anledningen till att provkropp A7 inte utvärderades var för att en dubb lossnade. Mellan mätningarna installerades en ny dubb vilket gav en felaktig längdförändring. Provkropparna B, D, E och H med avvikande värden berodde antagligen på att provkropparna placerades felaktigt i mättrigen.

Erhållna längdutvidgningskoefficienter för fibercementskivorna har rimliga värden då skivorna jämförs med liknande material. Cementbruk har en längdutvidgningskoefficient på $8-14 \cdot 10^{-6} 1/K$ och trä (furu) har en längdutvidgningskoefficient på $5 \cdot 10^{-6}$ eller $34 \cdot 10^{-6} 1/K$ beroende på vinkel mot fiberriktning (se avsnitt 2.8). Erhållna längdutvidgningskoefficienter för fibercementskivorna var mellan $5,9-8,2 \cdot 10^{-6} 1/K$, och är av rimlig storleksordning då de jämförs med längdutvidgningskoefficienter för cementbruk och trä.

Asbestcement har en längdutvidgningskoefficient mellan $9 \cdot 10^{-6}/K$ och $12 \cdot 10^{-6}/K$ [11]. Detta är något större än de cementbundna skivorna i studien som hade en längdutvidgningskoefficient som var som störst $8,2 \cdot 10^{-6}/K$.

5.4. Beräkningar för uppskattning av tid för jämvikt

Resultatet från de ickestationära fuktberäkningarna skiljer sig något från de experimentellt utvärderade tiderna för uttorkning- och uppfuktning. Den längsta tiden som beräknades till jämvikt var uppnådd var mellan 100-95 % RF vilken beräknades till 30 dagar. Tiden provkropparna placerades i ett konstant klimat begränsades således till 30 dagar. I Bilaga B visas förloppet för uttorkning och uppfuktning. Efter 30 dagar är det fortfarande skivor som i vissa intervall inte helt uppnått jämvikt, 30 dagar är således en för kort tidsbegränsning för vissa av skivorna att helt uppnå jämvikt. Beräkningen underskattar alltså tiden för vissa skivor att uppnå jämvikt.

Skillnaderna mellan beräkningarna och de uppmätta tiderna för att uppnå jämvikt med de genererade klimaterna beror sannolikt på antaganden.

De ickestationära beräkningarna utfördes genom att dela upp materialet i tre stycken 3 mm beräkningsceller. Ett större antal celler med kortare tidsintervall kan ge ett mer precist resultat. Det är dock många antaganden gjorda vilket medför att ett mer precist resultat inte nödvändigtvis gör resultatet mer trovärdigt.

Tiden för uppfuktning och uttorkning beräknades för en 9 mm tjock fibercementskiva. Merparten av skivorna var under 9 mm och endast två skivor var tjockare, skiva G (Knauf Weatherboard 2.0) var 9,5 mm tjock och skiva H (Promat Masterboard) var 10 mm. Skiva G var tillverkad av gips och gipsen antogs uppnå jämvikt snabbare än resterande skivor. Detta antagande bekräftas då skiva G snabbt uppnår jämvikt under förloppen för uttorkning och uppfuktning som visas i Bilaga B. Skiva H, kalciumsilikatskivan, var en av skivorna som tog längst tid att uppnå jämvikt, se Bilaga B Figur 68. Då skiva H var 10 mm tjock kan således beräkningarna med 9 mm tjocklek vara en bidragande anledning till att den beräknade tiden underskattade tiden för jämvikt.

Några av skivorna hade ytbehandlingar vilket inte togs med i beräkningen. Till exempel var skiva C behandlad med färg på en sida och spärrlackerad på andra. Ytbehandlingarna bör öka ånggenomgångsmotståndet och således minska fukttransporten mellan skivan och luften. Detta kan vara en bidragande anledning till att skivornas tid till uppnådd jämvikt underskattades.

5.5. Kombinationen av fukt- och temperaturbetingade rörelser

Fukt- och temperaturrörelserna har i detta examensarbetet hittills behandlats separat. När en skiva är monterad i ytterväggen påverkas den av både fukt och temperatur samtidigt. Det bör observeras att fukttegenskaper ofta beror av temperaturen respektive temperaturegenskaper ofta beror av fuktinnehållet.

Sorptionsisotermen är temperaturberoende (se avsnitt 2.5). Sorptionsisotermerna är i den här rapporten redovisade för temperaturen 20 °C. Skillnaderna mellan redovisade sorptionsisotemer och sorption för materialen vid temperaturer kring 20 °C är obefintliga. Vid de högsta respektive lägsta temperaturerna byggnadsdelar utomhus vanligtvis utsätts för (-30 till 70 °C, se avsnitt 2.8), är det däremot möjligt att sorptionsisotermerna uppvisar stora skillnader jämfört med sorptionsisotermen som tagits fram för 20 °C.

De olika skivornas temperaturbetingade rörelser bestämdes då provkropparna var uttorkade till cirka 0 % RF. Detta var för att säkerställa att rörelserna endast var temperaturberoende. I praktiken är det däremot inte troligt att temperaturrörelserna sker då de monterade skivorna är helt torra.

Fukttinnehållet har stor påverkan på om huruvida skivorna expanderar eller inte då de är fuktiga och således innehåller vatten. Vilket tidigare nämnts (se avsnitt 2.8) har vatten som högst densitet vid 4 °C, vilket skulle kunna medföra att en skiva med stort vatteninnehåll expanderar trots temperatur-sänkning vid minskning till temperaturer under 4 °C.

De fuktbetingade rörelserna utvärderades då temperaturen var konstant 20 °C. Detta för att säkerställa att de fuktbetingade rörelserna utvärderades med endast varierade fukttinnehåll. I verkligheten sker såklart fuktrörelserna även i andra temperaturer än 20 °C. Då 20 °C ligger mitt i temperaturintervallet som byggnadsdelar utomhus normalt utsätts för, det vill säga -30 till 70 °C, antas fuktrörelserna vid 20 °C vara representativa.

5.6. Sprickbildning och buktning

Enligt teorin (se avsnitt 2.9) är sprickbildning och buktning av skivorna en möjlig konsekvens av förhindrad rörelse hos skivorna. Med hjälp av resultatet kan rörelserna vid en förändrad RF och temperatur bestämmas. Det är rimligt att ta till hänsyn för dessa rörelser vid projektering och montage för att säkerställa att rörelserna inte förhindras.

Storleken på fukt- och temperaturrörelserna beror på vilka temperatur- och RF intervall skivorna exponeras för. Rörelsernas storlek och konsekvenserna av dessa beror på hur och var de är monterade. RF intervallet mellan 33 och 95 % valdes för att representera klimatet skivorna i praktiken omges av. RF understiger sällan 30 % (se avsnitt 2.2) och det är således därför det genererade klimatet på 33 % RF användes som undre gräns i intervallet. Utsätts skivorna för ett mer extremt klimat kan storleken hos rörelserna uppskattas med de fuktbetingade rörelserna i intervallet 0 % till 33 % RF. Klimatet 95 % RF valdes för att efterlikna en sorts övre gräns för klimatet som omger skivorna. När det exempelvis regnar på skivorna ökar RF till cirka 100 %. I de fall skivorna är monterade i regnutsatta lägen eller där RF förväntas regelbundet överstiga 95 % RF kan då de fuktbetingade rörelserna uppskattas genom att även inkludera intervallet mellan 95 % och 100 % RF.

Buktning kan även bero på en ojämn fuktbelastning som resulterar i en fuktgradient genom materialet, vilket i sin tur medför en ojämn svällning och därmed buktning av skivan (se avsnitt 2.9). Samma resonemang kan föras då skivorna utsätts för en ojämn temperaturbelastning. På grund av dessa fenomen är det möjligt att få en buktning av skivan trots att hänsyn har tagits till eventuella längdförändringar.

5.7. Felkällor

Alla experimentella delar av examensarbetet utfördes med minst tre provkroppar per skivtyp. Tre stycken provkroppar gav ett säkrare resultat samt var viktigt för att resultatet inte skulle påverkas av enstaka mätfel. Genom att ha möjligheten att iaktta skillnader mellan tre olika provkroppar anser vi att reliabiliteten hos experimenten ökat.

En av de större felkällorna är tidsbegränsningen som sattes upp i examensarbetet, då resultatet i vissa fall tyder på att några av skivorna inte uppnått jämvikt med de olika genererade klimaten. Det är troligt att resultatet, i de fall där skivorna ännu inte uppnått jämvikt, skulle förändrats något.

Avvikande värden i form av enstaka felmätningar och felavläsningar på våg och mätklocka kan ha förekommit. Då antalet mätningar som gjordes var många och relativt täta, gick det att lätt urskilja kraftigt avvikande värden.

Systematiska fel på våg och mätklocka är däremot svårare att identifiera. Innan varje vägning nollställdes vågen och kontrollerades med en referensvikt som vägde 200,000 g. Merparten av provkropparna vägde runt 250-600 g och en referensvikt med vikt mellan 250 g och 600 g hade varit att föredra då referensvikten bör motsvara vikten hos provkropparna. Mätklockan nollställdes med en referensstav som hade längden 244,0 mm. Åtgärderna med att nollställa och kontrollera vågen och mätklockan anser vi ha ökat reliabiliteten hos experimenten.

Fukt- och temperaturbetingade rörelser samt fuktkvoter utvärderades med mässingsdubbar fästa på provkropparna. Två mässingsdubbar har en höjd på cirka 2 mm och en vikt på cirka 0,5 g. Provkropparnas längd var cirka 240 mm och de vägde mellan 249 g och 578 g. Mätfelet för de fuktbetingade rörelserna på grund av dubbarna beräknades till som störst 0,9 %. Mätfelet för fuktkvoterna på grund av mässingsdubbarna är som störst 0,2 %. Mässing har en längdutvidgningskoefficient ($19 \cdot 10^{-6} 1/K$ [13]) som skiljer sig från merparten av erhållna längdutvidgningskoefficienter ($5,9 - 8,2 \cdot 10^{-6} 1/K$). Mätfelet för längdutvidgningskoefficienten på grund av mässingsdubbarna beräknades till som störst 2 %.

6. Slutsats

Svällningen i intervallet 33-95 % RF är störst för cementspånskivan (Siniat Conchip), följt av två fibercementskivor (Cembrit Solid och Cembrit Windstopper). Gipsskivan (Knauf Weatherboard 2.0), kalciumsilikatskivan (Promat Masterboard) och en fibercementskiva (Cembrit Patina) svällde mindre i intervallet. Minst svällning uppmättes för en fibercementskiva (EQUITONE Tectiva).

Krympningen i intervallet 95-33 % RF är även den störst för cementspånskivan (Siniat Conchip), följt av alla fibercementskivorna (Cembrit Solid, Cembrit Windstopper, Cembrit Patina och EQUITONE Tectiva). Näst minst krympning i intervallet uppmättes för kalciumsilikatskivan (Promat Masterboard). Minst krympning uppmättes för gipsskivan (Knauf Weatherboard 2.0).

De fuktbetingade rörelserna mellan 0 % och 33 % RF är generellt stora relativt de totala fuktbetingade rörelserna mellan 0 % och 100 % RF. Då RF hos en skiva väntas understiga 33 % är det således viktigt att beakta dessa relativt stora fuktbetingade rörelser. De fuktbetingade rörelserna mellan 95 % och 100 % RF är generellt betydelsefulla och i de fall RF överstiger 95 % bör dessa beaktas.

För skivorna är krympningen betydligt större än svällningen mellan 0 % och 100 % RF, utom för gipsskivan (Knauf Weatherboard 2.0). Det innebär att det finns en irreversibel krympning vid uttorkning till 0 % RF för alla skivor utom gipsskivan. Med metoden som använts går det inte att avgöra under vilken RF den irreversibla krympningen sker. Fibercementskivorna (Cembrit Windstopper, Cembrit Patina, Cembrit Solid och EQUITONE Tectiva) och kalciumsilikatskivan (Promat Masterboard) uppvisar även en betydligt större krympning än svällning mellan 33 % och 95 % RF.

Längdutvidgningskoefficienten är störst för gipsskivan (Knauf Weatherboard 2.0). Fibercementskivorna (Cembrit Windstopper, Cembrit Patina, Cembrit Solid och EQUITONE Tectiva) och cementspånskivan (Siniat Conchip) har lägre längdutvidgningskoefficient än gipsskivan (Knauf Weatherboard 2.0). Lägst längdutvidgningskoefficient har kalciumsilikatskivan (Promat Masterboard).

Vilken av fukt- eller temperaturrörelserna som är störst beror på vilket intervall av RF och temperatur skivan utsätts för. Vilken av rörelserna som generellt är störst varierar mellan skivorna. För cementspånskivan (Siniat Conchip) är fuktrörelserna generellt betydligt större än temperaturrörelserna. För gipsskivan (Knauf Weatherboard 2.0) är de temperaturbetingade rörelserna generellt större än de fuktbetingade rörelserna.

7. Vidare studier

För att nå slutsatser kring hur sprickbildning och buktning hos skivmaterialen framkommer bör längdförändringarna som utvärderats i detta examensarbete kompletteras med hållfasthetsparametrar, exempelvis genom att studera materialets hållfasthet och spänningsutveckling vid förhindrade rörelser. Inverkan av olika typer av infästningar av skivorna kan då även studeras.

Vidare studier kan inkludera mätning av hur klimatet för fasadskivorna och vindskyddsskivorna varierar i verkligheten. Detta skulle till exempel kunna göras genom att mäta hur en skivas temperatur och RF förändras över ett år. Genom att ta reda på vilka RF och temperaturintervall skivorna exponeras för kan skivornas rörelse med hjälp av värden från detta examensarbete utvärderas.

Temperaturrelserna utvärderades endast i intervallet 20-105 °C. Temperaturrelserna kan kompletteras genom att utvärdera längderna i andra temperaturer, exempelvis minusgrader. Vidare studier kan även utvärdera temperaturrelsernas fuktberoende. Detta skulle kunna undersökas genom att mäta längdförändringar i olika konstanta RF och temperaturer.

Sorptionsisotermerna har få jämviktspunkter och för mer adekvata sorptionsisotemer bör dessa kompletteras med skivmaterialens fuktinnehåll i jämvikt med flera RF. I examensarbetet utvärderades fuktinnehållet vid vissa tillfällen efter en utsatt tidsbegränsning. För att garantera att fuktinnehållet har uppnått jämvikt bör skivornas fuktinnehåll utvärderas i konstanta RF utan tidsbegränsningar.

I praktiken exponeras skivorna för RF och temperatur som förändras i cykler. Vid framtida studier kan de fukt- och temperaturbetingade rörelserna utvärderas då skivorna exponeras för olika cykler av RF och temperaturer. En cykel skulle då kunna innefatta att provkropparna uttorkas, fuktmättas och sen uttorkas igen.

I det här examensarbetet har en hel del erfarenheter framkommit som kan vara värda att beakta vid liknande studier i framtiden. Provkropparna kan utformas med mätdubbar på alla sidor och således ges möjligheten att utvärdera längdändringar i två riktningar hos samma provkropp. För att klimatet ska hållas konstant bör antalet provkroppar i en klimatbox begränsas, så att provkropparnas fuktupptagning/avgivning inte överstiger de övermättade saltlösningarnas fuktavgivning/upptagning. Vi rekommenderar att använda maximalt tolv provkroppar av liknande material och storlek som använts i det här examensarbetet. I de fall försöken utförs i ett klimatrum som håller en konstant RF kan provkropparnas fuktinnehåll i jämvikt med klimatrummets RF inkluderas. I de fall liknande försök utförs är det viktigt att kontrollera maxvikten på den våg som planeras att användas. Provkropparna väger mer då de har absorberat fukt och det är då viktigt att vågens maxvikt inte överstigs.

Referenser

- [1] K. Sandin. *Praktisk byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur, 2010 (Ungern), 2010. ISBN: 9789144059914.
- [2] Isover. *YK:12 Stål- och träregelvägg med ventilerad träfasad [EI30] [53-58 dB]*. Saint-Gobain Sweden AB. 2019. URL: <https://www.isover.se/solutions/y4022-ventilerad-och-dranerad-fasad-trapanel-pa-kombiregelstomme-av-stal-och-tra-0> (hämtad 2019-03-06).
- [3] P. G. Burström. *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur, 2007 (Danmark), 2007. ISBN: 9789144027388.
- [4] J. Arfvidsson, I. Samuelson och L.-E. Harderup. *Fukthandbok: praktik och teori*. Stockholm: Svensk byggtjänst, 2017, 2017. ISBN: 9789173338233.
- [5] L.-O. Nilsson. *Betonghandbok: Material*. 2. utg. Stockholm: Svensk byggtjänst och Cementa AB, 1994, 1994, s. 486. ISBN: 91-7332-709-3.
- [6] SMHI, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. *Data: Ladda ner meteorologiska observationer*. 2019. URL: <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureInstant,stations=all> (hämtad 2019-03-15).
- [7] L. Wern. *Luftfuktighet Variationer i Sverige*. SMHI, METROLOGI Nr 154. 2013.
- [8] G. Hedenblad. *Materialdata för fuktransportberäkningar*. T / Byggeforskningsrådet: 1996:19. Stockholm: Byggeforskningsrådet; Solna: Svensk byggtjänst [distributör], 1996; (Stockholm: Ljunglöf), 1996. ISBN: 9154057663.
- [9] L.-O. Nilsson. *Fuktpåverkan på material: kritiska fuktnivåer*. Fuktsäkerhet i byggnader. Stockholm: Formas: Svenska byggbranschens utvecklingsfond (SBUF), 2006 (Västerås: Edita), 2006. ISBN: 9154059518.
- [10] S. Mindess och J. F. Young. *Concrete*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1981. Kap. 18.
- [11] J. Douglas och B. Ransom. *Understanding Building Failures*. Understanding Construction. Routledge, 2013, s. 105, 118. ISBN: 9781136448799.
- [12] D. Pehrsson och A. Persson. *Fuktrörelser i oorganiska våtrum- och vindskyddsskivor*. Examensarbete, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet. 2013.
- [13] G. Jönsson. *Fysik i vätskor och gaser*. 8. utg. Lund: Teach Support, 2014, 2014, s. 20. ISBN: 9789197249997.
- [14] S. Heyden, O. Dahlblom, A. Olsson och G. Sandberg. *Introduktion till strukturmekniken*. Lund: Studentlitteratur, 2008 (Polen), 2008, s. 46. ISBN: 9789144051253.
- [15] M. R. Eslami. *Buckling and Postbuckling of Beams, Plates, and Shells*. Structural Integrity: 1. Cham: Springer International Publishing: Imprint: Springer, 2018, 2018, s. 1,189. ISBN: 9783319623689.
- [16] S. Akers och M. Partl. "Hygral and thermal expansion/shrinkage properties of asbestos-free fibre cement." I: *Cement and Concrete Composites* 12.1 (1990), s. 19–27. ISSN: 09589465.
- [17] A. Bentur och S. Mindess. *Fibre Reinforced Cementitious Composites, Second Edition*. Modern Concrete Technology. Taylor & Francis, 2006. ISBN: 9780203088722.

- [18] Cembrit Windstopper. *Produktnamn: Cembrit Windstopper Extreme 4,5 mm*. Cembrit AB. 2019. URL: <https://www.cembrit.se/byggskivor/cembrit-windstopper/> (hämtad 2019-03-05).
- [19] Cembrit Patina. *Produktnamn: Cembrit Patina*. Cembrit AB. 2019. URL: <https://www.cembrit.se/fasad/cembrit-patina/> (hämtad 2019-03-05).
- [20] Cembrit Solid. *Produktnamn: Cembrit Solid*. Cembrit AB. 2019. URL: <https://www.cembrit.se/fasad/cembrit-solid/> (hämtad 2019-03-05).
- [21] Siniat Conchip. *Produktnamn: Siniat Conchip*. Etex Nordic A/S. 2019. URL: <https://www.siniat.nu/sv-se/produkter-och-system/products/exterior/conchip-2> (hämtad 2019-03-05).
- [22] EQUITONE Tectiva. *Produktnamn: EQUITONE Tectiva*. Etex Nordic A/S. 2019. URL: <https://equitone.se/tectiva> (hämtad 2019-03-05).
- [23] Knauf Weatherboard. *Produktnamn: Knauf Weatherboard 2.0*. Knauf Danogips GmbH. 2019. URL: <https://www.knauf.se/produkt/knauf-weatherboard-2-0> (hämtad 2019-03-05).
- [24] Knauf Danogips GmbH. *Byggefysik och regler: Fukt: Material och fukt*. Knauf Danogips GmbH. 2019. URL: <https://www.knauf.se/byggefysik-regler/fukt/material-och-fukt> (hämtad 2019-03-10).
- [25] Promat Masterboard. *Produktnamn: Promat Masterboard*. Etex Nordic A/S. 2019. URL: <https://www.promat.nu/sv-se/produkt-masterboard/masterboard> (hämtad 2019-03-05).
- [26] Loctite EA 3421. *Produktnamn: Loctite EA 3421*. Henkel Limited. 2019. URL: https://www.henkel-adhesives.com/uk/en/product/structural-adhesives/loctite_ea_3421_ab.html (hämtad 2019-02-22).
- [27] L. Greenspan. "Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions". I: *Journal of Research of the National Bureau of Standards Section A: Physics and Chemistry* 81A (jan. 1977). DOI: 10.6028/jres.081A.011.
- [28] A. Talevska och O. Fakhro. *Fuktegenskaper hos magnesiumoxidskivor*. Examensarbete, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet. 2016.
- [29] B. Johannesson och M. Janz. "Test of Four Different Experimental Methods to Determine Sorption Isotherms". I: *Journal of Materials in Civil Engineering* 14.6 (2002), s. 471–477. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:6(471).

Bilaga

A. Ickestationära beräkningar

Tabell 25. Ickestationär beräkning 0 % till 33 % och 33 % till 95 % RF. Del 1 av 5.

9 mm fibercementskiva							
Tid [dagar]	Cell	0	1	2	3	0	Dimension
	Mtrl	<i>Luft/Saltlösning</i>	<i>Skiva</i>	<i>Skiva</i>	<i>Skiva</i>	<i>Luft/Saltlösning</i>	
	Dimension		0,003	0,003	0,003		
	RF	0,33	0	0	0	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	0,00	0,00	0,00	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-8,77E-07	0,00	0,00	8,77E-07	[kg/(m ² s)]
0,5	Δw		12,63	0,00	12,63		[kg/m ³]
	ΔRF		0,01	0	0,01		[-]
0,5	RF	0,33	0,01	0	0,01	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	0,17	0,00	0,17	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-8,51E-07	-1,44E-08	1,44E-08	8,51E-07	[kg/(m ² s)]
1	Δw		12,04	0,41	12,04		[kg/m ³]
	ΔRF		0,03	0	0,03		[-]
1	RF	0,33	0,04	0	0,04	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	0,69	0,00	0,69	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-7,71E-07	-5,76E-08	5,76E-08	7,71E-07	[kg/(m ² s)]
1,5	Δw		10,27	1,66	10,27		[kg/m ³]
	ΔRF		0,06	0	0,06		[-]
1,5	RF	0,33	0,1	0	0,1	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	1,73	0,00	1,73	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-6,11E-07	-1,44E-07	1,44E-07	6,11E-07	[kg/(m ² s)]
2	Δw		6,73	4,15	6,73		[kg/m ³]
	ΔRF		0,02	0,005	0,02		[-]
1,5	RF	0,33	0,12	0,005	0,12	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	2,07	0,09	2,07	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-5,58E-07	-1,66E-07	1,66E-07	5,58E-07	[kg/(m ² s)]
2	Δw		5,65	4,77	5,65		[kg/m ³]
	ΔRF		0,03	0,005	0,03		[-]
2	RF	0,33	0,15	0,01	0,15	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]

Tabell 26. Ickestationär beräkning 0 % till 33 % och 33 % till 95 % RF. Del 2 av 5.

	v	5,70	2,59	0,17	2,59	5,70	10^{-3} [kg/m ³]
	g	-4,79E-07	-2,02E-07	2,02E-07	4,79E-07		[kg/(m ² s)]
3	Δw		7,98	11,61	7,98		[kg/m ³]
	ΔRF		0,05	0,02	0,05		[-]
3	RF	0,33	0,2	0,03	0,2	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	3,46	0,52	3,46	5,70	10^{-3} [kg/m ³]
	g	-3,46E-07	-2,45E-07	2,45E-07	3,46E-07		[kg/(m ² s)]
4	Δw		2,90	14,10	2,90		[kg/m ³]
	ΔRF		0,02	0,06	0,02		[-]
4	RF	0,33	0,22	0,09	0,22	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	3,80	1,56	3,80	5,70	10^{-3} [kg/m ³]
	g	-2,92E-07	-1,87E-07	1,87E-07	2,92E-07		[kg/(m ² s)]
5	Δw		3,03	10,78	3,03		[kg/m ³]
	ΔRF		0,03	0,06	0,03		[-]
5	RF	0,33	0,25	0,15	0,25	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	4,32	2,59	4,32	5,70	10^{-3} [kg/m ³]
	g	-2,13E-07	-1,44E-07	1,44E-07	2,13E-07		[kg/(m ² s)]
6	Δw		1,98	8,29	1,98		[kg/m ³]
	ΔRF		0,02	0,05	0,02		[-]
6	RF	0,33	0,27	0,2	0,27	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	4,67	3,46	4,67	5,70	10^{-3} [kg/m ³]
	g	-1,60E-07	-1,01E-07	1,01E-07	1,60E-07		[kg/(m ² s)]
7	Δw		1,69	5,81	1,69		[kg/m ³]
	ΔRF		0,02	0,03	0,02		[-]
7	RF	0,33	0,29	0,23	0,29	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,01	3,97	5,01	5,70	10^{-3} [kg/m ³]
	g	-1,06E-07	-8,64E-08	8,64E-08	1,06E-07		[kg/(m ² s)]
8	Δw		0,57	4,98	0,57		[kg/m ³]
	ΔRF		0,005	0,05	0,005		[-]
8	RF	0,33	0,295	0,28	0,295	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,10	4,84	5,10	5,70	10^{-3} [kg/m ³]
	g	-9,30E-08	-2,16E-08	2,16E-08	9,30E-08		[kg/(m ² s)]
9	Δw		2,06	1,24	2,06		[kg/m ³]
	ΔRF		0,02	0,01	0,02		[-]
9	RF	0,33	0,315	0,29	0,315	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,44	5,01	5,44	5,70	10^{-3} [kg/m ³]
	g	-3,99E-08	-3,60E-08	3,60E-08	3,99E-08		[kg/(m ² s)]
10	Δw		0,11	2,07	0,11		[kg/m ³]
	ΔRF		0,001	0,02	0,001		[-]

Tabell 27. Ickestationär beräkning 0 % till 33 % och 33 % till 95 % RF. Del 3 av 5.

10	RF	0,33	0,316	0,31	0,316	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,46	5,36	5,46	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-3,72E-08	-8,64E-09	8,64E-09	3,72E-08	[kg/(m ² s)]
11	Δw		0,82	0,50	0,82		[kg/m ³]
	ΔRF		0,008	0,005	0,008		[-]
11	RF	0,33	0,324	0,315	0,324	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,60	5,44	5,60	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-1,60E-08	-1,30E-08	1,30E-08	1,60E-08	[kg/(m ² s)]
12	Δw		0,09	0,75	0,09		[kg/m ³]
	ΔRF		0,001	0,008	0,001		[-]
12	RF	0,33	0,325	0,323	0,325	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,62	5,58	5,62	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-1,33E-08	-2,88E-09	2,88E-09	1,33E-08	[kg/(m ² s)]
13	Δw		0,30	0,17	0,30		[kg/m ³]
	ΔRF		0,003	0,002	0,003		[-]
13	RF	0,33	0,328	0,325	0,328	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,67	5,62	5,67	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-5,32E-09	-4,32E-09	4,32E-09	5,32E-09	[kg/(m ² s)]
14	Δw		0,03	0,25	0,03		[kg/m ³]
	ΔRF		0	0,002	0		[-]
14	RF	0,33	0,328	0,327	0,328	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,67	5,65	5,67	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-5,32E-09	-1,44E-09	1,44E-09	5,32E-09	[kg/(m ² s)]
17	Δw		0,33	0,25	0,33		[kg/m ³]
	ΔRF		0,002	0,003	0,002		[-]
17	RF	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	[-]
17	RF	0,95	0,33	0,33	0,33	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	5,70	5,70	5,70	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-1,65E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,65E-06	[kg/(m ² s)]
17,2	Δw		9,49	0,00	9,49		[kg/m ³]
	ΔRF		0,17	0	0,17		[-]
17,2	RF	0,95	0,5	0,33	0,5	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	8,64	5,70	8,64	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-1,20E-06	-2,45E-07	2,45E-07	1,20E-06	[kg/(m ² s)]
17,4	Δw		5,48	2,82	5,48		[kg/m ³]
	ΔRF		0,15	0,05	0,15		[-]
17,4	RF	0,95	0,65	0,38	0,65	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	11,23	6,57	11,23	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]

Tabell 28. Ickestationär beräkning 0 % till 33 % och 33 % till 95 % RF. Del 4 av 5.

	g		-7,98E-07	-3,89E-07	3,89E-07	7,98E-07		[kg/(m ² s)]
17,6	Δw			2,35	4,48	2,35		[kg/m ³]
	ΔRF			0,05	0,09	0,05		[-]
17,6	RF	0,95	0,7	0,47	0,7	0,95		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	16,42	12,10	8,12	12,10	16,42		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-7,85E-07	-3,61E-07	3,61E-07	7,85E-07		[kg/(m ² s)]
17,8	Δw			2,44	4,16	2,44		[kg/m ³]
	ΔRF			0,03	0,09	0,03		[-]
17,8	RF	0,95	0,73	0,56	0,73	0,95		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	16,42	12,61	9,68	12,61	16,42		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-6,91E-07	-2,67E-07	2,67E-07	6,91E-07		[kg/(m ² s)]
18	Δw			2,44	3,08	2,44		[kg/m ³]
	ΔRF			0,03	0,09	0,03		[-]
18	RF	0,95	0,76	0,65	0,76	0,95		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	16,42	13,13	11,23	13,13	16,42		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-5,97E-07	-1,73E-07	1,73E-07	5,97E-07		[kg/(m ² s)]
18,3	Δw			3,66	2,99	3,66		[kg/m ³]
	ΔRF			0,03	0,07	0,03		[-]
18,3	RF	0,95	0,79	0,72	0,79	0,95		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	16,42	13,65	12,44	13,65	16,42		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-5,03E-07	-1,21E-07	1,21E-07	5,03E-07		[kg/(m ² s)]
18,6	Δw			3,30	2,09	3,30		[kg/m ³]
	ΔRF			0,03	0,02	0,03		[-]
18,6	RF	0,95	0,82	0,74	0,82	0,95		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	16,42	14,17	12,79	14,17	16,42		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-5,29E-07	-1,84E-07	1,84E-07	5,29E-07		[kg/(m ² s)]
19	Δw			3,97	4,25	3,97		[kg/m ³]
	ΔRF			0,04	0,045	0,04		[-]
19	RF	0,95	0,86	0,785	0,86	0,95		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	16,42	14,86	13,56	14,86	16,42		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-3,66E-07	-1,73E-07	1,73E-07	3,66E-07		[kg/(m ² s)]
19,5	Δw			2,78	4,98	2,78		[kg/m ³]
	ΔRF			0,025	0,05	0,025		[-]
19,5	RF	0,95	0,885	0,835	0,885	0,95		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	16,42	15,29	14,43	15,29	16,42		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-2,64E-07	-1,15E-07	1,15E-07	2,64E-07		[kg/(m ² s)]
20	Δw			2,15	3,32	2,15		[kg/m ³]
	ΔRF			0,015	0,03	0,015		[-]
20	RF	0,95	0,9	0,865	0,9	0,95		[-]

Tabell 29. Ickestationär beräkning 0 % till 33 % och 33 % till 95 % RF. Del 5 av 5.

	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	15,55	14,95	15,55	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-2,47E-07	-8,96E-08	8,96E-08	2,47E-07	[kg/(m ² s)]
21	Δw		4,53	5,16	4,53		[kg/m ³]
	ΔRF		0,025	0,035	0,025		[-]
21	RF	0,95	0,925	0,9	0,925	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	15,98	15,55	15,98	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-1,23E-07	-6,40E-08	6,40E-08	1,23E-07	[kg/(m ² s)]
22	Δw		1,71	3,69	1,71		[kg/m ³]
	ΔRF		0,01	0,02	0,01		[-]
22	RF	0,95	0,935	0,92	0,935	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,16	15,90	16,16	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-7,41E-08	-3,84E-08	3,84E-08	7,41E-08	[kg/(m ² s)]
23	Δw		1,03	2,21	1,03		[kg/m ³]
	ΔRF		0,005	0,01	0,005		[-]
23	RF	0,95	0,94	0,93	0,94	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,24	16,07	16,24	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-4,94E-08	-2,56E-08	2,56E-08	4,94E-08	[kg/(m ² s)]
25	Δw		1,37	2,95	1,37		[kg/m ³]
	ΔRF		0,005	0,01	0,005		[-]
25	RF	0,95	0,945	0,94	0,945	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,33	16,24	16,33	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-2,47E-08	-1,28E-08	1,28E-08	2,47E-08	[kg/(m ² s)]
27	Δw		0,68	1,47	0,68		[kg/m ³]
	ΔRF		0,003	0,007	0,003		[-]
27	RF	0,95	0,948	0,947	0,948	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,38	16,36	16,38	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		-9,87E-09	-2,56E-09	2,56E-09	9,87E-09	[kg/(m ² s)]
31	Δw		0,84	0,59	0,84		[kg/m ³]
	ΔRF		0,002	0,003	0,002		[-]
31	RF	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	[-]

Tabell 30. Ickestationär beräkning 100 % till 95 % och 95 % till 33 % RF. Del 1 av 5.

9 mm fibercementskiva							
Tid [dagar]	Cell	0	1	2	3	0	Dimension
	Mtrl	<i>Luft/Saltlösning</i>	<i>Skiva</i>	<i>Skiva</i>	<i>Skiva</i>	<i>Luft/Saltlösning</i>	
	Dimension		0,003	0,003	0,003		
	RF	0,95	1	1	1	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	17,28	17,28	17,28	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		2,68E-07	0,00	0,00	-2,68E-07	[kg/(m ² s)]
1	Δw		-7,71	0,00	-7,71		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,01	0	-0,01		[-]
1	RF	0,95	0,99	1	0,99	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	17,11	17,28	17,11	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		2,14E-07	3,17E-08	-3,17E-08	-2,14E-07	[kg/(m ² s)]
2	Δw		-5,26	-1,82	-5,26		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,01	0	-0,01		[-]
2	RF	0,95	0,98	1	0,98	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,93	17,28	16,93	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		1,61E-07	6,34E-08	-6,34E-08	-1,61E-07	[kg/(m ² s)]
3	Δw		-2,80	-3,65	-2,80		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,005	-0,005	-0,005		[-]
3	RF	0,95	0,975	0,995	0,975	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,85	17,19	16,85	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		1,34E-07	6,34E-08	-6,34E-08	-1,34E-07	[kg/(m ² s)]
5	Δw		-4,06	-7,30	-4,06		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,01	-0,015	-0,01		[-]
5	RF	0,95	0,965	0,98	0,965	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,68	16,93	16,68	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		8,03E-08	4,75E-08	-4,75E-08	-8,03E-08	[kg/(m ² s)]
7	Δw		-1,89	-5,47	-1,89		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,003	-0,01	-0,003		[-]
7	RF	0,95	0,962	0,97	0,962	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,62	16,76	16,62	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		6,43E-08	2,53E-08	-2,53E-08	-6,43E-08	[kg/(m ² s)]
9	Δw		-2,24	-2,92	-2,24		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,004	-0,005	-0,004		[-]
9	RF	0,95	0,958	0,965	0,958	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,55	16,68	16,55	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		4,28E-08	2,22E-08	-2,22E-08	-4,28E-08	[kg/(m ² s)]
11	Δw		-1,19	-2,55	-1,19		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,002	-0,004	-0,002		[-]

Tabell 31. Ickestationär beräkning 100 % till 95 % och 95 % till 33 % RF. Del 2 av 5.

11	RF	0,95	0,956	0,961	0,956	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,52	16,61	16,52	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		3,21E-08	1,58E-08	-1,58E-08	-3,21E-08	[kg/(m ² s)]
13	Δw			-0,94	-1,82	-0,94	[kg/m ³]
	ΔRF			-0,002	-0,004	-0,002	[-]
13	RF	0,95	0,954	0,957	0,954	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,49	16,54	16,49	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		2,14E-08	9,50E-09	-9,50E-09	-2,14E-08	[kg/(m ² s)]
15	Δw			-0,69	-1,09	-0,69	[kg/m ³]
	ΔRF			-0,001	-0,002	-0,001	[-]
15	RF	0,95	0,953	0,955	0,953	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,47	16,50	16,47	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		1,61E-08	6,34E-09	-6,34E-09	-1,61E-08	[kg/(m ² s)]
17	Δw			-0,56	-0,73	-0,56	[kg/m ³]
	ΔRF			-0,001	-0,001	-0,001	[-]
17	RF	0,95	0,952	0,954	0,952	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,45	16,49	16,45	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		1,07E-08	6,34E-09	-6,34E-09	-1,07E-08	[kg/(m ² s)]
21	Δw			-0,50	-1,46	-0,50	[kg/m ³]
	ΔRF			-0,001	-0,002	-0,001	[-]
21	RF	0,95	0,951	0,952	0,951	0,95	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	16,42	16,43	16,45	16,43	16,42	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		5,35E-09	3,17E-09	-3,17E-09	-5,35E-09	[kg/(m ² s)]
30	Δw			-0,57	-1,64	-0,57	[kg/m ³]
	ΔRF			-0,001	-0,002	-0,001	[-]
30	RF	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	[-]
30	RF	0,33	0,95	0,95	0,95	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	16,42	16,42	16,42	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		3,06E-06	0,00E+00	0,00E+00	-3,06E-06	[kg/(m ² s)]
30,1	Δw			-8,82	0,00	-8,82	[kg/m ³]
	ΔRF			-0,02	0	-0,02	[-]
30,1	RF	0,33	0,93	0,95	0,93	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	16,07	16,42	16,07	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		2,96E-06	6,03E-08	-6,03E-08	-2,96E-06	[kg/(m ² s)]
30,2	Δw			-8,36	-0,35	-8,36	[kg/m ³]
	ΔRF			-0,03	-0,001	-0,03	[-]
30,2	RF	0,33	0,9	0,949	0,9	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	15,55	16,40	15,55	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]

Tabell 32. Ickestationär beräkning 100 % till 95 % och 95 % till 33 % RF. Del 3 av 5.

	g		2,32E-06	1,41E-07	-1,41E-07	-2,32E-06		[kg/(m ² s)]
30,3	Δw			-6,27	-0,81	-6,27		[kg/m ³]
	ΔRF			-0,05	-0,002	-0,05		[-]
30,3	RF	0,33	0,85	0,947	0,85	0,33		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	5,70	14,69	16,36	14,69	5,70		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		2,11E-06	2,48E-07	-2,48E-07	-2,11E-06		[kg/(m ² s)]
30,4	Δw			-5,37	-1,43	-5,37		[kg/m ³]
	ΔRF			-0,05	-0,004	-0,05		[-]
30,4	RF	0,33	0,8	0,943	0,8	0,33		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	5,70	13,82	16,30	13,82	5,70		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		1,48E-06	3,66E-07	-3,66E-07	-1,48E-06		[kg/(m ² s)]
30,5	Δw			-3,20	-2,11	-3,20		[kg/m ³]
	ΔRF			-0,03	-0,007	-0,03		[-]
30,5	RF	0,33	0,77	0,936	0,77	0,33		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	5,70	13,31	16,17	13,31	5,70		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		1,38E-06	3,59E-07	-3,59E-07	-1,38E-06		[kg/(m ² s)]
30,7	Δw			-5,90	-4,13	-5,90		[kg/m ³]
	ΔRF			-0,06	-0,014	-0,06		[-]
30,7	RF	0,33	0,71	0,922	0,71	0,33		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	5,70	12,27	15,93	12,27	5,70		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		1,19E-06	4,58E-07	-4,58E-07	-1,19E-06		[kg/(m ² s)]
30,9	Δw			-4,24	-5,28	-4,24		[kg/m ³]
	ΔRF			-0,06	-0,02	-0,06		[-]
30,9	RF	0,33	0,65	0,902	0,65	0,33		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	5,70	11,23	15,59	11,23	5,70		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		8,51E-07	4,47E-07	-4,47E-07	-8,51E-07		[kg/(m ² s)]
31,1	Δw			-2,33	-5,15	-2,33		[kg/m ³]
	ΔRF			-0,06	-0,035	-0,06		[-]
31,1	RF	0,33	0,59	0,867	0,59	0,33		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	5,70	10,20	14,98	10,20	5,70		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		6,91E-07	4,91E-07	-4,91E-07	-6,91E-07		[kg/(m ² s)]
31,3	Δw			-1,15	-5,66	-1,15		[kg/m ³]
	ΔRF			-0,04	-0,055	-0,04		[-]
31,3	RF	0,33	0,55	0,812	0,55	0,33		[-]
	T	20	20	20	20	20		[°C]
	v	5,70	9,50	14,03	9,50	5,70		10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		5,85E-07	4,12E-07	-4,12E-07	-5,85E-07		[kg/(m ² s)]
31,6	Δw			-1,50	-7,11	-1,50		[kg/m ³]
	ΔRF			-0,05	-0,07	-0,05		[-]
31,6	RF	0,33	0,5	0,742	0,5	0,33		[-]

Tabell 33. Ickestationär beräkning 100 % till 95 % och 95 % till 33 % RF. Del 4 av 5.

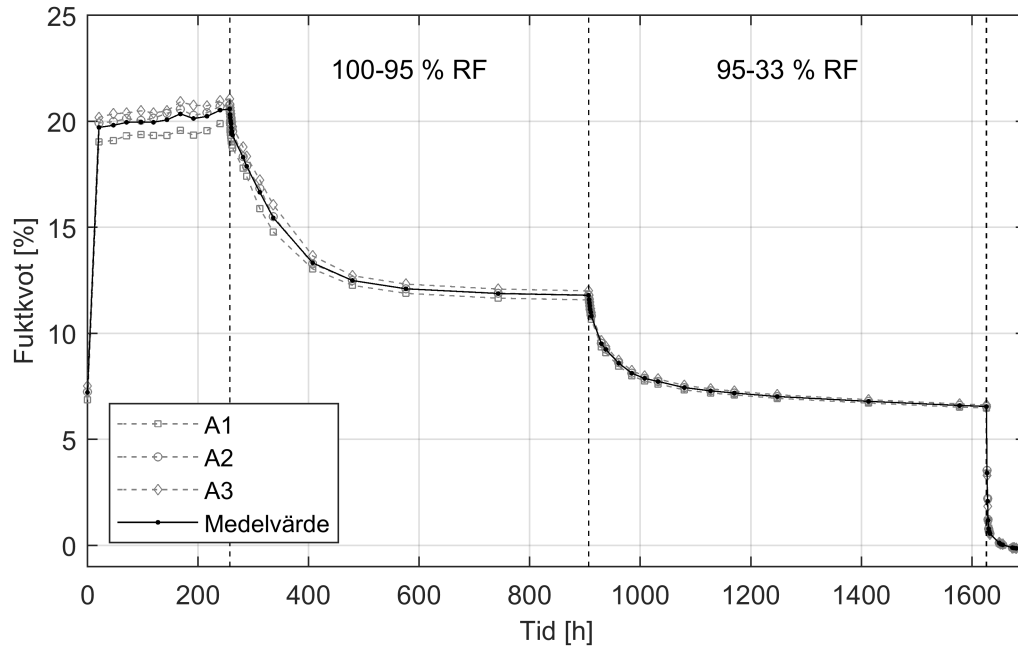
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	8,64	12,82	8,64	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		4,52E-07	3,48E-07	-3,48E-07	-4,52E-07	[kg/(m ² s)]
32	Δw		-1,19	-8,03	-1,19		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,04	-0,2	-0,04		[-]
32	RF	0,33	0,46	0,542	0,46	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	7,95	9,37	7,95	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		3,46E-07	1,18E-07	-1,18E-07	-3,46E-07	[kg/(m ² s)]
32,5	Δw		-3,28	-3,40	-3,28		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,09	-0,12	-0,09		[-]
32,5	RF	0,33	0,37	0,422	0,37	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	6,39	7,29	6,39	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		1,06E-07	7,49E-08	-7,49E-08	-1,06E-07	[kg/(m ² s)]
33	Δw		-0,45	-2,16	-0,45		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,004	-0,05	-0,004		[-]
33	RF	0,33	0,366	0,372	0,366	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	6,32	6,43	6,32	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		9,57E-08	8,64E-09	-8,64E-09	-9,57E-08	[kg/(m ² s)]
33,5	Δw		-1,25	-0,25	-1,25		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,013	-0,003	-0,013		[-]
33,5	RF	0,33	0,353	0,369	0,353	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	6,10	6,38	6,10	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		6,11E-08	2,30E-08	-2,30E-08	-6,11E-08	[kg/(m ² s)]
34	Δw		-0,55	-0,66	-0,55		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,006	-0,007	-0,006		[-]
34	RF	0,33	0,347	0,362	0,347	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	6,00	6,26	6,00	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		4,52E-08	2,16E-08	-2,16E-08	-4,52E-08	[kg/(m ² s)]
34,5	Δw		-0,34	-0,62	-0,34		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,003	-0,006	-0,003		[-]
34,5	RF	0,33	0,344	0,356	0,344	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,94	6,15	5,94	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		3,72E-08	1,73E-08	-1,73E-08	-3,72E-08	[kg/(m ² s)]
35	Δw		-0,29	-0,50	-0,29		[kg/m ³]
	ΔRF		-0,003	-0,005	-0,003		[-]
35	RF	0,33	0,341	0,351	0,341	0,33	[-]
	T	20	20	20	20	20	[°C]
	v	5,70	5,89	6,07	5,89	5,70	10 ⁻³ [kg/m ³]
	g		2,92E-08	1,44E-08	-1,44E-08	-2,92E-08	[kg/(m ² s)]
36	Δw		-0,43	-0,83	-0,43		[kg/m ³]

Tabell 34. Ickestationär beräkning 100 % till 95 % och 95 % till 33 % RF. Del 5 av 5.

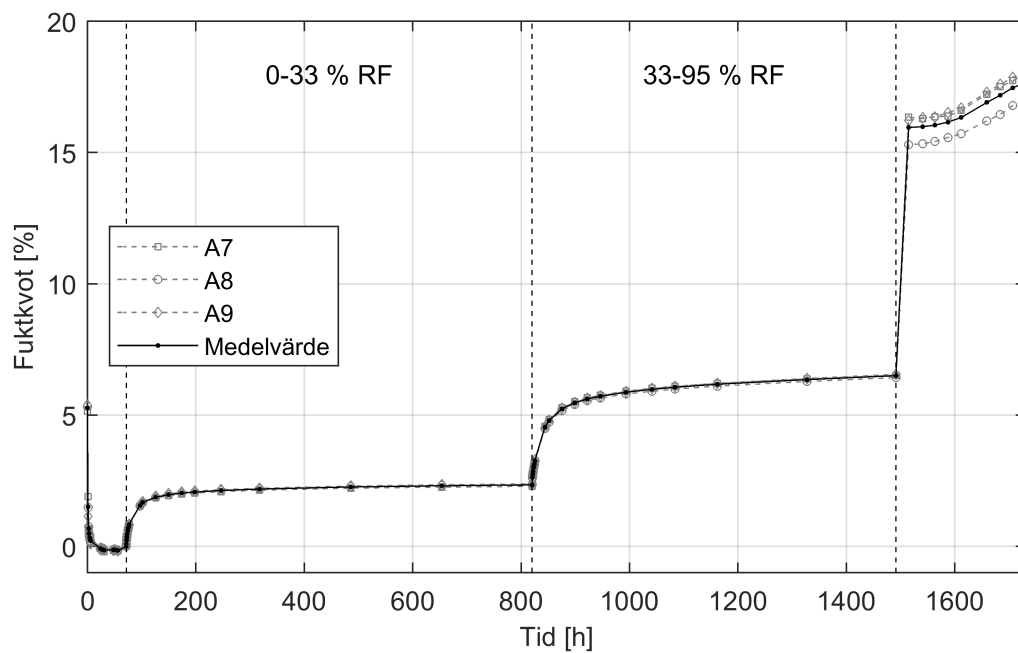
	Δ RF			-0,004	-0,008	-0,004			[-]
36	RF	0,33	0,337	0,343	0,337	0,33			[-]
	T	20	20	20	20	20			[°C]
	v	5,70	5,82	5,93	5,82	5,70			10^{-3} [kg/m ³]
	g		1,86E-08	8,64E-09	-8,64E-09	-1,86E-08			[kg/(m ² s)]
37	Δ w			-0,29	-0,50	-0,29			[kg/m ³]
	Δ RF			-0,003	-0,005	-0,003			[-]
37	RF	0,33	0,334	0,338	0,334	0,33			[-]
	T	20	20	20	20	20			[°C]
	v	5,70	5,77	5,84	5,77	5,70			10^{-3} [kg/m ³]
	g		1,06E-08	5,76E-09	-5,76E-09	-1,06E-08			[kg/(m ² s)]
38	Δ w			-0,14	-0,33	-0,14			[kg/m ³]
	Δ RF			-0,001	-0,003	-0,001			[-]
38	RF	0,33	0,333	0,335	0,333	0,33			[-]
	T	20	20	20	20	20			[°C]
	v	5,70	5,75	5,79	5,75	5,70			10^{-3} [kg/m ³]
	g		7,98E-09	2,88E-09	-2,88E-09	-7,98E-09			[kg/(m ² s)]
39	Δ w			-0,15	-0,17	-0,15			[kg/m ³]
	Δ RF			-0,001	-0,002	-0,001			[-]
39	RF	0,33	0,332	0,333	0,332	0,33			[-]
	T	20	20	20	20	20			[°C]
	v	5,70	5,74	5,75	5,74	5,70			10^{-3} [kg/m ³]
	g		5,32E-09	1,44E-09	-1,44E-09	-5,32E-09			[kg/(m ² s)]
40	Δ w			-0,11	-0,08	-0,11			[kg/m ³]
	Δ RF			-0,001	-0,001	-0,001			[-]
40	RF	0,33	0,331	0,332	0,331	0,33			[-]
	T	20	20	20	20	20			[°C]
	v	5,70	5,72	5,74	5,72	5,70			10^{-3} [kg/m ³]
	g		2,66E-09	1,44E-09	-1,44E-09	-2,66E-09			[kg/(m ² s)]
42	Δ w			-0,07	-0,17	-0,07			[kg/m ³]
	Δ RF			-0,001	-0,002	-0,001			[-]
42	RF	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33			[-]

Bilaga

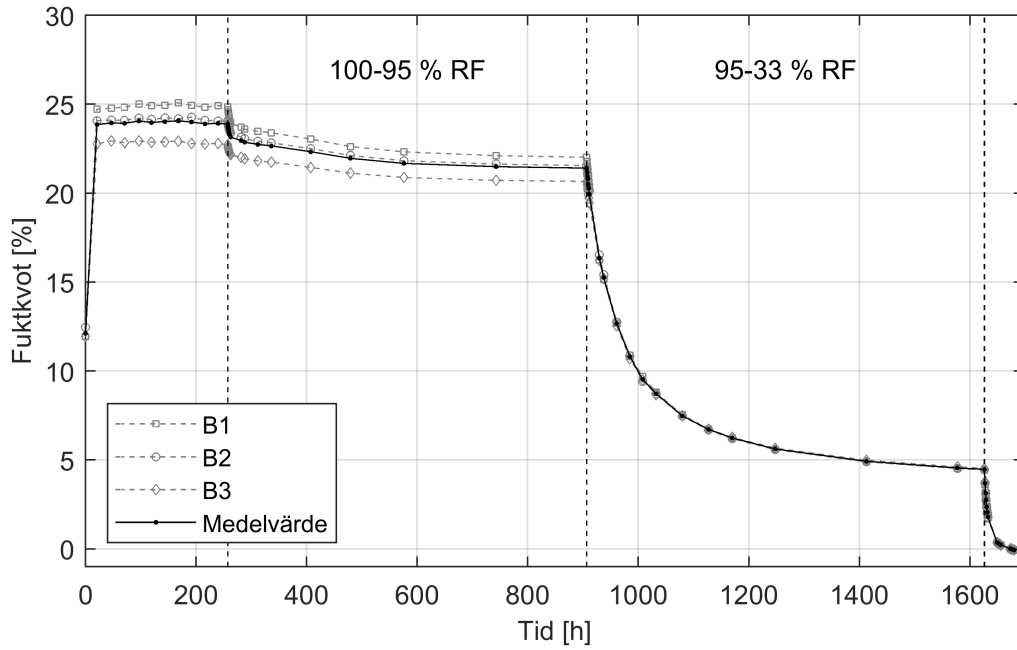
B. Förlopp för uttorkning och uppfuktning



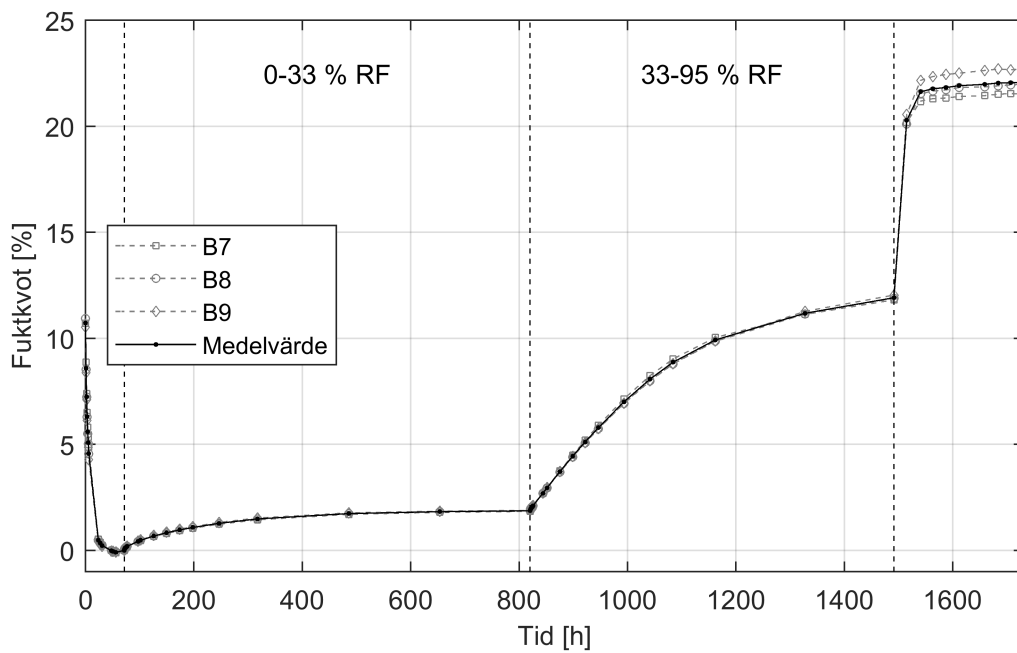
Figur 56. Fuktqvot över tid för tre provkroppar av skivtyp A (Cembrit Windstopper) inklusive dess medelvärde.



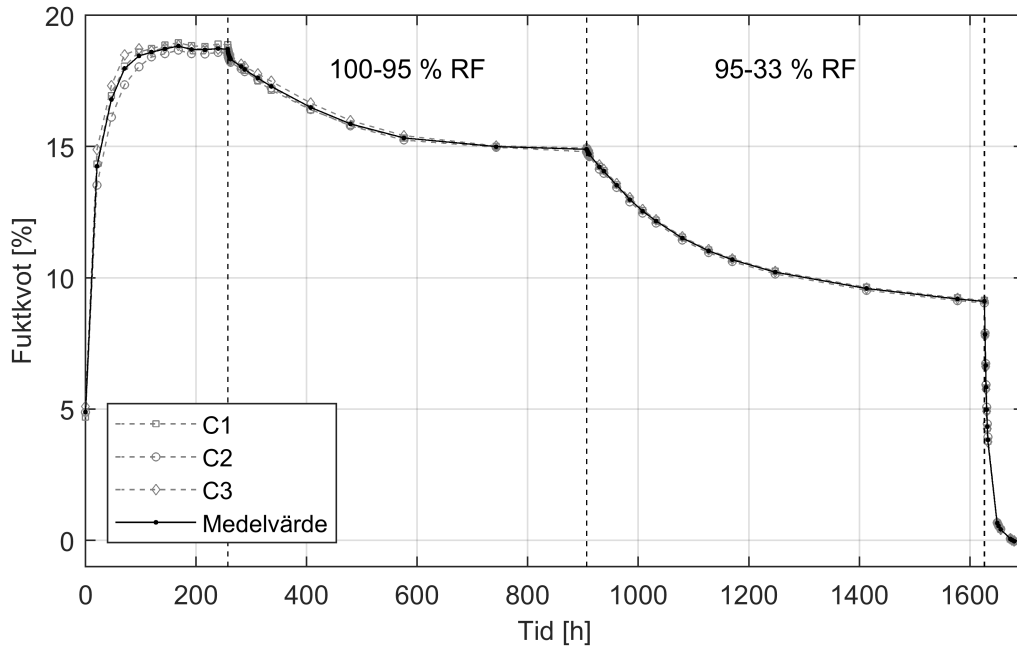
Figur 57. Fuktqvot över tid för tre provkroppar av skivtyp A (Cembrit Windstopper) inklusive dess medelvärde.



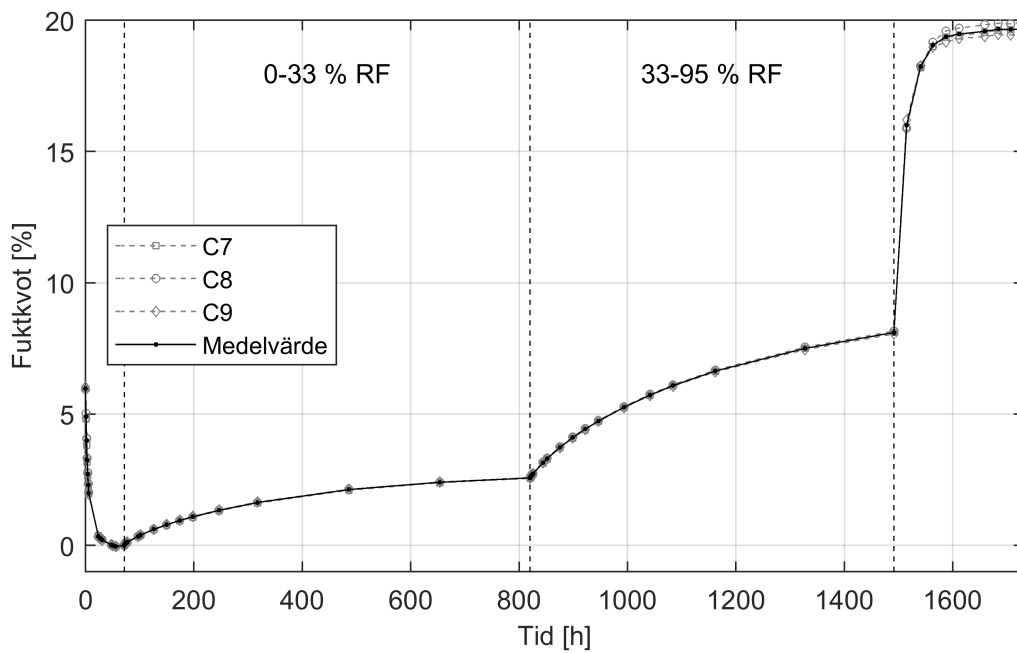
Figur 58. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp B (Cembrit Patina) inklusive dess medelvärde.



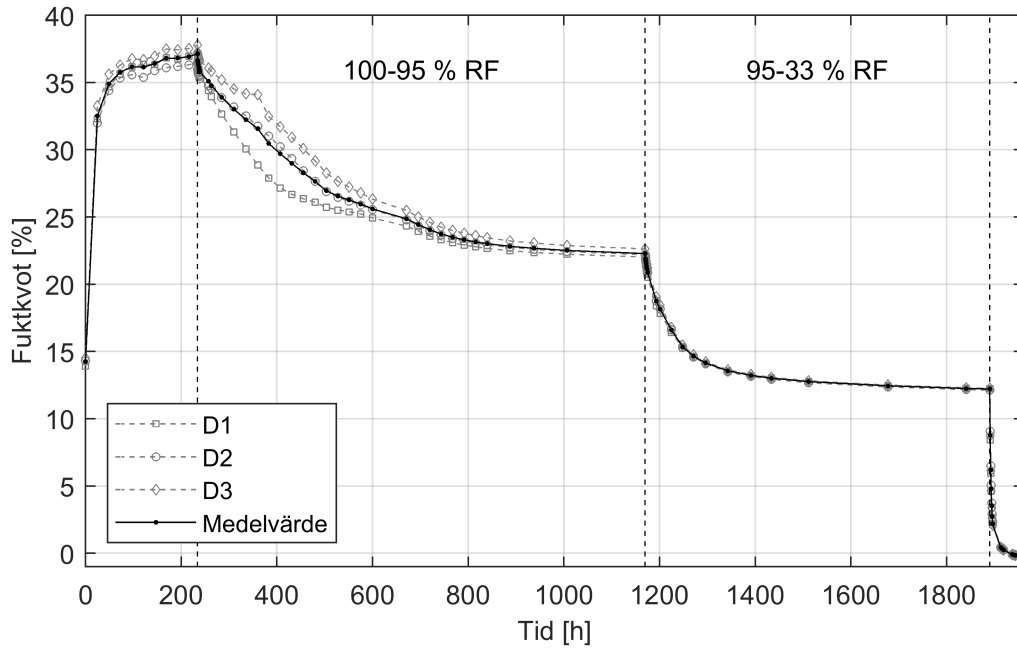
Figur 59. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp B (Cembrit Patina) inklusive dess medelvärde.



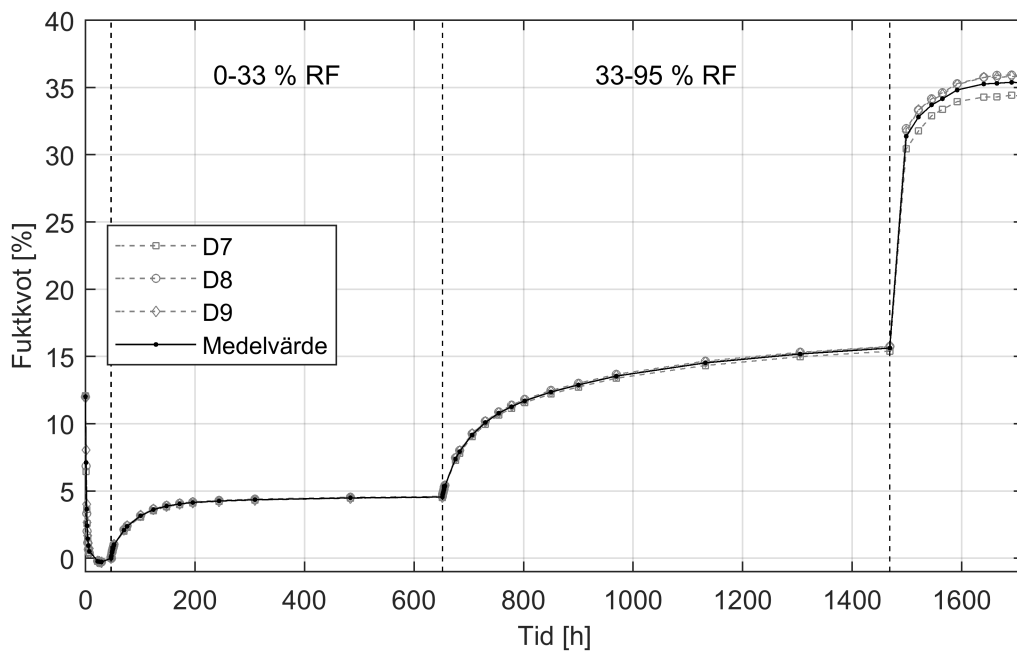
Figur 60. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp C (Cembrit Solid) inklusive dess medelvärde.



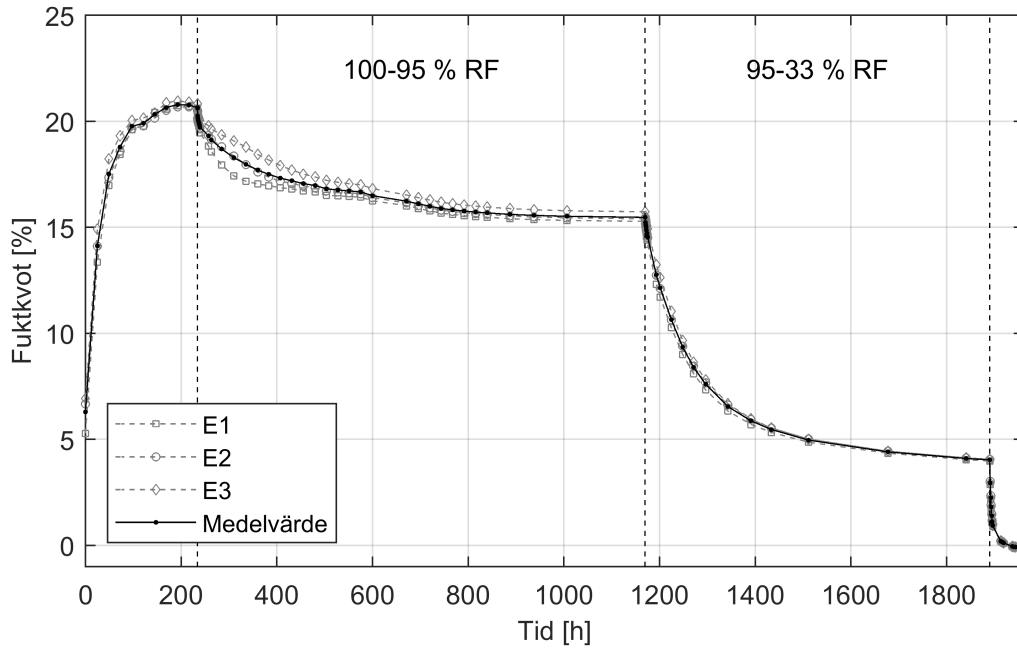
Figur 61. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp C (Cembrit Solid) inklusive dess medelvärde.



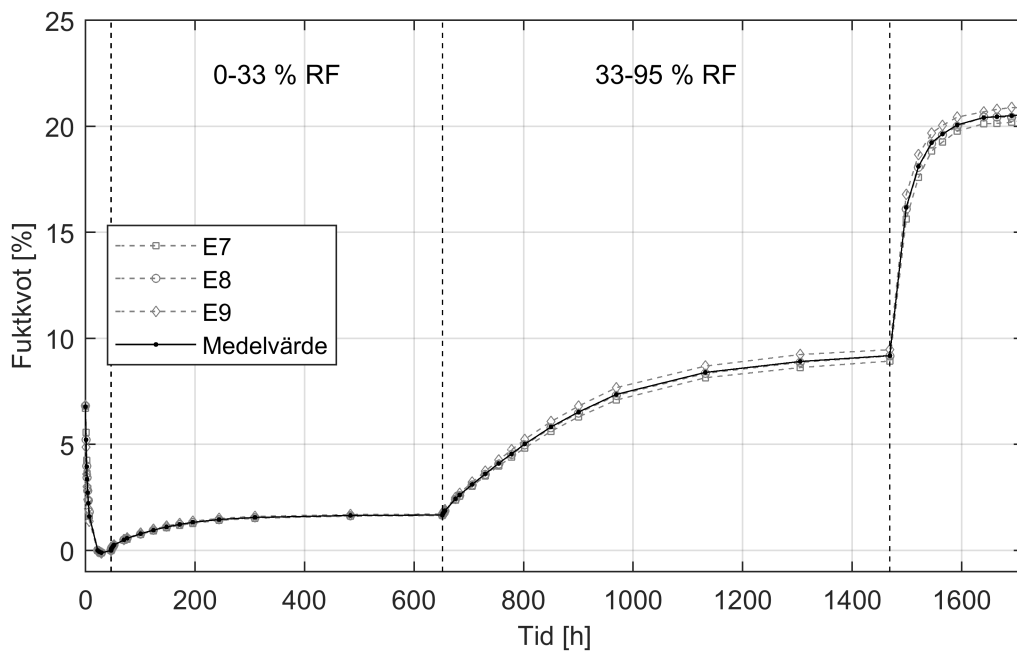
Figur 62. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp D (Siniat Conchip) inklusive dess medelvärde.



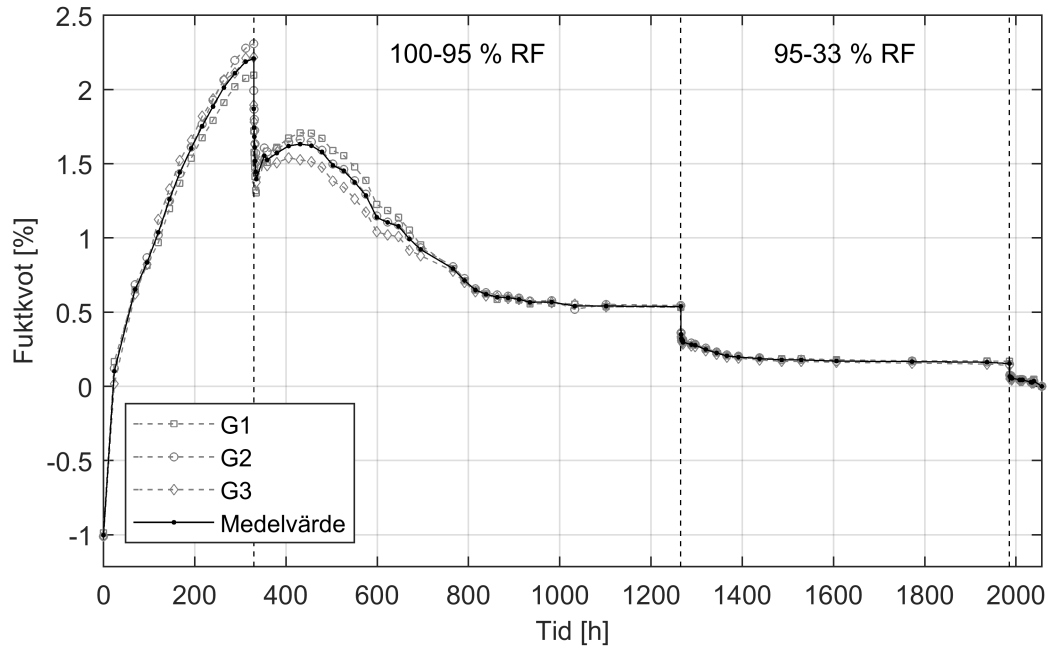
Figur 63. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp D (Siniat Conchip) inklusive dess medelvärde.



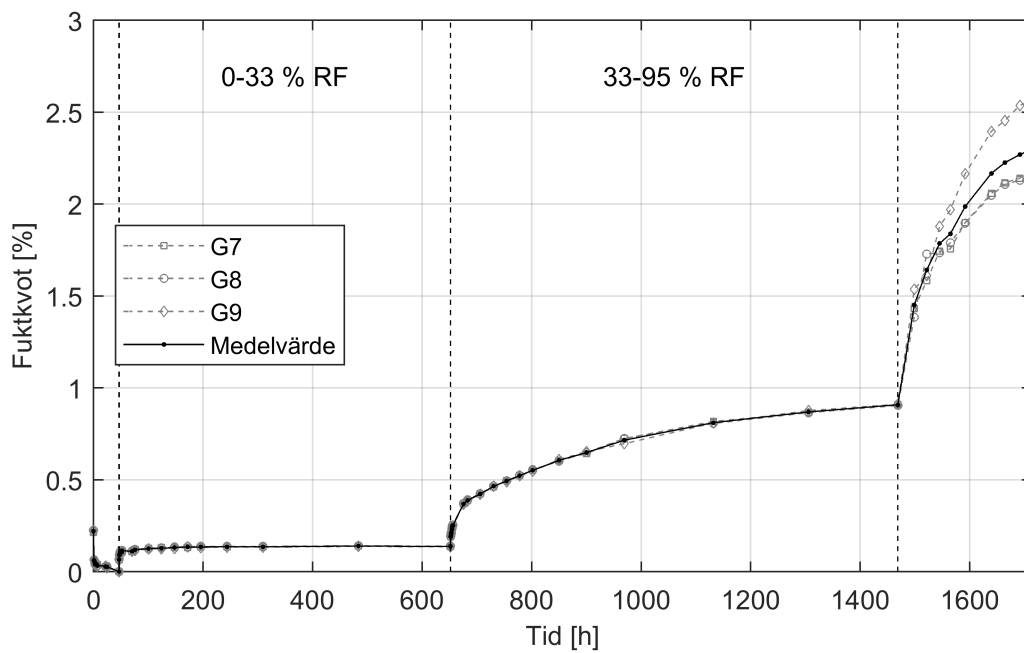
Figur 64. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp E (EQUITONE Tectiva) inklusive dess medelvärde.



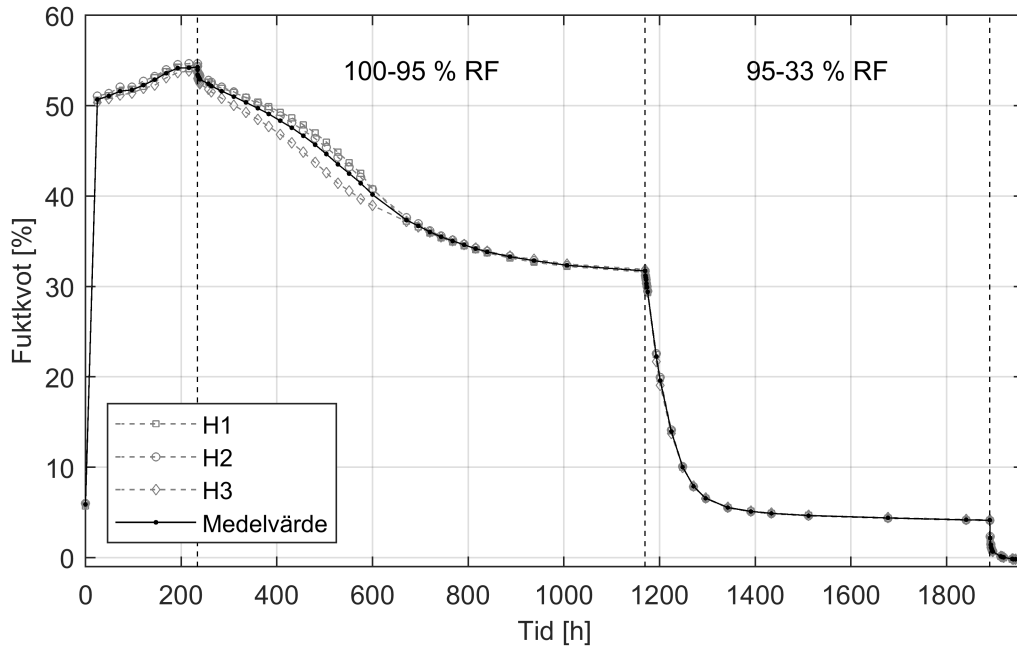
Figur 65. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp E (EQUITONE Tectiva) inklusive dess medelvärde.



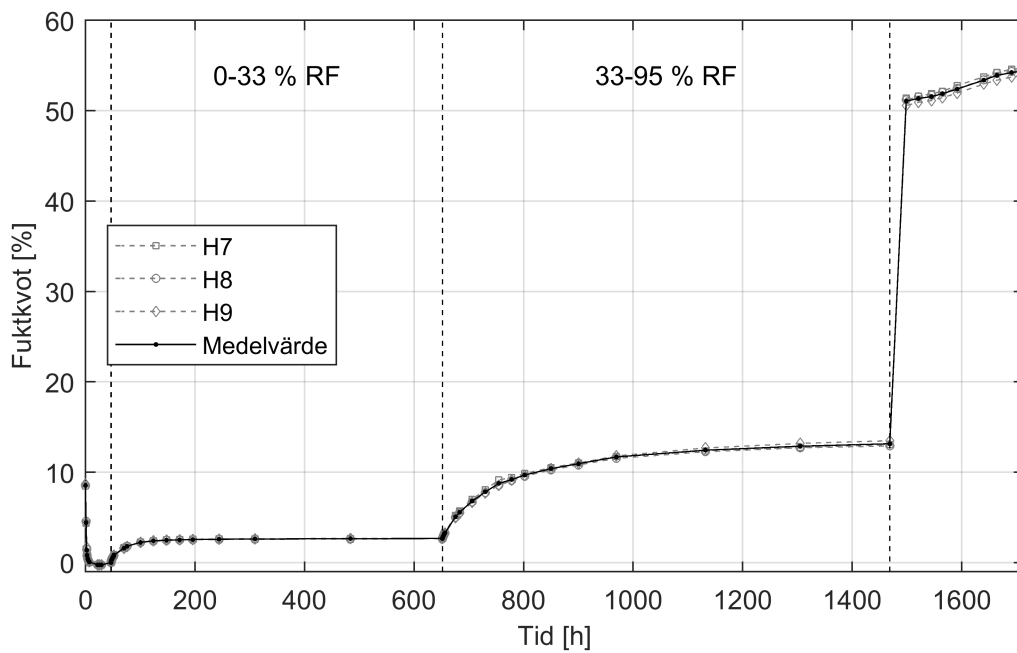
Figur 66. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp G (Knauf Weatherboard 2.0) inklusive dess medelvärde.



Figur 67. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp G (Knauf Weatherboard 2.0) inklusive dess medelvärde.



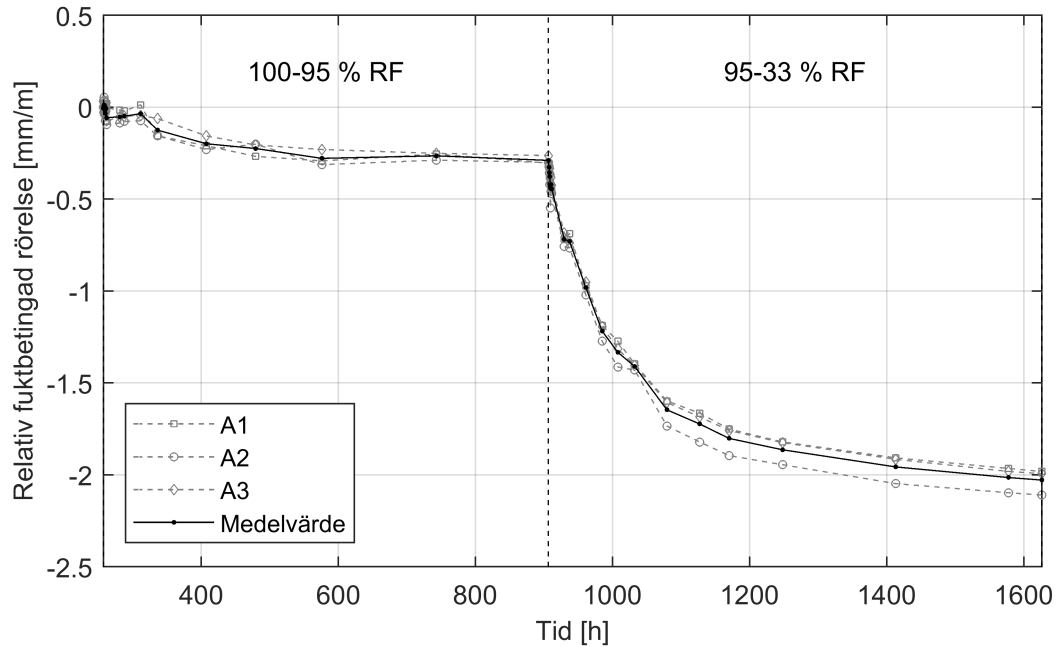
Figur 68. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp H (Promat Masterboard) inklusive dess medelvärde.



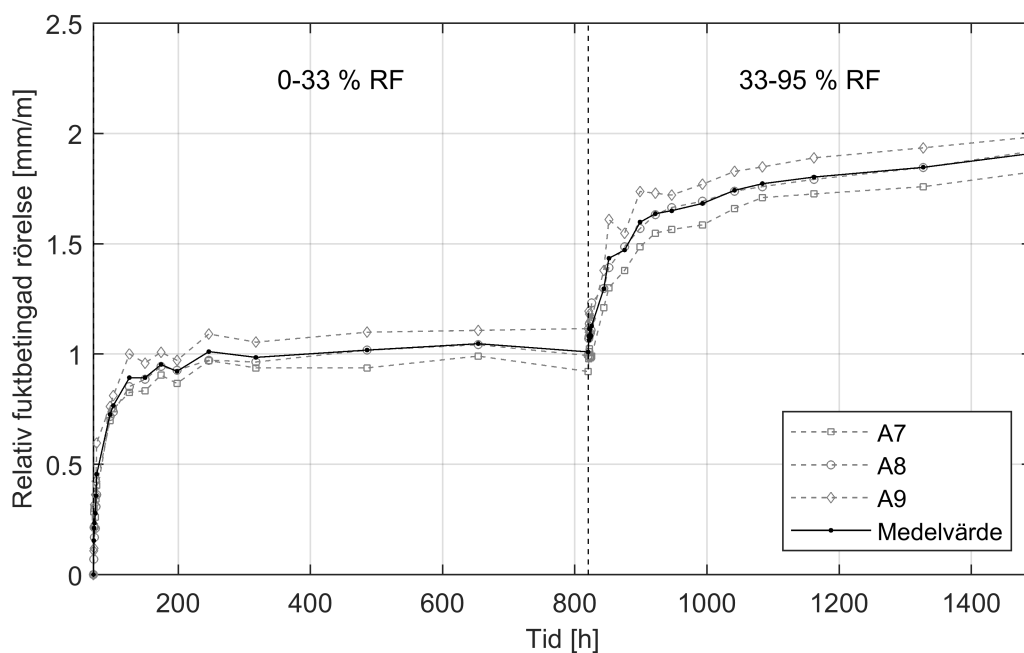
Figur 69. Fuktkvot över tid för tre provkroppar av skivtyp H (Promat Masterboard) inklusive dess medelvärde.

Bilaga

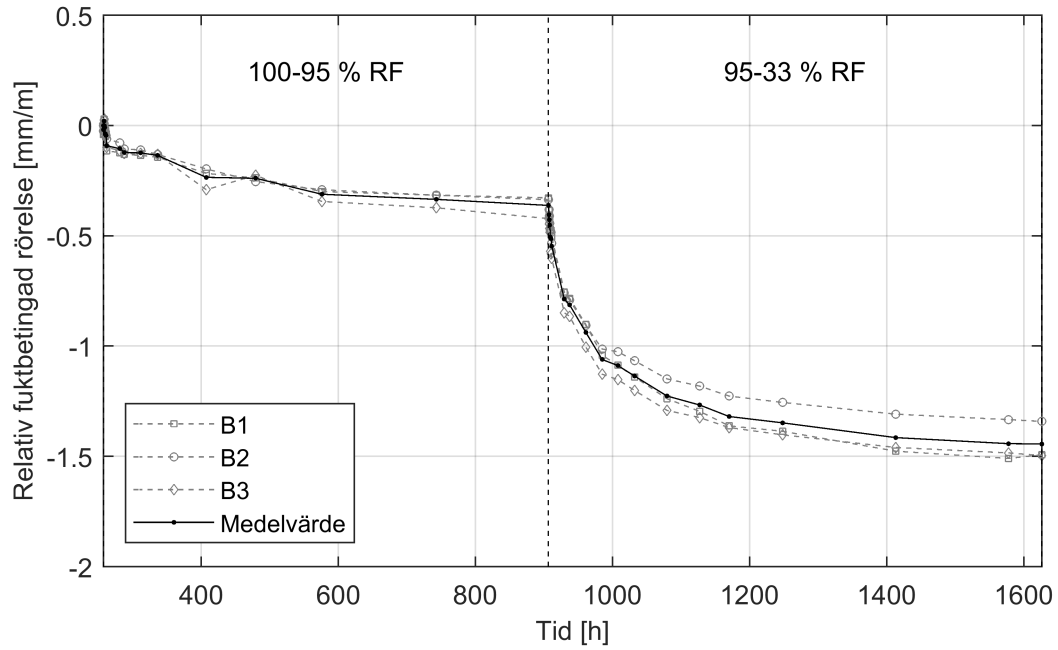
C. Fuktbe­tingade rörelser över tid



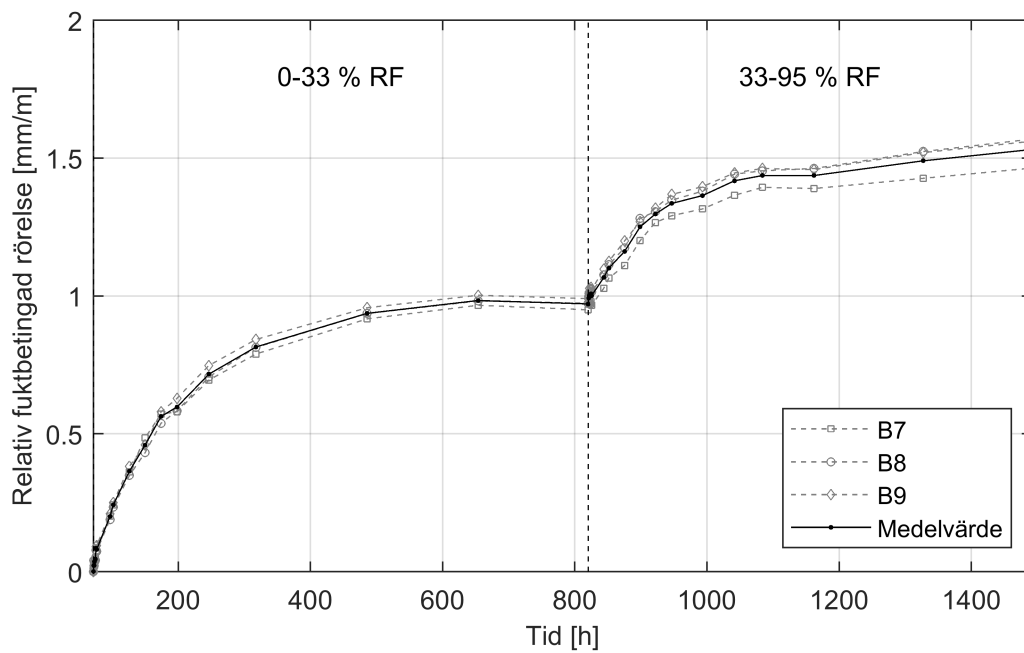
Figur 70. Relativ fuktbe­tingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp A (Cembrit Windstopper) inklusive dess medelvärde.



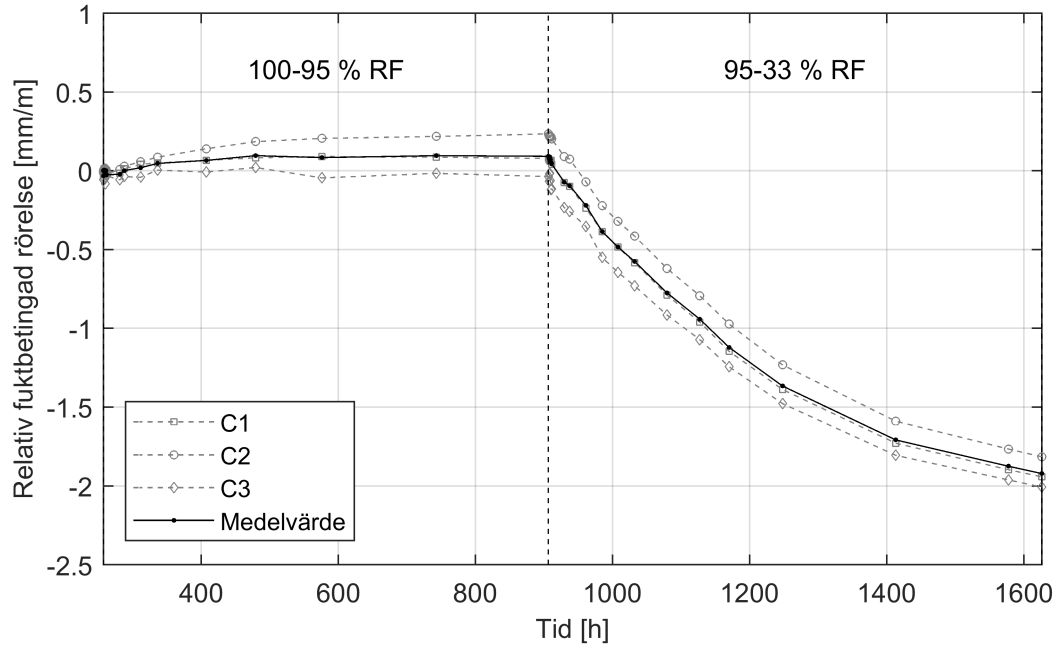
Figur 71. Relativ fuktbe­tingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp A (Cembrit Windstopper) inklusive dess medelvärde.



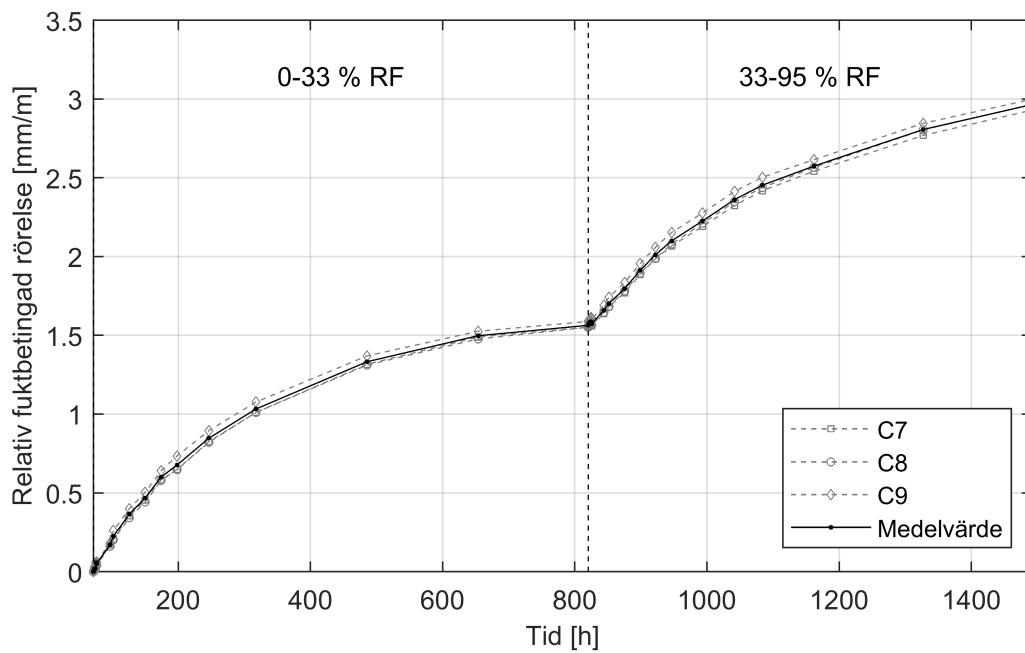
Figur 72. Relativ fuktbeatingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp B (Cembrit Patina) inklusive dess medelvärde.



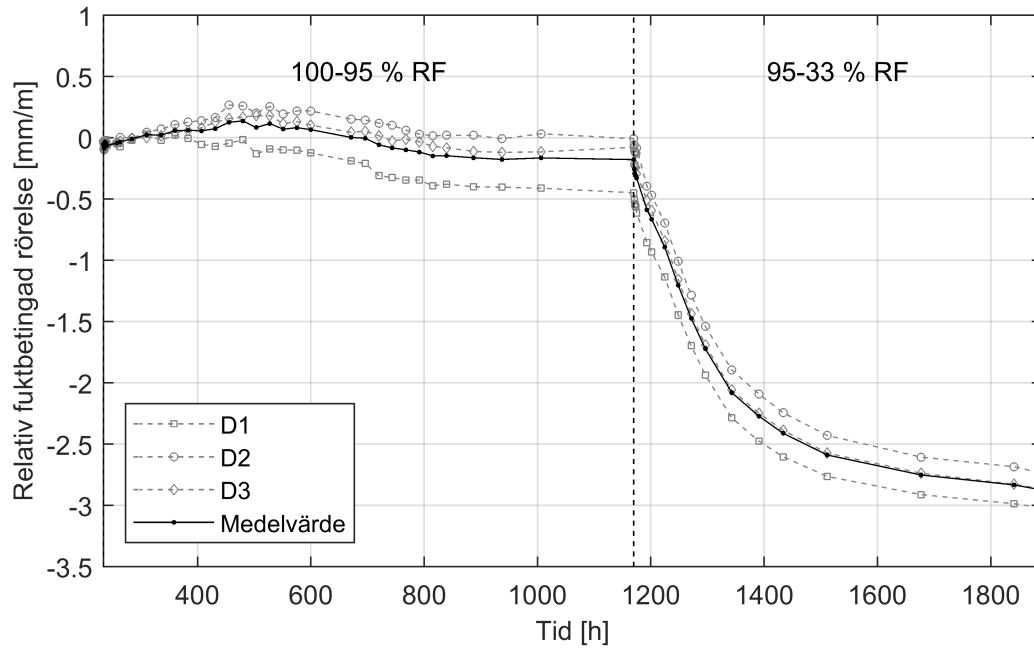
Figur 73. Relativ fuktbeatingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp B (Cembrit Patina) inklusive dess medelvärde.



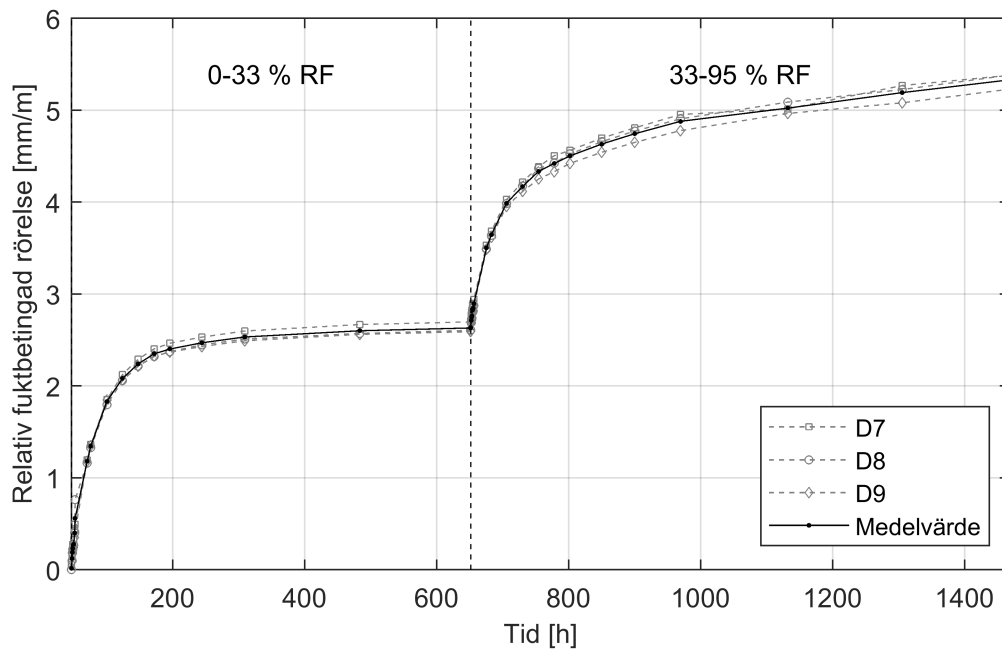
Figur 74. Relativ fuktbeängad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp C (Cembrit Solid) inklusive dess medelvärde.



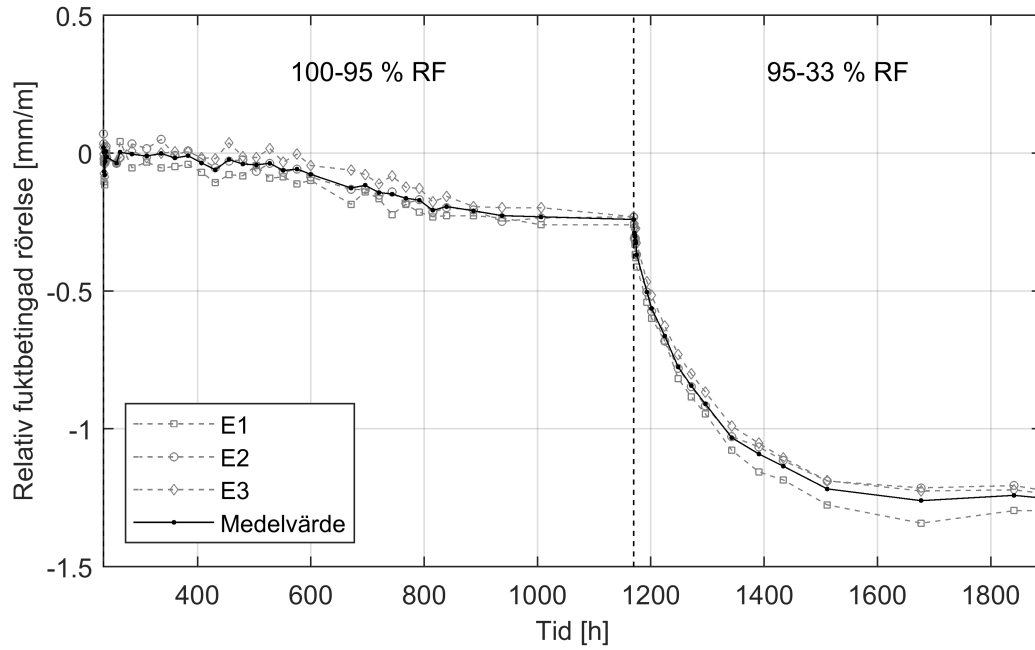
Figur 75. Relativ fuktbeängad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp C (Cembrit Solid) inklusive dess medelvärde.



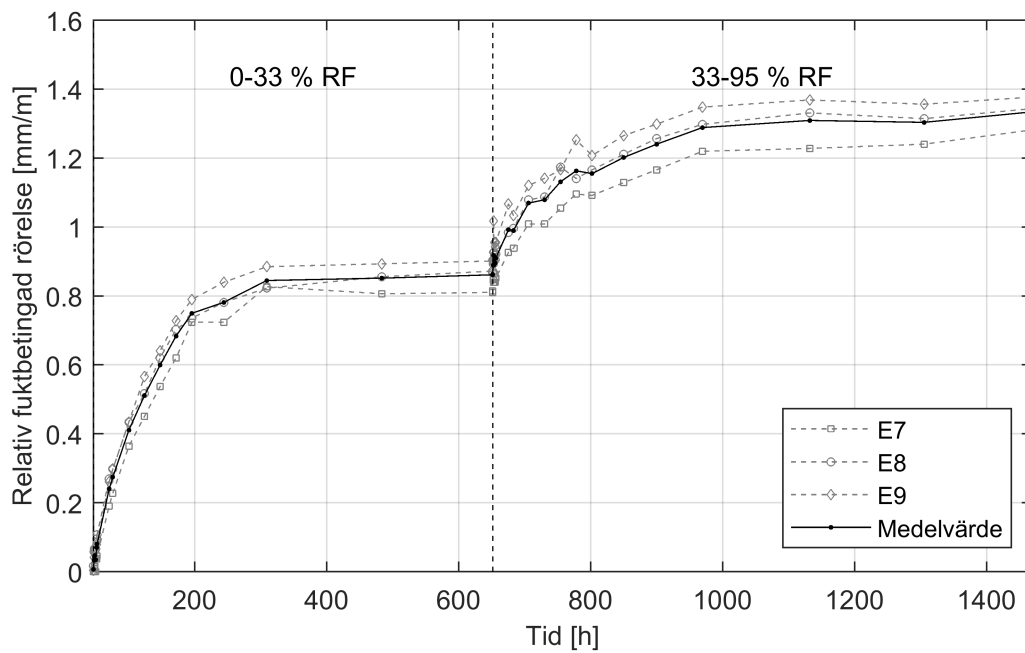
Figur 76. Relativ fuktbetingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp D (Siniat Conchip) inklusive dess medelvärde.



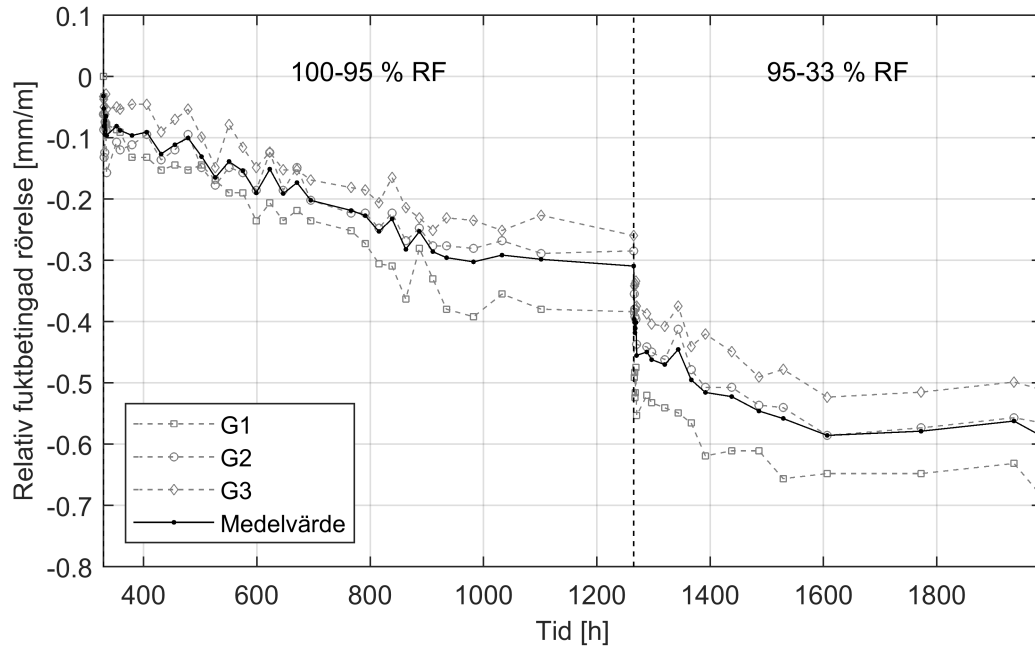
Figur 77. Relativ fuktbetingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp D (Siniat Conchip) inklusive dess medelvärde.



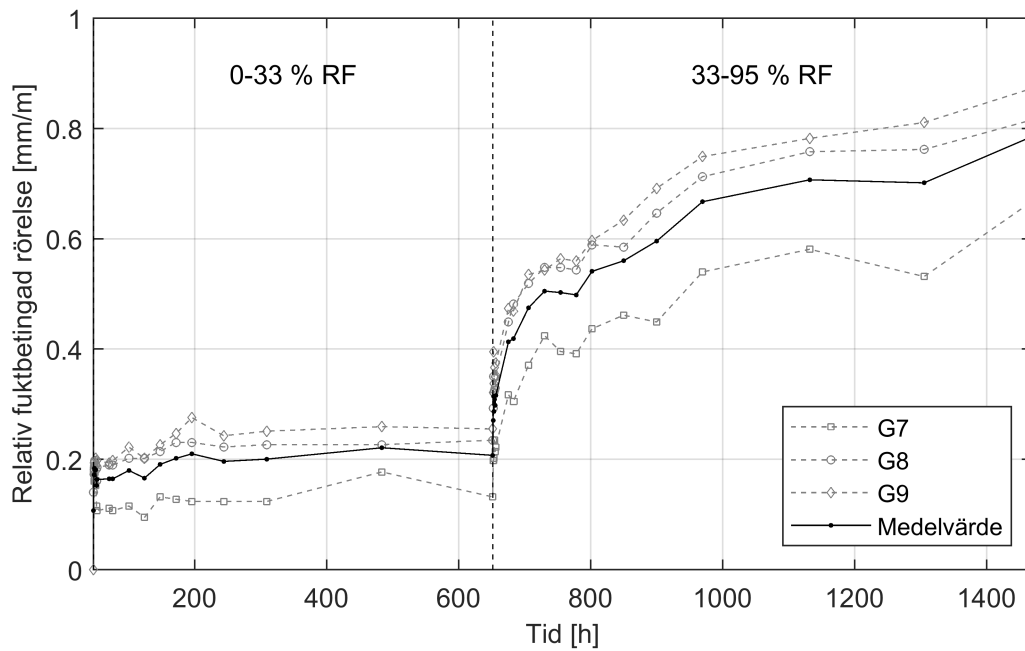
Figur 78. Relativ fuktbeängad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp E (EQUITONE Tectiva) inklusive dess medelvärde.



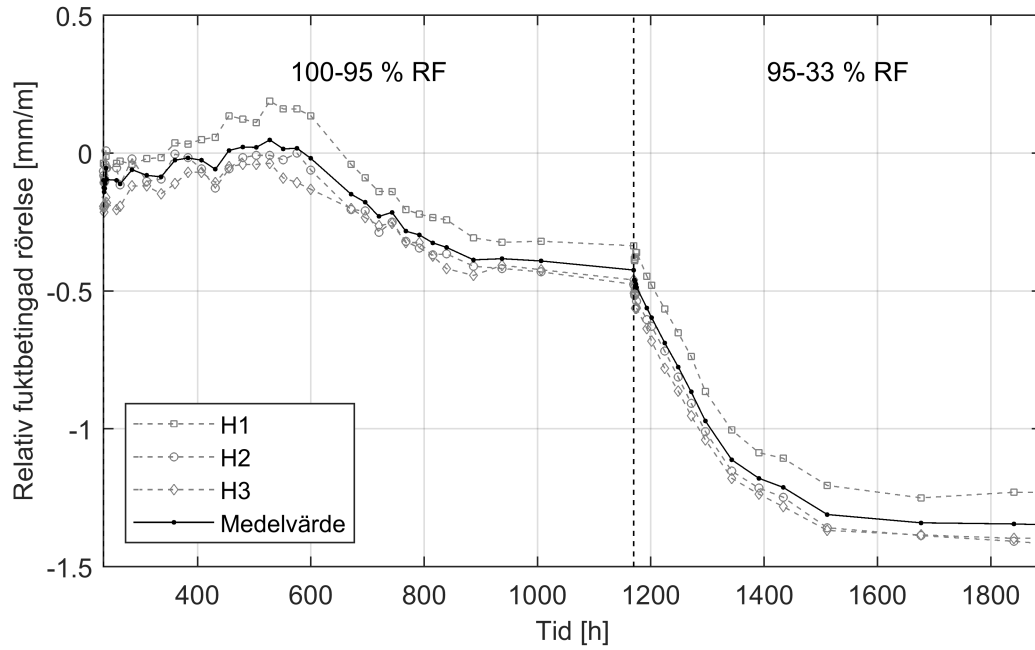
Figur 79. Relativ fuktbeängad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp E (EQUITONE Tectiva) inklusive dess medelvärde.



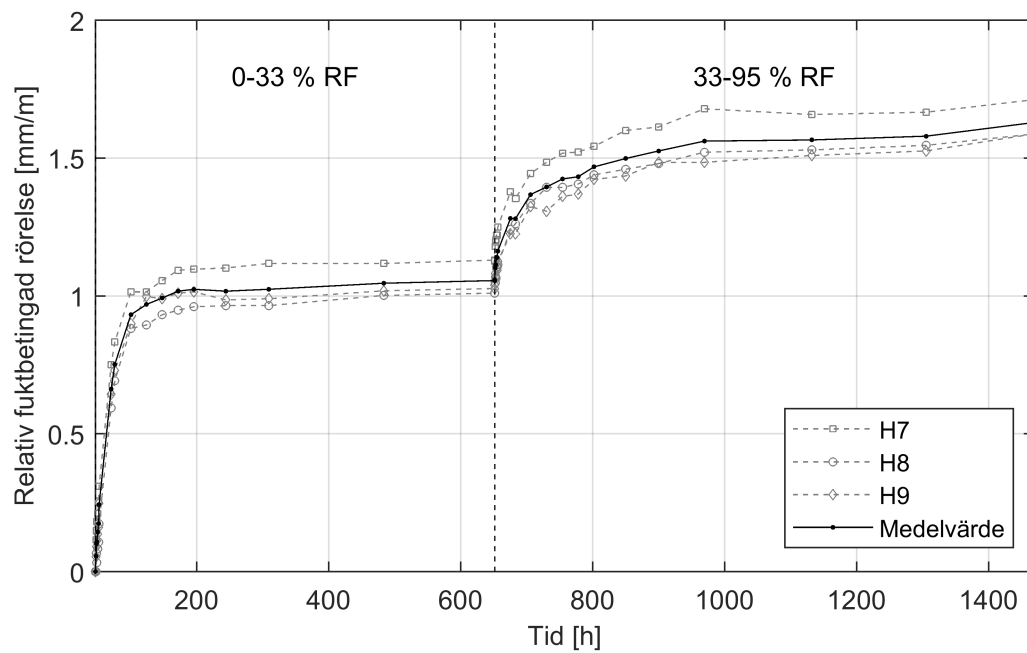
Figur 80. Relativ fuktbetingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp G (Knauf Weatherboard 2.0) inklusive dess medelvärde.



Figur 81. Relativ fuktbetingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp G (Knauf Weatherboard 2.0) inklusive dess medelvärde.



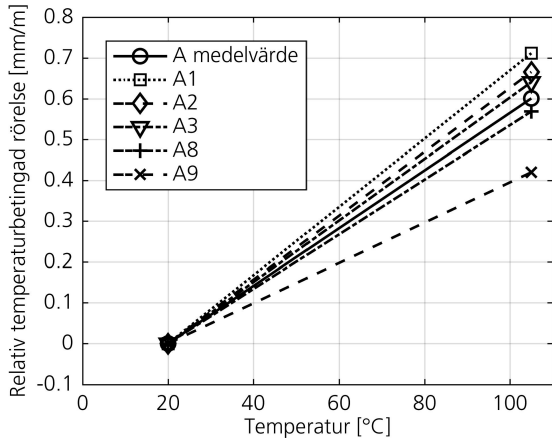
Figur 82. Relativ fuktbetingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp H (Promat Masterboard) inklusive dess medelvärde.



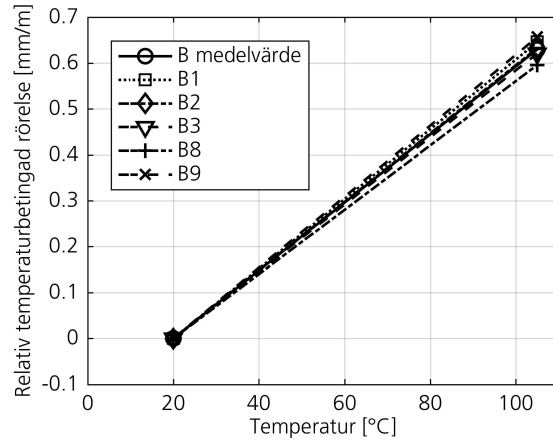
Figur 83. Relativ fuktbetingad rörelse över tid för tre provkroppar av skivtyp H (Promat Masterboard) inklusive dess medelvärde.

Bilaga

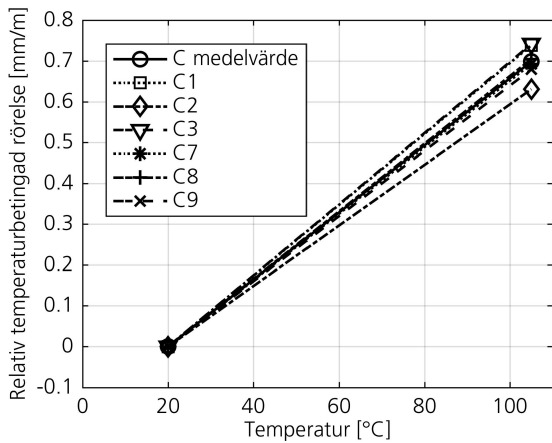
D. Temperaturrelser



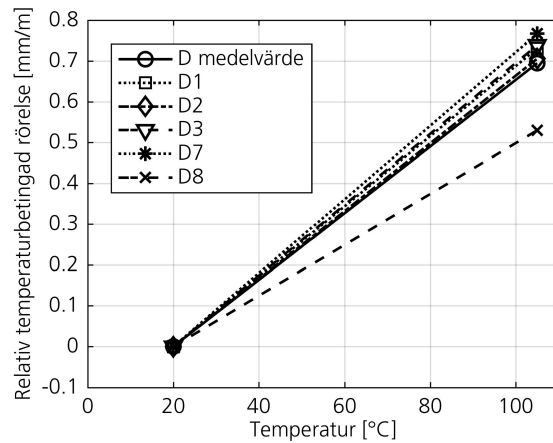
(a) Relativ temperaturbetingad rörelse för provkroppar av skiva A (Cembrit Windstopper).



(b) Relativ temperaturbetingad rörelse för provkroppar av skiva B (Cembrit Patina).

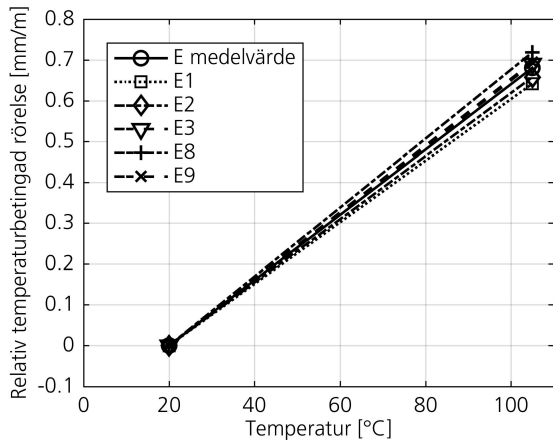


(c) Relativ temperaturbetingad rörelse för provkroppar av skiva C (Cembrit Solid).

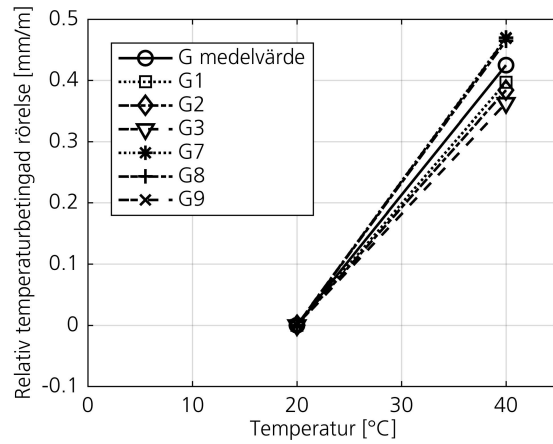


(d) Relativ temperaturbetingad rörelse för provkroppar av skiva D (Siniat Conchip).

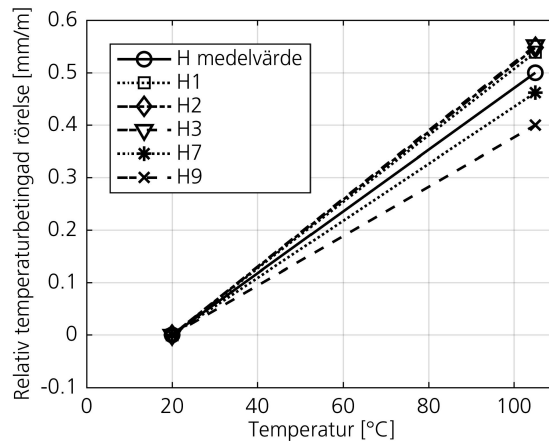
Figur 84. Relativ temperaturbetingad rörelse för alla provkroppar samt medelvärdet av provkropparna.



(a) Relativ temperaturbetingad rörelse för provkroppar av skiva E (EQUITONE Tectiva).



(b) Relativ temperaturbetingad rörelse för provkroppar av skiva G (Knauf Weatherboard 2.0).



(c) Relativ temperaturbetingad rörelse för provkroppar av skiva H (Promat Masterboard).

Figur 85. Relativ temperaturbetingad rörelse för alla provkroppar samt medelvärdet av provkropparna.