

Fuktegenskaper hos magnesiumoxidskivor



**LUNDS
UNIVERSITET**
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Avdelning Byggnadsmaterial, Institutionen för Bygg- och miljöteknologi

Examensarbete, Lund 2016

Aleksandra Talevska
Omar Fakhro

© Copyright Aleksandra Talevska, Omar Fakhro

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

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

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2016

Sammanfattning

Examensarbetet omfattar en litteraturstudie och laboratorieförsök av *magnesiumoxidskivor*. Det är en del av ett större forskningsprojekt på avdelning Byggnadsmaterial på LTH. Skivorna har på senare tid blivit omtalade för deras sätt att ta åt sig fukt från luften vilket lett till följdskador på intilliggande material och anslutningar. Skivorna är oorganiska och marknadsföring beskrivs de som en fukttålig skiva.

Syftet med det stora forskningsprojektet är att identifiera och beskriva förutsättningar som är avgörande för användningen av magnesiumoxid-skivorna. Syftet med denna studien var att bestämma magnesiumoxidskivors fuktegenskaper. Fuktegenskaperna är viktiga materialdata som kan användas i teoretiska modeller.

I försöken ingick 12 skivor, varav tre var impregnerade för att motverka förekomst av vattendroppar på ytan en s.k. gråteffekt. Fokus vid försöken var att bestämma skivornas fuktupptagnings- och fukttransportförmåga samt eventuell gråteffekt. Prover från olika skivor placerades i olika klimatboxar med konstanta klimat. Här uppmättes provernas förmåga att uppta fukt och utifrån mätdata kunde fuktegenskaper utvärderas.

Absorptionsisotermen varierade för de olika skivorna men gemensamt var att fuktkvoten ökade i samband med ökat fuktinnehåll i omgivande luft. Desorptionsisotermen som bestämdes för en skiva var lägre än absorptionsisotermen vilket tyder på att en materialförändring uppkommit då beståndsdelar gått förlorade när vätska runnit av från skivan. Fukttransportförmågan var konstant för vissa skivor i hela fuktområdet, medan den för andra skivor steg med ökande relativ fuktighet.

Fuktupptagnings- och fukttransportförmågan varierade mellan de olika skivorna vilket innebär att magnesiumoxidskivor inte går att betrakta som ett och samma byggnadsmaterial. Gråteffekt har på en del prover förekommit i 94% och 100% relativ fuktighet (RF) men på vissa prover har det inte bildats några droppar alls. Under 85% RF har inte någon gråteffekt förekommit på något av proverna. Gråteffekten har varit varit mer påtaglig på impregnerade prover i jämförelse med prover som inte varit impregnerade.

Nyckelord: Magnesiumoxidskiva, magnesiumoxid, magnesiumklorid, fukt, fuktegenskaper, magnesiumcement, magnesia, sorlcement, sorptionsisoterm, diffusionskoefficient.

Abstract

This paper consists of a literature study and laboratory experiments of *magnesium oxide boards*, from Swedish suppliers, that is a part of a larger research project. Lately the boards have become known for the way they absorb moisture which has led to damage on adjacent materials. The boards are inorganic and are marketed as moisture proof.

The purpose of the larger research project is to identify and describe the prerequisites which are important for the use of the magnesium oxide boards. The purpose of this study was to determine moisture properties of magnesium oxide boards. Moisture properties are important input to theoretical models.

The experiment included 12 boards whereof three were impregnated to reduce the crying effect. The focal point of the experiments was to determine the moisture fixation and moisture transport properties of the boards. Climate boxes with constant climate was used to expose samples to various constant relative humidities. The samples ability to absorb moisture was determined and the properties could be evaluated.

The absorption isotherm varied between the boards and all boards water content increased with an increasing vapour content. The results of the desorption isotherm for one board showed that a material change occurred since fluid drained from some boards. The moisture transport property for some boards was constant and for some it increased with an increasing vapour content.

The moisture fixation and moisture transport property varied for the magnesium oxide boards and therefore the boards cannot be treated as a single building material. On some samples exposed to 94% and 100% relative humidity a “crying effect” occurred on some samples whilst some samples did not show any drops on the surface. Drops on samples have not been noticed below 85% relative humidity. The crying effect was augmented on impregnated samples.

Keywords: Magnesium oxide board, crying board, magnesium oxide, magnesium chloride, moisture, moisture properties, magnesia cement, magnesium oxychloride cement, soral cement, sorption isotherm, diffusion coefficient.

Förord

Examensarbetet utfördes på avdelning Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet är en del av ett forskningsprojekt kring magnesium-oxidskivor. På *högskoleingenjörsprogrammet med inriktning byggteknik och arkitektur* vid LTH Campus Helsingborg utgör examensarbetet den sista och avslutande delen av utbildningen.

Arbetet har utförts av Aleksandra Talevska och Omar Fakhro. Handledare för arbetet var Magnus Åhs och examinator Peter Johansson båda verksamma vid avdelning Byggnadsmaterial.

Vi vill tacka vår handledare för allra största hjälp, uppmuntran och feedback. Vi vill även tacka samtliga på avdelningen för all hjälp och stöd vi fått, för bästa bemötandet och en högst lärorik tid hos er.

Ett stort tack, till de leverantörer som ingår projektet, för ett gott samarbete.

Juni 2016, Lund

Aleksandra Talevska & Omar Fakhro

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Syfte	3
1.2 Avgränsning	3
2 Fukt	5
2.1 Materialstruktur	5
2.2 Fukt i luft.....	8
2.3 Fukt i material.....	10
2.4 Fukttransport.....	13
3 Magnesiumoxidskivan	15
3.1 Allmänt.....	15
3.2 Skivornas sammansättning	15
3.3 Magnesiumoxid	16
3.4 Magnesiumklorid	17
3.5 Magnesiumsulfat.....	17
3.6 Perlit	18
4 Försök.....	19
4.1 Materialbeskrivning	19
4.2 Metod	23
4.2.1 Torkning och bestämning av densitet.....	23
4.2.2 Bestämning av sorptionsisoterm	25
4.2.3 Utvärdering av diffusionskoefficienten.....	28
5 Resultat och diskussion	31
5.1 Torkning och bestämning av densitet	31
5.2 Sorptionsisoterm	33
5.3 Utvärdering av diffusionskoefficienten	42
5.4 Bestämning gråteffekt	51
5.5 Övergripande analys	55
6 Slutsatser	57
7 Framtida försök	59
8 Referenser	61

1 Inledning

Utvecklingen i byggbranschen har lett till en ständig strävan efter att använda bättre byggnadsmaterial och metoder. Detta i syftet att öka produktiviteten, säkra kvaliteten, bygga miljöanpassat och ta fram ett lika effektivt material till minst lika bra ekonomiska förutsättningar. Som grund för att nå dessa mål/syften finns det för närvarande ett ökande intresse av att ersätta byggsivor av trä och kartongklädd gips med oorganiska byggsivor med bl.a. höga fukttekniska krav.

Målet med byggnadsmaterial är att de ska bibehålla godtagbar funktion under en viss tid. Det är av praktiska skäl omöjligt att utsträcka provningar till så lång tid som 10 eller 50 år. Man försöker därför under en rimlig tid efterlikna verkligheten genom att utsätta ett material för dess kommande miljö under extrema förhållanden för att provocera fram ett fenomen som i värsta tänkbara fall skulle kunna inträffa.

Man kan inte bortse från att byggsador orsakas av bristande kunskap om nya material och dess egenskaper vilket har lett till olämpliga materialval. Fukt är ofta en orsak till byggnadsskadornas uppkomst. För olika byggnadsmaterial är skadorna av helt olika karaktär.

Problemen med gråtande fasad- och vindsskyddssivor har kommit att bli omfattande i Danmark [1]. De omtalade vindtäta magnesiumoxidskivorna är diffusionsöppna med bl.a. goda brand- och ljudegenskaper. De är dessutom lätta att hantera och bearbeta (enl. produktfaktablad från leverantörer). Skivorna tillhandahålls i form av byggsivor eller delar i ett sandwichelement. Intresset för användningen av skivorna är stort p.g.a. deras goda egenskaper och den låga kostnaden.

Användningen av magnesiumoxidskivorna som fasad- och vindskyddsskiva i Danmark har vid en rad tillfällen medfört förekomst av vattendroppar på skivans yta vilket har lett till följdskador på kringliggande material. Danska byggeskadefonden gick i mars 2015 därför ut och varnade för användning av skivorna [1-3]. I en av rapporterna angavs följande följdskador som vanligt förekommande [2]:

- Missfärgningar på fasadbeklädnad (bild 1.1)
- Missfärgningar och korrosion av anslutningar
- Vatteninträngning vid fönster och dörrar
- Uppfuktning av träpaneler och murverk



*Bild 1.1 Missfärgad fasadputs med bakomliggande skivor och luftspalt.
Foto: Byggeskadefonden Danmark [2].*

En studie undersöker bl.a. magnesiumoxidskivors fuktbetingade rörelser. I studien undersöks magnesiumoxidskivornas beteende vid 11%, 55%, 75% RF samt i vattenbad. Studien visade att magnesiumoxidskivorna har störst längdförändring bland de ingående oorganiska skivorna. I rapporten till studien redovisas ingen utvärdering av diffusionskoefficient för skivorna, utan fokus ligger i stor utsträckning på längdändring [4].

Enligt en annan studie som handlar om sprickor i nyproducerade våtrummen framgår det att sedan år 2007 har kartongbeklädda gipsskivor i stor utsträckning ersatts av andra typer av skivor i våtrumsväggar. Vidare tar rapporten upp att skador har förekommit i nyproducerade våtrum. Vid inventering av skadefall har det i många fall visat sig ha förekommit användning av magnesiumoxidskivor. Rapporten ifrågasätter om testmetoderna som använts i studien avspeglar de förhållandena som råder i verkligheten, dock undersöks endast fuktbetingade rörelser och inga andra fuktegenskaper [5].

En artikel som nyligen publicerats tar upp skador som orsakats av magnesiumoxidskivor. Skadorna uppkommer genom att skivorna binder fukt från luften och det bildas vattendroppar på ytan, en s.k. gråteffekt. Enligt artikeln som hänvisar till en undersökning som Bunch Byggningsfysik i Danmark har gjort pekas magnesiumklorid ut som en orsak till att magnesiumoxidskivor gråter [6].

Tidigare rapporterade skadefall och studier som gjorts kring magnesiumoxidskivorna är starkt kopplade till fukt. Därför har vi i denna studie undersökt några av skivornas fuktegenskaper vilka ger värdefull information vid fuktsäkerhetsprojektering.

1.1 Syfte

Syftet med det större forskningsprojektet är att identifiera och beskriva förutsättningar som är avgörande för användningen av magnesiumoxidskivorna. Syftet med studien har varit att undersöka magnesiumoxidskivornas fuktegenskaper med fokus på att bestämma skivornas fuktupptagningsförmåga d.v.s. sorptionsisotermer, samt fukttransportförmåga d.v.s. diffusionskoefficienter. Fuktegenskaperna är viktiga materialdata som kan användas i teoretiska modeller.

1.2 Avgränsning

I studien beaktas magnesiumoxidskivor från de leverantörer som ingår i forskningsprojektet.

2 Fukt

Definitionsmässigt är fukt detsamma som vatten och förekommer i olika faser, som vattenånga i luften som omger oss, som vätska i våra badrum och kök eller som is. De vanligaste fuktkällorna är fukt i luft, regn (särskilt slagregn), markfukt, byggfukt, läckage från installationer samt fuktproduktion inomhus d.v.s. avdunstning från personer, matlagning, tvätt etc. [7].

Fukt finns även i material. En viss fuktökning i materialet kan ge upphov till att materialets struktur förändras. Den kan uppmärksammas genom exempelvis volymändring, i form av svällning vid fuktupptagning och krympning vid uttorkning. I det långa loppet kan fuktexponering på material även resultera i ogynnsamma konsekvenser och resultatet blir att materialet kan brytas ner [8].

Fukt har därför betydelse för materialets egenskaper och kan påverka konstruktionens beständighet, stabilitet och energibalans. Fukt kan även ge upphov till mögel och röta på trä som leder till missfärgningar, elak lukt som kan ha negativ påverkan på hälsan samt nedbrytning av materialstrukturen (trä) [7].

2.1 Materialstruktur

Materialets sammansättning och uppbyggnad har därför avgörande betydelse huruvida fukttålig materialet är. För att få förstå materialets fuktupptagning är det nödvändigt med god kännedom om materialets struktur och egenskaper samt materialets funktion i fuktsammanhang [7].

I materialets struktur är *porositet* en egenskap som är av stor betydelse för fuktjämvikt och fukttransport.

Material innehåller porer, även de material som vi i allmänhet betraktar som kompakta. Porositeten P , [%] definieras som kvoten av porvolymandelen i förhållande till den totala volymen [7].

$$P = \frac{V_p}{V} \quad (2.1)$$

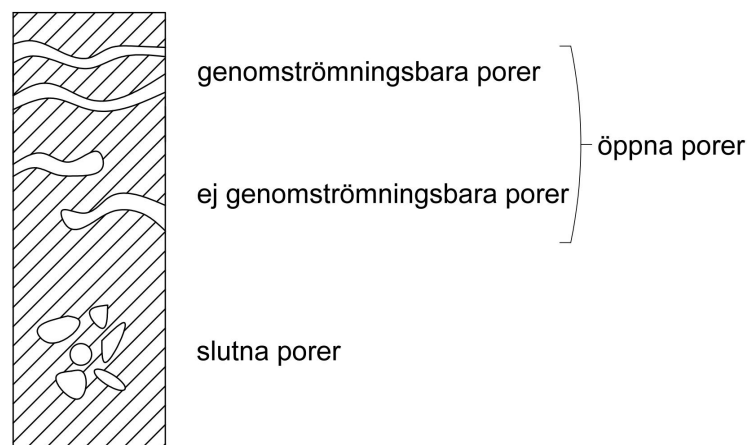
V_p [m³] är porvolymen och V [m³] är volymen [7].

Det särdrag som har den största betydelsen för ett poröst material för bl.a. materials fuktegenskaper är *porstorleksfördelningen*. Den kan karakteriseras med en serie gränser för porstorlekar i form av t.ex. porradier. Porstorleksfördelningen kan anges på två sätt enligt nedan,

1. Genom att direkt ange den volymandel som faller inom varje intervall mellan två gränser, som *frekvens*.
2. Summan av volymandelarna av porerna vars storlek har högst ett visst värde, som *summaporositet* [7].

En konsekvens av en stor mängd fina porer är dess förmåga att suga åt sig fukt kapillärt. En annan konsekvens är att materialet får en stor *specifik yta*. Den specifika ytan anges som yta per massa [m^2/kg] och definieras som summan av porernas eller partiklarnas omslutningsytor för en viss mängd av materialet [7].

Eftersom porositet och porstorleksfördelningen har en avgörande betydelse för fuktjämvikt och fukttransport så är det lika avgörande om porerna är *öppna* eller *slutna* (se figur 2.1).



Figur 2.1. Olika portyper i material.

Öppna porer kan vara stora eller små. Stora öppna porer är tillgängliga utifrån och ger möjlighet till snabb transport av luft, vattenånga och vatten. Små öppna porer medför att vatten binds hårdare i materialet och den hygroskopiska jämviktsfukthalten ökar. Däremot i de slutna porerna kan vätska inte tränga igenom [7].

En annan egenskap som också är betydelsefull för bl.a. materialets fuktegenskaper är *densiteten* och betecknas, ρ , [kg/m^3]. Densitet är ett sätt att karakterisera materialet och av densiteten kan man dra slutsatser om materialets porositet. Densitet benämns ibland även som *skrymdensitet* för att framhålla att det är hela materialets volymen d.v.s. att även materialets porvolym, V_p , ingår.

I ekvation (2.2) definieras densiteten som ett förhållande mellan materialets massa och dess volym [7].

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

Där m är den totala massan [kg] och V [m³] är volymen.

Den kompakta volymen V_k , [m³] kan beräknas genom sambandet i ekvation (2.3):

$$V_k = V - V_p \quad (2.3)$$

Man kan genom sambandet i ekvation (2.4) beräkna kompaktdensiteten, ρ_k , [kg/m³]. I den ingår endast det kompakta materialets volym [8].

$$\rho_k = \frac{m}{V_k} \quad (2.4)$$

Den mängd fukt som finns i ett material kan definieras på olika sätt. T.ex. *fukthalt* och *fuktkvot*. Fukthalten, w , anger mängd förångningsbart vatten per volymenhet av det torra materialet [kg/m³] [7].

$$w = \frac{m_w}{V} \quad (2.5)$$

m_w är massan förångningsbart vatten [kg].

Fuktkvoten kan definieras enligt ekvation (2.6) och anger mängden förångningsbart vatten i förhållande till mängden torrt material och betecknas med u [kg/kg], kan även anges i viktprocent [%]. På laboratorium är fuktkvot den storhet som normalt anges när man bestämt fuktinnehållet [7].

$$u = \frac{m_w}{m_0} \quad (2.6)$$

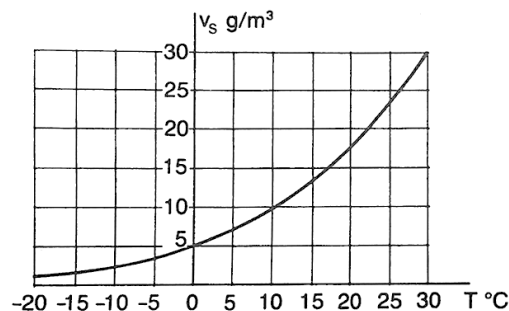
m_0 är massan torrt material [kg].

I många sammanhang är det fördelaktigt att densiteten är känd t.ex. vid omräkning mellan fuktkvot och fukthalt då råder sambandet enligt ekvation (2.7) [7].

$$w = \rho \cdot u \quad (2.7)$$

2.2 Fukt i luft

Fuktig luft är en blandning av torr luft och vattenånga. Torr luft däremot är en blandning av olika gaser. Vid en viss temperatur har luften en maximal kapacitet att bära fukt, detta kallas för luftens mättnadsånghalt respektive mättnadsångtryck och betecknas med v_s respektive p_s , där index s står för engelskans saturation (=mättnad). Figur 2.2 beskriver mättnadsånghalten som en funktion av temperaturen [9].



Figur 2.2. Samband mellan mättnadsånghalt och temperatur [9].

Begreppet *ånghalt* brukar normalt användas för den fukt som finns i luften, och betecknas med, v , men också som vattenångans partialtryck P_v [Pa]. Förhållandet mellan den aktuella ånghalten och mättnadsånghalten kan uttryckas enligt ekvation (2.8). Detta förhållande kallas ofta för *relativ fuktighet*, φ eller RF [%].

$$RF = \frac{v}{v_s} \quad (2.8)$$

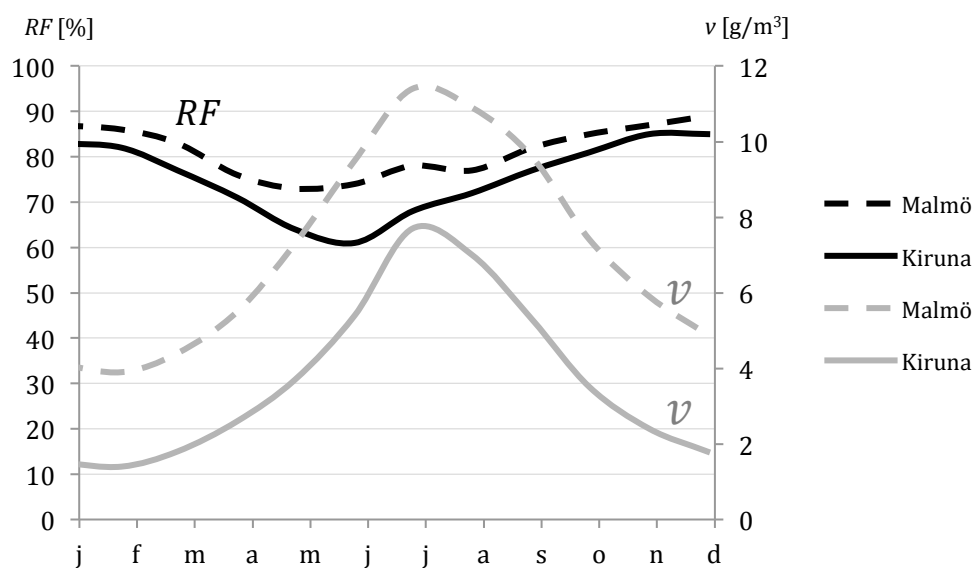
v är luftens aktuella ånghalt och v_s är mättnadsånghalten angivna i $[g/m^3]$.

I normala fall kan ånghalten inte överskrida mättnadsånghalten. Om man försöker öka ånghalten över mättnadsånghalten t.ex. genom att sänka temperaturen, kondenseras en del av vattenångan så att ånghalten sjunker till mättnadsånghalten [8].

Mättnadsånghalten kan uppnås på olika sätt t.ex:

- Vid en konstant temperatur i ett slutet utrymme där det finns vatten i vätskefas närvarande. Jämviktstillstånd kommer att uppstå efter en tid med ett bestämt v_s .
- I en given volym och om ånghalten uppnår mättnadsånghalten och temperaturen sänks till daggpunkten, T_{sat} , varvid v blir lika med v_s . Ytterligare sänkning av temperaturen medför kondensutfällning [7].

Ånghalt, relativ fuktighet och temperatur varierar över dygnet och året. Över dygnet är variationerna på vintern små och större på sommaren. Figur 2.3 illustrerar hur v och RF varierar under ett år för två olika städer [10].



Figur 2.3. Ånghalts- och RF -variation i Malmö och Kiruna under ett år. Data ur K. Sandin [10].

2.3 Fukt i material

Fukt kan bindas till material på olika sätt; *kemiskt* eller *fysikaliskt*. Det kemiskt bundna vattnet ingår som del (kristallvatten) av det torra materialets struktur, d.v.s. vattnet är fast fixerat i materialet. Om det kemiskt bundna vattnet avgår kan materialets egenskaper förändras avsevärt. Det kemiskt bundna vattnet räknas inte som fukt [8].

Oftast syftar man till det fysikaliskt bundna vattnet som en annan benämning när man pratar om fukt i material. Det fysikaliskt bundna vattnet är *förångningsbart vatten* [8]. Med begreppet förångningsbart vatten avses det, ur praktisk synpunkt, vatten som förångas vid en bestämd temperatur, vanligen 105°C. Vissa material tål inte torkning vid 105°C utan att förlora kemiskt bundet vatten, exempelvis gips. Vid normala temperaturer och vid jämvikt med omgivande luft, d.v.s. då materialet är helt vattenfyllt och inte tar upp mer fukt från luften, finns det dock alltid förångningsbart vatten kvar i porösa byggnadsmaterial. När ett material är i jämvikt med omgivande luft innebär det att porerna är helt vattenfyllda och ej upptar mer fukt från luften [7].

Omgivningen kring ett material har betydelse för hur snabbt och hur mycket vatten som upptas eller avges. Tre fall beaktas:

- Material i kontakt med fuktig luft
- Material i kontakt med fritt vatten, eventuellt under övertryck
- Material i kontakt med annat material

Hygroskopisk fukt

Fukt som tas upp av ett material från omgivande luft som har lägre relativ fuktighet än 98% kallas hygroskopisk fukt [4]. För att uppnå ett fuktillstånd mellan 98-100% RF måste antingen materialet stå i direkt kontakt med fritt vatten (*kapillaritet*) eller så måste fukten i materialet kondenseras till följd av temperaturskillnader. I sådana fall anses fukten i materialet uppträda i vätskefas [7].

Ett material som har förmågan att ta upp fukt från luften kallas ett *hygroskopiskt material*. Fuktupptagningsförmågan varierar starkt mellan olika material och sker genom två fysikaliska fenomen som kallas för *adsorption* och *kapillärkondensation* [7].

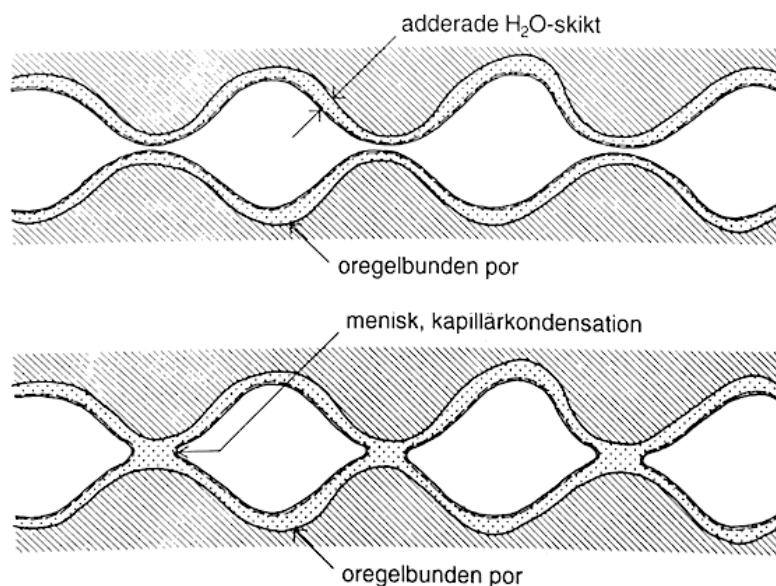
Om ett material innehåller ett salt t.ex. magnesiumklorid är det inte bara materialets porer som styr hur mycket fukt som upptas. Ett sådant material är hygroskopiskt även helt utan porer vilket leder till att fukt lägger sig på ytan av materialet som sedan ackumuleras till vattendroppar som till slut rinner av vertikala ytor [11].

Adsorption

Vid låga RF ställer sig materialet i jämvikt med omgivande luft genom att ett eller flera molekylskikt vattenmolekyler adsorberas vid porväggen, fenomenet kallas för adsorption. Vattenmolekylerna binds bara på ytan och adsorptionen representerar den första fasen i fuktupptagningen om materialet är torrt från början. Vätskemolekyler binds till det fasta materialets inre porytor genom svaga attraktionskrafter (van der Waalska krafter) [7].

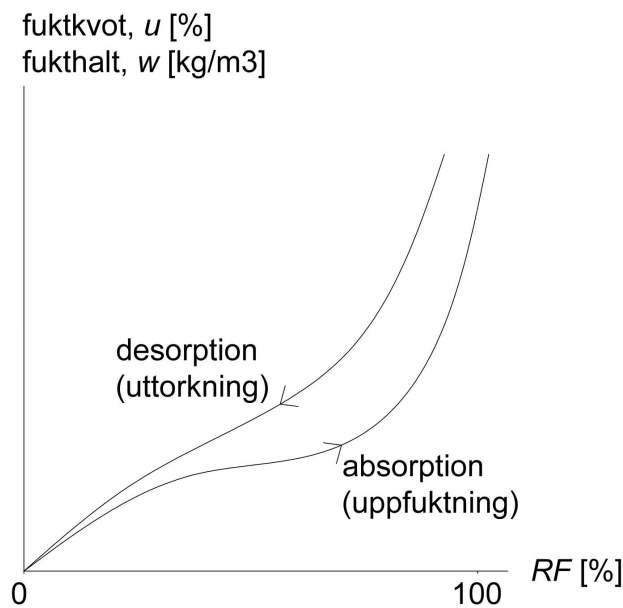
Kapillärkondensation

Vid högre RF fylls de fina kapillärporerna med vatten vilket benämns som kapillärkondensation. En *menisk*, d.v.s. en vätskeyta med viss krökningsradie, bildas i materialets kapillärporer när materialet torkar från vattenmättat tillstånd (se figur 2.4) [8].



Figur 2.4. Kapillärkondensation i ett porsystem [8].

Mellan luftens relativa fuktighet och materialets jämviktsfuktkvot eller jämviktsfukthalt, d.v.s. då materialet är i jämvikt med omgivande klimat, finns ett samband. Detta samband brukar man återge i form av en *sorptionsisoterm* enligt figur 2.5.



Figur 2.5. Principskiss för en hygroskopisk sorptionsisoterm.

Sambandet kallas även för *jämviktsfuktkurva*, *hygroskopisk sorptionskurva*, eller *jämviktsisoterm*. Ordet isoterm används för att poängtera att sambandet är framtagen under isoterma förhållanden d.v.s. vid konstant temperatur. I Sverige bestäms sorptionsisotermen vanligen vid 20°C [8].

För bestämning av sorptionsisotermen utgår man från ett torrt material för att sedan utsätta det för olika klimat d.v.s. olika relativa fuktigheter i luften men med samma temperatur. Man kan då få fram en sorptionsisoterm för *absorption* över jämviktstillståndet. Gör man motsvarande försök fast med ett från början vattenmättat material kan man få en sorptionsisoterm för *desorption*. Man säger att hysteres föreligger vid sådant fall då man får olika kurvor för absorption respektive desorption. Vid absorption ligger kurvan under desorptionsisotermen eftersom materialet då innehåller mindre mängd fukt [8].

2.4 Fukttransport

För att transport ska kunna ske förutsätts en potentialskillnad. Begreppet potential används ofta i samband med fysikaliska transportproblem. Som potential kan temperatur, ånghalt, ångtryck, fukthalt etc. användas. Om t.ex. ånghalten i luften inomhus är högre än utomhus, uppstår en potentialskillnad över ytterväggen som resulterar i en fukttransport inifrån och ut [7].

I material sker fukttransport antingen i ångfas eller i vätskefas eller genom båda samtidigt. I ångfas kan transporten ske bl.a. av *fuktkonvektion*, d.v.s. då vattenånga transporteras med luft som transporterande medium, och *diffusion*, d.v.s. koncentrationsskillnader. Transport i vätskefas kan ske genom någon av drivkrafterna *tyngdkraft*, *vattenövertryck*, *vindtryck* och *kapillärsugning* [7].

Kapillärsugning innebär transport av fukt i vätskefas orsakad av skillnader i undertryck hos de fina porerna i ett material. Vid transport i vätskefas är tyngdkraft och undertrycket de två viktigaste drivkrafterna. Kapillär transport sker med en förutsättning; att kapillärerna eller vattnet i porerna bildar ett sammanhängande system [7].

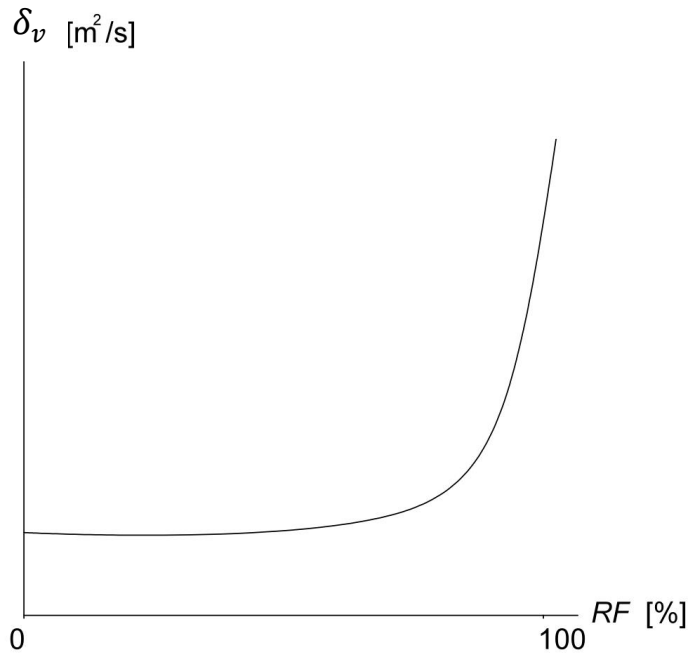
Fuktdiffusion

Fuktdiffusion förekommer då gasmolekyler i en inhomogen gasblandning, d.v.s. en blandning av olika gaser, rör sig i strävan efter en jämnt fördelad blandning. Vattenånga transporteras till följd av skillnader i ånghalten. Om tryckskillnad saknas sker inget massflöde, däremot kan gasutbyte ske genom diffusion eftersom partialtrycket för vattenånga på ömse sidor en skiljevägg kan vara olika. Om totaltrycket över en vägg är lika kommer vattenånga att diffundera (tränga genom) från högre till lägre ånghalt [7].

Diffusionskoefficienten

Provningsmetoder för att bestämma porernas storlek och form är komplexa, därför bestämmer man påverkande fuktegenskaper som: *diffusionskoefficient* eller *ångpermeabilitet*, som alternativt kan benämnas *ånggenomsläpplighet* [7].

Diffusionskoefficienten är en materialegenskap som påverkar fukttransporten och den är starkt beroende av den relativa fuktigheten, vilket medför att ju högre fukthalt i materialet desto högre diffusionskoefficient. Vid hög relativ fuktighet sker en kraftig ökning av transporten genom kapillärsugning, då en sammanhängande vattenfas bildas i porerna [7]. Figur 2.6 visar diffusionskoefficientens variation med avseende på RF .



Figur 2.6. Visar variationen av diffusionskoefficienten med avseende på RF.

Vid låga RF sker endast diffusion genom luften i materialets porsystem. Om RF är hög, vilket resulterar i en hög fukthalt, täpps vissa porer till av vatten och hindrar den rena diffusionen. Samtidigt börjar en fukttransport att ske i vätskefas. Det vätskeflöde som uppstår är större än den förhindrade diffusionen, vilket medför ett ökat totalflöde. Vid mätningar går det inte att skilja de olika flödena åt vilket är orsaken till att man normalt beskriver den totala totala fukttransporten, g ,

$$g = \delta_v \cdot \frac{dv}{dx} \quad (2.9a)$$

δ_v är diffusionskoefficienten [m^2/s], dv är skillnad i ånghalt på sträckan dx [8].

Ett annat mått på fukttransportmotståndet är *diffusiviteten*, som är en koefficient med fukthalten som drivande potential. Fuktdiffusiviteten används för att beskriva fuktflöden, särskilt i höga fukttillstånd d.v.s. i vätskefas, men den inkluderar även ångfas. Diffusiviteten beskrivs i sambandet i ekvation (2.9b).

$$\delta_v = D \cdot \frac{dc}{dv} \quad (2.9b)$$

D är diffusiviteten [m^2/s], dc/dv är skillnaden i fukthalt i förhållande till ånghaltsändringen [8].

3 Magnesiumoxidskivan

3.1 Allmänt

Under kapitel 3.1 sammanställs allmän information och råd kring magnesiumoxidskivorna från leverantörer.

Magnesiumoxidskivorna har olika användningsområden för vilka det ställs olika krav på funktioner och egenskaper. Skivorna beskrivs ha goda egenskaper som brandsäkra, fuktsäkra och ljudisolerande.

Skivorna i Sverige och Danmark används i största utsträckning som vindskivor i fasader men kan även användas som våtrumsskivor i badrum, golvskivor och som innertaksskiva m.m. Skivan förekommer även som del i sandwichelement där den omsluter en isolerande kärna. Skivorna lämpar sig även för målning och putsutföranden.

Vid bearbetning av skivan bör inandning av dammpartiklar undvikas. Skivans bidrag till damm kan medföra irritation i ögon. Långärmad klädsel och skyddshandskar rekommenderas då kontakt bör undvikas eftersom klåda kan förekomma.

Infästning av skivorna sker lämpligtvis med hårdgipsskruv, spik eller klammer. Den kan enkelt skäras m.h.a. en gipskniv och knäckas eller kapas med vanliga handverktyg. Vid montering bör skivan vara helt torr och monteras med minst en millimeters avstånd mellan varandra.

3.2 Skivornas sammansättning

Innehållet i magnesiumoxidskivan är till största del magnesiumoxid (MgO), i de flesta fall magnesiumklorid (MgCl_2) eller magnesiumsulfat (MgSO_4), perlit och en rad olika fyllnadsmaterial [1]. Bindemedlet i skivorna är en speciell cement framställd genom en kemisk reaktion mellan MgO och MgCl_2 , s.k. *sorelcement*.

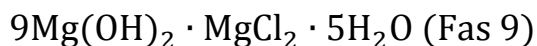
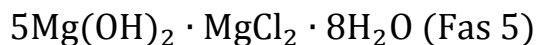
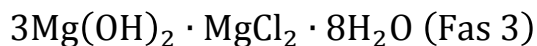
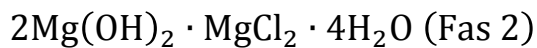
Sorelcement är ett samlingsnamn som används för att hänvisa till olika härdade sammansättningar av magnesiumoxid och magnesiumklorid. Sorelcement upptäcktes för nästan 100 år sedan [12]. Dess utbredda användning är starkt begränsad på grund av dess dåliga vattenbeständighet.

Det framställs genom blandning av bränd pulveriserad magnesit samt en koncentrerad upplösning av magnesiumklorid. Den hydratiserade produkten är hård och stark men brytes ned av vatten vilket gör att denna cementtyp inte kan karaktäriseras som hydraulisk [13].

Sorelcement avger låga mängder koldioxid vid tillverkning och har andra goda egenskaper som: högt nedbrytningsmotstånd, högt brand- och temperaturmotstånd, låg värmeledningsförmåga, snabb härdningshastighet m.m. [14].

Cementets låga alkalinitet gör det bra att använda tillsammans med glasfiber utan att stöta på problem med åldrande. Det går även bra att blanda med träpartiklar och sågspån för tillverkning av träliknande produkter och byggnadsmaterial. En fördel med detta är att cementen har en gulaktig nyans vilket påminner om färgen av naturligt trä [14].

Hydratiseringen av sorelcement sker genom en s.k. ”through-solution” reaktion med fyra huvudreaktioner som sker genom att material löses ut i en lösning och där reagerar för att bilda nya faser. I detta fall bildas följande kristallina faser:



Fas 3 och 5 sker i rumstemperatur medan fas 2 och 9 enbart är stabila vid temperaturer över 100°C. Det är i fas fem som bindemedlet uppnår sin höga styrka [15, 16].

3.3 Magnesiumoxid

Magnesiumoxid, MgO, framställs genom uppvärmning av magnesit, MgCO₃, vilket driver bort det mesta av koldioxiden, CO₂. Karbonatet sönderdelas vid temperaturer över 350°C. Magnesiumoxid är ett vitt fast hygroskopiskt ämne som är uppbyggt av ett nätverk Mg²⁺- och O²⁻-joner som hålls samman genom jonbindningar [17].

Magnesiumoxid reagerar, till skillnad från andra alkaliska jordarters oxider, inte med vatten i annat än finfördelad form. Vid ca 2000 °C kan det sintras och användas som högeldsfast keramiskt material med en smältpunkt på 2800°C [17].

Lättbränd magnesiumoxid, MgO , erhålls normalt genom oxidation av magnesit, eller magnesiumkarbonat (MgCO_3) vid en temperatur kring 750°C . Kvaliteten och reaktiviteten av lättbränd magnesiumoxid påverkas mycket av dess termiska historia (oxidationens temperatur och varaktighet) samt partikelstorlek [14].

3.4 Magnesiumklorid

Magnesiumklorid, MgCl_2 , är den industriellt viktigaste magnesiumföreningen. Både det vattenfria saltet och hexahydratet, $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$, av magnesiumklorid är delikvescenta, d.v.s. hygroskopiska ämnen som löser sig och flyter sönder i vatten och bildar så småningom mättade vattenlösningar om de lämnas i luft [17].

Om en koncentrerad lösning av magnesiumklorid tillförs magnesiumoxid bildas magnesiacement även kallat sorel cement. Där är magnesiumklorid bindande beståndsdelen [17].

Magnesiumklorid är ett ämne som verkar både vattenuppsugande och korrosionsframkallande [1]. Vid fuktiga förhållanden kan magnesiumklorid jämföras med natriumkloriden i saltvatten som angriper och bryter ned stål. Vid närvaro av klorider kan korrosionshastigheten mångdubblas [7].

3.5 Magnesiumsulfat

Magnesiumsulfat, MgSO_4 , är ett oorganiskt salt innehållande magnesium, svavel och syre som är lösligt i vatten [17, 18]. Vattenfritt magnesiumsulfat är hygroskopiskt och används som torkmedel för att avlägsna vatten från kemikalier som används i experiment [19].

Vid rumstemperatur, 20°C , finns magnesiumsulfat som ett heptahydrat, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ d.v.s. som ett fast salt. I klimat över ca 93% RF börjar det lösas upp [20].

3.6 Perlit

Perlit är ett samlingsnamn för en amorf vulkanisk aluminiumoxid-silikat sten som expanderar snabbt vid upphettning till 760-980°C [21].

Expanderad perlit har flera attraktiva fysikaliska egenskaper för kommersiella tillämpningar, inklusive låg densitet, låg värmeledningsförmåga, låg ljudöverföring, hög värmebeständighet, hög kemisk tröghet och hög vattenuppsugande förmåga. Perlit används i bl.a isoleringsändamål och blomjord för mer luftig konsistens [21].

Perlit består till största del av kiseldioxid, SiO_2 och aluminiumoxid Al_2O_3 . Tillverkningen av expanderad perlit sker i ugnar; efter förvärmning och uppvärmning, där det vulkaniska glaset mjuknar, vattenmolekylerna omvandlas till ånga och partiklarna expanderar. Vid bearbetning av perlit används inga kemikalier och ger därför upphov till låg miljöpåverkan [21].

4 Försök

4.1 Materialbeskrivning

12 olika magnesiumoxidskivor har undersökts i den här studien. Tre av dessa 12 skivor var impregnerade med vätska, av okänt innehåll, för att motverka förekomst av vattendroppar på ytan, en s.k. gråteffekt.

Skiva E och G

Dessa skivor innehöll till största del magnesiumoxid, två lager glasfiberväv och fyllnadsmaterial i form av trä-/sågspån. De innehöll enligt uppgift från leverantören ingen magnesiumklorid. Mer information angående innehållet fanns inte tillgänglig under tiden studien pågick. Skivorna hade båda tjockleken 10 mm och har en naturvit kulör.

Skiva F

Innehållet i skiva F presenteras i tabell 4.1 (enl. produktdatablad från leverantör). Skivan hade en naturvit kulör och var 8 mm tjock.

Tabell 4.1. Innehåll skiva F.

Råmaterial	Vikt [%]
<i>Magnesiumoxid (MgO)</i>	52,63
<i>Magnesiumklorid (MgCl₂)</i>	27,85
<i>Kalciumkarbonat (CaCO₃)</i>	5,93
<i>Perlit</i>	5,50
<i>Träpulver</i>	3,10
<i>Glasfiber</i>	1,32
<i>Fosfat (PO₄)</i>	1,03
<i>Benlim</i>	0,83
<i>Natriumhydroxid (NaOH)</i>	0,64
<i>Järnsulfat (FeSO₄)</i>	0,52
<i>Rosin</i>	0,39

Skiva N och O

Innehållet i skivorna, betecknade N och O, var snarlikt och presenteras i tabell 4.2 (enl. produktdatablad från leverantör). Skivorna var båda 12 mm tjocka.

Tabell 4.2. Innehåll i skivorna N och O.

Råmaterial	Vikt [%]
<i>Magnesiumoxid (MgO)</i>	52 – 55
<i>Magnesiumklorid (MgCl₂)</i>	25 – 30
<i>Perlit</i>	5,5 – 6,5
<i>Kalciumkarbonat (CaCO₃)</i>	5,5 – 6,0
<i>Träpulver</i>	3 – 3,5
<i>Glasfiber</i>	1 – 1,5
<i>Natriumhydroxid (NaOH)</i>	0,3 – 0,5
<i>Järnsulfat (FeSO₄)</i>	0,45 – 0,6

Skiva C och M

Skiva C och M var samma skiva som skiva O men hade impregnerats och betecknas med bokstäverna C och M. De var impregnerade med sex olika vätskor av okänt innehåll och delades därför in i C1-C6 och M1-M6. Prover från skiva C testades endast i 100% RF. Skiva M testades med endast ett prov av varje impregnering i olika klimat.

Skiva P

Innehållet i skiva P presenteras i tabell 4.3 (enl. produktdatablad från leverantör). Skivan är 12 mm tjock.

Tabell 4.3. Innehåll i skiva P.

Råmaterial	Vikt [%]
<i>Magnesiumoxid (MgO)</i>	37 – 41
<i>Magnesiumsulfat (MgSO₄)</i>	26 – 28
<i>Vatten</i>	10
<i>Träfiber</i>	5 – 14
<i>Perlit</i>	5 – 8
<i>Luftporbildare</i>	4
<i>Härtningsmedel</i>	2
<i>Glasfiber</i>	1
<i>Non-woven fabrics</i>	1

Skiva Q

Innehållet i skiva Q presenteras i tabell 4.4 (enl. produktdatablad från leverantör). Skivan var 12 mm tjock.

Tabell 4.4. Innehåll i skiva Q.

Råmaterial	Vikt [%]
<i>Magnesiumoxid (MgO)</i>	43
<i>Magnesiumklorid (MgCl₂)</i>	27
<i>Vatten</i>	18
<i>Glasfibernät</i>	5 – 8
<i>Sågspån</i>	5
<i>Perlit</i>	4,5
<i>Kiseldioxid (SiO₂)</i>	0,5
<i>Talk (Mg₃H₂(SiO₃)₄)</i>	2

Skiva R

Innehållet i skiva R presenteras i tabell 4.5 (enl. produktdatablad från leverantör). Skivan var 12 mm tjock.

Tabell 4.5. Innehåll i skiva R.

Råmaterial	Vikt [%]
<i>Magnesiumoxid (MgO)</i>	52 – 55
<i>Magnesiumsulfat (MgSO₄)</i>	30 – 34
<i>Glasfibernät</i>	2,5 – 3,5
<i>Träpulver</i>	2,5 – 3,5
<i>Perlit</i>	2,5 – 3,5
<i>Kalciumkarbonat (CaCO₃)</i>	2,5 – 3
<i>Expanderad polystyren</i>	2 – 2,5
<i>Glasfibrer</i>	1 – 1,5
<i>Fosforsyra (H₃PO₄)</i>	0,8 – 1,05

Skiva S

Skiva D är en skiva med lägre densitet, lättare hantering, stabilare formegenskaper och mer fukttresistent (enl. produktfaktablad från leverantör). Innehållet i skiva S presenteras i tabell 4.6 (enl. produktdatablad från leverantör). Skivan var 12 mm tjock.

Tabell 4.6. Innehåll i skiva S.

<i>Råmaterial</i>	Vikt [%]
<i>Magnesiumoxid (MgO)</i>	43 – 49
<i>Magnesiumsulfat (MgSO₄)</i>	27 – 33
<i>Kiseloxid (SiO)</i>	5 – 9
<i>Glasfiber</i>	3 – 4
<i>Expanderad polystyren</i>	2 – 6
<i>Träfiber</i>	2 – 5
<i>Fyllnadsmedel</i>	1 – 1,5
<i>Fosforsyra (H₃PO₄)</i>	0,8 – 1,05

Skiva D

Skiva D var samma typ och samma innehåll som skiva S men hade impregnerats med tre olika vätskor av okänt innehåll och delades därför in i prov D1-D3. Skiva D har endast testas i 100% RF.

4.2 Metod

4.2.1 Torkning och bestämning av densitet

Inför torkningen av skivorna kapades de till önskade dimensioner. En typ av skiva kapades med gipskniv och bröts därefter itu (samma princip som vid kapning av gipsskivor) medan vissa skivor var alldeles för hårda för att kapas på detta sätt. Dessa delades istället genom att använda ett kapningsverktyg, se bild 4.1.



Bild 4.1. Kapningsverktyget.

Vid hantering av proverna användes handskar. De olika skivorna hade varierande tjocklek, se tabell 4.7, och kapades till mindre dimensioner mellan 100x75 och 150x100mm. Tre stycken prover av vardera skiva testades i olika klimat, alltså 15 prover av vardera skiva.

Tabell 4.7. Skivornas tjocklek.

<i>Skiva</i>	Tjocklek [mm]
<i>F</i>	8
<i>E, G</i>	10
<i>C, D, M, N, O, P, Q, R, S</i>	12

Proverna torkades innan de exponerades för fuktig luft i klimatboxarna. Detta gjordes för att samtliga prover skulle ha samma utgångspunkt. Torkningen utfördes i ett torkskåp i 35°C och 16% RF. Detta för att minimera förluster av det kemiskt bundna vattnet.

Proverna vägdes innan, under och efter uttorkningen. Proverna vägdes på en våg med noggrannheten 0,01g (Electronic Balance, modell FX-2000f). Vikten kontrollerades varje dag för att se när de uppnådde jämvikt. Skivorna C och D torkades inte innan de placerades i 100% RF. Dessa skivorna exponerades för detta extrema klimat (100% RF) för att notera förekomsten av vattendroppar på ytan.

Klimatet som skivorna torkades i kontrollerades genom att mäta torkskåpets temperatur, T_i , temperaturen i rummet, T_u , och relativa fuktigheten, RF , i rummet där torkskåpet befann sig. Temperaturen i torkskåpet mättes m.h.a. en digital termometer från (Thermo Electric, modell Pronto). Temperaturen och den relativa fuktigheten i rummet mättes med en RF-givare (Testo, modell 605 H1).

Densiteten för proverna utvärderades efter att de var i jämvikt med 16% RF. Provernas längd, bredd och tjocklek mättes med en linjal med millimeterskala. Några prover var ojämna i snitten och där användes ett medelvärde på längd och bredd. Densiteten beräknades som ett medelvärde från sex prover från varje skiva.

4.2.2 Bestämning av sorptionsisoterm

När proverna nått jämvikt efter uttorkning placerades tre prover från vardera skiva i klimatboxarna, med undantag från skiva M. Tio klimatboxar, se bild 4.2, förbereddes i ett rum med stabilt klimat, 20°C och 60% RF.



Bild 4.2. Klimatboxar med glaslock.

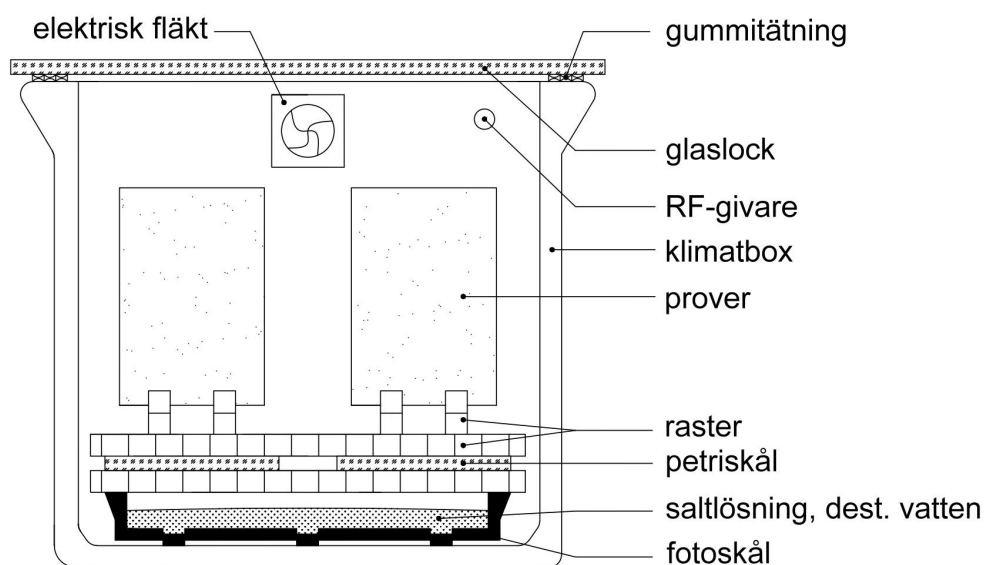
Skivor exponerades för fem olika klimat med konstant temperatur och relativ fuktighet. För att erhålla olika relativ fuktighet i klimatboxarna användes saltlösningar och destillerat vatten. Med hjälp av övermättade saltlösningar och stabilt omgivande klimat genererades önskad relativ fuktighet, se tabell 4.8 [22].

Tabell 4.8. Genererad relativ fuktighet vid 20°C [22].

Övermättad saltlösning	Genererad relativ fuktighet [%]
$MgCl_2$	33,1
$NaCl$	75,6
KCl	85,1
KNO_3	94,6
H_2O	100

Längst ner i klimatboxen lades fotoskålen med den övermättade saltlösningen eller det destillerade vattnet. Ovanpå fotoskålen placerades ett raster. I klimaten med 85, 94 och 100% RF placerades petriskålar under proverna där eventuell vätska från skivorna kunde droppa ner. Ställningar tillverkades genom att klippa raster och anpassa dem för att på ett konsekvent sätt få proverna uppradade intill varandra men utan direkt kontakt med varandra.

Klimatboxarna försågs med en fläkt som gjorde att luften cirkulerade samt en RF-givare (Testo, modell 605 H1) där klimatet kontrollerades. Överst längs kanterna var klimatboxarna gummitätade för att sedan förses med ett glaslock som håller boxarna täta, se figur 4.1.



Figur 4.1. Innehåll klimatbox.

Anpassningen av raster gjorde att man enkelt kunde ställa proverna i klimatboxen, se bild 4.3.

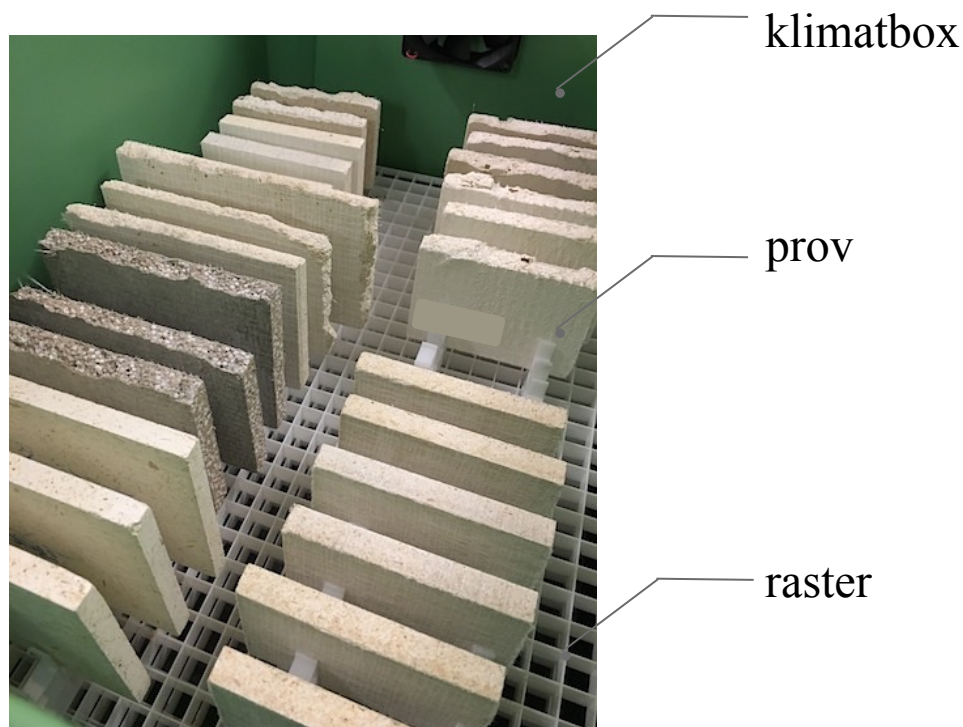


Bild 4.3. Skivornas uppställning i klimatboxen.

När jämvikt uppnåtts kunde en sorptionsisoterm för absorption beräknas genom att beräkna ett medelvärde på viktförändringen vid jämvikt av de prover som befann sig i respektive klimat. Proverna vägdes regelbundet. Eventuell färgförändring och förekomst av vattendroppar noterades.

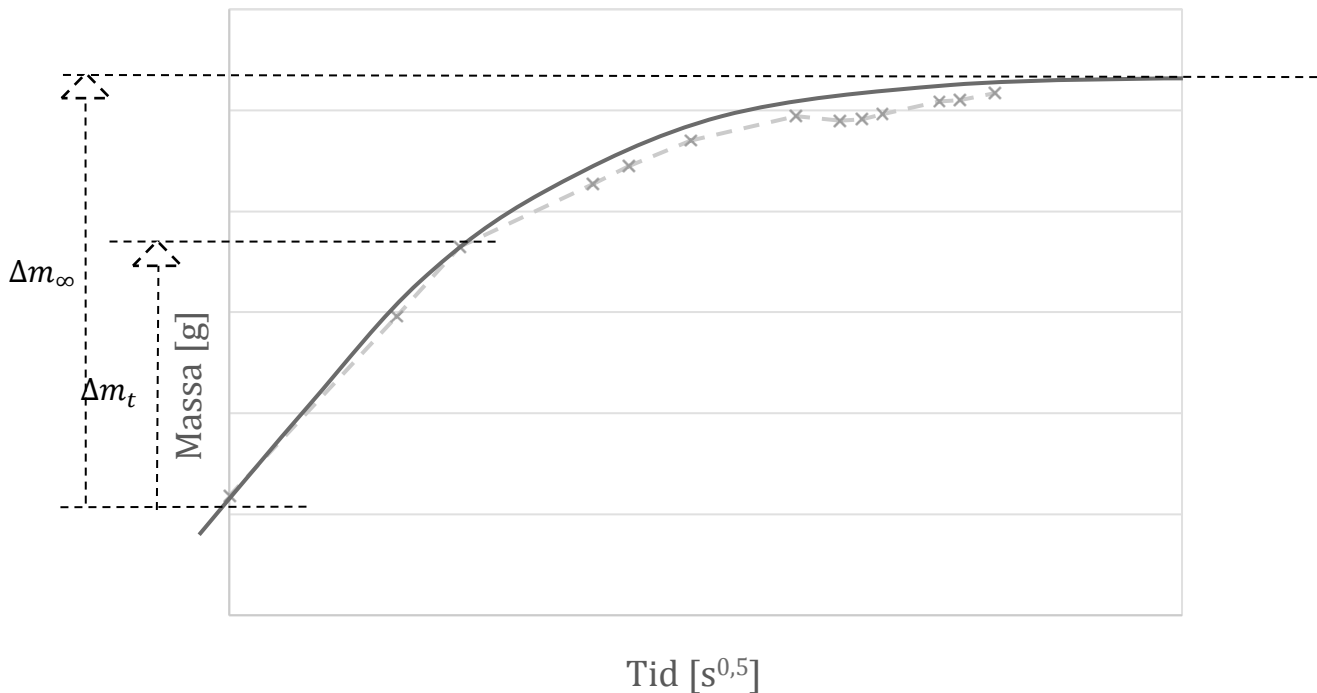
Då proverna hade nått jämvikt i respektive klimat flyttades samtliga upp till 100% RF för att där ta upp maximal mängd fukt. Där följde samma process som tidigare, proverna observerades och vägdes tills det att de nått jämvikt. Därefter flyttades proverna tillbaka till sitt ursprungliga klimat för att där bestämma desorptionsisotermen, d.v.s. prov x exponerades först för 33% RF, flyttades efter jämvikt till 100% RF, för maximal fuktupptagning, och därefter tillbaka till 33% RF.

4.2.3 Utvärdering av diffusionskoefficienten

Diffusionskoefficienten, δ_v , utvärderades genom att använda mätdata från absorptionsförsöket. De flesta skivorna hade inte uppnått jämviktsläge men närmade sig och därför gjordes antaganden om när jämvikt skulle uppnås för att beräkna diffusiviteten, D [m^2/s], för varje prov då massan ökar som funktion av roten ur tiden, se ekvation (4.1) och figur 4.2.

$$\frac{\Delta m_t}{\Delta m_\infty} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot t}{l^2}} \quad (4.1)$$

Δm_t [g] är masskillnaden av ett prov vid tiden, t [s], Δm_∞ [g] är masskillnaden då provet uppnått jämvikt och l är provets tjocklek [m] [23]. Bestämning av Δm_t och Δm_∞ visas i figur 4.2 nedan.



Figur 4.2. Principskiss för utvärdering av materialets fuktjämvikt med omgivande klimat.

Diffusiviteten bestämdes för varje prov. När diffusiviteten var känd för varje prov kunde diffusionskoefficienten beräknas enligt ekvation (4.2a) [24].

$$\delta_v = D \cdot \frac{dc}{dv} \quad (4.2a)$$

dc/dv är skillnaden i fukthalt [g/m^3] i förhållande till ånghaltsändringen [g/m^3] och beräknas enligt ekvation (4.2b).

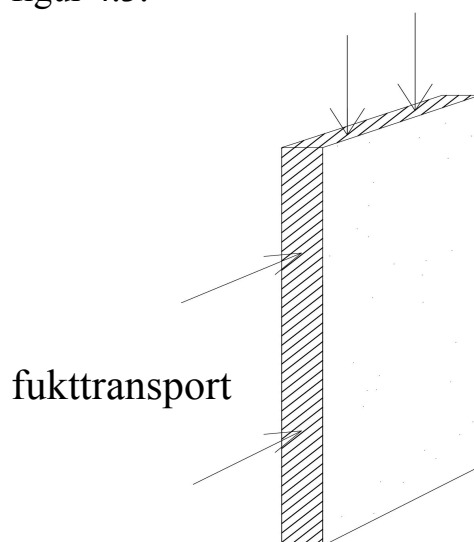
$$\frac{dc}{dv} = \frac{\rho}{v_s} \cdot \frac{du}{d\varphi} \quad (4.2b)$$

$du/d\varphi$ är fuktkvotsändringen [%] i förhållande till ändringen i relativ fuktighet [%].

Diffusionskoefficienten bestämdes först i de fem RF-intervallen: 16-33, 16-75, 16-85, 16-94 och 16-100%. Ekvation (4.3) [24] användes för att beräkna medeldiffusionskoefficienten i de RF-intervall som inte direkt mättes d.v.s. RF-intervallen: 33-75; 75-85; 85-94 och 94-100%.

$$\bar{\delta}_{12} = \frac{\bar{\delta}_{02}(v_2 - v_0) - \bar{\delta}_{01}(v_1 - v_0)}{(v_2 - v_1)} \quad (4.3)$$

Vid utvärdering av diffusionskoefficienten antog vi endimensionell transport vilket är ett förenklat antagande då det även förekommer fukttransport i de skurna ytorna, se figur 4.3.

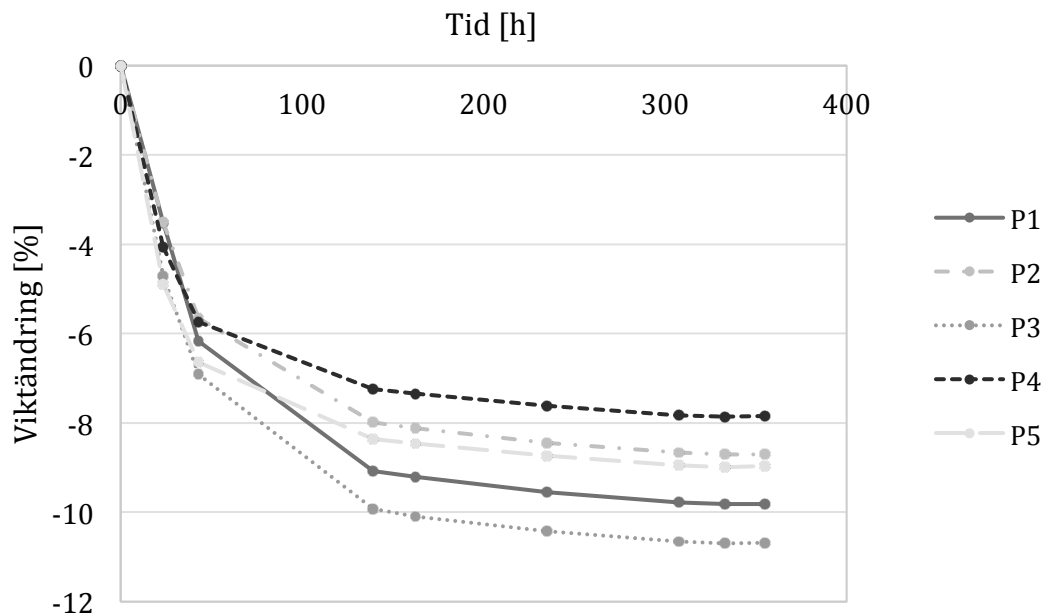


Figur 4.3. Fukttransport via snittytor.

5 Resultat och diskussion

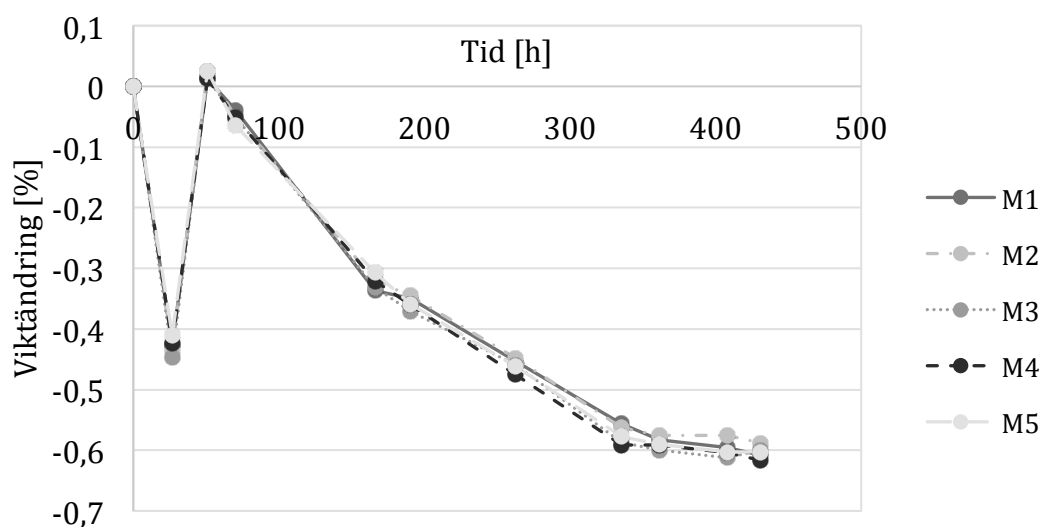
5.1 Torkning och bestämning av densitet

Torkning utfördes av följande skivor: E, G, F, N, O, P, Q, R, S och M. Uttorkningen av skivorna tog olika lång tid för olika typer av skivor. En typisk uttorkningskurva visas i figur 5.1, här för fem prover av skiva P. De första dagarna gick uttorkningen ganska fort medan den efterhand gick långsammare för att sedan nå helt uttorkat läge och också jämvikt.



Figur 5.1. Uttorkning för fem prover av skiva P.

Skivor levererades till oss vid olika tillfällen och därför sattes prover in för torkning efterhand vilket resulterade i att vissa skivor som befanns sig i torksskåpet fuktades upp och sedan torkade ut igen. Ett tydligt exempel på detta var uttorkningskurvan för skiva M, se figur 5.2.



Figur 5.2. Uttorkning för proverna M1-M5.

Proverna torkade och minskade i vikt första dagen i torkskåpet men vid insättning av nya prover i torkskåpet dag två tog proverna av skiva M åt sig fukt från de nyinsatta proverna och ökade därför i vikt för att sedan torka ut.

Vid beräkning av torrdensiteten vid 16% RF mättes provernas längd, bredd och tjocklek för beräkning av provernas volym.

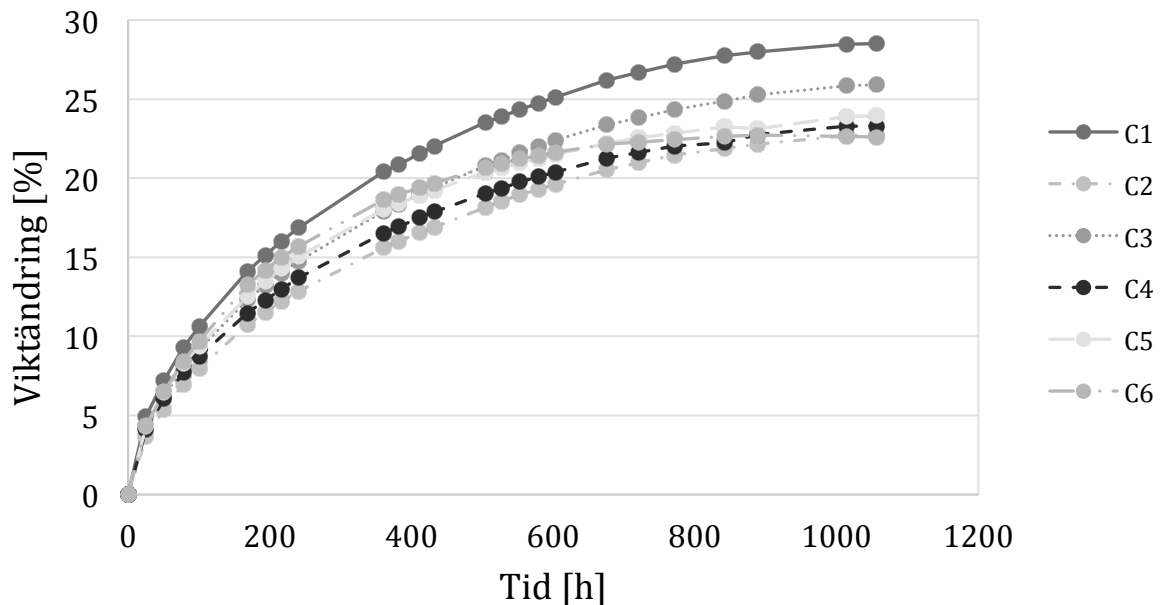
I tabell 5.1. visas resultaten av torrdensiteten för de olika skivorna. Densiteten presenteras som ett medelvärde av sex olika prover från respektive skiva.

Tabell 5.1. Beräknad torrdensitet för samtliga skivor vid RF 16%.

<i>Skiva</i>	Beräknad densitet [kg/m ³]
<i>E</i>	1214
<i>F</i>	980
<i>G</i>	1251
<i>S</i>	870
<i>N</i>	1150
<i>O</i>	1000
<i>P</i>	910
<i>Q</i>	960
<i>R</i>	970

5.2 Sorptionsisoterm

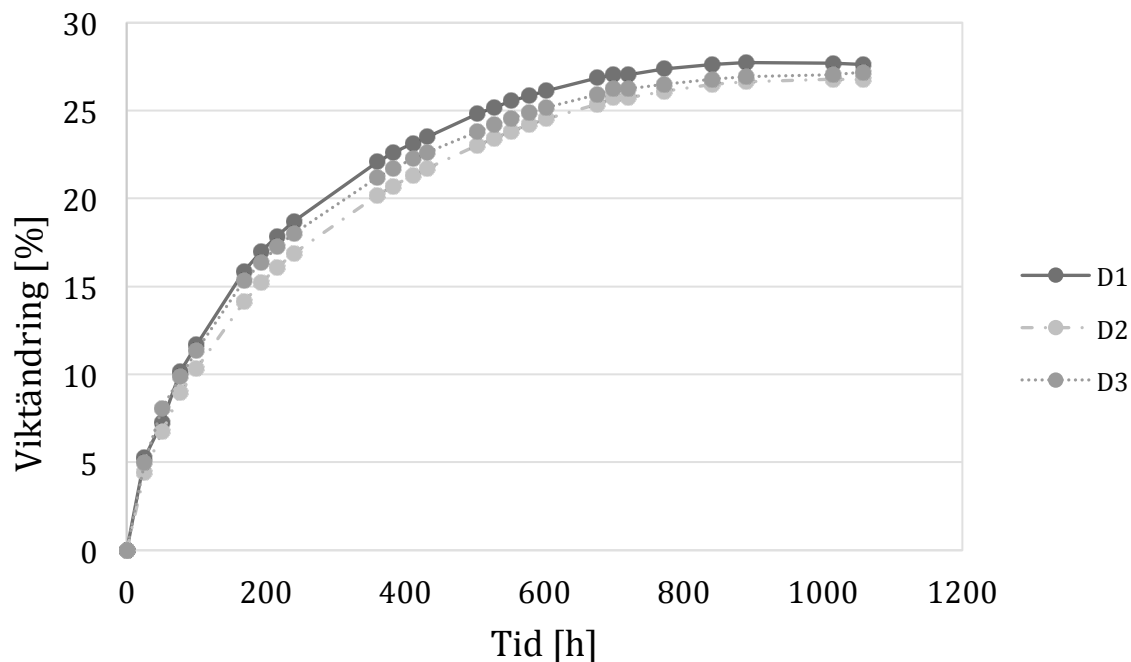
Fuktupptagningen i proverna från skiva C och D upphörde inte under vår försöksperiod (6 veckor). De första dagarna tog proverna upp mest fukt men fortsatte sakta hela tiden. Vägningarna av skiva C och D avbröts efter ca 1,5 månad. I figur 5.3 visas viktändringen vid olika tidpunkter för proverna från skiva C.



Figur 5.3. Viktändring för prov C1-C6.

Viktändringen mellan det prov som tagit åt sig mest fukt, C1 respektive minst fukt, C6, skiljer sig ca 7%-enheter. Dessa är impregnerade med olika vätskor vilket kan vara orsaken till skillnaden mellan de två proverna.

I figur 5.4 visas viktändringen vid olika tidpunkter för proverna från skiva D.

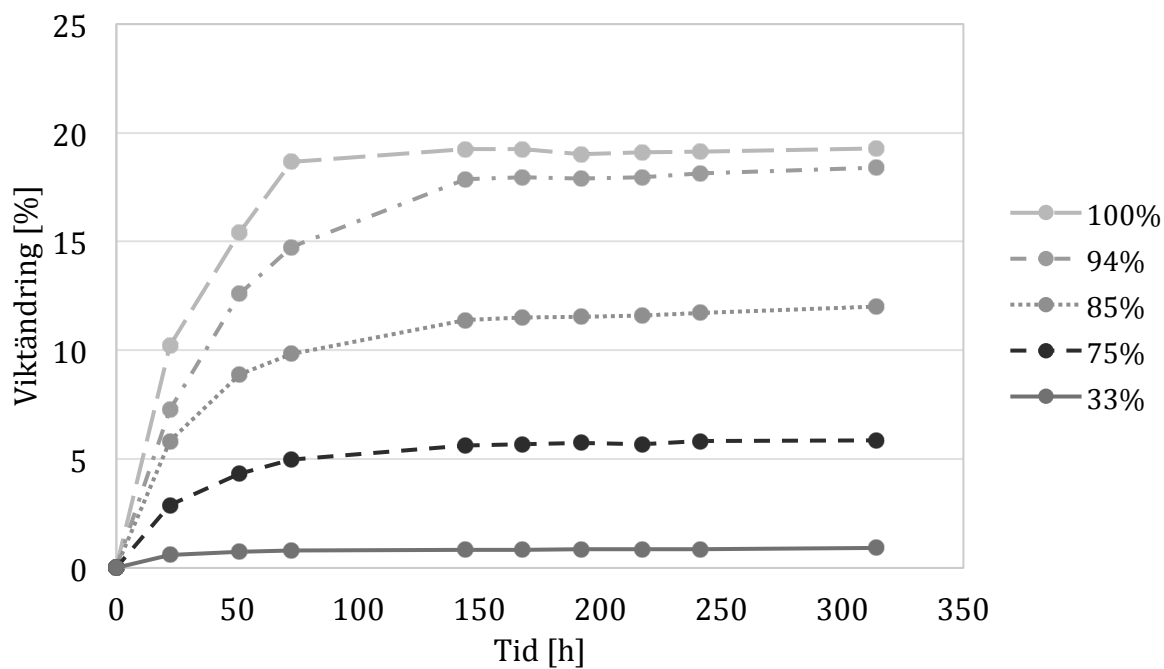


Figur 5.4. Viktändring för prov D1-D3.

Skiva D visar inte samma skillnad i viktändring mellan proverna som skiva C.

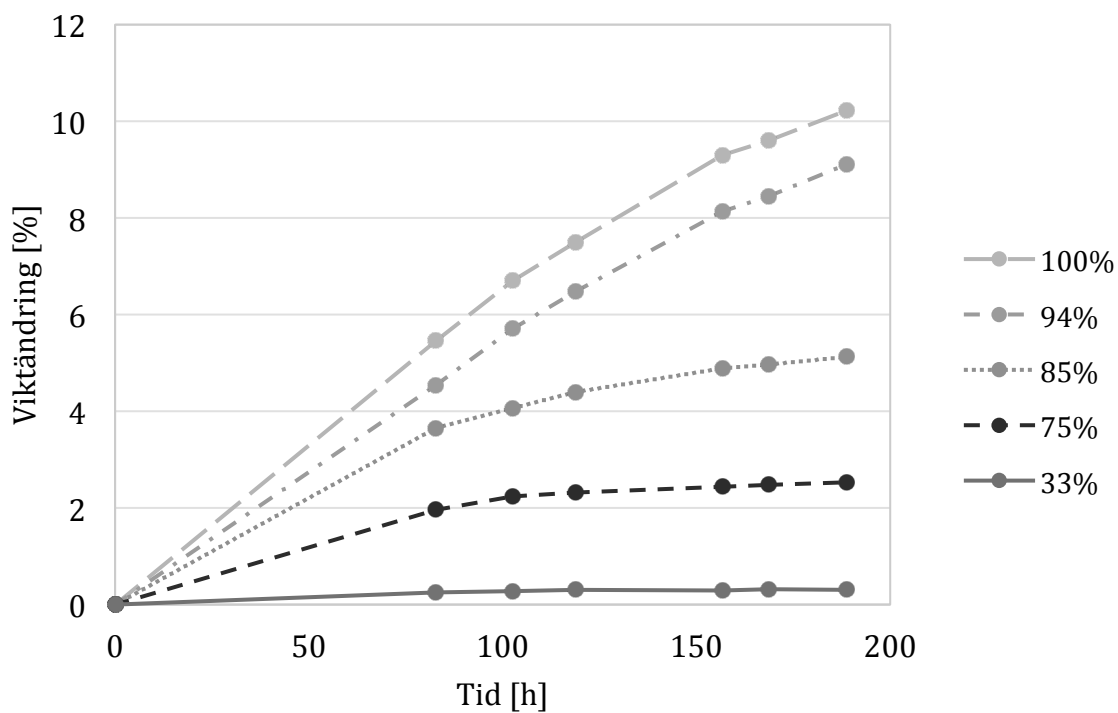
Försöken på skivorna C och D gjordes i ett extremt klimat (100% RF) vilket i praktiken inte förekommer under så lång tid. Däremot kan luftfuktigheten nå 90% RF och högre under vintertid då temperaturen sjunker. Att droppar lägger sig på ytan av proverna kan vara ett tecken på att vattnet på grund av impregneringen inte tränger in i skivan.

Viktändringen för sex prover från skiva F redovisas i figur 5.5.



Figur 5.5. Viktändring för prover i olika klimat.

Figur 5.6 visar hur viktändringen såg ut för fem prover från skiva Q, ett prov från varje klimat.

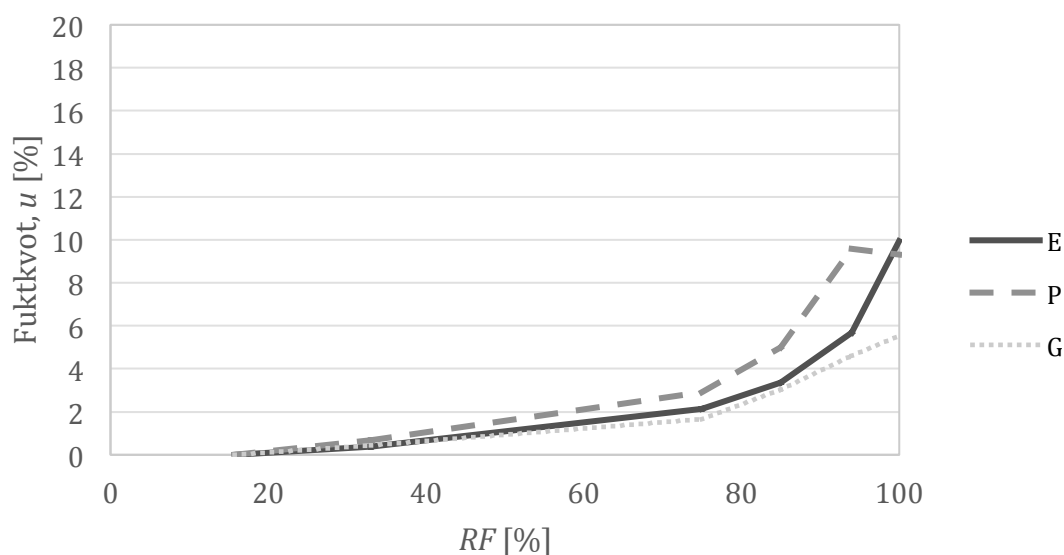


Figur 5.6. Viktändring för prover i olika klimat.

Absorptionen för proverna i de fuktigare klimaten som t.ex. 94% och 100% RF hade inte uppnått jämvikt. Kurvan började dock plana ut och ett antagande om provets jämvikt gjordes. Så här såg det ut för de flesta proverna eftersom försöken inte hann klart till jämvikt.

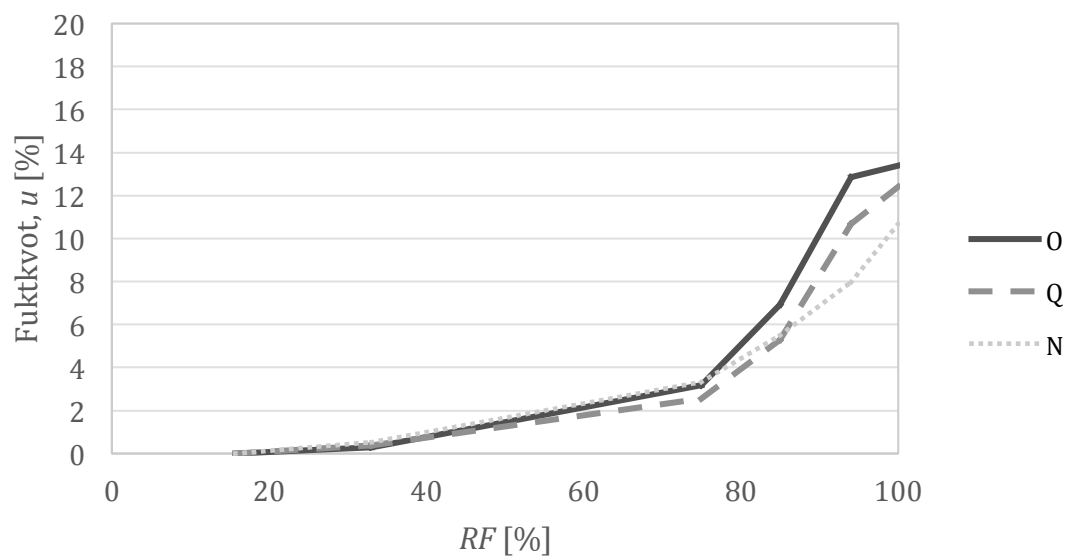
Det tog ungefär lika lång tid för proverna att nå jämvikt i varje klimat. Utifrån viktändringarna kunde en absorptionsisoterm utvärderas.

Utifrån absorptionsdatan utvärderades en absorptionsisoterm för varje skiva. Absorptionsisotermen för respektive skiva redovisas i figur 5.7a-5.7c.

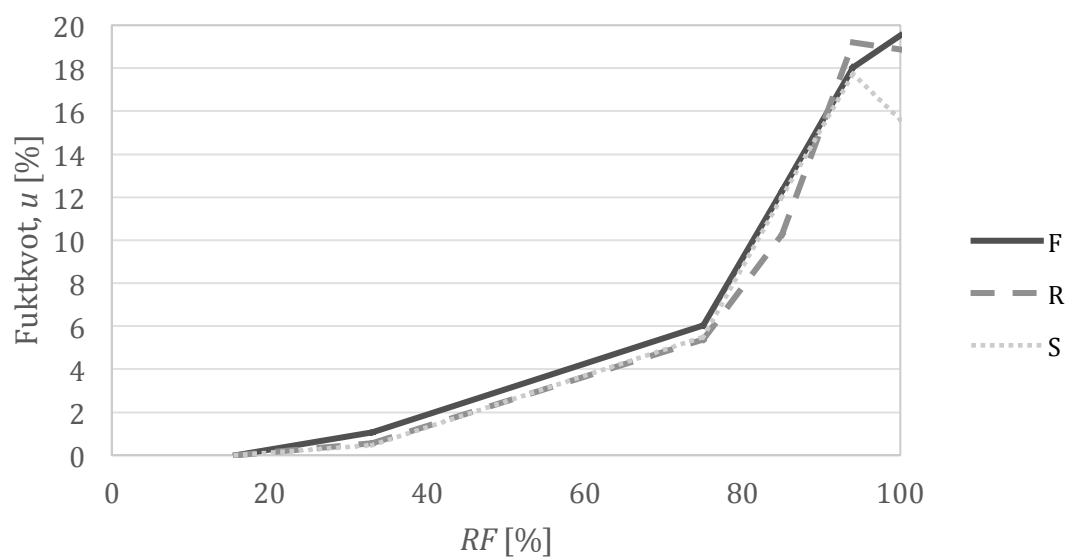


Figur 5.7a. Absorptionsisoterm skiva E, P och G.

Absorptionsisotermen är för skivorna E och G lägst. De hade en fuktkvot på ca 10% respektive 5,5% vid 100% RF.



Figur 5.7b. Absorptionsisoterm skiva O, Q och N.



Figur 5.7c. Absorptionsisoterm skiva F, R och S.

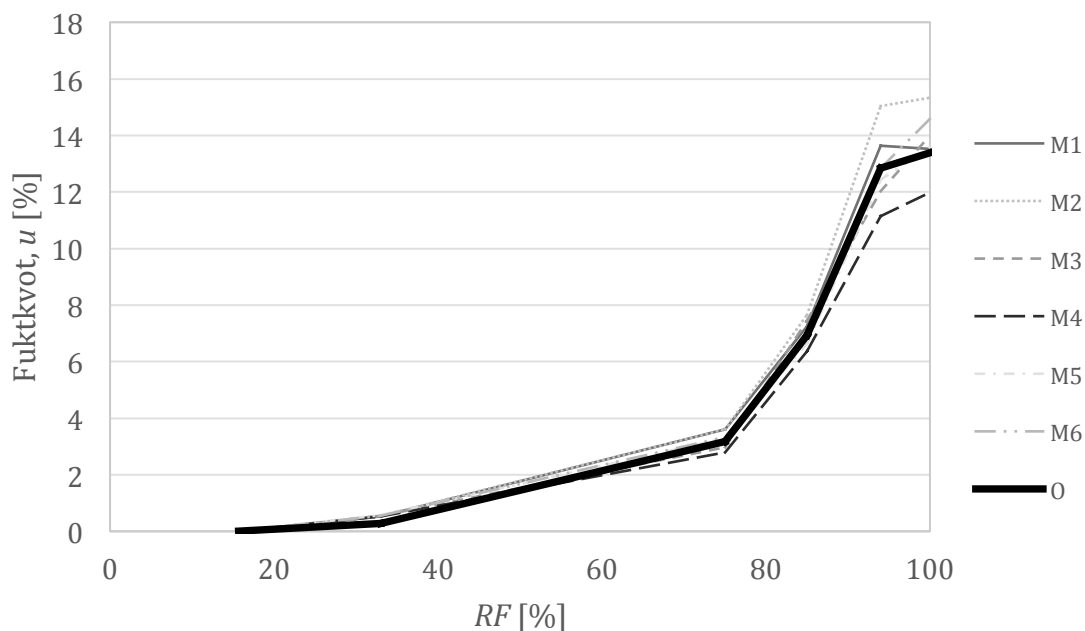
Absorptionsisotermen för skivorna F, R och S är högst i samtliga fuktområden.

Absorptionsisotermen för de olika skivorna varierade. Porositeten och porstorleksfördelningen har en avgörande betydelse för skivornas absorptionsisoterm. Ju högre porositet desto större möjlig mängd vatten vid 100% RF. Vid 100% RF kan materialet ta upp den maximala mängd vatten det kan bära. Detta kan vara en orsak till att absorptionsisotermen skiljde sig mellan de olika skivorna.

Skivorna R, S och P hade lägre fuktkvot vid 100% RF än vid 94% RF. Det beror sannolikt på att fuktigheten i klimatboxen inte var 100% RF utan lägre (fuktigheten uppmättes till lägre än 94% RF). Klimatet var även ostabilt. Anledningen till detta är förmodligen att proverna tog upp stora mängder fukt till en början vilket sänkte RF i klimatboxen.

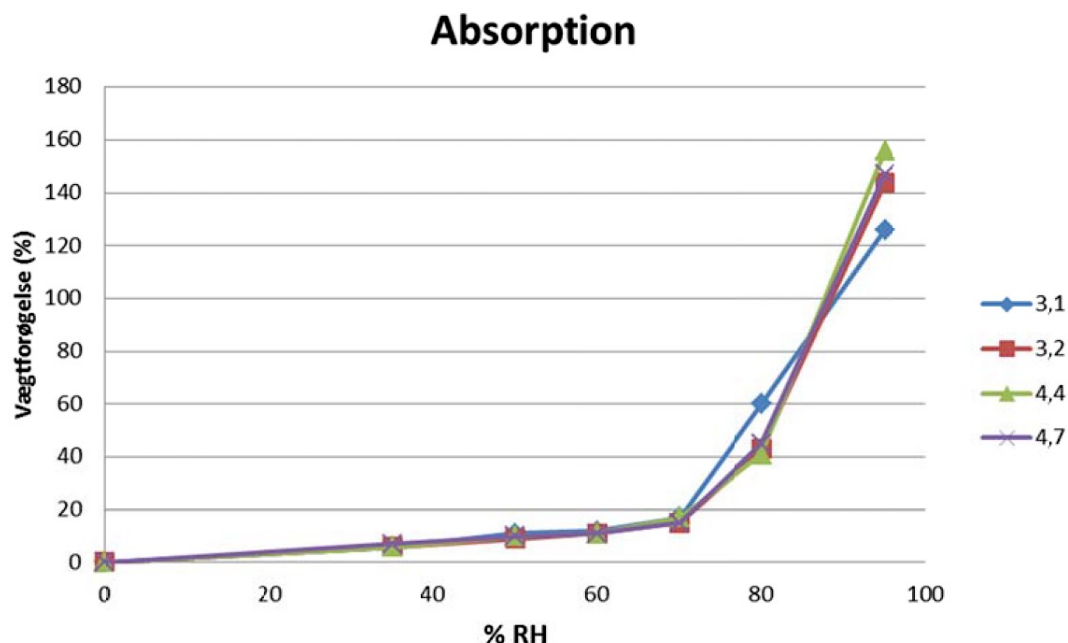
Innehållet av magnesiumklorid i skivorna innebär att de tar åt sig fukt från luften oavsett om de är porösa eller inte. Detta innebär att då skivorna är vattenmättade kommer de fortfarande att ta åt sig fukt vilket kan leda till förekomsten av vattendroppar på ytan.

Figur 5.8 visar absorptionsisotermen för skiva M och skiva O i de olika klimaten. Skiva O hade blivit impregnerad med sex olika vätskor som betecknades M1-M6. Absorptionsisotermerna är i princip identiska.



Figur 5.8. Absorptionsisoterm för prov M1-M6 och skiva O.

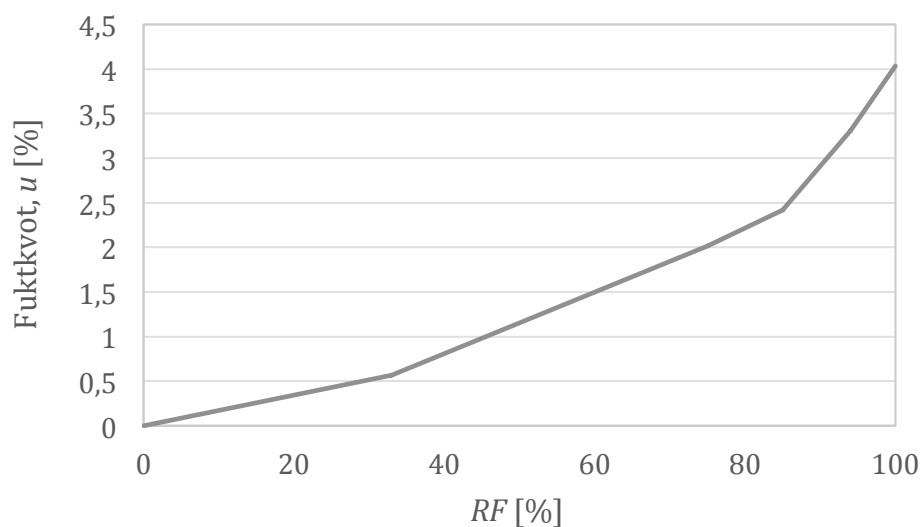
Absorptionen har också undersökts på magnesiumoxidskivor i Danmark, se figur 5.9 [2].



Figur 5.9. Absorptionsisoterm för fyra testade skivor med viktökningen [%] som funktion av den relativa fuktigheten [%] [2].

Datan visar en tydlig ökning av fuktupptagning vid högre RF och en viktökning på över 140% för flera skivor. Skivorna i den danska studien torkades i 102°C vilket kan innebära att kemiskt bundet vatten i skivorna har torkat ut vilket gör att de når maximala viktökningar på nästan 160%.

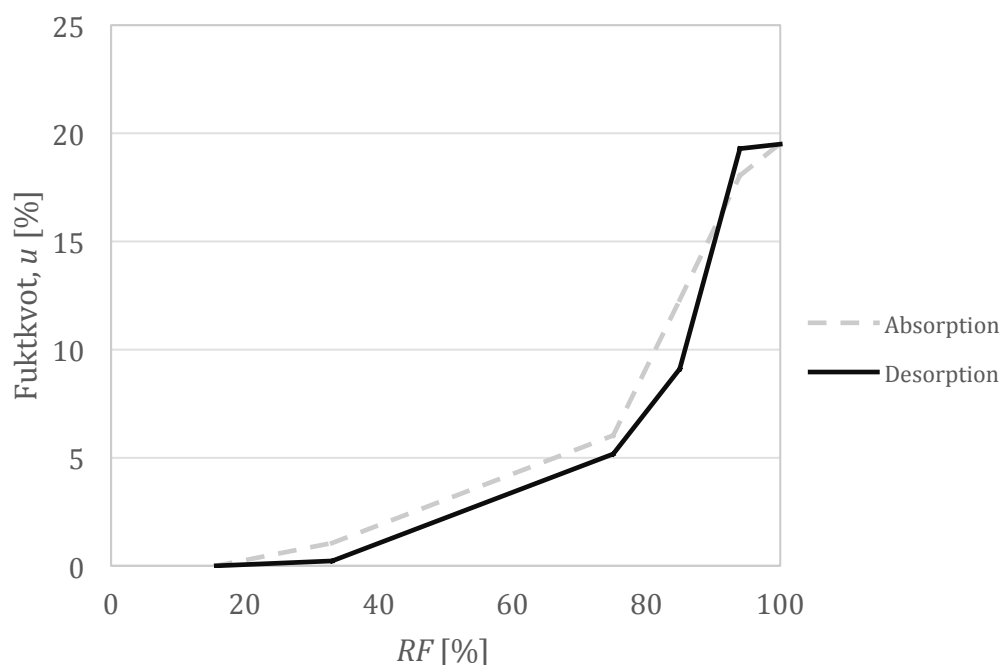
Absorptionsisoterm för gipsskiva med densiteten 1240 kg/m^3 , se figur 5.10.



Figur 5.10. Absorptionsisoterm för gipsskiva med densiteten 1240 kg/m^3 .

Absorptionsisotermen för gips visade en fuktkvot på lite över 4% vid RF nära 100% [7]. Det visar en skillnad på nära 16 procentenheter mellan den mest fuktsupptagande magnesiumoxidskivan i vår studie och en gipsskiva.

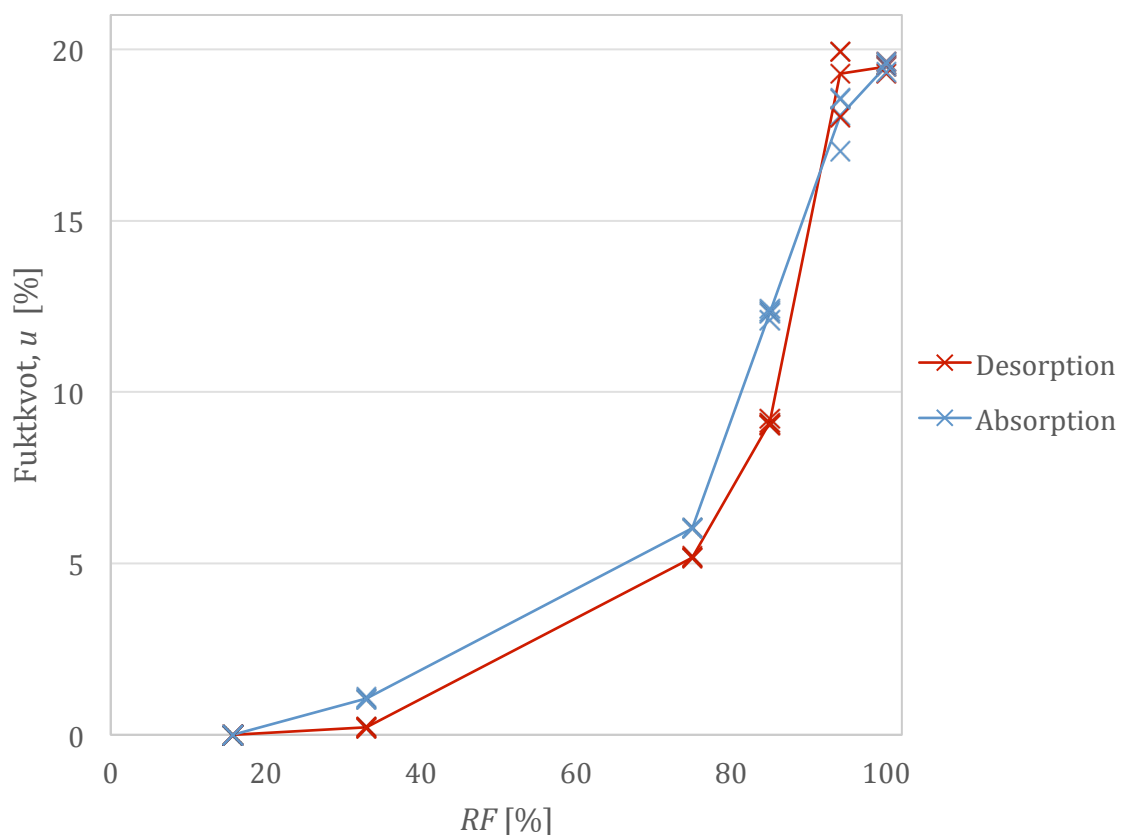
På en skiva, skiva F, har också desorptionsisotermen bestämts se figur 5.11.



Figur 5.11. Sorptionsisoterm skiva F.

I detta fall ligger desorptionsisotermen under absorptionsisotermen. Det kan bero på att proverna exponerades för 100% RF under lång tid, vilket resulterade i vätska som rann av proverna, innan de exponerades för torrare klimat. När vätskan från proverna runnit av har även beståndsdelar gått förlorade vilket sannolikt är anledningen till provernas viktninskning. Sannolikt har både magnesiumklorid och/eller magnesiumsulfat som båda är vattenlösliga urlakats från proverna. Detta gjorde att provernas nya torrsvikt inte var den samma som innan uppfuktningen. Desorptionsisotermen har därför hamnat under absorptionsisotermen.

Figur 5.12 visar spridningen på mätvärdena för absorption och desorption för skiva F.



Figur 5.12. Spridning sorptionsisoterm skiva F.

Figuren visar att spridningen av mätvärdena varit låg vilket tyder på att mätningarna har stor säkerhet.

5.3 Utvärdering av diffusionskoefficienten

Diffusionskoefficienten beräknades för varje prov. Därefter bildades ett medelvärde för de tre proverna i varje fuktområde.

Diffusionskoefficienten för alla skivor redovisas i tabell 5.2 och jämförs med fibercementskiva och utvändig gipsskiva [7].

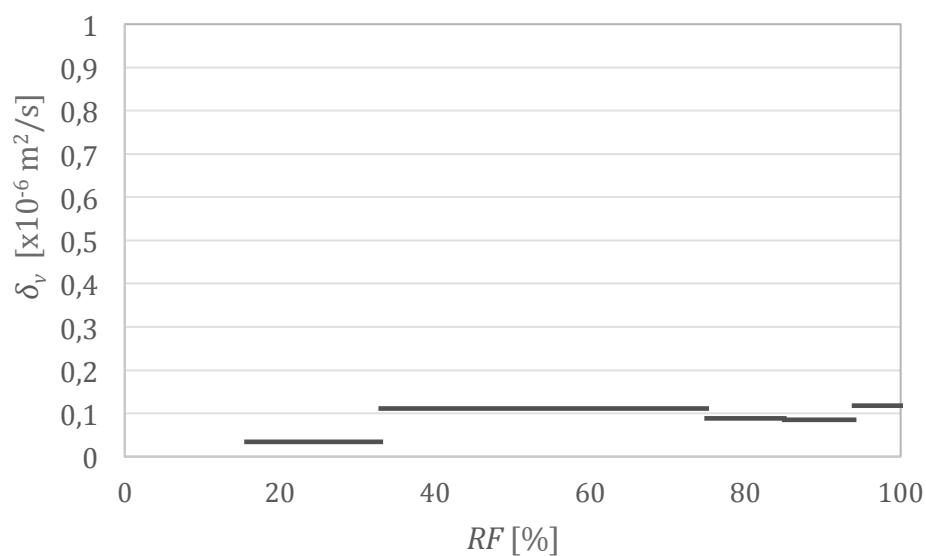
Tabell 5.2. Diffusionskoefficienten för olika skivor i olika fuktområden.

Skiva	Diffusionskoefficient, δ_v [$\times 10^{-6}$ m ² /s]				
	Fuktområde, RF [%]				
	16-33	33-75	75-85	85-94	94-100
<i>E</i>	0,03	0,14	-	0,06	0,54
<i>F</i>	0,18	0,22	1,02	0,87	3,40
<i>G</i>	0,10	0,11	0,05	0,09	0,26
<i>N</i>	0,13	0,13	0,15	0,19	0,36
<i>O</i>	0,18	0,21	0,35	0,26	2,45
<i>P</i>	0,30	0,19	0,26	0,20	0,62
<i>Q</i>	0,16	0,25	0,92	-	0,73
<i>R</i>	0,36	0,46	1,53	-	5,91
<i>S</i>	0,06	0,12	0,34	-	0,21
<i>M</i>	0,16	0,21	0,19	0,13	-
Fiber- cementskiva	Fuktområde, RF [%]				
	-	35-70	70-80	80-90	90-95
	-	0,28-0,42	0,28-0,42	0,35-0,50	0,50-0,75
	-	2,57-3,33	2,57-3,33	2,57-3,33	2,57-3,33
Gips utv. 9mm	-	2,57-3,33	2,57-3,33	2,57-3,33	2,57-3,33

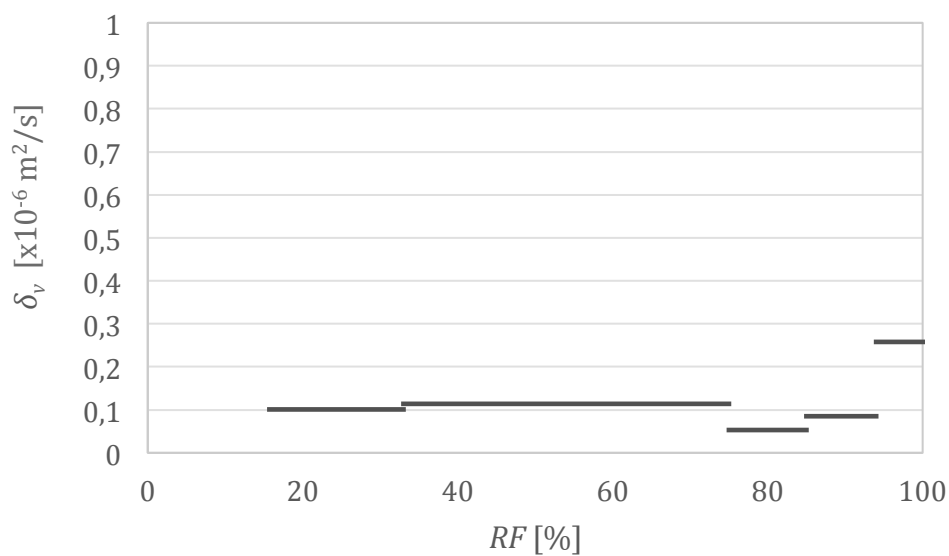
I vissa fuktområden anges inget värde, se t.ex. fuktområde 85-94% RF för skiva S. Jämvikt hade inte uppnåtts i dessa fuktnivåer vilket utvärderingen förutsatte. Vid beräkning av diffusionskoefficienten blev därför värdet för dessa fuktområden negativt.

Skiva R är den skiva med högst diffusionskoefficient i höga fuktområden. Den är då nära åtta gånger så stor som fibercementskivans och nästan två gånger så stor som diffusionskoefficienten för utvändig gips.

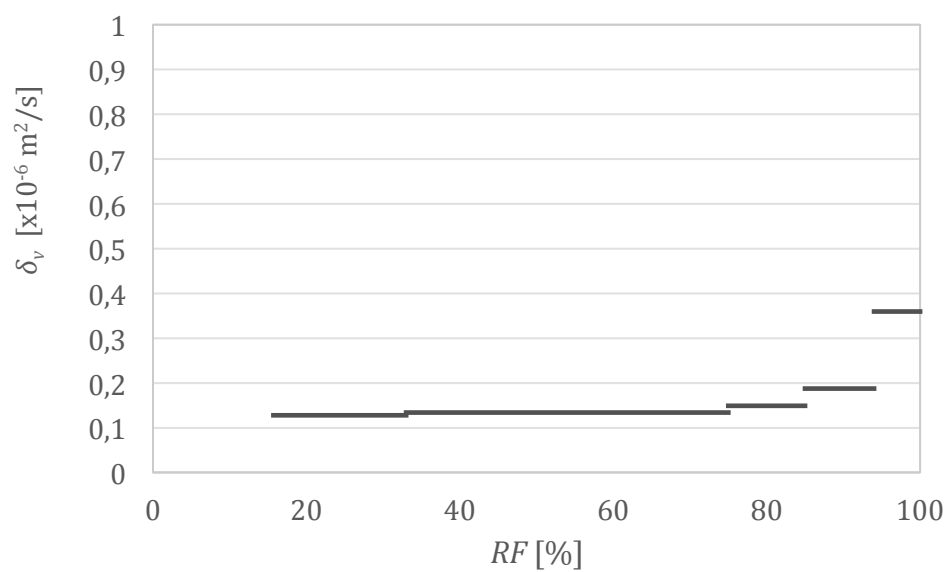
I figurerna 5.13a-o redovisas diffusionskoefficienten för samtliga skivor som diagram. Notera att skalan på y-axeln antingen är $0-1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ eller $0-6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.



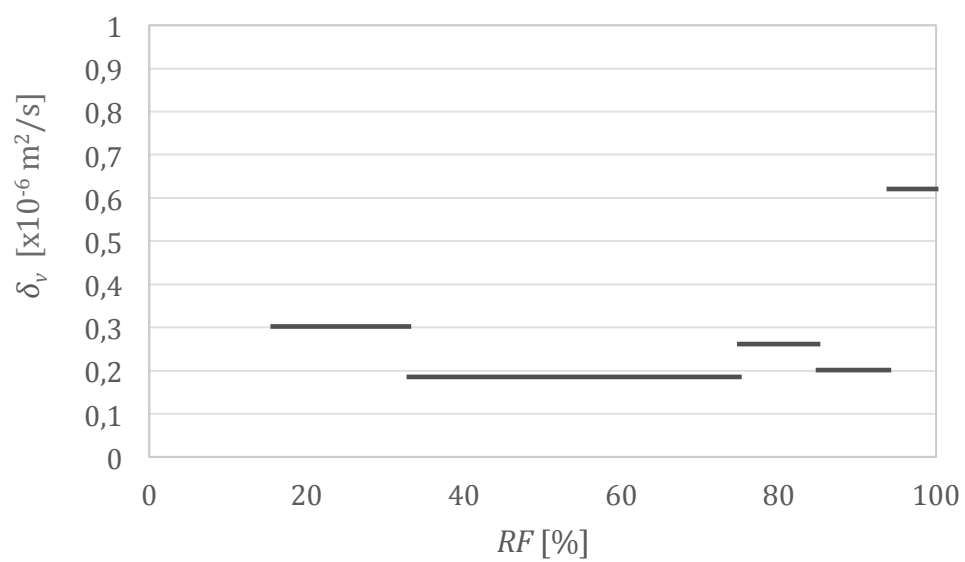
Figur 5.13a. Diffusionskoefficient skiva E.



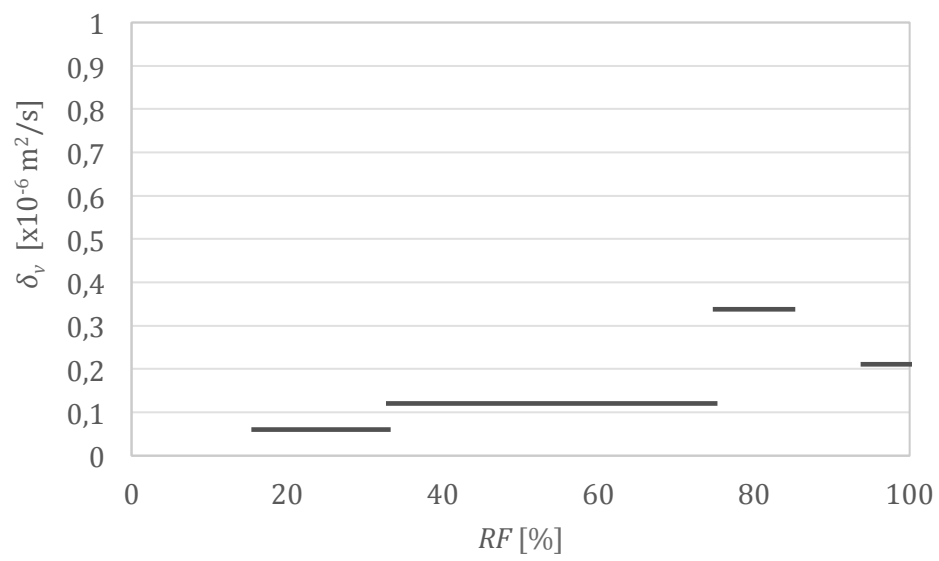
Figur 5.13b. Diffusionskoefficientskiva G.



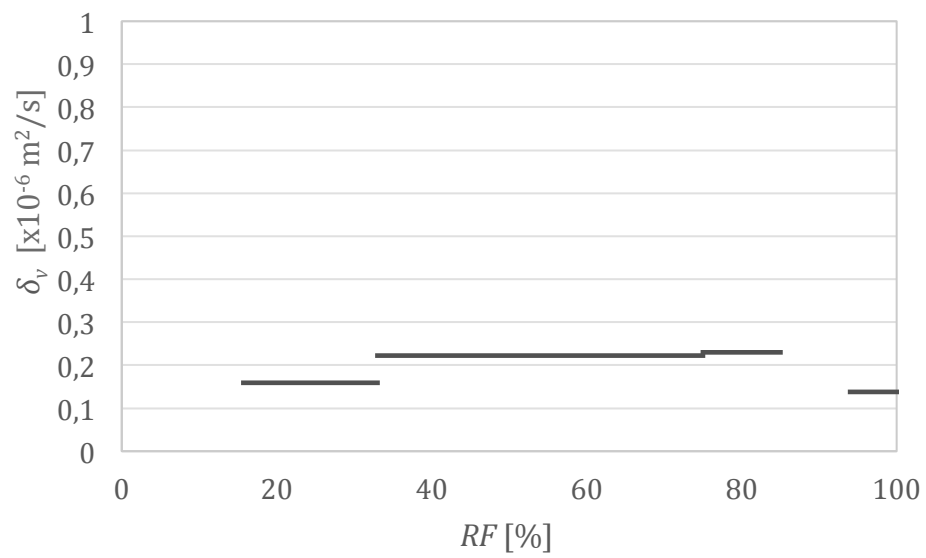
Figur 5.13c. Diffusionskoefficient skiva N.



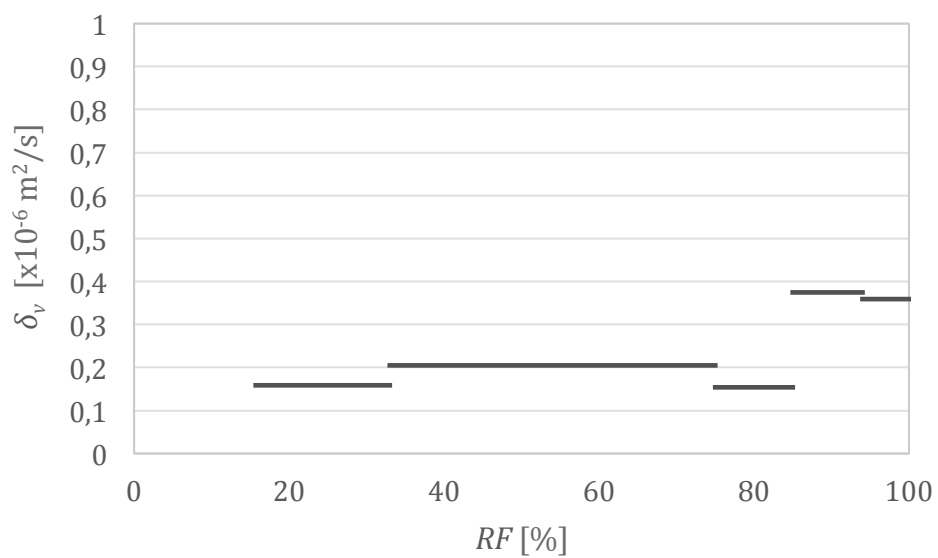
Figur 5.13d. Diffusionskoefficient skiva P.



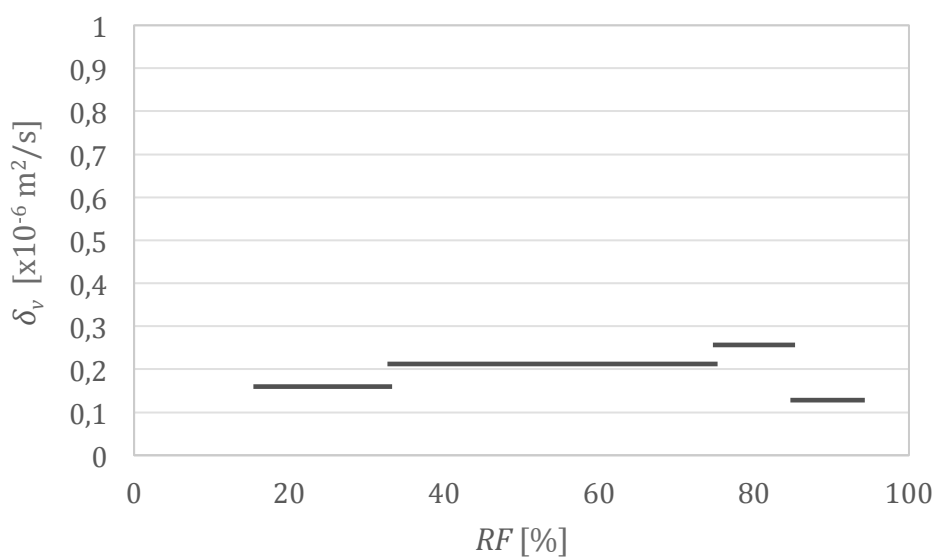
Figur 5.13e. Diffusionskoefficient skiva S.



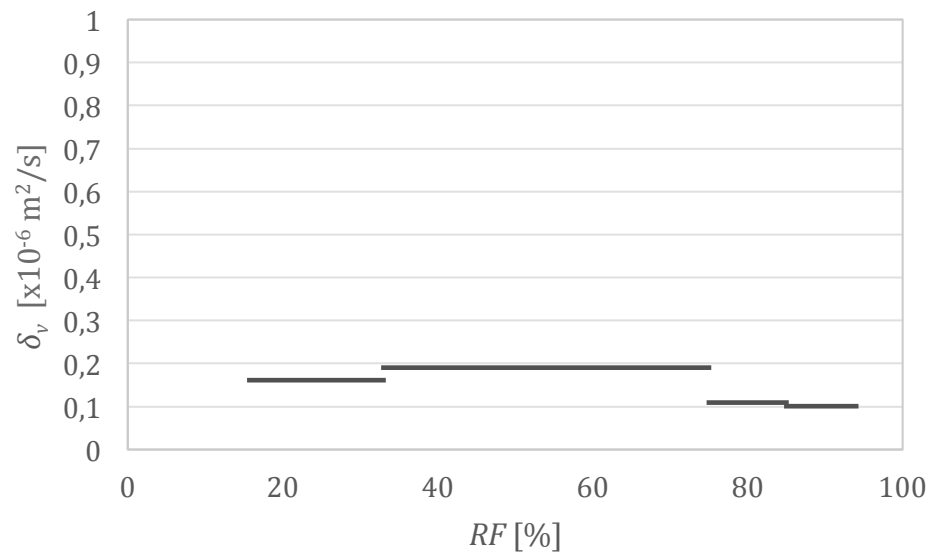
Figur 5.13f. Diffusionskoefficient skiva M1.



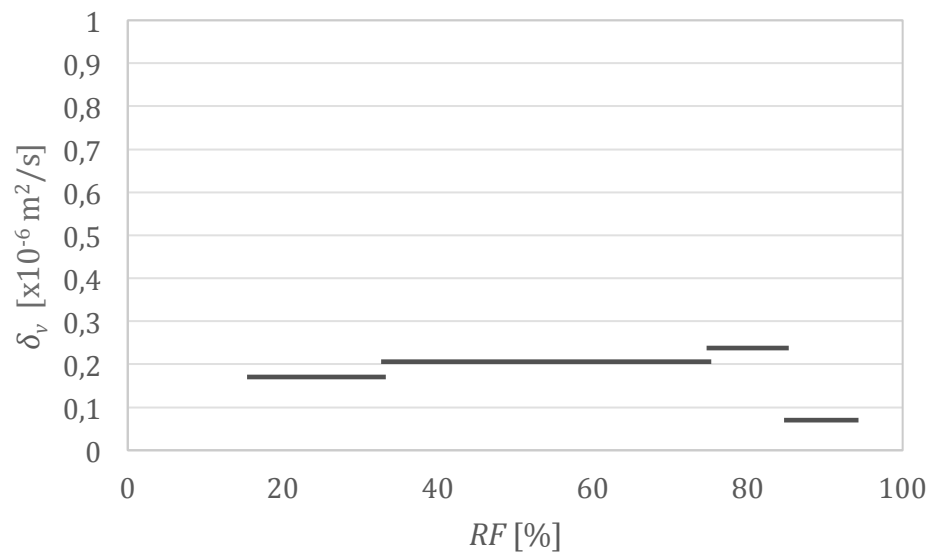
Figur 5.13g. Diffusionskoefficient skiva M2.



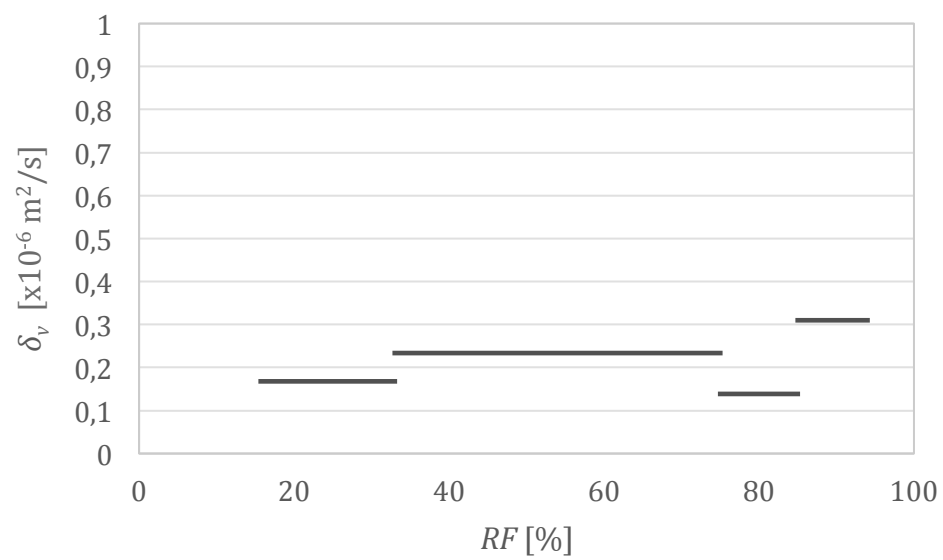
Figur 5.13h. Diffusionskoefficient skiva M3.



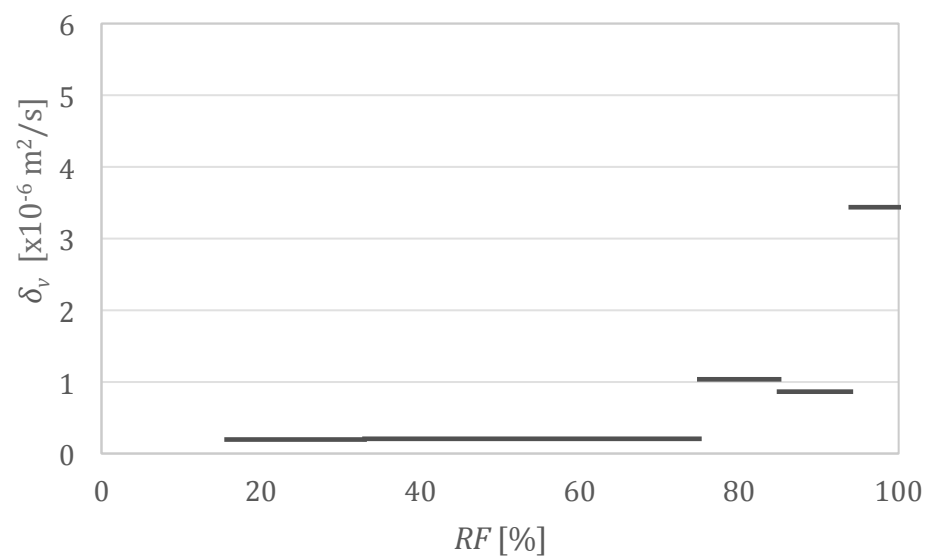
Figur 5.13i. Diffusionskoefficient skiva M4.



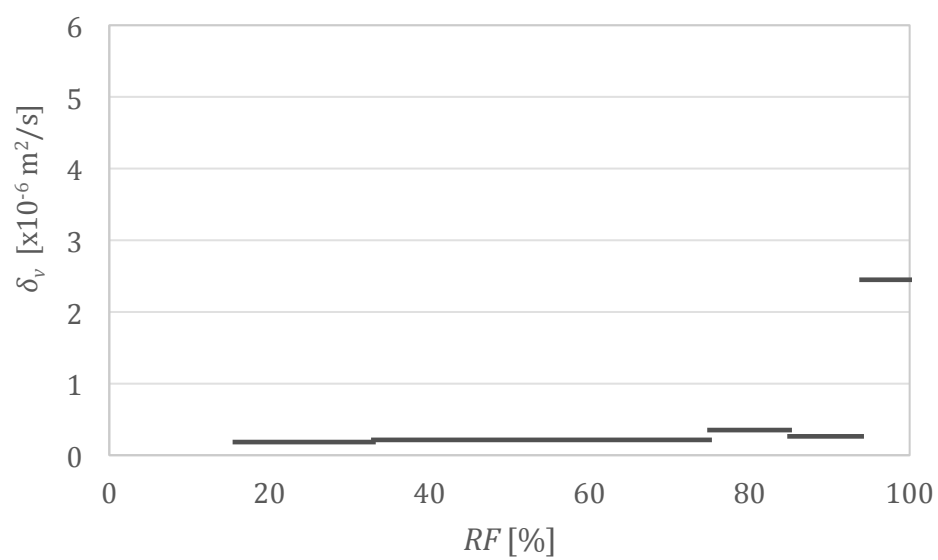
Figur 5.13j. Diffusionskoefficient skiva M5.



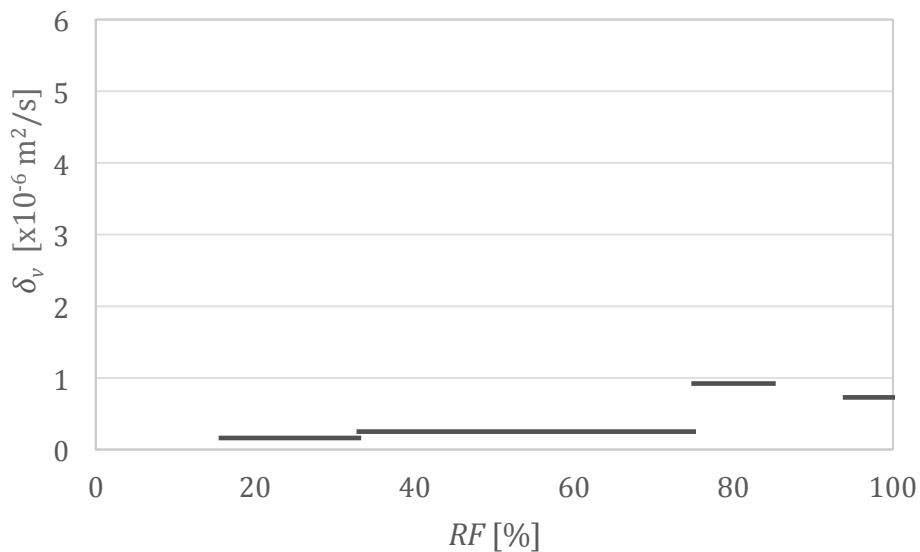
Figur 5.13k. Diffusionskoefficient skiva M6.



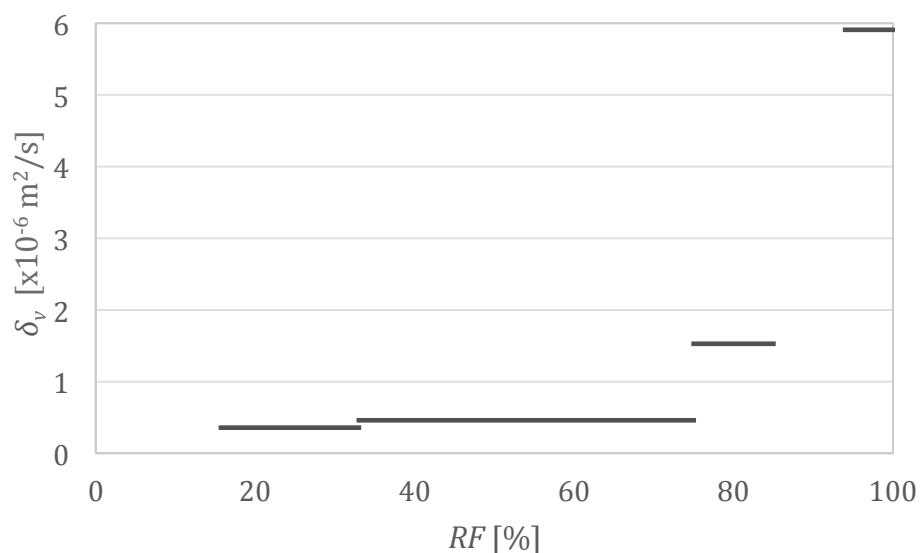
Figur 5.13l. Diffusionskoefficient skiva F.



Figur 5.13m. Diffusionskoefficient skiva O.



Figur 5.13n. Diffusionskoefficient skiva Q.



Figur 5.13o. Diffusionskoefficient skiva R.

Diffusionskoefficienten är för vissa skivor var nästan konstant i hela fuktområdet. En orsak till detta kan vara att provernas antagna jämviktsläge inte stämt överens med det verkliga. För vissa skivor ökar diffusionskoefficienten med fuktigheten.

Eftersom flerdimensionell fukttransport förelåg, p.g.a. att de skurna ytorna ej var försluta, se figur 4.3, bör diffusionskoefficienten sannolikt vara något lägre än vad som redovisas.

Diffusionskoefficienten är lägre i RF-intervallet mellan 85-94 än 75-85 det kan bero på olika felkällor så som: provernas placering i klimatboxen (nära/långt ifrån fläkten eller väldigt nära andra prover), avläsning i diagram vid beräkning, ostabilt klimat (d.v.s. varierande) i klimatboxen, vågens känslighet, vätska som runnit av vid vidröring av proverna.

5.4 Bestämning gråteffekt

Proverna från skiva C och D placerades i 100% RF och 20°C direkt efter leverans utan förbehandling i form av torkning. Proverna var av samma typ som skiva O respektive S men hade impregnerats med sex respektive tre olika typer av vätska. Redan efter ett dygn började vatten pärlas på ytan på de flesta proverna, se bild 5.1. Även större droppar kunde observeras.



Bild 5.1. Prover från skiva C som exponerats för 100% RF i ca ett dygn.

Droppar upptäcktes snabbt på ytan av proverna från skiva C och D. Under vägningen vidrördes proverna alltid på samma ställe för att förhindra att vattendroppar från ytan fastnade på handskarna eller rann av. Droppar på ytan av ett prov från skiva C observerades efter cirka fyra dygn. Vätskan var färglös.

Dropparna tyder på att vattnet lägger sig på ytan istället för att diffundera in i de impregnerade skivorna. Dropparna på ett prov från skiva D var till färgen brunaktiga.

Absorptionen tog olika lång tid för olika skivor. Proverna från skiva F var de som uppnådde jämvikt tidigast under absorptionsförsöket. Detta berodde förmodligen på att de bara var 8 mm tjocka men skivornas innehåll kan också spela roll. Proverna från skiva F tog både åt sig fukt snabbt och mycket. Vattendroppar på ytan av proverna observerades efter ett dygn i 100% RF efter flytt från uttorkning, 16% RF. En bild från ett gråtande prov efter fem dygn av skiva F visas i bild 5.2.



Bild 5.2. Ett gråtande prov från skiva F efter fem dygn i 100% RF.

Proverna som flyttades från uttorkning till 94% RF hade också droppar på ytan och var relativt blöta. Droppar observerades på dessa prover efter ett dygn. I 85% RF och 75% RF hade proverna till färgen blivit aningen mörkare vilket är ett tecken på att fukt upptagits. Dock syntes inga droppar på ytan. I RF 33% var proverna näst intill oförändrade till utseendet.

Efter ett dygn hade prover flyttade från uttorkning till 100% och 94% RF bildat så mycket vattendroppar på ytan att det börjat rinna av vätska till underliggande petriskål. Vätskan samlades i 20 ml ampuller. Det fanns för vissa prover bara enstaka droppar i petriskålarna men från skiva F var vätska möjlig att samla upp. Insamlad vätska från skiva F visas i bild 5.3.



Bild 5.3. Vätska som droppat från skiva F i RF 100% (ampullen till vänster) och RF 94% (ampullen till höger).

Efter ca fyra dygn hade små droppar bildats på ytan av ett prov av skiva M från uttorkning till 100% RF och 94%. Efter ca två veckor (13 dygn) hade prover som blivit flyttade från 33% RF till 100% RF bildat stora droppar på ytan, se dropparna inringade i bild 5.4.



Bild 5.4. Droppar efter ca två veckor i 100% RF från flytt från uttorkning, 16% RF, på en impregnerad skiva.

Man kan även se att proverna till höger i bild hade mörka fläckar på ytan vilket indikerar att materialet var blött. Det tyder på att vatten verkar ha sjunkit in i materialet istället för att ligga på ytan som droppar.

Dropparna som syntes på ytan av skivorna M var droppar som lade sig på impregneringen. Impregneringen har förmodligen förhindrat en del av fukten att tränga in i skivan.

Efter ca 3-4 veckor visade inget prov från skiva G, N, O, P, Q, R och S i klimatboxarna några tecken på vattenbildning på ytan. Inga färgskiftningar eller vattendroppar återfanns på proverna.

Prover av skiva E, flyttade från uttorkning, började efter ca sju dygn bilda vattendroppar på ytan i 100% RF. Efter nära fyra veckor var prover flyttade från 33% RF till 100% RF täckta av droppar och ca 12 dygn efter det hade vätskan på ytan torkat och blivit vit se bild 5.5.

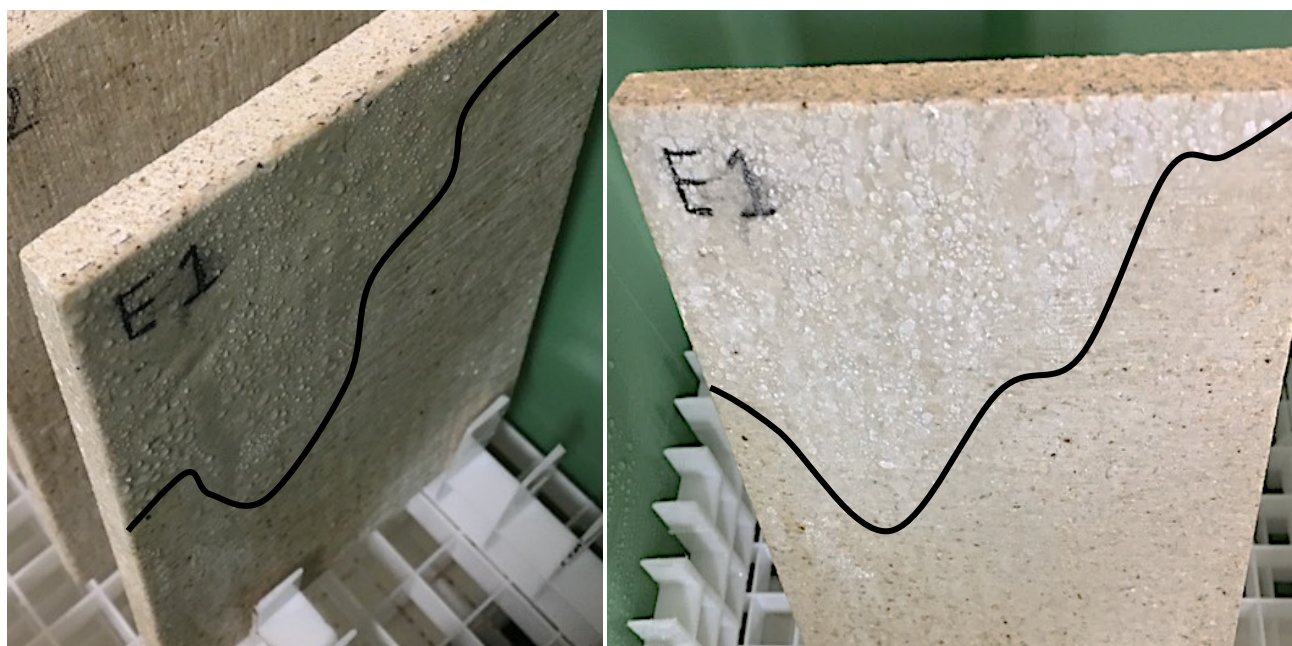


Bild 5.5. Droppar på ytan av ett prov från skiva E (ovanför svarta linjen) efter exponering i 100% RF under två veckor (vänster). Utfällning på ytan (ovanför svarta linjen) av samma prov efter exponering i 100% RF under fyra veckor (höger).

Den vita beläggningen som uppkommit på provet från skiva E är troligen utfällning från salt som funnits i skivan. I fuktområdena under 94% RF var skivorna till utseendet oförändrade och visade inga tecken på droppar på ytan.

Tabell 5.3 sammanfattar gråteffekten hos samtliga skivor.

Tabell 5.3. Gråteffekt i form av droppar i flyttade från uttorkning till klimaten 85, 94 och 100% efter antal dygn.

<i>Skiva</i>	Klimat [%]		
	85	94	100
	Tid [dygn]		
<i>E</i>	-	-	7
<i>F</i>	-	1	1
<i>G</i>	-	-	-
<i>N</i>	-	-	-
<i>O</i>	-	-	-
<i>P</i>	-	-	-
<i>Q</i>	-	-	-
<i>R</i>	-	-	-
<i>S</i>	-	-	-
<i>C</i>	-	-	1
<i>D</i>	-	-	2
<i>M</i>	-	4	4

Skivorna G, N, O, P, Q, R och S visade under de ca fyra veckor långa försöken inga tecken på droppar på ytan. De hade då ännu inte nått jämvikt i de olika klimaten.

5.5 Övergripande analys

Undersökningen ger inte stöd för rekommendationer kring användningen av magnesiumoxidskivorna. Resultaten kan däremot användas i beräkningar vid fuktsäkerhetsprojektering. Fuktegenskaperna hos skivorna kan inte bedömas som positiva eller negativa. Gråteffekten som kan uppträda under speciellt fuktiga förhållanden är inte positiv. Skivorna är därför olämpliga att användas i sådana förhållanden.

6 Slutsatser

Absorptionsisotermen och diffusionskoefficienten varierar mycket mellan olika skivor. Detta innebär att det går inte att betrakta magnesiumoxidskivorna som ett och samma byggnadsmaterial.

Resultaten från den här studien ger information om fuktegenskaper från 16% RF upp till 100% RF vilket är värdefullt vid fuktsäkerhetsprojektering och för skivornas framtida användningsområden.

Studien har visat att gråteffekten inte förekommer vid en relativ fuktighet 85% och lägre men vid 94% RF och över bildas vattendroppar på ytan. Vissa skivor har inte bildat några vattendroppar alls. Gråteffekten har varit påtagligare på impregnerade prover jämfört med prover som inte varit impregnerade.

Färgen på vätskan som runnit av från en av magnesiumoxidskivorna tyder på att vattnet med stor sannolikhet innehåller beståndsdelar från skivan. Detta visas också då torrvikten för den skivan minskat.

7 Framtida försök

För framtida försök kan man fortsätta försöken och ta fram desorptionsisotermen för alla skivor. För att inte störa fuktupptagningen av prover i en klimatbox kan det vara en fördel att inte placera ytterligare prover i ett klimat med redan pågående försök. Detta eftersom en del prover då reagerade avvikande på fuktupptagningen genom att minska i vikt (alltså avge fukt) för att sedan öka i vikt igen (uppta fukt).

Genom att utsätta skivor för endimensionell fukttransport kan man få ett mer noggrant resultat på diffusionskoefficienten. Detta kan göras genom att försluta snittytor. Vidare kan man fortsätta med långtidsförsök för observation av förekomst av vattendroppar på ytan av skivorna.

8 Referenser

1. Bunch-Nielsen, T., P.B. Larsen, and P. Svane, *Fugtsugende vindspærreplader*. 2015. p. 2.
2. Bunch-Nielsen, T., P.B. Larsen, and P. Svane, *MgO-plader - Undersøgelse af problemer med fugt og korrosion*. 2015.
3. Andersen, U., *Dyrt slagsmål om vindspærreplader på vej*. 2015.
4. Pehrsson, D. and A. Persson, *Fuktrörelser i oorganiska våtrums- och vindskyddsskivor*. 2013, Lunds Tekniska Högskola: Lund.
5. Brycke, E., R. Drotz, and S.C. Tengberg, *Sprickor i nyproducerade våtutrymmen*, Skanska, Editor. 2015.
6. Lundberg, F., *Byggskivor som gråter*, in *Husbyggaren*. 2016.
7. Nevander, L.E. and B. Elmarsson, *Fukthandbok : praktik och teori*. 2006, Stockholm: Svensk Byggtjänst.
8. Burström, P.G., *Byggnadsmaterial : uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2001, Lund: Studentlitteratur.
9. Nilsson, L.-O., *Fukt och Betong*, in *Betonghandbok, Material*, C. Ljungkrantz, G. Möller, and N. Petersons, Editors. 1994, Svensk Byggtjänst.
10. Sandin, K., *Praktisk byggnadsfysik*. 2010, Lund: Studentlitteratur.
11. Rothenberg, S., P. and J. Lawson, *Accurate Preparation of Solutions of Hygroscopic Salts: Mg²⁺ for High-Density Lipoprotein Cholesterol Assay*. *Clinical Chemistry*, 1979. **25**(4).
12. Sorel, S.T., *Sur un nouveau ciment magnésien*. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 1867. **65**: p. 102-104.
13. Herholdt, A.D., *Beton-bogen*. 1979, Aalborg: Aalborg Portland:.
14. Zhou, X. and Z. Li, *Light-weight wood–magnesium oxychloride cement composite building products made by extrusion*. *Construction and Building Materials*, 2012. **27**(1): p. 382-389.
15. Karimi, Y. and A. Monshi, *Effect of magnesium chloride concentrations on the properties of magnesium oxychloride cement for nano SiC composite purposes*. *Ceramics International*, 2011. **37**(7): p. 2405-2410.
16. Dehua, D. and Z. Chuanmei, *The formation mechanism of the hydrate phases in magnesium oxychloride cement I*. *Cement and Concrete Research*, 1999. **29**(9): p. 1365-1371.
17. Albertsson, J. and U. Erlandsson. *Magnesium, förekomst och framställning*. [cited 2016 26-04]; Available from: Nationalencyklopedin, magnesium. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/magnesium> (hämtad 2016-04-26).
18. Büchel, K.H., H.-H. Moretto, and P. Woditsch, *Industrial inorganic chemistry / [Elektronisk resurs]*. 2000, Weinheim: Wiley-VCH.

19. Codd, L.W., *Materials and technology : a systematic encyclopedia of the technology of materials used in industry and commerce, including foodstuffs and fuels. Vol. 1, Air, water, inorganic chemicals and nucleonics*. 1968, London.
20. Grevel, K.-D. and J. Majzlan, *Internally consistent thermodynamic data for magnesium sulfate hydrates*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2009. **73**(22): p. 6805-6815.
21. Maxim, L.D., R. Niebo, and E.E. McConnell, *Perlite toxicology and epidemiology – a review*. 2014: p. 259-270.
22. Greenspan, L., *Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions*. *Journal of research of the national bureau of standards*, 1977. **81**(1): p. 89-96.
23. Crank, J., *The mathematics of diffusion*. 1979, Oxford: Clarendon Press.
24. Anderberg, A. and L. Wadsö, *Moisture in Self-levelling Flooring Compounds. Part I. Water Vapour Diffusion Coefficients*. *Nordic Concrete Research (NCR)*, 2004(2/2004): p. 3-15.