

MAGNESIUMOXIDSKIVOR

Etapp I: Inledande studie med avseende på fukttekniska egenskaper, mätmetoder och risker

Magnus Åhs

Anders Sjöberg

MAGNESIUMOXIDSKIVOR

Etapp I: Inledande studie med avseende på fukttekniska egenskaper, mätmetoder och risker

Magnus Åhs

Anders Sjöberg

ISRN LUTVDG/TVBM—17/3184—SE (1-84)
ISSN0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska högskola
Avd Byggnadsmaterial
Box 118
221 00 Lund

Tel: 046 - 222 00 00

www.byggnadsmaterial.lth.se

Förord

Projektet initierades hösten 2015 av Anders Sjöberg, då anställd vid Sto Scandinavia AB, samt Lars-Olof Nilsson och Peter Johansson, båda vid avdelning Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Projektledare för projektet har varit Magnus Åhs, avdelning Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Magnus initierade och handledde examensarbetet "Fuktegenskaper hos magnesiumoxidskivor" där teknologerna Aleksandra Talevska och Omar Fakhro utförde laboriemätningar av materialegenskaper hos ett antal MgO-skivor.

Anders Sjöberg var projektledare för fältmätningarna och ansvarade för en mindre del av laboriemätningarna. Anders har även författat rapporten tillsammans med Magnus.

Projektet finansieras till lika delar av entreprenörer och materialleverantörer inom byggbranschen. Entreprenörernas del kommer från SBUF där NCC har varit det sökande företaget. Projektet har projektnummer 13185 på SBUFs hemsida. Sto Scandinavia AB, Zenergy AB, Wekla AB och Dragonboard LTD har tillsammans finansierat materialleverantörernas del av projektet. Vi vill rikta ett stort tack till dessa sex organisationer som har bidragit till att möjliggöra denna studie.

Ett tack riktas även till leverantörerna som ordnade så att projektet fick tillgång till två intressanta och relevanta fältobjekt att studera. Samt till de leverantörer som lämnade sina uppgifter om levererade mängder för 2009–2016. Vilket har möjliggjort en första preliminär och grov uppskattning av mängden MgO-skivor som monterats i svenska byggnader.

Avslutningsvis ett varmt tack till företag och organisationer som medverkade i projektets referensgrupp.

Materialleverantörer:

Claes Göran Claesson och Jon-Erik Bäcktröm, STO Scandinavia AB
Olle Magnusson och Robert Gurbin, Zenergy Aktiebolag
Staffan Wedekull, Wekla AB
Leif Thörnvall, Dragonboard Ltd

Entreprenörer:

Mats Sihvonen, NCC
Jens-Erik Jörgensen, Skanska
Jonas Averius, PEAB

Intresseorganisationer:

Ander Kumlin, Ordf. Byggdoktorerna.
Morten Hjorslev Hansen, Byg-ERFA DK.

November 2017

Lund

Magnus Åhs

Sammanfattning

För knappt tio år sedan introducerades ett nytt skivmaterial, magnesiumoxidskivor, i Sverige. Flertalet av skivorna, som också benämns MgO-skivor, hade genomgått provningar som vidimerade goda egenskaper med avseende på hållfasthet, brand, arbetsmiljö, miljöbelastning, mögeltålighet med flera. Dessutom uppgavs MgO-skivor vara oorganiska och kunde användas i fuktiga miljöer utan att ta skada.

Det visade sig några år efter introduktionen att vissa MgO-skivor kunde ha stora fuktrörelser och var därför inte lämpliga som underlag till kakel i våtrum. Efter ytterligare några år uppdagades det att vissa MgO-skivor som monterats som vindskyddsskivor i fasader kunde "gråta". Tårar uppstod i form av droppar som kunde rinna längs skivytan och fukta upp anslutande material. Samtidigt rapporterades det från Danmark att den salthaltiga tårvätskan orsakade korrosion på förzinkad plåt och elgalvaniserade infästningar vilket kunde innebära risker med att skivorna lossnade.

Huvudsyftet med projektet är att sammanställa kunskap om fukttekniska egenskaper hos MgO-skivor. Ett annat syfte är att beskriva vad MgO-skivor är tillverkade av. Dessutom beskriver rapporten ett sätt att analysera vätskan från en gråtande MgO-skiva och redovisar resultatet från en sådan analys. Rapporten föreslår fältmässiga metoder som kan bestämma kloridinnehåll i en MgO-skiva och en metod för att påvisa om anslutande trämaterial har påverkats av tårvätska. Två fältstudier av olika fasader med MgO-skivor har genomförts och resultatet från mätningarna presenteras i rapporten.

Kunskapen om fukttekniska egenskaper hos MgO-skivor har varit liten. Vare sig fuktbindnings-egenskaper eller fukttransportegenskaper var ordentligt undersökta och dokumenterade. Båda dessa egenskaper är viktiga för att exempelvis kunna genomföra en adekvat fuktsäkerhetsprojektering i ett nybyggnadsprojekt. Därför har dessa egenskaper undersökts och bestämts för de material som ingår i undersökningen och resultatet presenteras delvis i den här rapporten.

Bindemedlet i de undersökta MgO-skivor är huvudsakligen magnesiumoxid, 40-50 vikts-%, och ytterligare 25-35 vikts-% av antingen magnesiumklorid (MOC-skivor) eller magnesiumsulfat (MOS-skivor). Till detta kommer mindre mängder av både organiska delmaterial, som träpulver, och oorganiska delmaterial som perlit och glasfiber.

Både magnesiumklorid och magnesiumsulfat är hygroskopiska salter som binder fukt från luften. Speciellt är magnesiumklorid i sin rena form väldigt hygroskopiskt och tar upp stora mängder vatten vid en luftfuktighet av 33% RF och högre. Vid höga luftfuktigheter finns därför risk att vissa MgO-skivor tar upp så mycket vatten från luften att skivans porsystem mättas och tårvätska tränger ut från porerna och bildar droppar på ytan, skivan gråter. I den här undersökningen grät både MOC-skivor (en av fyra) och MOS-skivor (en av fem) då de utsattes för hög relativ fuktighet.

Avslutningsvis ges råd och rekommenderas metoder för att identifiera om MgO-skivan innehåller magnesiumklorid eller inte. Dessutom beskrivs hur fukttinnehållet hos MgO-skivor bör mätas med gravimetriska metoder samt förslag på högsta tillåtna fukttillstånd och råd för vad som bör beaktas med tanke på att skydda infästningar för korrosion.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
2	Syfte	2
3	Bakgrund	3
3.1	MgO-baserad cement.....	3
3.2	Historik i Sverige i korthet	3
3.3	Levererade mängder MgO	4
3.4	Centrala begrepp.....	5
3.4.1	Hygroskopisk	5
3.4.2	Delikvescens	5
3.4.3	Magnesiumoxid (MgO).....	5
3.4.4	Magnesiumklorid (MgCl ₂).....	5
3.4.5	Sorel cement	6
3.4.6	Magnesiumsulfat (MgSO ₄).....	6
3.4.7	Gråtande skivor	6
3.4.8	Tårvätska	6
3.4.9	Saltpåverkat virke.....	6
4	Kemiskt innehåll MgO-skiva och tårvätska	7
4.1	Magnesiumoxidskivor	7
4.1.1	Typ I, Magnesiumoxid-kloridskivor (MOC).....	7
4.1.2	Typ II, Magnesiumoxid-sulfatskivor (MOS)	7
4.2	Urval samt leverantörers deklARATION	8
4.3	Analys av tårvätska från MgO-skiva	10
4.3.1	Jämvikts-RF	10
4.3.2	Grundämnen	10
4.3.3	Joner	11
4.3.4	TOC- Organiskt kol.....	11
4.3.5	Resultat.....	11
4.4	Undersökning av MgO-skivors innehåll av klorid	12
4.4.1	Indikation av obundna klorider	12
4.4.2	Indikation på antingen magnesiumsulfat eller magnesiumklorid.....	13
4.4.3	Indikation på salter i saltlösning.....	14
5	Metoder för konditionering i saltklimatbox samt fuktmätning	15
5.1	Konditionering av provkroppar i saltklimatbox.....	15
5.2	Mätning av relativ fuktighet i provrör med MgO-skiva.....	16

5.3	Gravimetrisk mätning av fuktkvot på uttaget prov	17
5.4	Fuktkvotsmätning med resistiv fuktkvotsmätare.....	18
5.4.1	Fuktkvotsmätare med insticks-stift	18
5.4.2	Fuktkvotsmätare för ytkontaktmätning	18
5.4.3	Summering	19
5.5	Fuktmätning i trä i kontakt med MgO-skiva.....	19
6	Uppkomst av tårar	21
6.1	Uppkomst av tårvätska under vinterförhållanden	21
6.2	Uppkomst av tårvätska under varma och fuktiga förhållanden.....	21
6.3	Relativ fuktighet nära ytan av MgO-skiva (typ I)	22
6.4	Bestämning av kritisk RF för MgO-skiva (typ I) med klimatlåda.....	23
6.5	Bestämning av kritisk RF med provrör	24
6.6	Uppkomst av tårar - studie presenterad i examensarbete 2016	26
7	Fuktbindningsegenskaper MgO-skiva	27
7.1	Förstudie av jämviktsfuktkurva för MgO-skiva (typ I)	27
7.2	Studie av jämviktsfuktkurva - Examensarbete (2016).....	28
8	Fukttransportegenskaper MgO-skiva.....	29
8.1	Fukttransportegenskaper framtagna av examensarbete – 2016.....	29
9	Längdförändring av MgO-Skivor map fukt	31
9.1	Förstudie av längdändring MgO-skiva (typ I)	31
9.2	Examensarbete 2013.....	31
9.3	SBUF MgO våtrum	32
10	Mögelanalyser.....	35
10.1	Mögel på MgO-skiva.....	35
10.2	Mögel i glasbehållaren med gråtvätska	37
10.3	Mikroorganismer på trä som påverkats av saltlösning	38
11	Ytterväggskonstruktion I - Utfackningsvägg.....	39
11.1	Uttaga prover av MgO-skiva.....	39
11.2	Uttaga prover av trä	40
11.3	Loggning av fuktkvot	41
11.4	Loggning av temperatur och fuktighet i luftspalt.....	43
12	Ytterväggskonstruktion II - Sandwichelement	47
12.1	Uttaget prov av MgO-skiva.....	47
12.2	Loggning av temperatur och fuktighet.....	49

13	Trä som varit i kontakt med MgO-skiva	54
13.1	Träreglar i uteluftsventilerad palten	54
13.2	Träreglar i husets stomme.....	55
13.3	Insugning av saltlösning i trä och indikering av saltpåverkat trä	57
13.4	Kontrollerad metod för att exponera trä för saltlösning	57
13.5	Resultat saltpåverkan	59
13.6	Resultat för indikation med silvernitratlösning.....	60
14	Klimatets inverkan	63
14.1	Varaktighetsdiagram	63
14.2	Mild vinter 2014/2015.....	64
14.3	Inverkan av ånghalt	65
14.4	Medeltemperatur som indikator.....	66
15	Diskussion	69
15.1	Gråtande MgO-skivor (delikvescens)	69
15.2	Fasomvandling för magnesiumsulfat (MgSO ₄).....	70
15.3	Identifiering av MgO-skiva	70
15.4	Fuktegenskaper	71
15.5	Fuktmätning	71
15.6	Högsta tillåtna fukttillstånd	72
15.7	Saltpåverkad träregelstomme.....	72
15.8	Korrosion av infästningar	73
15.9	Utredning av fuktskador i fasader med MgO-skiva.....	74
15.10	Projektering/Riskbedömning av fasader med MgO-skiva.....	74
15.11	Åtgärder för konstruktioner med MgO-skiva	74
15.12	MgO-skivor på kallvind	75
15.13	Introduktion av nya material på marknaden.....	75
16	Råd och rekommendationer	77
16.1	Fuktmätning	77
16.2	Kontrollera gråteffekten.....	77
16.3	Risk för korrosion	77
16.4	Högsta tillåtna fukttillstånd för gråteffekt	77
17	Fortsatt forskning	79
17.1	Fuktegenskaper hos befintliga skivor	79
17.2	Utreda i detalj fenomenet som avgör när delikvescensen inträder.	79
17.3	Metodik för utredning av MgO-skivor.....	80

17.4	Metoder för att åtgärder fasader med MgO-skiva.....	80
17.5	Korrosion	81
17.6	Säkerställa att nya skivor inte får problem	81
18	Referenser.....	83

1 Introduktion

Byggsektorn strävar mot att använda bättre material och arbetsmetoder i syfte att öka produktiviteten, säkra kvaliteten och bygga miljöanpassat. Detta sammantaget minskar miljöpåverkan genom att bygga rätt från början och att öka beständigheten och livslängden hos den byggda miljön.

Strävan mot att använda bättre material har bland annat inneburit att traditionella byggskivor av trä och kartongklädd gips har ersatts med oorganiska byggskivor i miljöer där sannolikheten för höga fuktillstånd är hög. Exempel på sådana användningsområden är skivor i våtrum och vindskyddsskivor i fasader. Kraven på förbättrad beständighet (fuktsäkerhet) har inneburit att byggskivor baserade på fibercement och glasfiberinklädda gipsskivor har ersatt skivor av trä och kartongklädd gips. Dessa skivor är dyrare och anses ha nackdelar vid installation, exempelvis kapningsmetoder som är tidskrävande och ger hälsobelastande damm. Dessutom är cementbundna skivor tyngre vilket innebär en större arbetsbelastning som är att betrakta som ett arbetsmiljöproblem.

I syfte att förbättra montagesituationen utan att ge avkall på kraven rörande beständighet, kostnad, miljö och arbetsmiljö har byggnadssektorn undersökt alternativ till fibercementskivor och glasfiberinklädda gipsskivor. Skivor av magnesiumoxid sågs av många som ett bra alternativ. Dessa så kallade magnesiumoxidskivor består av magnesium- eller kalciumföreningar, exempelvis magnesiumoxid, magnesiumklorid, magnesiumsilikat, magnesiumsulfat och kalciumsilikat. Produkterna är vanligtvis tillverkade i Asien och sannolikt finns det fler material än de uppräknade. Materialen tillhandahålls i form av byggskivor eller som delar i ett sandwichelement, s.k. SIP (Structural Insulated Panels).

Under 2005 introducerades byggskivor som tillverkades av ca 50 % magnesiumoxid (MgO) på den nordamerikanska marknaden. Åren 2004 till 2006 byggdes ett litet antal villor med sandwichelement av PUR-isolering och MgO-skivor. 2008 introducerades MgO i form av byggskivor på den svenska marknaden. MgO-skivorna är ofta helt oorganiska men det förekommer att materialet har fibrer inblandat av organiskt ursprung, t.ex. träspån. Dessa skivor påstås ha mycket goda egenskaper avseende fukttålighet, miljö, arbetsmiljö, brand och mekanisk hållfasthet för att nämna några egenskaper. Dessutom har dessa skivor ett fördelaktigt pris och har lägre densitet än fibercementskivor och är därmed lättare att installera.

Under 2010 uppdagades det i Sverige att vissa MgO-skivor kan ha stora fuktrörelser och är därmed inte lämpliga som underlagsskiva i våtrum Pehrsson & Persson (2013), Brycke et al (2015).

Motsvarande begränsning hade redan gjorts av ICC Evaluation Service INC (2007) och Dincel & Associates (2015).

Vintern 2014/2015 kommer rapporter från bland annat Danmark att MgO-skivor inte är lämpliga i kontakt med utomhusklimat då de under vissa förhållanden kan fälla ut en vätska som korroderar infästningar. Motsvarande begränsning har då redan beskrivits i "Best Practices" av leverantören MagO (2015) samt av ICC Evaluation Service INC (2007). Skivorna benämns där som "Crying Boards".

Uppskattningsvis har mer än 1 miljon m² MgO-skivor och SIPs använts på den svenska marknaden. Ingen känd tillverkning äger rum i Sverige. Materialen har kommit till Sverige genom både materialleverantörer och byggföretag som i sin tur använt agenter eller direktimporterat materialet själva.

Det råder idag en akut brist på kunskap för att kunna hantera skadeutredningar och risker i konstruktioner med skivor eller isolerade sandwichelement, så kallade SIPs, baserade på MgO som beskrivs av BYG-ERFA (2015) och Rode (2017). Till exempel har det visat sig att fuktkvotsmätningar med insticksgivare ger missvisande resultat när de används på områden på träregelstommar som missfärgats av vätskan som utsöndrats av MgO-skivor. Vid gravimetrisk bestämning av fuktnivån i det missfärgade träet kan ofta ingen mätbar förhöjning urskiljas. Sannolikt är missvisningen en följd av avsättningar från den utsöndrade vätskan från MgO-skivan som vid mättillfället kan ha torkat upp.

2 Syfte

Syftet med projektet har varit att sammanställa befintlig kunskap om MgO-skivornas fukttekniska funktion och konsekvenser som kan uppstå till följd av höga fukttillstånd.

Genom att undersöka och beskriva hur MgO-skivor uppför sig i höga fuktnivåer läggs grunden till den kunskapsnivå som behövs för att inledningsvis kunna hantera frågor, utredningar och eventuella åtgärder av de skivor som nu finns monterade i våra byggnader.

Undersökningar av MgO-skivornas fuktegenskaper och fuktförlopp i fasader ger en ökad förståelse om förutsättningarna som kan leda till att MgO-skivor gråter. Mätningarna utgör ingångsdata till modeller, ingenjörsmässiga verktyg och rekommendationer för att hantera risker. Med kunskap om högsta tillåtna fukttillstånd hos olika typer av MgO-skivor kan korrekta insatser genomföras samtidigt som kostnader för felaktiga åtgärder minskas eller i bästa fall undviks helt.

Med ovanstående modell kan riskerna bedömas utifrån det geografiska klimatet. Därmed kan kostnader begränsas och arbetet börja inom rätt geografiska områden.

Projektets resultat kan direkt användas av byggföretag som använt MgO-skivan i sin verksamhet, fuktsakkunniga och fuktskadeutredare med uppdrag att bedöma fukttillstånd och risker eller föreslå åtgärder för konstruktioner med MgO-skiva.

Resultaten är även värdefulla för förvaltare och ägare till byggnader med MgO-skivor monterade i våtrum eller fasader, branschorganisationer och forskningsinstitut som bedömer och godkänner byggprodukter samt av leverantörer av MgO-skivor.

3 Bakgrund

3.1 MgO-baserad cement

Magnesiumoxidskivor har ett bindemedel som består av sorel cement som baseras på den alkaliska jordmetallen magnesiumoxid (MgO). Ett annat cement, som baseras på en alkalisk jordartsmetall, är portlandcement som baseras på kalciumoxid (CaO).

Kunskapssammanställningar på internet, såsom de av Swanson (hbelc.org) och (tececo.com), gör gällande att Portland cement upptäcktes 1824 av engelsmannen Joseph Aspdin och därefter upptäcktes även sorel cementet i väst. Först upptäcktes sorel cementet baserat på Magnesium oxy chlorides av Stanislaus Sorel år 1867. Därefter upptäcktes sorel cementet baserat på Magnesium oxy sulfates av Olmer och Delyon 1934.

Olika typer av cement baserat på magnesiumoxid har historiskt sett använts i Tyskland, Frankrike, Mexiko och Latinamerika, Schweiz, Indien, Kina och Nya Zeeland, bland andra länder. Även den kinesiska muren och många av stuporna i Indien uppfördes med sorel cement för snart 2000 år sedan och står fortfarande kvar idag. De är alla byggda med magnesiumbaserad cement. Forna europeiska hantverkare använde en trästomme vid konstruktion av bostäder. De fyllde trästommen med magnesiumoxidblandning för att bygga murar och många av dessa 800 år gamla byggnadsverk/murar är fortfarande i bruk.

I Tyskland övergavs denna månghundraåriga teknik av hantverkarna efter andra världskriget när cementföretagen expanderade för att snabbt bygga upp Europa igen.

Fram till början av 1930-talet var nästan alla "terrazzo"-golv i USA tillverkade med magnesiumoxid eller magnesiumoxiklorid. Marknadsföringen av billigare och användarvänligare alternativ gjorde att portlandcement tog över marknaden i en tid då energi var billigt och koldioxid inte var något problem.

Både magnesium (Mg) och Calcium (Ca) tillhör gruppen alkaliska jordmetaller och har två (velens)elektroner i det yttersta elektronskalet. De har därför en rad gemensamma egenskaper, som exempelvis att de oxiderar i närvaro av syre, dvs slår sig ihop med en syreatom eftersom den saknar två elektroner i det yttersta elektronskalet, och bildar föreningarna MgO respektive CaO.

I en granskning av ca 400 publikationer visar Walling och Provis (2016) att sorel cement har en komplex men väl undersökt och dokumenterad kemi som till viss del är besläktad med kemin hos portlandcement.

3.2 Historik i Sverige i korthet

De första dokumenterade uppgifterna från Sverige är några provningsprotokoll från hösten 2007 och våren 2008, där MgO-skivor funnits klara de utförda undersökningarna utan anmärkning.

Ett stort antal aktörer ägnar sig åt att importera och sälja MgO-skivor. Det fanns i storleksordningen 30-40 aktörer under denna period. Däribland flera av byggbranschens mest välkända varumärken.

Under 2011 uppmärksammades ett antal skador i våtrum, där kaklet spruckit efter att det monterats på MgO-skivor. I examensarbetet av Pehrsson & Persson (2013) undersöks därför ett antal våtrumsskivor.

Antalet aktörer minskar varefter sprickor i kaklet kopplas samman med användandet av MgO-skivor. De mest välkända varumärkena drar sig ur marknaden med MgO-skivor. Flera av de kvarvarande aktörerna börjar arbeta med tåligare MgO-skivor (Typ II).

Hösten 2014 upptäcks de första MgO-skivorna som "gråter" i Sverige. Det uppstår droppar av salt vätska på skivans yta. Under våren 2015 kommer rapporter om gråtande fasader i Danmark.

Från våren 2015 och framåt har det i stor utsträckning handlat om informationsinsatser i samhället för att medvetandegöra risker förknippade med MgO-skivor. De viktigaste händelserna i norden är:

2015-03-09 publicerar Danska BygTek.dk en artikel om "Vindtäta plattor suger vatten".

2015-04-15 håller den danska ingenjörsföreningen IDA en konferens och informerar om riskerna med MgO-skivor i fasader.

2015-05-05 utger den danska byggskadefonden Byg-erfa ett skadeblad om MgO-skivor i fasader. "ADVARSELSBLAD (21) 150505 Fugtsugende vindspærreplader".

2015-08-17 Villaägarnas riksförbund publicerar den första artikeln om MgO-skivor i Sverige "Byggskivor med magnesiumoxid tål inte fukt". Därefter följer övriga media med under en period.

2015-11-23 Brycke et al (2015) publicerar SBUF-rapporten "Sprickor i nyproducerade våtutrymmen – ett branschproblem?", där 6 av 7 skadade våtutrymmen som undersöks är byggda med MgO-skiva.

2016-08-22 Hansen et al publicerar "Magnesium-oxide boards cause moisture damage inside facades in new danish buildings" vid en internationell RILEM Conference i Danmark.

2016 publicerar Talevska & Omar (2016) sitt examensarbete vid LTH om "Fuktegenskaper hos magnesiumoxidskivor".

2017-06-11 Rode et al publicerar "Moisture damage with magnesium oxide boards in Danish facade Structures" vid ett internationellt symposium, NSB2017 i Norge.

3.3 Levererade mängder MgO

Denna studie har samlat in uppgifter om årlig försäljning av MgO-skivor i Sverige från några av de aktörer som har haft en sådan verksamhet det senaste decenniet. Uppgifterna har lämnats till projektet i utbyte mot en sekretessförbindelse, som något förenklat innebär att uppgifterna bara får publiceras i sådan form att de enskilda aktörernas bidrag inte går att urskilja och inte får lämnas ut till tredje part inom eller utom LTH.

Sammanställningen av de levererade mängderna i nedanstående tabell bygger på två antaganden, varav det första antagandet är att den genomsnittliga försäljningen, per år, för de aktörer som levererat in uppgifter till projektet är representativ för samtliga aktörer som verkat på marknaden respektive år. Det andra antagandet är att antalet aktörer på marknaden följer beskrivningen i föregående avsnitt.

Bedömningsvis har bara en bråkdel av den försäljning av MgO-skivor som skett i Sverige rapporterats in till detta projekt. Underlaget är inte tillräckligt omfattande för att resultatet skall uppfattas som en vetenskapligt grundad sammanställning. Nedanstående tabell skall ses som den bästa uppskattning som kan göras i nuläget.

Tabell 1 Uppskattat tusental (T) m² MgO-skiva levererad i Sverige under perioden 2009-2016.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Tot
<i>T m²</i>	5	10	50	100	150	250	200	150	915
<i>Mörk</i>	0	5	20	100	150	250	200	100	825
Tot/år	5	15	70	200	300	500	400	250	1 740

”Mörk” anger ett uppskattat mörkertal som författaren (AS) inte kan överskåda. Sannolikt innefattar detta mörkertal direktimport utförd av användare och andra parter som är okända för författarna.

3.4 Centrala begrepp

Det förekommer ett antal begrepp i rapporten som är centrala för förståelsen av innehållet i rapporten. De flesta av nedanstående begrepp är troligtvis redan kända för merparten av läsarna medan några begrepp sannolikt är helt nya för flertalet av läsarna.

3.4.1 Hygroskopisk

Hygroskopiska material kan ta upp och avge vattenmolekyler från/till omgivningen. Ofta sker detta genom ett utbyte av fukt i omgivande luft. Utbyte av fukt kan även ske genom exempelvis kapillär sugning, sublimering etc. Hygroskopiska material kan hålla kvar det upptagna vattnet inne i sin struktur. Ofta sker detta i materialets porer.

3.4.2 Delikvescens

MgO-skivorna bildar tårar och gråter på grund av fenomenet som heter delikvescens. Det innebär att en fast vattenlöslig substans tar upp vatten och bildar en mättad lösning på sin yta, varvid substansen flyter sönder (delikvescerar). Delikvescerar (av latin deliquescere, "flyta sönder") är när hygroskopiska ämnen med en stark förmåga att ta upp och binda stora mängder vatten från omgivningen och sedan flyter sönder. Material som uppvisar denna egenskap binder fukt på liknande sätt som hygroskopiska material upp till en jämviktsfuktnivå. Över jämviktsnivån börjar dessa material lösas upp och flyta sönder i det upptagna vattnet. Vanligt koksalt (NaCl) är ett sådant material som löses upp och flyter sönder (till en saltlösning) vid ca 75 % RF i luften ovanför ytan.

När det gäller MgO-skivor så är det troligtvis inte själva skivan som flyter sönder, utan snarare salter som finns lagrade inne i skivans porsystem som suger åt sig fukt från luften och går i lösning. Det bildas då en mättad saltlösning som sannolikt först fyller hela porsystemet i skivan och när skivan är mättad av fukt så tränger vätskan ut ur porerna och bildar droppar (tårar) på skivans yta.

3.4.3 Magnesiumoxid (MgO)

Magnesiumoxid är ett naturligt förekommande material med hygroskopiska egenskaper.

3.4.4 Magnesiumklorid (MgCl₂)

Magnesiumklorid är ett naturligt förekommande salt som exempelvis kan utvinnas ur gamla havsbottnar. Magnesiumklorid är lösligt i vatten och tar upp stora mängder fukt ur luften vid fuktnivåer över ca 33 % RF. Magnesiumklorid är både hygroskopiskt och delikvescerar redan vid en låg luftfuktighet (över 33 % RF).

3.4.5 Sorelcement

Sorelcement är ett samlingsnamn på bindemedel som baseras på magnesiumoxid, ofta i förening med magnesiumklorid eller magnesiumsulfat. Sorelcement har en tusenårig historia i bland annat Asien. De moderna recepten utvecklades för nästan 100 år sedan.

3.4.6 Magnesiumsulfat ($MgSO_4$)

Magnesiumsulfat, $MgSO_4$, är ett oorganiskt salt innehållande magnesium och sulfater (svavel och syre) som är lösligt i vatten. Vattenfritt magnesiumsulfat är hygroskopiskt och används som torkmedel för att avlägsna vatten från kemikalier som används i experiment. Magnesiumsulfat är både hygroskopiskt och delikvescerar vid en hög luftfuktighet (över 93 % RF).

3.4.7 Gråtande skivor

Gråtande skivor (crying board) är en benämning på de byggskivor av MgO som kan bilda tårar.

3.4.8 Tårvätska

Tårvätska (tårar) är en saltlösning som bildas på ytan av gråtande MgO-skivor då de utsätts för hög luftfuktighet under tillräckligt lång tid. Tårvätskan uppstår som droppar (tårar) på materialets yta och är resultatet av att materialet binder fukt även efter att porerna i det är fyllda. När processen fortgår bildas så småningom rinningar, rinningsmärken, missfärgningar och pölar.

3.4.9 Saltpåverkat virke

Trävirke i kontakt med fuktiga MgO-skivor kan påverkas genom att tårvätskan sugas in i träet. Ofta uppstår tydligt avgränsade områden med väl synlig missfärgning. Saltpåverkan är ofta ytlig, några få millimeter, då träets fibrer är hela. Vid virkets ändträ, kvistar och spikhål etc kan tårvätskan tränga in och påverka träet djupare, flera centimeter.

4 Kemiskt innehåll MgO-skiva och tårvätska

4.1 Magnesiumoxidskivor

Magnesiumoxidskivor är ett samlingsnamn för en grupp oorganiska byggsivor med ett bindemedel som består av magnesiumoxid och ytterligare en magnesiumförening. Skivorna har normalt en bindemedelshalt runt 80 % och till vanliga fyllnadsmedel tillhör kalciumkarbonat, perlit och träpulver i olika fraktioner med flera.

Alla MgO-skivor är förstärkta med glasfiber och ett antal anger att denna förstärkning är i form av ett glasfibernet i ytan. Träfibrer i olika sorteringsgrader är ett kostnadseffektivt fyllmedel med uppgift att öka flexibiliteten hos skivan.

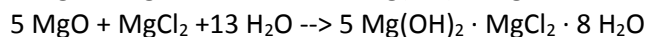
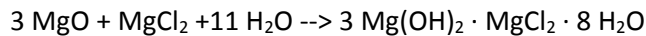
Det har i huvudsak förekommit två typer av MgO-skivor inom den svenska byggindustrin. De första skivorna som introducerades i Sverige, runt 2008, hade ett bindemedel som i engelsk litteratur benämns Magnesium Oxychlorid (MOC).

Senare har MgO-skivor med bindemedlet Magnesium Oxysulfate (MOS) introducerats. Dessa skivor uppvisar bättre och stabilare egenskaper och utgör nu uppskattningsvis huvudparten av de produkter som importeras till Sverige.

4.1.1 Typ I, Magnesiumoxid-kloridskivor (MOC)

Den första typen av Magnesiumskivor (typ I) som användes i Sverige hade ett bindemedel som främst består av magnesiumoxid (MgO) och magnesiumklorid (MgCl₂). Detta bildar ett så kallat SorelceMENT och är ett traditionellt icke-hydrauliskt bindemedel med delikvescenta egenskaper, det vill säga att det tar upp vatten från omgivningen (i hög grad) som det löser sig i och flyter sönder, delikvescerar.

Nedan anges två olika reaktionsformler för Magnesium Oxychlorid (MOC) cement.

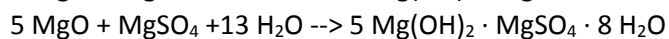
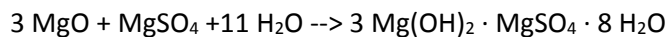


I denna studie tillhör följande skivor typ I: F, N, O samt C, M

4.1.2 Typ II, Magnesiumoxid-sulfatskivor (MOS)

Den nyare typen av Magnesiumskivor (typ II) som nu i huvudsak importeras till Sverige innehåller ett bindemedel som främst består av magnesiumoxid (MgO) och magnesiumsulfat (MgSO₄). Denna förening är stabil i högre grad än ovanstående sorelceMENT, Chengyou et al (2016).

Nedan anges två olika reaktionsformler för Magnesium Oxysulfate (MOS) cement.



I denna studie tillhör följande skivor typ II: E, G, P, R, S samt D

Tabell 2 Egenskaper för föreningar av magnesium som ingår i MgO-skivor.

IUPAC name	Magnesiumoxid	Magnesiumklorid	Magnesiumsulfat
Chemical formula	MgO	MgCl ₂	MgSO ₄
Molmassa	40,3044 g/mol	95.211 g/mol	120.366 g/mol
pH (vattenlösning)	10,3	6	6
Hygroskopiskt	Ja	Ja	Ja
Delikvoscens	Nej	33 % RF	93 % RF
Löslighet i vatten	9mg / 100 mL (20°C). Löses som Mg(OH) ₂ .	52,9 g/100 mL (0 °C) 54,3 g/100 mL (20 C) 72,6 g/100 mL (100°C)	26,9 g/100 mL (0 °C) 35,1 g/100 mL (20 °C) 50,2 g/100 mL (100 °C)
Densitet	3,58 g/cm ³	2,32 g/cm ³	2,66 g/cm ³
Påverkan på korrosion		Stor påverkan, mycket korrosivt som koncentrerad lösning	Korrosivt

4.2 Urval samt leverantörens deklARATION

Skivorna som använts i denna studie har sänts till LTH av respektive leverantör, förutom i de försök då det anges att skivorna kommer från ett fältobjekt/fasad

De leverantörer som ingår i studien har själva gjort urvalet bland sina produkter. Skivorna har i de flesta fall delats i mindre delar och sänts till LTH med normal postgång eller paketfrakt. I några fall har skivorna överlämnats i samband med besök, projektmöten etc.

Det finns därmed ingen garanti för att alla skivor som ingår i denna studie har sålts på den svenska marknaden, och därmed monterats i byggnader. Det har alltså stått leverantörerna fritt att sända in "sina bästa skivor" att medverka i projektet, om de så velat.

I Tabell 3 tabell har skivornas innehåll i vikt % sammanställts såsom leverantörerna har deklarerat dem. Notera att några leverantörer väljer att deklarerat innehåll av vatten samt viktandelen för glasfibernet, medan andra leverantörer väljer att inte ta med dessa uppgifter.

Behandlingen av de impregnerade MgO-skivorna har utförts av respektive företag i Sverige, innan de levererades till LTH. Projektet har därefter inte samlat in några uppgifter om impregneringsmetoder och impregneringsmedel som användes. Informationen finns bara hos de som utförde behandlingen.

Tabell 3 Innehåll i samtliga MgO-skivor som ingår i studien. Leverantörernas deklARATIONER.

MgO-skiva	E, G	F	N, O	P	Q	R	S
Impregnerad MgO-skiva			C, M				D
Magnesiumoxid (MgO)	36,73	52,63	52 – 55	37 – 41	43	52 – 55	43 – 49
Magnesiumklorid (MgCl ₂)		27,85	25 – 30		27		
Magnesiumsulfat (MgSO ₄)	22,95			26 – 28		30 – 34	27 – 33
Kalciumkarbonat (CaCO ₃)		5,93	5,5 – 6,0			2,5 – 3	
Perlit		5,5	5,5 – 6,5	5 – 8	4,5	2,5 – 3,5	
Träpulver/Träfiber/Sågspån	6,06	3,1	3 – 3,5	5 – 14	5	2,5 – 3,5	2 – 5
Glasfibernät					5 – 8	2,5 – 3,5	
Glasfiber	1,16	1,32	1 – 1,5	1		1 – 1,5	3 – 4
Non-woven fabrics				1			
Vatten	22,95			10	18		
Kiseldioxid (SiO ₂)	9,18				0,5		5 – 9
Expanderad polystyren						2 – 2,5	2 – 6
Fosforsyra (H ₃ PO ₄)						0,8-1,05	0,8-1,05
Järnsulfat (FeSO ₄)		0,52	0,45-0,6				
Natriumhydroxid (NaOH)		0,64	0,3 – 0,5				
Fosfat (PO ₄)		1,03					
Benlim		0,83					
Rosin		0,39					
Luftporbildare				4			
Härtningsmedel				2			
Talk (Mg ₃ H ₂ (SiO ₃) ₄)					2		
Övrigt innehåll	0,27						1 – 1,5

Övrigt innehåll = ospecificerat fyllmedel / hemlig komponent

4.3 Analys av tårvätska från MgO-skiva

Vätskan (tårvätskan), som rinner av MgO-skivor som uppvisar gråter, antas innehålla salter och andra ämnen, som kan sugas in i och påverka exempelvis en byggnads träregelstomme och infästningar. I denna undersökning identifieras en rad av de ämnen som finns i tårvätskan från en MgO-skiva.

MgO-skiva F uppvisade en tydlig gråteffekt och från denna skiva samlades det upp tårvätska i två glasampuller, se Figur 1. Uppsamlingen skedde vid avdelningen för Byggnadsmaterial, LTH och därefter analyserades vätskan med mätutrustning på olika avdelningar inom Lunds Universitet.



Figur 1 Två ampuller med uppsamlad vätska från MgO-skivor.

4.3.1 Jämvikts-RF

Första försöket avsåg att mäta upp den Relativa luftfuktigheten (RF) som ställer in sig ovanför vätskans yta. Det är känt att mättade saltlösningar kan ha ett stabilt jämvikts-RF som enkelt mäts med RF-givare. Detta fenomen används exempelvis för kalibrering av kapacitiva RF-givare.

En del av tårvätskan hölls över i ett provrör, varefter en kalibrerad RF sensor, Vaisala HMP44, monterades i en gummikork som lock på provröret. Mätningen skedde vid avdelningen för Byggnadsmaterial, LTH.

Då mätvärdet hos RF-sensorn stabiliserats efter någon timme visade det på 91 % RF i luften ovanför tårvätskan.

Med rent vatten skulle motsvarande värde bli 100 % RF, vilket rimligtvis innebär att den uppsamlade tårvätskan innehåller någon beståndsdel som sänker RF i luften ovanför vätskeytan. Sannolikt har beståndsdelens lakats ur MgO-skivan i samband med att tårvätskan runnit av skivan.

Det är känt att en mättad lösning med magnesiumklorid genererar en relativ fuktighet av 33 % RF, vilket tyder på att tårvätskan antingen kan vara en ofullständigt mättad lösning av $MgCl_2$ eller att flera ämnen i lösningen påverkar jämvikten med RF i luften ovanför ytan.

4.3.2 Grundämnen

Vätskans innehåll av grundämnen har analyserats vid Biologiska institutionen avd. Biodiversitet vid Lunds Universitet. Först centrifugerades ampullen, vilket innebär att sediment/fasta partiklar avskiljs

från lösningen. Därefter togs prover från den kvarvarande vätskan för analys med tre olika instrument.

För analys av grundämnen användes en "flam"-metod där provet hettas upp till ca 10 000 grader i en kammare. Detta leder till att alla atomer exciteras (atomens elektroner flyttar upp från sitt vanliga skal till ett högre skal). När atomerna därefter kyls och elektronerna flyttas tillbaka till sitt stabila läge emitteras ljus av en speciell våglängd som detekteras. Varje grundämne, atom, har en särskild våglängd som kan identifieras och grundämnena bestämmas.

Instrumentet som användes var en "ICP-OES" (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission spectroscopy), Optima 8300 från Perkin Elmer.

Resultatet från denna analys (Ca, Fe, Mg, Na, P, S och Cl) redovisas nedan i avsnitt 4.3.5

4.3.3 Joner

För analys av jonerna sulfat (SO_4) och fosfat (PO_4) användes en metod benämnd jonkromatografi. Provet injiceras i instrumentet och jonerna binds till sidorna i en kolonn. Därefter tillsätts en elueringsbuffert, som får jonerna att vandra genom kolonnen och separeras storleksmässigt.

Instrumentet som användes var en "861 Advanced Compact IC" från Metrohm.

Resultatet från denna analys (SO_4 och PO_4) redovisas nedan i avsnitt 4.3.5

4.3.4 TOC- Organiskt kol

För analys av det totala organiska kolinnehållet, total organic carbon, (TOC) användes Thermal decomposition method. Det är en metod där provet hettas upp i 720 grader och det organiska kolet oxideras till CO_2 . Därefter kyls provet ner och analyseras med chemiluminescence-metoden.

Instrumentet som användes var en "TOC-VCPH", från Shimadzu.

Resultatet från denna analys (TC) redovisas nedan i avsnitt 4.3.5.

4.3.5 Resultat

Resultatet från ovanstående analyser av tårvätskan visar att saltlösningen innehåller flera olika grundämnen, samt den uppmätta koncentrationen av dessa grundämnen. De grundämnen som identifierats är kalcium (Ca), järn (Fe), magnesium (Mg), natrium (Na), fosfor (P), svavel (S), klor (Cl) och kol, (C), betecknat med TC (total kol). Svavel är bundet som sulfat (SO_4) och fosfor är bundet som fosfat (PO_4). Se tabellen för uppmätta koncentrationer.

Tabell 4 Analysresultat från vätska som runnit från skiva F.

	Ca	Fe	Mg	Na	P	S	Cl	SO4-S	PO4-P	TC
g/liter	0,30798	1,4E-05	20,5257	4,15261	0,08561	1,859	56,52	1,533	0,01631	1,611
%-andel	0,36%	0,00%	23,70%	4,79%	0,10%	2,15%	65,26%	1,77%	0,02%	1,86%
Molmassa	40,078	55,845	24,305	22,9898	30,9738	32,065	35,453	96,0626	94,9714	12,0107
Mol/liter	0,00768	2,5E-07	0,8445	0,18063	0,00276	0,05798	1,59422	0,01596	0,00017	0,13413
%-andel	0,27%	0,00%	29,76%	6,36%	0,10%	2,04%	56,17%	0,56%	0,01%	4,73%

Notera att sammanlagda andelen av Mg och Cl utgör ca 86 % och att det finns nästan precis dubbelt så många mol Cl som Mg, vilket är en stark indikation på att MgCl_2 är den dominerande källan till ämnena i tårvätskan.

Andelen S och SO_4 är sammanlagt ca 2,6 %, vilket är mycket lågt i förhållande till de dominerande ämnena Mg (29,76 %) och Cl (56,17 %). Detta tyder på att sorelimentet inte delikvescerar i sin helhet. Utan att det i stort sett bara MgCl_2 som löses upp och lakas ur den studerade skivan.

4.4 Undersökning av MgO-skivors innehåll av klorid

Denna undersökning syftade till att undersöka och värdera några olika metoder för att bestämma innehållet av klorider i en byggskiva. Metoderna som studerats är sådana att de kan användas både vid provtagning i fält och vid rena labbstudier av material.

4.4.1 Indikation av obundna klorider

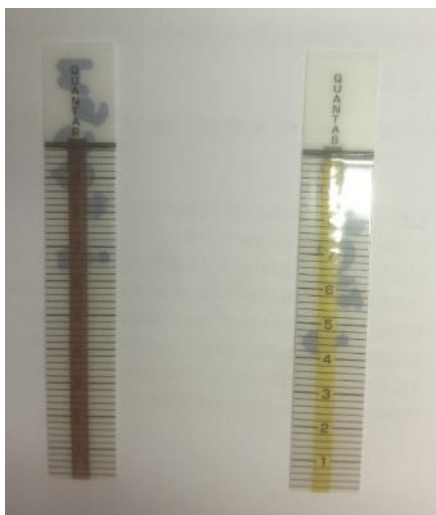
I det första försöket studerades en metod att använda kloridstickan Quantab, av företaget Hach, Titrators for Chloride, High range 300-6000 ppm Cl. Kloridstickor finns i flera olika utföranden för att bestämma kloridkoncentrationen för en given saltlösning. Dessa kloridstickor reagerar enbart på kloridförekomst.

En förutsättning för att indikera klorider med denna metod är att kloriderna i materialet inte är fast bundna till materialets struktur. En annan förutsättning är att materialet måste blötas upp i en vätska.

Provbitar från MgO-skiva krossades och lades i ett provrör, som därefter fylldes med destillerat/avjoniserat vatten till en nivå som täckte materialprovet

Då de fria obundna kloriderna gått i lösning och hamnat i vätskefasen (vattnet) stoppas en kloridsticka i vätskan enligt anvisningarna på förpackningen och resultatet kunde avläsas inom några minuter. Indikatorns remsa är från början röd och vid förekomst av fria klorider i den provade lösningen ändrar den färg till gul.

I Figur 2 och Figur 3 visas kloridstickor som använts för att testa förekomsten av fria klorider i olika lösningar.



Figur 2 Kloridsticka provad i MgSO_4 -lösning (till vänster) samt MgCl_2 lösning (till höger)



Figur 3 Kloridsticka provad i vätska med krossad MgO-skiva E, Q och R.

I Figur 2 jämförs utslaget från provning av lösning med vatten och $MgSO_4$ till vänster och med vatten och $MgCl_2$ till höger. $MgSO_4$ i vattenlösning innehåller inga fria klorider (Cl) och stickan behåller därmed sin ursprungliga färg (röd/rostbrun). Stickan till höger indikerar förekomsten av fria klorider i vattenlösningen med $MgCl_2$, genom färgomslag till gult.

I Figur 3 visas stickans utslag för vattenlösning med krossat material av tre olika MgO-skivor. Stickan till vänster i Figur 3 visar på att lösningen med skiva E inte innehåller några klorider, medan lösningen från MgO-skivorna Q och R innehåller klorider. Skiva R innehåller enligt leverantören inte klorider, men det kan vara så att kloriderna som indikerats kan komma från blandningsvattnet i tillverkningsprocessen av MgO-skivan.

Resultatet antyder att den här metoden är en möjlig första indikation för att se om det finns ett överskott på klorider i en MgO-skiva. Om kloriderna sitter fast bundna till materialstrukturen så räcker det sannolikt inte att använda den här metoden.

4.4.2 Indikation på antingen magnesiumsulfat eller magnesiumklorid

Förekomst av klorider och sulfater kan indikeras med silvernitratlösning, ($AgNO_3$). Om silvernitratlösning hålls i en lösning där klorider förekommer bildas en utfällning som består av silverklorid ($AgCl_2$) och förekommer det sulfater bildas en utfällning av silversulfat ($AgSO_4$). Båda utfällningarna har snarlikt utseende och går inte att särskilja med blotta ögat.

I detta försök krossades olika MgO-skivor till ett pulver på ett stabilt underlag med en slägghammare, se Figur 4. Pulvret hälldes därefter i ett provrör med destillerat vatten, se Figur 5.



Figur 4 Slägghammare och delvis sönderdelad MgO-skiva.



Figur 5 Provrör med krossad MgO-skiva och vatten.

Då de fria kloriderna och sulfaterna gått i lösning med vattnet filtrerades pulvret bort och den ofärgade vätskan samlades i ett provrör. I vätskan i provröret hälldes en liten mängd silvernitratlösning varvid en vitaktig utfällning omedelbart bildades i provröret, se Figur 6

Den vita utfällningen i Figur 6 är antingen silversulfat eller silverklorid och därmed en indikation på att det finns antingen klorid eller sulfat i lösningen, eller möjligen båda.



Figur 6 Provrör med vätska från provrör med krossad MgO-skiva med en utfällning (vit) av AgCl₂.

Med hjälp av aceton (CH₃(CO)CH₃) går det att bestämma vad utfällningen består av. Består utfällningen av silversulfat (AgSO₄) kommer den att lösas upp av acetonet. En utfällning av silverklorid (AgCl₂) kommer att förbli intakt då den blandas med aceton.

4.4.3 Indikation på salter i saltlösning

Det är känt att den relativa fuktigheten i luften ovanför en saltlösning kan anta lägre nivåer än luften ovanför rent vatten. Exempelvis blir det ca 33 % RF i luften ovanför en mättad lösning med MgCl₂.

I detta försök undersöktes om RF över en lösning med krossad MgO-skiva var mätbart lägre än ovanför en yta av rent vatten (100 % RF).

Ungefär 10 g av en MgO-skiva placerades på en plastfolie och krossades med en hammare på ett stabilt underlag (betonggolv). Både MgO-skivor med MgCl₂ (N, O) och MgSO₄ (P) krossades för att se om MgO-innehållet i vätskan kunde sänka RF från förväntat 100% till en lägre RF.

Det fina pulvret från MgO-skivan lades i cirka 15-20 gram vatten i ett provrör som förseglades med en gummikork i toppen. Då de fria kloriderna och sulfaterna gått i lösning med vattnet mättes RF i provrören med kapacitiva RF-givare.

Tabell 5 Vikter av MgO-skiva och vatten i provrör samt viktförhållande mellan skiva och tillfört vatten och uppmätt RF vid jämvikt.

MgO-skiva Beteckning	Torrsvikt skiva [g]	Massa vatten [g]	totalvikt [g]	viktförhållande skiva/vatten	RF vid jämvikt
N:1	9,88	21,24	31,12	0,46	99,9%
N:2	11,12	19,15	30,27	0,58	99,9%
P:1	9,65	19,53	29,18	0,49	99,9%
P:2	11,28	16,47	27,75	0,68	99,9%
O:1	8,43	13,18	21,61	0,64	99,9%
O:2	10,58	13,67	24,26	0,77	99,9%

Tabell 5 visar att RF inte sänktes i luften ovanför lösningarna med MgO-skiva. Den hade en fuktnivå nära 100 % RF på samma sätt som uppstår ovanför en vätskeyta med rent vatten. Försöket visar därmed att det inte går att indikera förekomsten av kloriderna eller sulfaterna med denna metod.

Det har inte studerats huruvida ett annat blandningsförhållande med en mindre tillsatt mängd vatten i provröret kan ge ett annat resultat.

5 Metoder för konditionering i saltklimatbox samt fuktmätning

I detta kapitel beskrivs de metoder som använts för konditionering av provkroppar samt vid mätning av fukt i MgO-skivor och i saltpåverkat trä. Resultaten från mätningarna beskrivs i huvudsak i respektive kapitel i rapporten, utom i de fall när mätningarna inte gett fullgott resultat och därmed inte använts i studien.

5.1 Konditionering av provkroppar i saltklimatbox

För att konditionera MgO-skivor och andra provkroppar till olika fuktnivåer användes så kallade saltklimatboxar. Klimatet i boxarna genereras med en övermättad saltlösning. Fuktnivån i luften ovan saltlösningens yta ställer in sig på ett RF som beror av saltets egenskaper och temperatur, se Tabell 6.

Tabell 6 Jämvikts-RF för mättade saltlösningar samt temperaturberoende. Greenspan (1977).

Salt	RF (20°C)	%RF / °C
Litiumklorid LiCl	11,3	0,00
Kaliumacetat $KC_2H_3O_2$	23,1	-0,09
Magnesiumklorid $MgCl_2$	33,1	-0,06
Kaliumkarbonat K_2CO_3	43,2	0,00
Magnesiumnitrat $Mg(NO_3)_2$	54,4	-0,30
Natriumklorid NaCl	75,5	-0,03
Kaliumklorid KCl	85,1	-0,16
Bariumklorid $BaCl_2$	91	-0,17
Kaliumnitrat KNO_3	94,6	-0,18
Kaliumsulfat K_2SO_4	97,6	-0,06

I denna studie användes främst salterna $MgCl_2$, NaCl, KCl, KNO_3 , samt avjoniserat vatten (H_2O) (100 % RF).

Saltklimatboxarna i huvudförsöken var utrustade med en fläkt för att säkerställa omblandning av luften i boxen och ett jämnt klimat. Boxarna med fläkt beskrivs detaljerat i examensarbetet av Talevska & Fakhro (2016). Saltklimatboxarna som använts i förförsök var av ett enklare utförande och saknade i vissa fall fläkt. Syftet med förenklade försök, så kallade förförsök eller "slaskförsök", har ofta varit att få en grov uppfattning om en parameter eller ett förlopp. Resultat från förförsök ligger ofta till grund för fortsatta ansökningar och studier.

Att saltklimatboxarna saknar fläkt kan få till följd att klimatet inte är lika i hela boxen, utan det kan uppstå fuktgradienter där fuktnivån är högst närmast saltlösningen och avtar mot boxens sidor eller mot ett torrare material som placerats i boxen, medan detta suger till sig fukt och kommer i jämvikt med omgivningen.

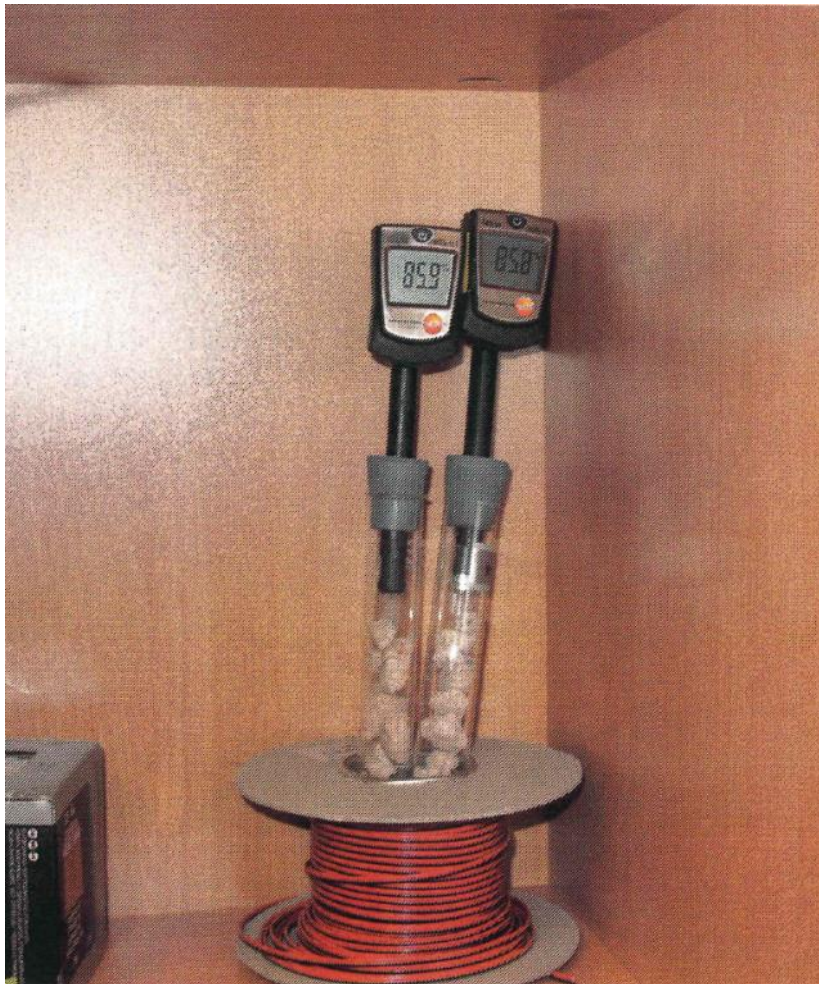
Jämviktstiden för MgO-skivor var minst ca två veckor i denna studie och i vissa fall var den avsevärt längre än så.

5.2 Mätning av relativ fuktighet i provrör med MgO-skiva

Vid mätning av RF i MgO-skiva (typ I) användes metoden att mäta med kapacitiva RF-givare på ett uttaget prov som placerats i provrör. Utförandet vid mätning följde i möjligaste mån anvisningarna som tidigare gavs i Manual fuktmätning i betong, enligt RBK.nu.

En mätning utfördes senvintern 2015 på MgO-skiva, som förvarats utomhus på en regnskyddad plats i sydvästra Skåne. MgO-skivan sönderdelades i bitar, som placerades i två identiska provrör. Kapacitiva RF-givare placerades i korkarna till provrören. RF-givarna satt kvar i provrören under hela mätningen och värdena avlästes upprepade gånger, se Figur 7.

Efter två veckor hade mätvärdet stabiliserats till ca 86% RF, vilket kan verka rimligt då skivorna hade förvarats utomhus i Skåne på en regnskyddad plats. Provtagning och mätning ägde rum senvintern 2015.



Figur 7 RF-mätning i provrör på bitar av MgO-skiva (typ I), stabila värden efter ca 2 veckor.

5.3 Gravimetrisk mätning av fuktkvot på uttaget prov

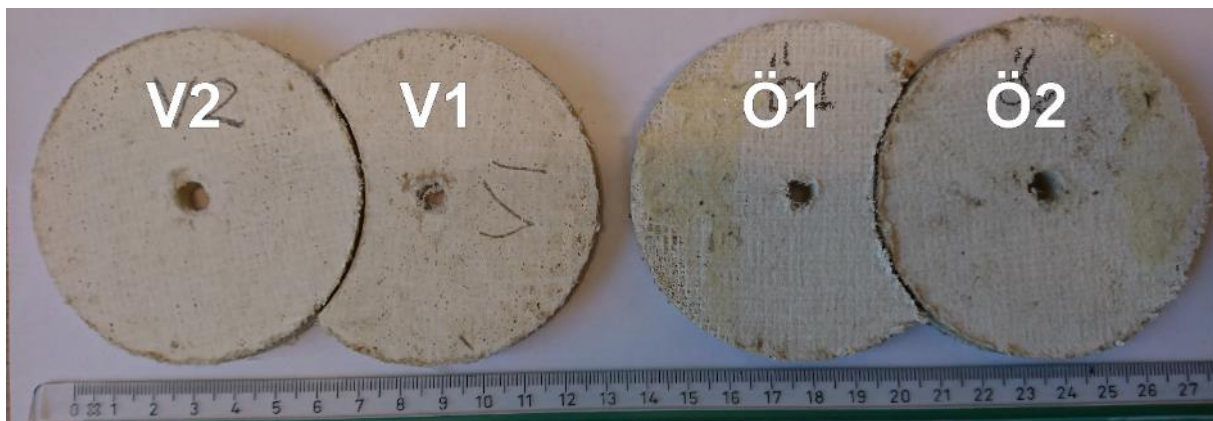
Vid bestämning av fuktkvoten hos MgO-skivorna användes en gravimetrisk metod, som i praktiken innebär att man väger och torkar skivan på ett systematiskt sätt. Skivan vägs först i vått tillstånd, det vill säga i det tillstånd man önskar bestämma fuktkvoten för. Därefter torkas vattnet i skivan bort, ofta vid förhöjd temperatur i en ugn. Sedan vägs skivans torra vikt och avslutningsvis beräknas fuktkvoten, betecknad med u , enligt ekvation (1)

$$u = \frac{m_{H_2O}}{m_{torr}} = \frac{m_{våt} - m_{torr}}{m_{torr}} \quad (1)$$

där, m_{H_2O} , motsvarar vattnets massa (vikt), i [kg], m_{torr} , motsvarar materialets torra massa i [kg] (efter torkning i förhöjd temperatur), $m_{våt}$, motsvarar det våta materialets massa i [kg]. Fuktkvoten redovisas ofta i [%].

I de fall materialets torrdensitet är känd kan fukthalten beräknas, dvs massa fukt [kg] per volym material [m^3].

Vid fältmätningen, kapitel 12, sågades ett antal prover på ca 40 gram ut med en hålsåg, se Figur 8. Proverna förslöts i flera lager plastpåse för att inte torka ut under transporten till laboratoriet.



Figur 8 Uttagna prov av MgO-skiva från västra respektive östra fasaden.

Vid ankomsten till laboratoriet kontrollerades plastpåsarerna så att ingen kondens uppstått inuti dem. Detta är ett fenomen som främst kan uppstå då temperaturen inte hålls stabil. Kondensen som uppstår i plastpåsen utgörs av fukt som lämnat provet i plastpåsen och försvinner normalt sett om provet får ligga kvar i den stängda plastpåsen några timmar i rumstemperatur.

Skivorna delades på mitten för att få dubbelprover vilket ger en extra säkerhet som kan avslöja eventuella mätfel och andra oförutsedda fel. Därefter vägdes bitarna på en noggrann våg med 0,001 g upplösning. Vid enklare utredningar går det bra att använda en våg med 0,1 g upplösning och få tillräcklig upplösning i resultatet.

Därefter torkades provbitarna i ugn med temperaturen 35 °C under 12 dygn och vägdes sedan torra. Anledningen till att använda torktemperaturen 35 °C var för att inte riskera att torka bort vatten som bundits in i materialstrukturen (Hansen, 2016). Om vatten torkas bort från materialstrukturen så kan materialegenskaperna förändras, inte minst fuktegenskaperna. I examensarbetet av Talevska &

Fakhro (2016) finns viktförändringen visad över tid då MgO-skivor torkas på detta sätt. Efter 12 dygn är skivorna i princip, men inte riktigt, i jämvikt och har slutat att tappa vikt.

I några av förförsöken samt försök utförda av Hansen (2016) torkades MgO-skivorna vid högre temperaturer. Det har sedan uppmärksammats att detta kan medföra att även kemiskt bundet vatten avgår och mätvärdet för fuktkvoten blir missvisande, se kapitel 7

Studier av vatten magnesiumsulfat har visat att det finns ett tydligt temperaturberoende av hur vatten binds i kristallen och kritiskt RF för delikvescens. Grevel & Majzlan (2009) presenterar fasdiagram för fyra hydrater av $MgSO_4$ där gränsen för att vätska uppstår är ca 94 % RF vid 20°C och sjunker till ca 78 % RF vid 80°C. Seal & Chou redovisar motsvarande diagram där gränsen för att vätska uppstår är något högre men i övrigt överensstämmer med föregående referens ca 97 % RF vid 20°C och sjunker till ca 80 % RF vid 80°C.

5.4 Fuktkvotsmätning med resistiv fuktkvotsmätare

Bitar av MgO-skiva (typ I) har konditionerats till jämvikt i klimatlådor med tre olika klimat, 75, 85 och 93 % RF.

5.4.1 Fuktkvotsmätare med insticks-stift

När skivorna kommit i jämvikt uppmättes fuktkvoten (FK) i dem med en fuktkvotsmätare avsedd för trä. Mätarens stift sitter fastmonterade under den svarta skyddskåpan på givarens överkant ovanför displayen som man kan se på instrumenten på nedanstående bilder. Skyddskåpan avlägsnades och stiften trycktes in ca 2 mm i skivan och värdet avlästes på displayen.

Skivorna som konditionerats vid 75 % RF visade ett mycket varierande resultat i displayen, allt från 87 till 100 % fuktkvot på ena sidan av skivorna och från 67 till 75 % fuktkvot på andra sidan. Orsaken till skillnaden (hos ledningsförmågan) mellan skivornas båda sidor är okänd.

För skivorna som konditionerats vid 85 och 93 % RF visar fuktkvotsmätaren maximalt utslag (100% FK) eller gav ett felmeddelande att mätskalan överskridits.

5.4.2 Fuktkvotsmätare för ytkontaktmätning

Fuktkvoten i skivorna uppmättes även genom att en anordning för ytkontaktmätning kopplades till fuktkvotsmätaren. Den består i princip av ett svart handtag och två metallplattor vars sladd kopplas till ett uttag på den resistiva FK-givaren. Endast ett fåtal mätningar utfördes.



Figur 9 Bilden till vänster visar ytkontaktmätning 20,8 % fuktkvot för skivor som konditionerats vid 75 % RF. I mitten 22,0 % fuktkvot för skivor konditionerade vid 86 % RF samt till höger 23,3 % fuktkvot för skivor som konditionerats vid 93 % RF.

5.4.3 Summering

Det har i detta förförsök inte gått att notera något enhetligt samband mellan fuktkvotsmätarens visade mätvärde och den fuktnivå som respektive MgO-skiva konditionerats vid.

Vid användning av insticksgivare skulle man kunna tänka sig att ett mätvärde på 100 % fuktkvot indikerar att det finns en kontinuerlig vätskefas av tårvätska inne i skivan som leder ström väl och därmed minskar resistansen, vilket ger ett högt mätvärde på displayen. Detta har dock inte undersökts i denna studie.

Lokala variationer i skivorna, främst förekomsten av joner som leder ström, kan vara förklaringen till att skivorna som konditionerats vid 75 % RF har olika mätvärden på olika ställen. Skillnaden mellan de olika sidorna kan också bero på materialets struktur eller en separering / skiktning, som skett vid tillverkningen av skivan. Detta har dock inte undersökts i denna studie.

Fuktkvotsmätare för ytkontaktmätning gav ökande displayvärde med högre fuktnivå. Mätserien i förstudien var dock för begränsad för att kunna dra generella slutsatser av de iakttagna sambanden eller ens säkerställa sambandens giltighet. Detta har inte vidare undersökts i denna studie.

5.5 Fuktmätning i trä i kontakt med MgO-skiva

I Figur 10 visas variationen mellan mätvärden som registreras i displayen på en resistiv FK-givare då mätstiften sticks in på olika sätt i en delvis saltpåverkad träbit. I detta försök varierade värdena i displayen mellan 12,7 % och 57,1 % fuktkvot beroende på stiftens placering.



Figur 10 Fuktmätning med resistiv FK-givare ger ett högre värde vid mätning inom saltpåverkade områden än gravimetriska mätmetoder (13,8 % FK).

Träbitens fuktkvot (FK) bestämdes gravimetriskt till 13,8 % FK. Det skall även nämnas att fuktnivåerna i träbitens olika delar av allt att döma är i jämvikt med varandra och därmed pågår sannolikt ingen intern fukttransport eller något fuktutbyte av signifikant storlek.

Allt tyder på att trä som påverkats av joner från salterna i tårvätska får en lägre resistivitet, vilket sannolikt är ett resultat av salterna som ansamlats i träet. Den ökade elektriska ledningsförmågan får till följd att resistiva FK-givare visar ett felaktigt högt värde då man mäter i saltpåverkat trä.

6 Uppkomst av tårar

6.1 Uppkomst av tårvätska under vinterförhållanden

I ett tidigt förförsök delades MgO-skiva (typ I) i lämpliga delar och placerades på ett torrt vitt papper, i en ren plastlåda. Lådan placerades under perioden 2014-12-18 – 2015-01-07 på en kallvind ovanför en carport i sydvästra Skåne. Klimatet var uppskattningsvis $< 5^{\circ}\text{C}$ och $> 90\%$ RF under hela perioden

Då testet avslutades efter 20 dagar kändes ytan på MgO-skivan kall och fuktig och papperet på botten av lådan var vått. MgO-skivan föreföll kunna absorbera fukt ur den kalla uteluften i sådan omfattning att vätska rann ner i plastlådan och blötte papperet som låg där.



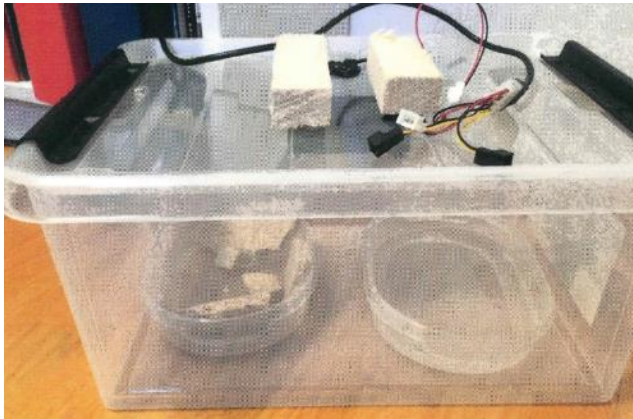
Figur 11 Vätska som utsöndrats från MgO-skiva efter 20 dygns exponering mot uteklimat (utan regn) vintertid i Skåne.

6.2 Uppkomst av tårvätska under varma och fuktiga förhållanden

I ett förförsök delades MgO-skiva (typ I) i små delar och 5 bitar placerades i en torr plastbehållare i normal rumstemperatur, ca 21°C . Plastbehållaren placerades i en "klimatlåda" där ytterligare en plastbehållare med avjoniserat vatten placerades. Plastbehållarens kapacitet att avdunsta vatten var lägre än skivans kapacitet att absorbera vatten. Luften i den förslutna "klimatlådan" blandades med en elektrisk fläkt.

Klimatlådan var ca 20 liter och dess kapacitet att avdunsta vatten var avsevärt lägre än MgO-skivans kapacitet att absorbera vatten. Fuktnivån inne i klimatlådan övervakades med hjälp av två permanent monterade RF-givare. RF-givaren som placerats nära MgO-skivornas yta visade kontinuerligt ca 89% RF och RF-givaren som placerats mitt i klimatboxen visade kontinuerligt ca 91 % RF.

Efter 16 dygn öppnades klimatlådan och vätskan som ackumulerats i botten av plastbehållaren med MgO-bitarna bestämdes till 31 gram. Ytan på MgO-bitarna var då våta. Ackumuleringen av vätskan avtog med tiden och efter 3 månader bedömdes den ha upphört. Orsaken till detta kan exempelvis vara att salterna i skivan som delikvescerade då hade tagit slut. Den totala mängden vätska på botten av plastbehållaren var då 61 gram. Det motsvarar 6 liter vätska per m^2 MgO-skiva.



Figur 12 Behållaren till vänster i klimatlådan var torr vid provstart och innehöll 5 bitar MgO (typ I). Behållaren till höger innehöll avjoniserat vatten. Luften i klimatlådan blandades med fläkt



Figur 13 Efter 16 dygn hade 31 gram vätska ansamlats i botten av behållaren med MgO-bitarna. Totalt ansamlades 61 gram vatten under 3 månader.

Bitarna av MgO-skivan placerades därefter i ett provrör och fuktnivån i luften inne i provröret uppmättes till 97 % RF med en RF-givare.

Förstudien visade att MgO-skivan hade förmåga att absorbera fukt från fuktig luft och fälla ut stora mängder vätska som kan rinna av ytan och ackumuleras.

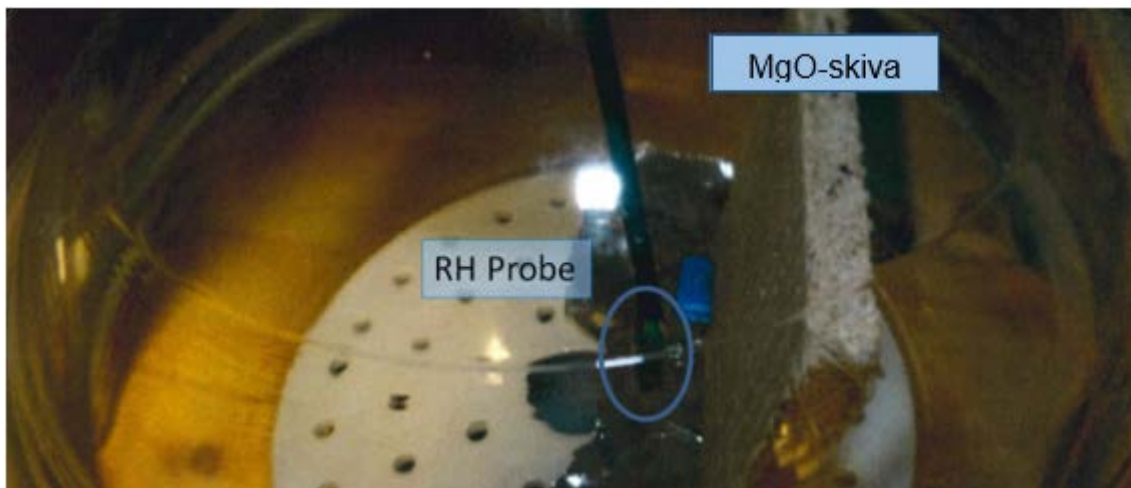
6.3 Relativ fuktighet nära ytan av MgO-skiva (typ I)

I ett förförsök användes en MgO-skiva (typ I), som förvarats utomhus, regnskyddad under vintertid i Skåne. Skivan delades i bitar och placerades i tre identiska exsickatorer vid rumstemperatur, ca 21 °C.

Luften i de tre exsickatorerna hölls på konstanta och givna RF-nivåer med hjälp av mättade saltlösningar. Exsickatorerna innehöll olika saltlösningar och därmed olika RF-nivåer. Dessa var natriumklorid NaCl (75% RF), kaliumnitrat KNO₃ (95% RF) och avjoniserat vatten H₂O (100% RF). Inuti varje exsickator monterades en RF-givare permanent. RF-givarna placerades så att de mätte fuktnivån i luften nära ytan på respektive MgO-skiva.



Figur 14 Exsickatorerna med saltlösningar, natriumklorid NaCl (75% RF), kaliumnitrat KNO₃ (95% RF) och avjoniserat vatten H₂O (100% RF).



Figur 15 Varje exsickator innehöll en RF-givare som var fast monterad under hela mätningen.

Luften i exsickatorn med natriumklorid (75% RF) hade en initial fuktighetsnivå på 80% RF och sjönk sedan till 79% RF efter 25 dagars loggning av fuktnivån i luften nära ytan av MgO-skivan.

Luften i exsickatorn med kaliumnitrat (95% RF) hade i början av mätningen en fuktighetsnivå på 84% RF och den ökade under mätningens gång till 90% RF.

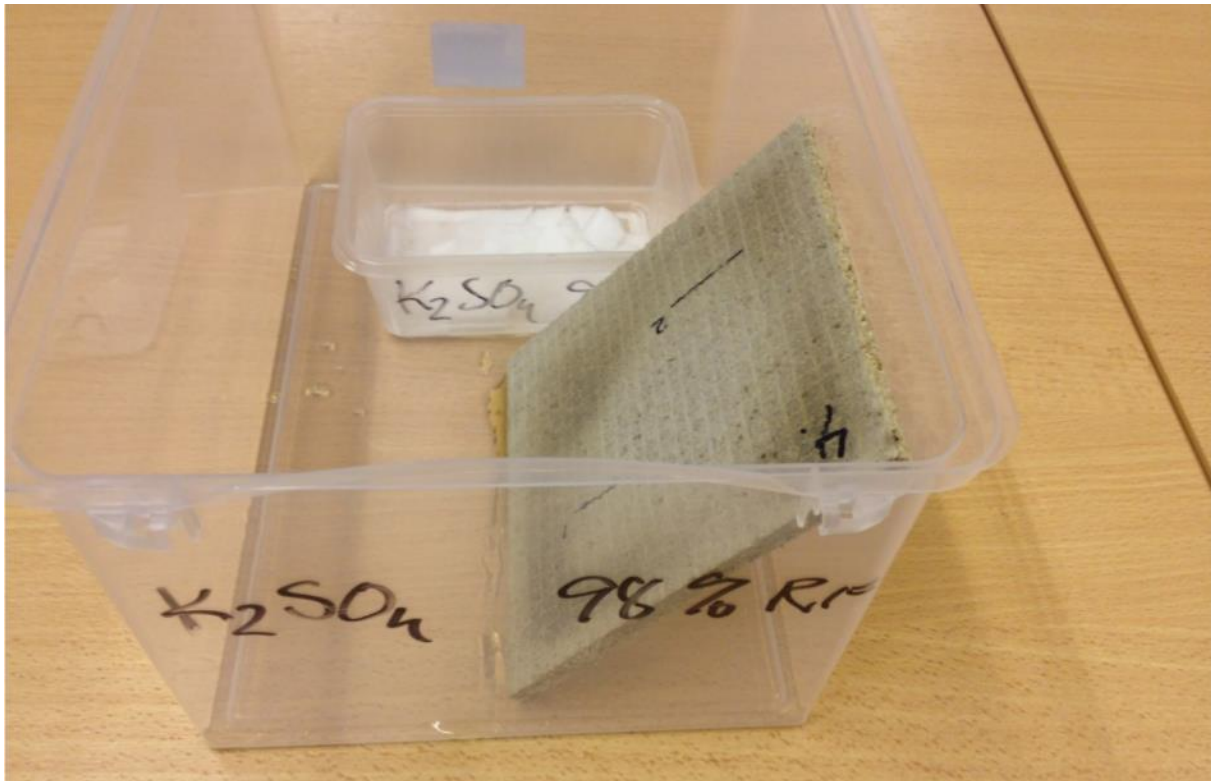
Luften i exsickatorn med avjoniserat vatten (100% RF) hade till en början fuktighetsnivån 84% RF och ökade därefter till 90% RF.

Det är anmärkningsvärt att exsickatorerna inte ökar till nivåer nära 94% RF respektive 100% RF på lång sikt. MgO-skivan tycks påverka fuktnivån i luften på ett sätt som hygroskopiska material normalt inte gör. Sannolikt kan detta fenomen orsakas av delikvescens hos de ämnen (salter) som finns i skivan.

6.4 Bestämning av kritisk RF för MgO-skiva (typ I) med klimatlåda

I ett förförsök med syfte att avgöra huruvida den avvikande fuktupptagningsförmågan, som observerats hos enstaka MgO-skivor, var en generell egenskap eller inte så placerades bitar från ett större urval av MgO-skivor (typ I) i ett antal klimatboxar med olika RF-nivåer.

Fuktnivåerna i klimatlådorna genererades med hjälp av saltlösningar i en plastbehållare som placerades inne i klimatlådan.



Figur 16 Saltklimatbox med MgO-skiva som gråter tydligt i 98 % RF.

Skivorna studerades regelbundet och uppkomst av vätska på skivornas ytor och eller på botten av klimatlådan noterades. Inom en vecka hade det uppstått vätska på ytan hos samtliga av de MgO-skivor som förvarades i höga fuktighetsnivåer på 91, 95 och 98% RF. Proverna som förvarades i lägre RF-nivåer förblev torr. Ingen vätska observerades på ytan av MgO-skivorna i klimatlådor med låg luftfuktighet på 75 och 85% RF.

6.5 Bestämning av kritisk RF med provrör

Nio stycken smala remsor (ca 1 cm) av en och samma MgO-skiva (typ I) placerades i en klimatlåda med avjoniserat vatten (100 % RF) i ett förförsök. Efter ca två dagar uppstod vätska på ytan av samtliga bitar. Detta markeras med de blåa fälten i tabellen nedan.



Figur 17 Klimatbox med två remsor av MgO-skiva som ingick i studien.

Remsorna vägdes kontinuerligt och placerades successivt i provrör och RF uppmättes enligt metoden som beskrivs ovan i avsnitt "5.3. RF i omgivande luft vid jämvikt med MgO". Se resultat av vägning och RF-mätning i tabellen nedan.

Tabell 7 Totalvikt i gram för 11 olika prover av en MgO-skiva efter en viss tid.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2015-03-10 17:00	19,00	18,03	18,09	17,91	19,00	17,63	18,94	20,01	18,51	18,89	17,88
2015-03-12 07:30	20,90	19,80	19,84	19,70	20,70	19,24	20,88	21,88	20,21	20,60	19,58
2015-03-12 17:00		20,11	20,11	19,88	20,89	19,39	21,01	22,03	20,43	20,87	19,80
2015-03-13 17:00			20,51	20,49	21,39	19,81	21,46	22,67	20,99	21,40	20,42
2015-03-14 14:00				20,91	21,90	20,26	21,75	23,10	21,52	21,91	20,76
2015-03-16 08:00					22,58	20,90	22,20	23,70	22,00	22,78	20,99
2015-03-17 08:30						21,19	22,31	23,78	22,07	22,88	21,09
2015-03-18 08:30							22,31	23,72	22,08	22,81	21,09
2015-03-19 08:00								23,74	22,07	22,82	21,08
2015-03-20 10:00									22,08	22,82	21,02
Uppmätt RF	79,80%	82,90%	83,40%	88,90%	88,00%	89,20%	89,20%	90,70%	91,70%	Ej mätt	

Det uppmätta fuktintervallet 89–90 % RF verkar till synes ha en särskild betydelse vid upptagning av fukt i MgO-skivor (typ I). Det går att tolka viktökningen i det intervallet av mätresultaten som att fuktupptagningen fortgår i materialet och att RF-nivån samtidigt inte ökar nämnvärt.

I de kolumnerna för provbit 8 och 9 ser det ut att kunna vara tvärtom. Dessa material har slutat att öka i vikt sedan ett par dagar medan deras RF-nivå ligger högre än de material som tagits ut för RF dagarna innan. Det går att tolka detta som att RF ökar med tiden för dessa provbitar (som grupp) och att vikten samtidigt är konstant. Eventuellt kan detta tyda på ett urlakningsfenomen.

6.6 Uppkomst av tårar - studie presenterad i examensarbete 2016

Talevska & Fakhro (2016) beskriver i sitt examensarbete "Fuktegenskaper hos magnesiumoxidskivor" ett försök där uppkomsten av tårar har undersökts vid tre olika fuktnivåer på ett stort antal provbitar från olika MgO-skivor.

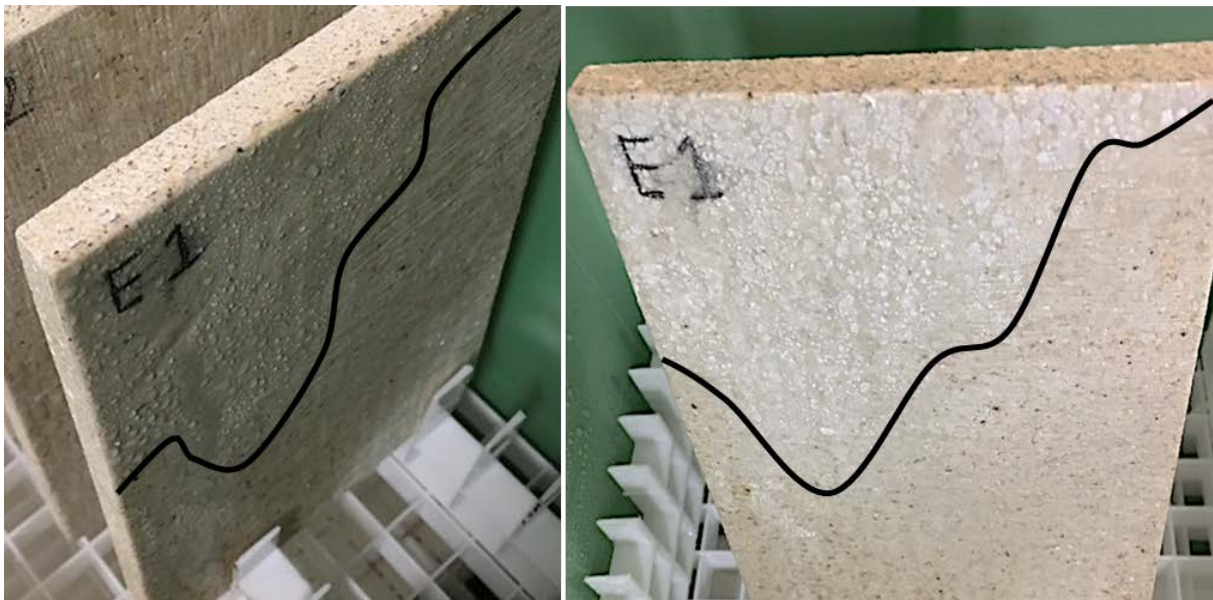
Provbitarna torkades till jämvikt i ugn vid 35°C (ca 16% RF) och placerades därefter i klimatboxar med 85, 94 respektive 100 % RF. Samtliga prover studerades noggrant varje dag med avseende på förekomsten av droppar (tårar) på ytan.

Redan efter en dag upptäcktes droppar på två av skivorna, F och C, i den högsta fuktnivån, 100 % RF. Samt även i 94 % RF för skiva F. De följande dagarna återfanns droppar på samtliga impregnerade MgO-skivor. Examensarbetet beskriver att på skivorna märkta M återfanns dropparna främst på skivornas skurna kanter. Det är oklart om även de skurna kanterna var impregnerade eller inte.

Tabell 8 Antal dygn i respektive fuktnivå innan eventuella tårar blir synliga på skivans yta. Data från Talevska & Fakhro (2016).

	Typ I (MOC)				Typ II (MOS)					Impregn.		
	F	N	O	Q	E	G	P	R	S	C	D	M
100	1				7					1	2	4
94	1											4
85												

Skiva F hade ett så stort flöde av tårar att vätskan i flaskorna som visas i Figur 1 avsnitt 4.3 kunde samlas upp.



Figur 18 Talevska & Fakhro (2016) anger att efter ca 12 dagar hade skivan E fått en vitaktig avlagring på de områden där tårarna fanns, vilket de anser vara en trolig utfällning från salter i skivan.

7 Fuktbindningsegenskaper MgO-skiva

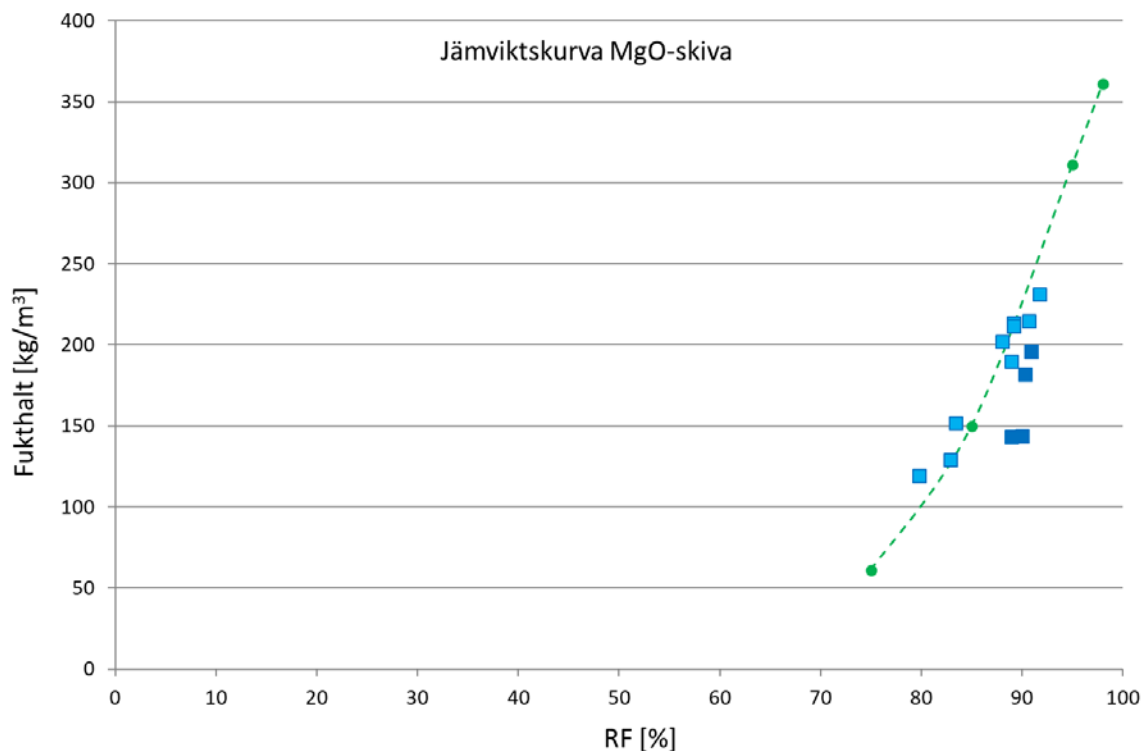
Fuktbindningsegenskapen är en av de viktigaste egenskaperna för att karakterisera ett hygroskopiskt material. Ofta beskrivs fuktbindningsförmågan som sambandet mellan materialets upptagna mängd fukt vid olika relativa fuktigheter i omgivande luft, vid en viss temperatur. Fuktbufferingsförmågan i en byggnad styrs av materialens fuktbindningsegenskaper, Francis (2016). Sådana diagram kallas ofta jämviktsfuktkurva eller sorptionsisoterm och produceras ofta genom mätningar i laboratorium.

7.1 Förstudie av jämviktsfuktkurva för MgO-skiva (typ I)

Denna förstudie av fuktbindningsegenskaper utfördes på MgO-skivor uttagna från två objekt samt en oanvänd MgO-skiva. Samtliga skivor var bedömningsvis av typ I.

Skivorna som hämtats från objekten var uttagna prover från olika delar av fasadens vindskyddsskiva. Prover sönderdelades och lades i ett provrör där RF mättes enligt metoden beskriven tidigare, se avsnitt 5.2. Därefter mättes provernas våta vikt, varefter de torkades i en ugn i ca 80 °C för att återigen vägas då viktminskningen upphört. Det har senare blivit känt att torkning av MgO-skivor vid denna temperatur kan ge felaktigt låga värden då även kemiskt bundet vatten kan avgå enligt ovan.

Den oanvända MgO-skivan delades i fem lika stora delar, som lades i saltklimatboxar med fuktnivåerna 50, 75, 85, 95 och 98 % RF. När de kommit i jämvikt noterades vikterna och därefter torkades provbitarna i ugn i ca 80 °C enligt ovanstående metod, se gröna cirklar i Figur 19.



Figur 19 Jämviktsfuktkurva vid ca 20°C för MgO-skiva (typ I). Gröna cirklar markerar en ny skiva och blå kvadrater uttagna skivor från två fältobjekt. Samtliga prover torkades i ca 80°C vid fastställande av torrsvikt.

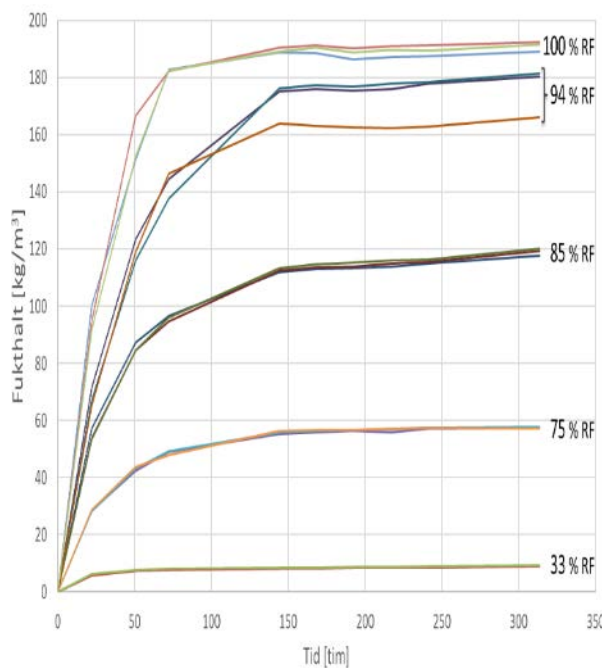
Sannolikt kan fukthalten överskattas i detta förförsök då det även kan innefatta kemiskt bundet vatten som kan avgå vid 80°C.

7.2 Studie av jämviktsfuktkurva - Examensarbete (2016)

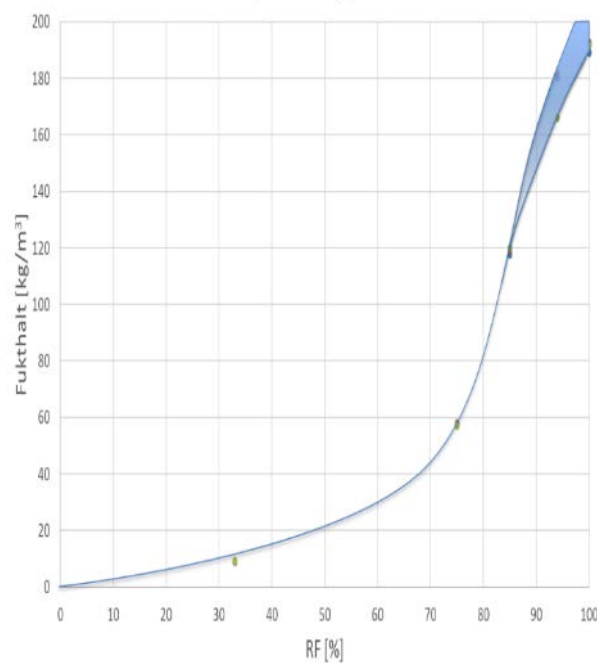
En studie av fuktbindningsegenskaper hos MgO-skivor utfördes som ett examensarbete av Aleksandra Talevska och Omar Fakhro vid avdelningen för Byggnadsmaterial, LTH under 2016. Examensarbetet "Fuktegenskaper hos magnesiumoxidskivor" kan laddas ner i sin helhet som ett PDF-dokument från <https://lup.lub.lu.se/student-papers>.

I examensarbetet studerades bland annat viktförändringen hos ett antal MgO-skivor (typ I och II), som torkades i ugn vid 35°C (ca 16%RF) samt placeras i saltklimatboxar med ca 33, 75, 85, 95 och 100 %RF. I Figur 20 nedan visas fukthaltsökningen ($\text{kg}_{\text{fukt}}/\text{m}^3_{\text{mtrl}}$) för 15 provbitar från en MgO-skiva (typ I), som först torkats i 35°C och därefter placerats i ovanstående saltklimatboxar. Mätvärden är hämtade från examensarbetet.

Jämviktsfuktkurvor i examensarbetet presenteras med skivornas fuktkvot (%) vid de ovanstående RF-nivåerna. Densiteten redovisas, vilket möjliggör omräkning av fukthalt ($\text{kg}_{\text{fukt}}/\text{m}^3_{\text{mtrl}}$). I Figur 21 visas absorptionskurva för ovanstående MgO-skiva med fukthalten i jämvikt vid ovanstående RF-nivåer. Mätvärden är hämtade från examensarbetet.



Figur 20 Fuktupptagning för en MgO-skiva (typ I) torrsvikt bestämd vid 35°C (ca 16%RF).



Figur 21 Jämviktsfuktkurva vid absorption för en MgO-skiva (typ I), torrsvikt bestämd vid 35°C (ca 16%RF).

En av provbitarna som förvarades i 94 % RF visar en lägre fuktupptagning än de övriga två, se Figur 20. Det är oklart varför detta inträffade och det har gett upphov till en spridning i övre delen av jämviktsfuktkurvan för absorption som visas i Figur 21. Det inritade området i kurvans övre del anger alltså inte hysteres (skillnad mellan absorption och desorption) utan en spridning i de uppmätta värdena för absorption.

Jämviktsfuktkurva vid absorption, Figur 21, kan ha en relativ flack del vid låga fuktnivåer, upp till ca 75 % RF, med motsvarande sätt som redovisas av Hansen et al (2016) och Rode et al (2017). Detta har dock inte kunnat bestämmas i detta projekt eftersom endast en mätpunkt (33 % RF) är utförd i det intervallet.

Mätningarna av Talevska & Fakhro (2016) visar på en stor fuktupptagning i området över ca 80 % RF. Mätningarna som redovisas av Hansen et al (2016) och Rode et al (2017) visar på ett liknande beteende som de förknippar med att skivan MOC-skivan de studerat börjar gråta vid ca 84 % RF.

8 Fukttransportegenskaper MgO-skiva

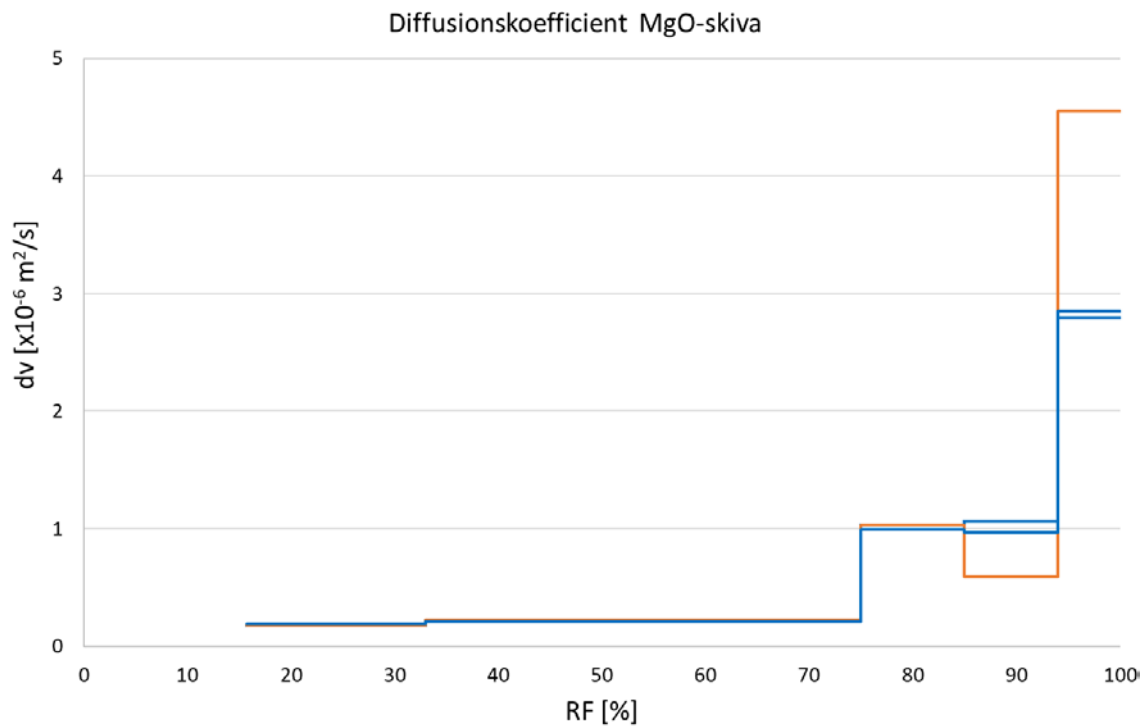
Fukttransportegenskapen är en av de viktigaste egenskaperna för att kunna förutse fuktförändringar hos hygroskopiska material. Ofta används materialets "diffusionskoefficient" (δ_v) för att fastställa hur ångöppet det är. Det vanliga är att diffusionskoefficientens ökande värde är strikt kopplat till materialets ökande fuktnivå, vilket kan förklaras med en tilltagande grad av kapillär vätsketransport i materialets porer när fuktnivån ökar.

Fukttransportegenskaper bestäms ofta genom mätningar i laboratorium, och i detta fall är de utvärderade från de mätningar som utfördes i examensarbetet om MgO-skivor på LTH 2016 och som ligger till grund för framtagandet av jämviktsfuktkurvorna i föregående avsnitt. En fullständig beskrivning av utvärderingsmetodiken finns beskriven i examensarbetet av Talevska och Fakhro (2016).

8.1 Fukttransportegenskaper framtagna av examensarbete – 2016

Examensarbetet "Fuktegenskaper hos magnesiumoxidskivor" (Talevska och Fakhro 2016) undersöker bland annat fukttransportegenskaperna för ett antal MgO-skivor (typ I och II). Bland annat utvärderas diffusionskoefficienten för de studerade MgO-skivorna utifrån de mätningar som utfördes i labbet.

I examensarbetet redovisas nästan uteslutande medelvärden från de dubbel och trippelprov som användes. I Figur 22 redovisas den individuellt utvärderade diffusionskoefficienten för de trippelprov som beskrivs i föregående avsnitt.



Figur 22 Diffusionskoefficienten MgO-skiva (typ I) i olika fuktintervall. Data från examensarbete av Talevska och Fakhro (2016).

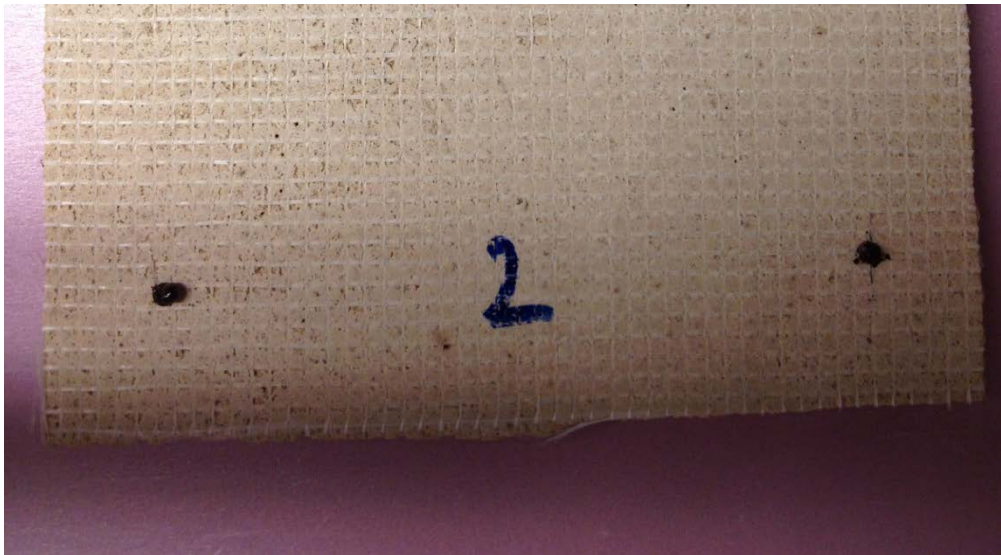
Notera de avvikande värdena för den orangea "serien" vid de höga fuktnivåerna. Denna avvikelse orsakas av de avvikande (låga) värdena hos den orangea serien i Figur 20.

9 Längdförändring av MgO-Skivor map fukt

I detta avsnitt beskrivs tre undersökningar som syftar till att bestämma storleken och konsekvenser av fuktbetingade rörelser hos MgO-skivor. Den första undersökningen är utförda som ett förförsök till detta projekt, den andra undersökningen är ett examensarbete av Pehrsson & Persson (2013) utfört vid avdelningen för byggnadsmaterial, LTH och den tredje undersökningen är ett SBUF-projekt av Brycke et al (2015) vars resultat delvis ligger till grund för detta projekt.

9.1 Förstudie av längdändring MgO-skiva (typ I)

Fuktbetingade rörelser i MgO-skivor (typ I) har mätts i projektets förstudie genom att proverna torkats i värmeskåp vid 40°C och därefter konditionerats i klimatsaltboxar vid tre olika fuktnivåer, 75, 85 samt 95 % RF. Längdförändringen mättes mellan mät-dubbar som monterats i MgO-skivorna, se Figur 23.



Figur 23 MOC-skiva med mät-dubbar för studie av fuktbetingade rörelser.

MOC-skiva med mät-dubbar för studie av fuktbetingade rörelser.

Resultatet i förförsöket visade på att skivornas relativa längdändring var ca 1,5 mm/m vid ca 10 – 75 % RF och 0,2 mm/m vid ca 75 – 100 % RF.

9.2 Examensarbete 2013

Pehrsson & Persson (2013) beskriver i sitt examensarbete "Fuktrörelser i oorganiska våtrums- och vindskyddsskivor" en studie där de undersökt sammanlagt 8 byggskivor varav 3 MgO-skivor.

Typen av bindemedel hos MgO-skivorna framgår inte av rapporten. Leverantörerna för Wekla Green EcoBoard och Sto EcoBoard uppger att dessa är MgO-skivor Typ I: Magnesiumoxid-kloridskivor (MOC). Av allt att döma är det sannolikt att även Honeycore WindCore är av Typ I, dvs MOC. Alla MgO-skivor beskrivs vara belagda med glasfibernet på ytan för en ökad stabilitet och hållfasthet.

Försöket utfördes genom att provbitar av byggskivorna vägdes och mättes i det tillstånd de levererats till LTH. Därefter placerades samtliga bitar i en saltklimatbox med 11 % RF. Provbitarna mättes och vägdes varje vecka tills det att de kom i jämvikt efter 4 veckor. Då flyttades de till en saltklimatbox med 55 % RF, där de mättes och vägdes varje vecka i 4 veckor tills de kom i jämvikt. Därefter upprepades detta för 75 % RF och slutligen 100 % RF, där vägning och mätning utfördes dagligen.

I examensarbetets diskussion framgår det att MgO-skivan Honeycore Windcore minskade i vikt under hela mätningen i 100 % RF samt att den böjdes och uppvisade längdminskning efter de första dygnet i 100 % RF och mätningen avbröts. Även Wekla Green EcoBoard böjdes i 100 % RF och mätningen avbröts.

Tabell 9 Utvärdering av fuktbetingad längdförändring i förhållande till olika RF-intervall för 9 st byggskivor, varav 3 MgO-skivor markerade med blå ram, Pehrsson & Persson (2013).

Skivtyp	ΔL Init.- 11% RF (mm/m)	ΔL 11-55% RF (mm/m)	ΔL 11-75% RF (mm/m)	ΔL 11-100 % RF (mm/m)	ΔL 55- 75 % RF (mm/m)	ΔL 55- 100 % RF (mm/m)	ΔL 75- 100 % RF (mm/m)
Honeycore Windcore	1,55	1,25	1,48	*	0,23	*	*
Fernacell Fibergips	0,37	0,47	0,70	4,64	0,24	4,18	3,94
Wekla Green EcoBoard	1,13	0,78	1,12	*	0,34	*	*
Formplywood	0,74	0,85	1,23	1,56	0,38	0,71	0,30
Gyproc Glasroc H Ocean	0,26	0,10	0,07	0,32	(-0,03)	0,22	0,25
Ivarsson Conchip	1,95	1,25	1,66	2,45	0,41	1,20	0,78
Knauf Danogips Humidboard 2.0	0,19	0,13	0,21	1,26	0,09	1,14	1,05
Gyproc Storm	0,10	0,08	0,12	0,40	0,05	0,32	0,28
StoEco Board	1,82	1,62	2,01	2,08	0,39	0,46	0,07

9.3 SBUF MgO våtrum

Brycke et al (2015) har via enkäter undersökt ett antal skadefall med sprickor i våtrum. Detta är en skadetyper som beskrivs ha observerats av flera skadeutredare de senaste åren. Även problem under produktionstiden har observerats av byggtreprenörer.

Rapporten beskriver att det saknas en gemensam bild av problematiken, både avseende skadornas karaktär/omfattning och bakomliggande orsaker. Fuktrelaterade rörelser i byggskivorna, som använts till underlag för kakling i våtrummen, misstänktes vara en viktig faktor i skadebilden.

Tabell 10 Sammanställning av uppgifter från skadefall där fuktrelaterade rörelser i byggskivorna kan misstänkta vara en viktig faktor i skadebilden, Pehrsson & Persson (2013).

	Typ av skiva	Typ av skador	När uppstod skadan	Teori om skadeorsak
Skadefall 1	Magnesiumoxid	Kakelplattorna knäcktes rakt av Horisontella sprickor längs reglarna	Okänt	Rörelse i skivorna
Skadefall 2	Magnesiumoxid	Sprickor och buktningar	Okänt	Skivan var klen, 8 mm Svårighet med infästning av skivan på grund av att skruvningen fick ske mycket nära kanten Rörelser i plattan
Skadefall 3	Magnesiumoxid	Buktningar	Okänt	Skivan var klen, 8 mm. Svårighet med infästning av skivan på grund av att skruvningen fick ske mycket nära kanten. Rörelser i plattan
Skadefall 4	Magnesiumoxid	Kakelplattor på väggarna sprack	Okänt	-
Skadefall 5	Våtrumsgips	Sprickor	Mellan slut- och garanti-besiktning.	Sträckning i tätskiktet
Skadefall 6	Magnesiumoxid	Sprickor i vägg och tak	Okänt	Fuktrelaterade rörelser i skivan
Skadefall 7	Magnesiumoxid	Sprickor som var genomgående både på kakelplatta och bakomliggande skiva samt buktning	Efter slutbesiktning	Skivan tros vara orsak.

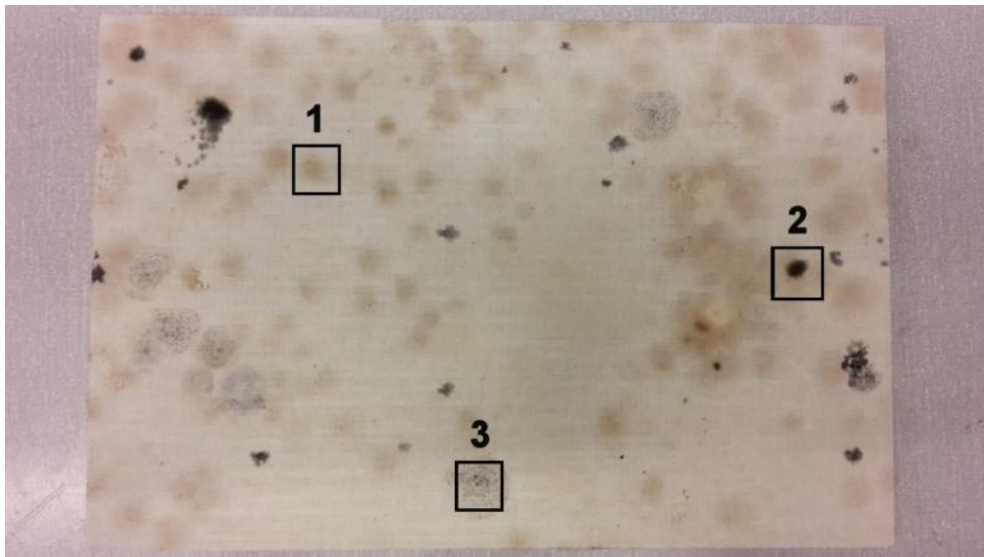
10 Mögelanalyser

Magnesiumoxidskivor har under normala förhållanden visat sig inte få synlig mikrobiell påväxt. Frågeställningen har i detta försök varit att undersöka om det finns några normalt förekommande mikroorganismer som kan orsaka synlig påväxt på en MgO-skiva under onormalt fuktiga förhållanden.

En frågeställning som vuxit under projektet är om kritisk fuktnivå för träkonstruktioner, med avseende på mikrobiell påväxt, förändras av att virket suger upp och påverkas av tårvätskan.

10.1 Mögel på MgO-skiva

En MgO-skiva av Typ I (MOC) placerades i 100% RF och 20 °C under ett år. Skivan varken kontaminerades eller behandlades på något speciellt sätt. Efter ett år hade skivan fått missfärgningar av mikrobiell påväxt se Figur 24.



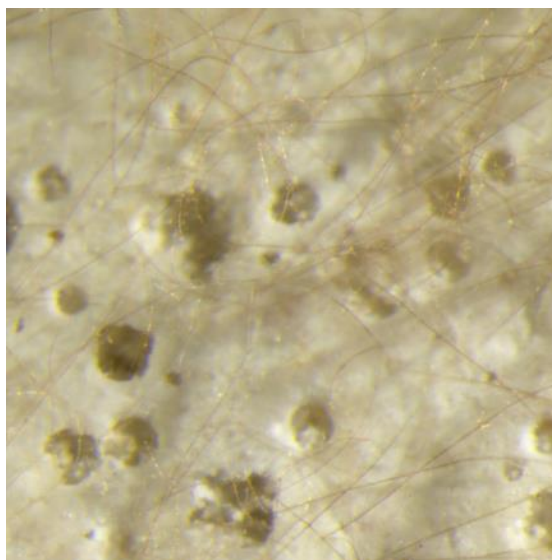
Figur 24 Fotografi av MgO-skiva med kolonier av olika mögelsvampar. Tre kvadrater markerar mögelsvampkolonier som undersöktes i mikroskop.

Områdena som markeras 1-3 i Figur 24 valdes ut och den mikrobiella påväxten inom dem studerades närmare. Från dessa områden togs prov från ytan och odlades ett medium av agar (malt extrakt agar, MEA) i 20°C under 5-7 dygn. Mögelsvampkolonier artbestämdes av tekn. dr. Sanne Johansson vid avd Byggnadsmaterial, LTH.

Område 1 visade sig innehålla påväxt av *Trichothecium roseum*, som är en svampart som bildar kolonier som först är vita och sedan utvecklas till rosafärgade. *Trichothecium roseum* orsakar ofta sjukdomar hos frukter och är en saprofyt, vilket innebär att den livnär sig på att bryta ner organiska material. Arten finns över hela världen och har hittats i marken i flera länder, däribland Kina, Danmark och Panama samt i Sahara.



Figur 25 Fotografi på petriskål med agarmedium samt mögelsvampen *Trichotecium roseum*.



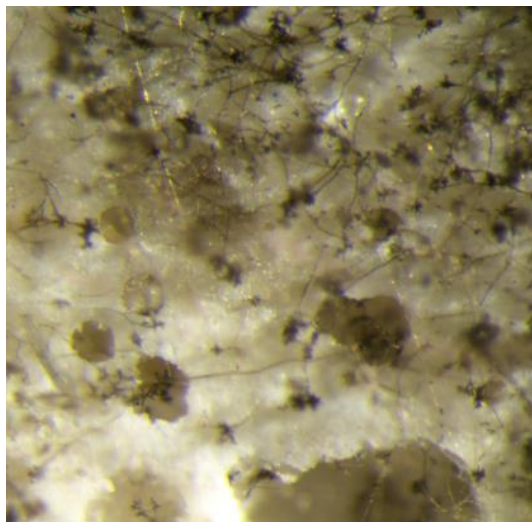
Figur 26 Detaljförstoring av *Trichotecium roseum* på MgO-skiva.

Område 2 visade sig innehålla påväxt av *Cladosporium sp.* Där "sp" betyder "species" och används ofta när man har identifierat svampens släkte och inte behöver eller har möjlighet att specifikt artbestämna svampen. Ofta behöver svampen odlas på olika agarmedia för att specifikt kunna artbestämmas. I detta försök odlades svampen enbart på en typ av agarmedia, MEA.

Cladosporium sp. är en mycket vanligt förekommande svamp, både inomhus och utomhus. Arten lever ofta på levande eller dött växtmaterial och bildar bruna eller svarta kolonier. Stora mängder sporer från *Cladosporium sp.* uppges kunna påverka astmatiker och personer med andningssjukdomar.



Figur 27 Fotografi på petriskål med agarmedium samt mögelsvampen *Cladosporium sp.*



Figur 28 Detaljförstoring av *Cladosporium sp.* på MgO-skiva.

Område 3 visade sig innehålla en mögelsort som inte växte då det odlades på MEA (malt extrakt agar). Därmed har mögelsvampen i detta område inte kunnat identifieras och artbestämmas.

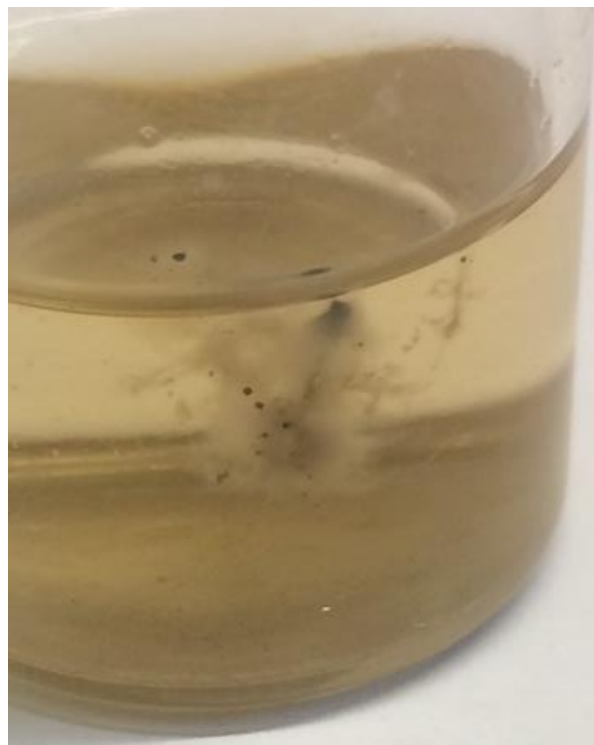
MEA (malt extrakt agar) är normalt ett bra allmänt medium till mögelsvampar som växer i byggnader, speciellt i inomhusmiljön. Det förekommer ofta att mögelsvampar inte växer på vissa typer av agar då de odlas i laboratoriemiljö. I detta försök odlades inte svamparna på något annat agar än MEA.



Figur 29 Detaljförstoring av mögelart som bildar ett prickigt mönster på MgO-skivan.

10.2 Mögel i glasbehållaren med gråtväska

Efter en tid uppkom det spontan mikrobiell växt i tårväska som samlats upp från MgO-skiva. Vätskan hade förvarats i en liten glasflaska med lock i rumstemperatur då tillväxten började. Ingen analys eller artbestämning av den mikrobiella växten har utförts.



Figur 30 En koloni av mikrobiell växt som har uppstått i saltvätskan som samlats upp från en MgO-skiva.

10.3 Mikroorganismer på trä som påverkats av saltlösning

Detta avsnitt beskriver en observation som gjorts av flera personer på olika platser oberoende av varandra. Observationen har inte närmare undersökts i denna studie, men är ändå värd att nämna i detta sammanhang.

Den Danska Byg-Erfa Fonden gav 2015 ut ett "varningsblad" angående Fugtsugende vindspærreplader, (ADVARSELSBLAD (21) 150505). Bladet visade bland annat två bilder på träregelstommar med något som liknar mikrobiell påväxt i anslutning till saltpåverkade områden. Se bilder till vänster nedan.

En liknande observation har dokumenterats på en kallvind i ett objekt i södra Sverige. I anslutning till ett saltpåverkat område på träregelstommen i kallvinden finns mörka prickar. Varken prickar, material eller klimat har analyserats i detta objekt. Enbart dokumentation av observationen enligt bilden till höger nedan.



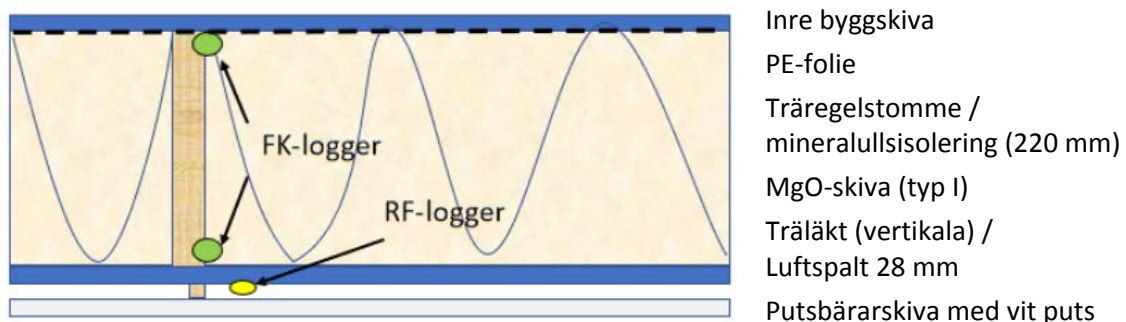
Figur 31 Tre olika konstruktioner med synlig mikrobiell påväxt i anslutning till saltpåverkad träregelstomme. Bilderna till vänster är hämtade från ByggErfa (2016) och den högra bilden är tagen på kallvinden i ett objekt i södra Sverige

11 Ytterväggskonstruktion I - Utfackningsvägg

Fasaden hos ett småhus i södra Skåne har studerats under våren och sommaren 2017. Dels har prover tagits ur fasaden för analys på laboratorium, dels har loggande mätutrustning monterats i byggnadens fasad.

Främst har byggnadens östra och norra fasad studerats, där prover tagits ut från ett begränsat område. Dataloggerenheter för relativ luftfuktighet och temperatur har monterats i ventilationsspalten och inne i väggens isolerande skikt. Även fuktkvotsgivare har monterats på två djup på träregelstommen. Dessutom användes en handhållen träfuktkvotsmätare av modellen Protimeter, surveymaster.

Den ventilerade fasaden var uppbyggd med en isolerad träregelstomme och en yttre fasadskiva (putsbärarskiva) med vit fasadputs, enligt Figur 32.



Figur 32 Genomsnitt av ventilerad fasad som ingick i fältundersökningen.

Byggnaden var belägen i ett villaområde ungefär 5 km från Öresunds västra kustlinje. Knappt en meter från den norra fasaden fanns ett cirka 1,5 m högt staket.

11.1 Uttagna prover av MgO-skiva

Putsbärarskivan öppnades på den norra och den östra fasaden och ett prov på ca 350 gram av MgO-skivan togs från respektive plats. Proverna stoppades var för sig i två lager av en kraftig plastpåse, modell "fryspåse". Den dubbla fryspåsen förhindrar att proverna torkar ut och tappar vikt under transporten till laboratoriet.

På laboratoriet delades MgO-skivorna i två bitar och vägdes på en våg med upplösningen 0,001 g och maxkapacitet 420 gram. Syftet med att dela skivorna var att få dubbelprover samt att minska totalvikten på respektive prov eftersom den totala vikten låg nära vågens maxkapacitet.

Proverna torkades i en ugn med temperaturen 35 °C och vägdes upprepade gånger tills de kom i jämvikt. Se tabell nedan.

Tabell 11 Uttaget prov från MgO-skiva, vikt fuktkvot för varje prov samt medelfuktkvoten för respektive plats.

Benämning	2017-05-09 14:10	2017-05-10 14:30	2017-05-11 15:30	2017-05-17 10:45	Fuktkvot	Medel
MgO	vikt [g]	vikt [g]	vikt [g]	vikt [g]	u [-]	u _{med} [-]
Norr 1	360,28	339,86	336,47	335,36	0,074	0,073
Norr 2	339,82	321,83	318,38	316,93	0,072	
Öster 1	311,14	298,97	297,62	297,28	0,045	0,046
Öster 2	334,42	321,43	319,90	319,48	0,047	

11.2 Uttagna prover av trä

Prover i form av träbitar från den bärande trästommen och en del av läkten i den ventilerade spalten sågades ut, se Figur 33, och varje enskilt prov stoppades därefter i tre lager "fryspåsar". De uttagna proverna från träregelstommen vägde cirka 3-5 gram styck och bitarna av distansläkten i den ventilerade spalten vägde cirka 200 gram.



Figur 33 Fotografiet visar en fasad där den putsbärande skivan och del av MgO-skivan har monterats bort. Isoleringen är blottad och en liten del av den bärande trästommen syns bakom MgO-skivan. Uttaget prov från trästomme togs vid markering, N2:1 y / N2:2 i samt N1:1 y / N1:2 i.

På laboratoriet togs träproverna från träregelstommen ur påsarna och delades i två delar, varefter de vägdes i fuktigt tillstånd på en analysvåg med upplösningen 0,001 g och maxkapacitet 410 gram. Syftet med att klyva träbitarna i två delar var dels att få dubbelprover, dels att undersöka om det var någon skillnad i fuktkvot mellan delar som varit i direktkontakt med MgO-skiva jämfört med delar som inte suttit i direkt kontakt med MgO-skiva.

Proverna torkades i en ugn med temperaturen 105 C och vägdes upprepade gånger tills dess att vikten var oförändrad. Se Tabell 12 och Tabell 13 för resultat från respektive prov.

Tabell 12 Uttaget prov från den bärande trästommen, vikt och fuktkvot för varje prov och en medelfuktkvot för respektive plats.

Träbitar	2017-05-09 14:10	2017-05-10 14:30	2017-05-11 15:30	2017-05-17 10:45	Fuktkvot	Medel
Benämning	vikt [g]	vikt [g]	vikt [g]	vikt [g]	u[-]	u _{med} [-]
N1:1 y	5	4,444	4,434	4,43	0,129	0,131
N1:2 i	2,513	2,222	2,22	2,215	0,135	
N2:1 y	1,898	1,671	1,67		0,137	0,133
N2:2 i	1,82	1,613	1,609	1,612	0,129	
Ö1:1 y	1,444	1,279	1,281	1,279	0,129	0,130
Ö1:2 i	3,209	2,839	2,845	2,837	0,131	
Ö2:1 y	1,799	1,591	1,595	1,59	0,131	0,130
Ö2:2 i	3,793	3,359	3,364	3,362	0,128	

Tabell 13 Uttaget prov från distanslätken i den ventilerade luftspalten, vikt och fuktkvot för varje prov och medelfuktkvoten för respektive plats.

Större träbitar	2017-05-09 14:10	2017-05-10 14:30	2017-05-11 15:30	2017-05-17 10:45	Fuktkvot	Medel
Benämning	vikt [g]	vikt [g]	vikt [g]	vikt [g]	u[-]	u _{med} [-]
N3:1	70,881	61,52	61,512	61,469	0,153	0,148
N3:2	53,981	47,346	47,327	47,289	0,142	
N4:1	93,183	80,679	80,622	80,559	0,157	0,153
N4:2	72,253	63,133	63,026	62,964	0,148	
Ö3:1	61,556	53,841	53,806	53,8	0,144	0,144
Ö3:2	60,992	53,515	53,421	53,357	0,143	
Ö4:1	78,391	69,108	69,055	69,029	0,136	0,136
Ö4:2	74,68	65,905	65,847	65,77	0,135	

Fuktkvoten i träregelstommen är i princip densamma på både den östra och den norra fasaden enligt tabell 12. Det förekommer ett något högre värde på den norra sidan av huset på ca 0,1 – 0,3 % FK, men det förhöjning är en så liten att den inte kan anses säkerställd.

I tabell 13 framgår att fuktkvoten i träregeln i ventilationsspalten uppvisar en större skillnad mellan de olika fasaderna. I detta fall är värdena på den norra sidan av huset ungefär 1 %-enhet FK högre än på den östra.

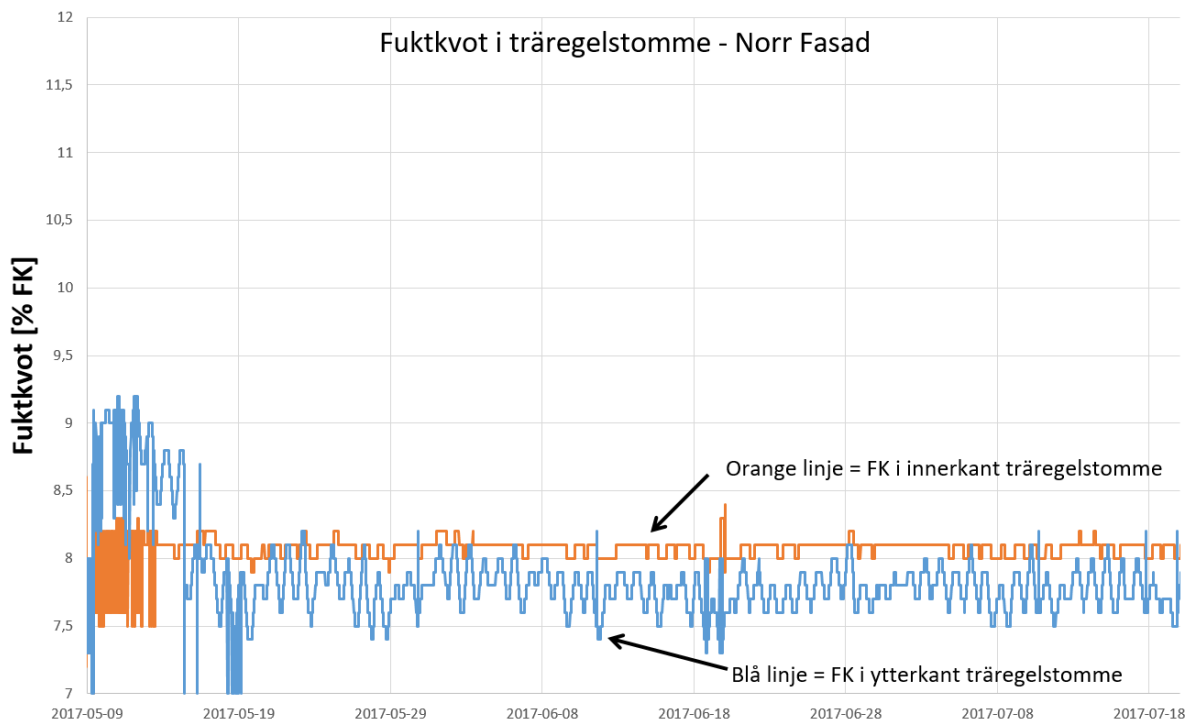
Vid en jämförelse av värdena i de två ovanstående tabellerna framgår att träreglarna i luftspalten är 0,6 – 2,0 %-enhet FK fuktigare för respektive plats, än fuktnivån i träregelstommens ytterkant.

11.3 Loggning av fuktkvot

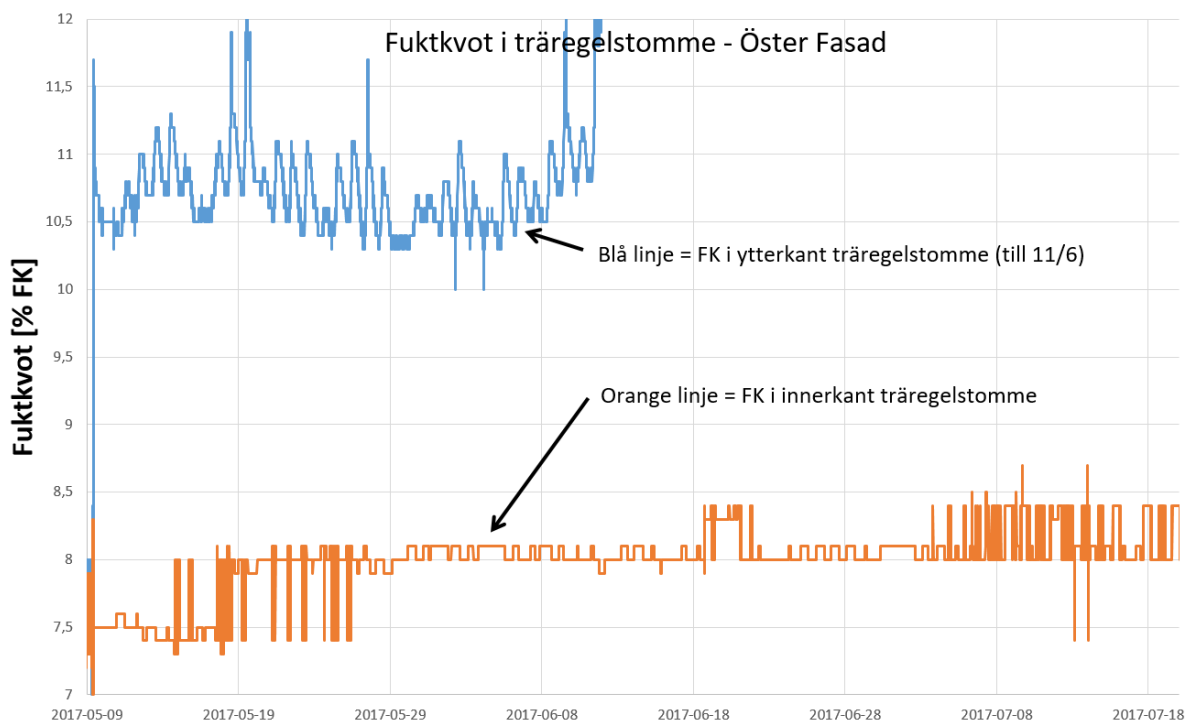
En trådlös utrustning av modellen Omnisense bestående av 4 st trådlösa batteridrivna loggers (S-16) för kontinuerlig loggning av fuktkvot %, RF % och °C samt en trådlös och nätansluten (220 V) gateway (G-3) för trådlös överföring av mätvärden till lagring i molntjänst.

De trådlösa loggningsenheterna monterades på vertikala delar av träregelstommen, ca 15 cm ovanför syllan. Mätplatserna var desamma som provtagningsplatserna för uttagna prover, se föregående avsnitt. På varje mätplats placerades två loggningsenheter, en i ytterkant av träregelstommen, ca 10 mm från regelns ytterkant, se Figur 33. Och den andra loggningsenheten placerades i innerkant av träregelstommen, ca 10 mm från regelns innerkant.

Fuktkvoterna loggades kontinuerligt under perioden 2017-05-09 till 2017-07-20, se Figur 34 - Figur 35 för samtliga resultat. Loggningsenheten i ytterkant av träregelstommen på den östra fasaden tappade kontakten 2017-06-11 och slutade då att leverera mätvärden.



Figur 34 Uppmätt fuktkvot i träregelstomme åt norr, mätpunkter placerade ca 15 cm över syll.



Figur 35 Uppmätt fuktkvot i träregelstomme åt öster, mätpunkter placerade ca 15 cm över syll

Resultaten från de loggade mätningarna i ytterkant av träregelstommen, som redovisas i Figur 34 och Figur 35, är avsevärt lägre än de uttagna proverna som redovisas i Tabell 12.

Den blå kurvan i Figur 34 som visar FK i ytterkant av träregelstommen på den på den norra fasaden, som är ett lägre mätvärde än motsvarande värde på den östra fasaden, se den blå kurvan i Figur 35.

Detta är motstridigt med resultaten från gravimetrisk mätningar på uttagna proverna som redovisas i Tabell 12. Där är mätvärdena (FK) högre för den norra fasaden.

Båda kurvorna i Figur 34 uppvisar snabba förlopp fram till ungefär 19/5. Därefter är kurvornas utseende stabila och upplösningen god. Det sker små stegvisa förändringar på ett sätt som kan anses rimligt.

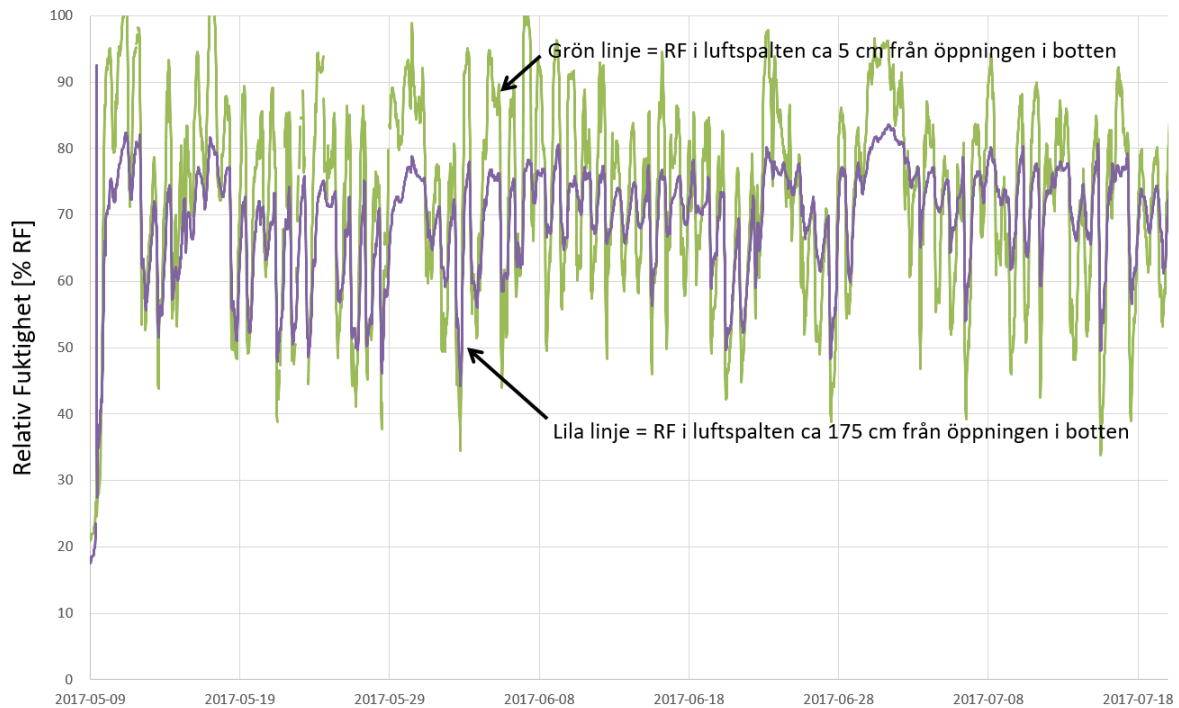
Temperaturkurvan i Figur 35 uppvisar periodvis snabba förändringar i hopp om 0,4 – 0,6 °C. Detta kan vara en egenskap hos mätutrustningen då det kan ses orimligt att temperaturen pendlar så snabbt och med så stora utslag på denna plats i konstruktionen. Kurvan för FK uppvisar inte dessa hoppvisa förändringar.

11.4 Loggning av temperatur och fuktighet i luftspalt

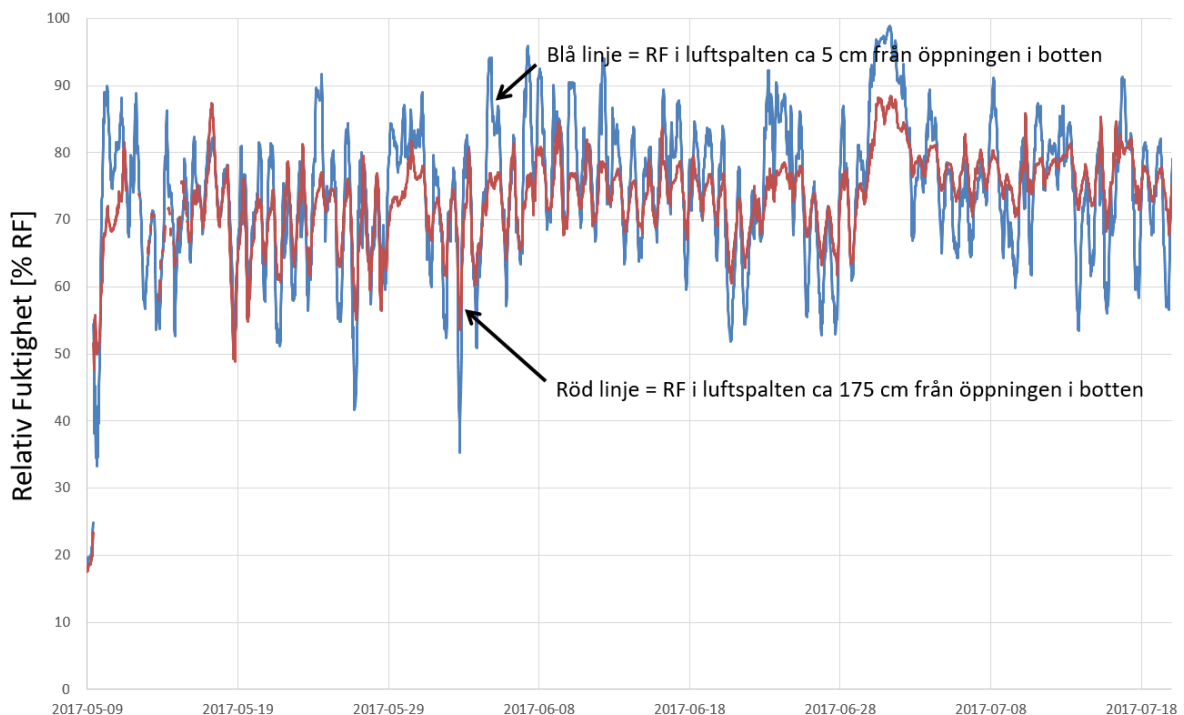
En trådlös utrustning av modellen Celsicom bestående av 6 st trådlösa batteridrivna loggers (Celsicom radiogivare) för kontinuerlig loggning av RF % och °C samt en trådlös och nätansluten (220 V) basstation (Celsicom Connect + USB-modem) för trådlös överföring av mätvärden till lagring i molntjänst.

De trådlösa loggningsenheterna monterades på vindskyddskivan och sladden till RF-givaren låstes runt instrumentet så att mätningen kunde utföras på avpassad höjd i luftspalten. Mätningen i luftspalten utfördes på två höjder, dels ca 5 cm ovanför öppningen i underkant av fasaden och dels ca 175 cm upp i luftspalten, räknat från öppningen i underkant.

Utrustningen monterades vid mätningens start på tre av husets fasader norr, öster och söder. Temperatur och luftfuktighet loggades kontinuerligt under perioden 2017-05-09 till 2017-07-20, se Figur 36 - Figur 39 för samtliga resultat. Efter en tid (2017-05-22) flyttades en av loggerenheterna från den södra fasadens underkant till att mäta uteluften. Den placerades då i ett skyddat läge under takfoten på den norra fasaden. Mätningen utfördes under en årstid när relativa fuktigheten i uteluften är relativt låg, om mätningen utförts under vintertid hade resultaten sannolikt blivit annorlunda.



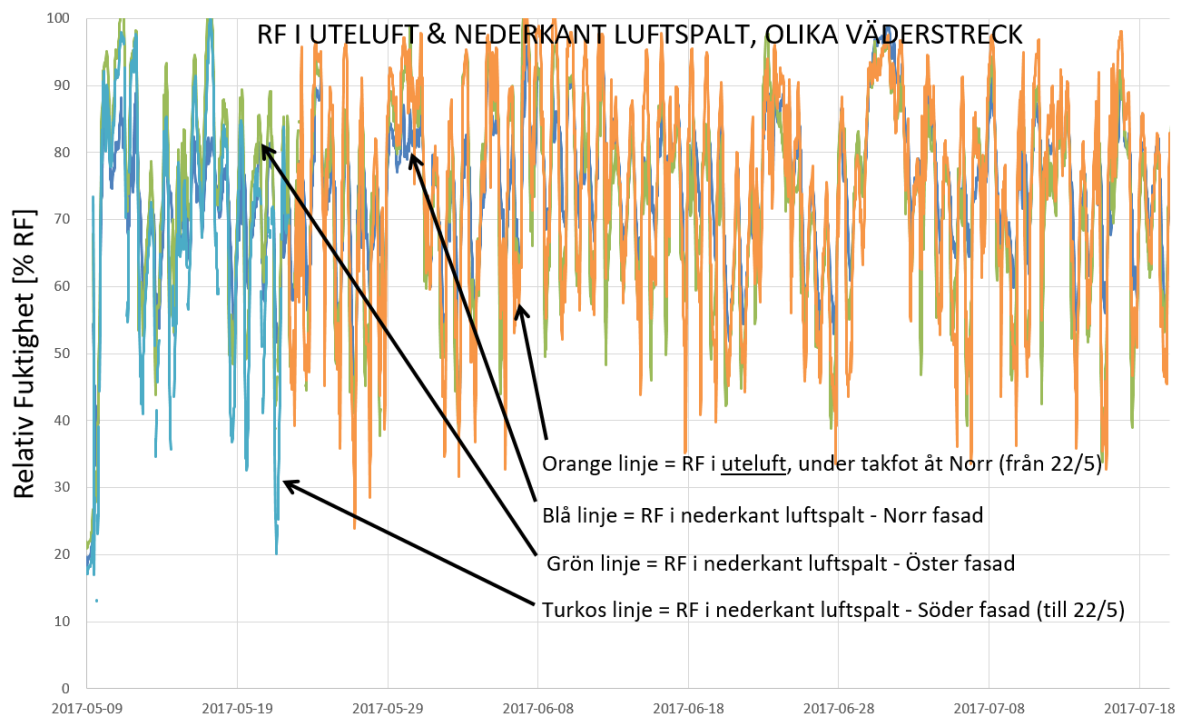
Figur 36 Uppmätt relativ luftfuktighet (RF) i luftspalten på fasad Öster, mätpunkter placerade ca 5 cm respektive ca 175 cm över öppningen i underkant av fasad.



Figur 37 Uppmätt relativ luftfuktighet (RF) i luftspalten på fasad Norr, mätpunkter placerade ca 5 cm respektive ca 175 cm över öppningen i underkant av fasad.

Resultaten från mätningarna av fuktnivån, RF, i luften i den ventilerade spalten visar att det varierar mer i underkant av luftspalten än den gör 1,7 meter högre upp. I Figur 36 framgår att skillnaden i RF

hos den östra fasaden är i storleksordningen 20 % RF medan Figur 37 visar att motsvarande skillnad hos den norra fasaden är något mindre, ca 10 - 15 % RF.



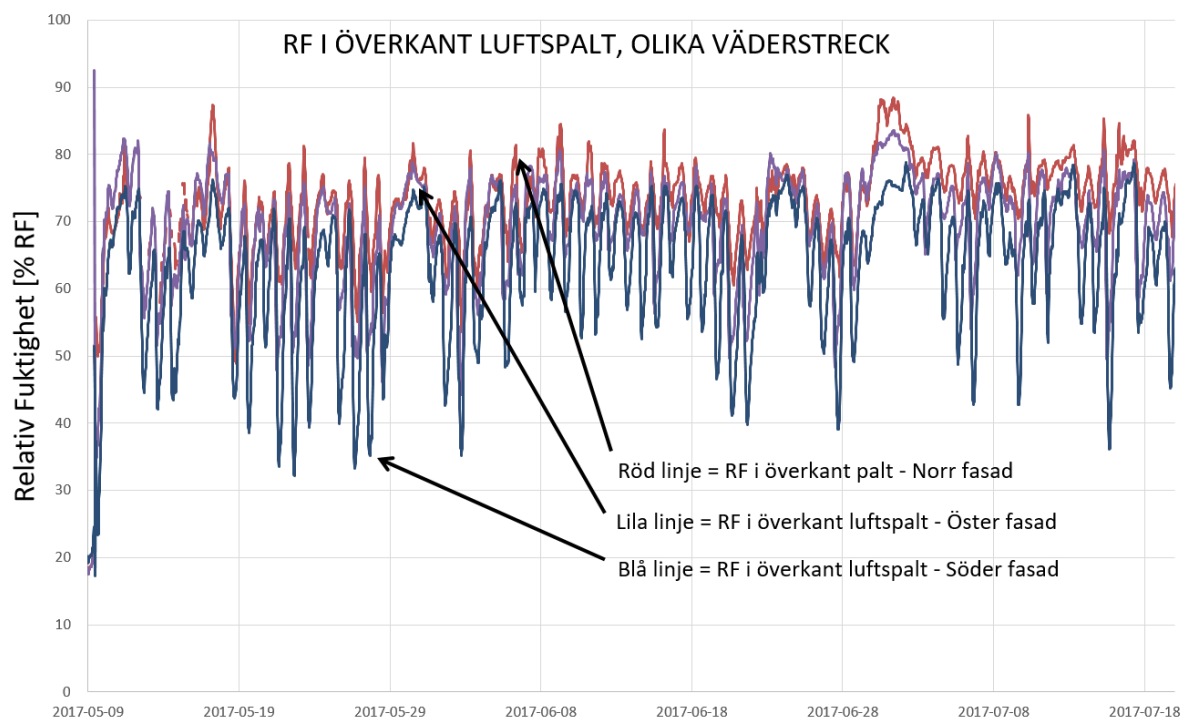
Figur 38 Uppmätt relativ luftfuktighet (RF) i nederkant av luftspalten i tre väderstreck samt för uteluft från 2017-05-22, mätpunkter placerade ca 5 cm över öppningen i underkant av fasad.

I Figur 38 jämförs uppmätt RF i underkant av luftspalten mellan tre fasader samt uteluften. Det framgår att den norra fasaden (blå kurva) har mindre svängningar (lägre amplitud) än den östra fasaden (grön kurva).

Fram till den 22/5 loggades även RF i underkant av luftspalten på den södra fasaden (turkos kurva), se Figur 38. Den 22/5 flyttades denna logger för att istället mäta RF i uteluften. Logger placerades under takfoten vid det nordöstra hörnet av huset. Från den 22/5 loggades istället RF i uteluften (orange kurva).

Tabell 11 visar att fuktnivån hos träreglarna i luftspalten hos den östra fasaden är ca 13,5 – 14,5 % FK vilket överensstämmer med ett ungefärligt medelvärde på ungefär 70 – 75 % RF för luften i spalten (gröna kurvan) i Figur 38.

På motsvarande sätt visar Tabell 11 att fuktnivån hos träreglarna i luftspalten hos den norra fasaden är ca 14,5 – 15,5 % FK vilket överensstämmer med ett ungefärligt medelvärde på ungefär 75 – 80 % RF för luften i spalten (blå kurvan) i Figur 38.



Figur 39 Uppmätt relativ luftfuktighet (RF) i överkant av luftspalten i tre väderstreck, mätpunkter placerade ca 175 cm över öppningen i underkant av fasad.

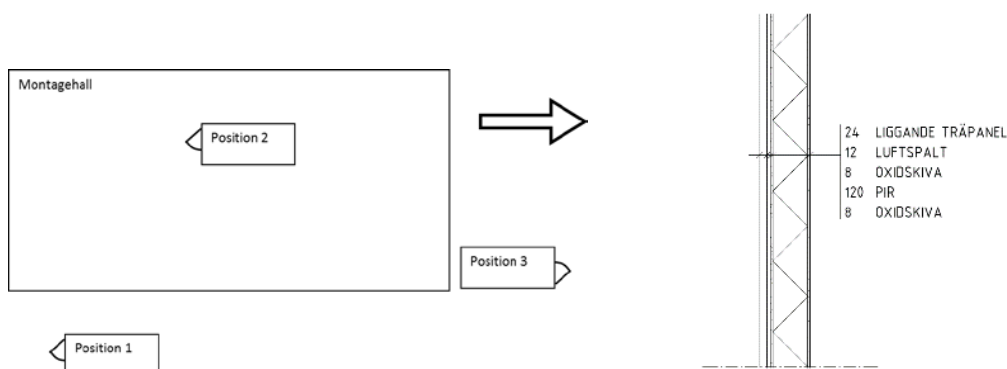
I Figur 39 jämförs uppmätt RF, ca 175 cm upp luftspalten, mellan tre fasader. Det framgår att den norra fasaden (röd kurva) har de högsta fuktnivåerna och att den södra fasaden (blå kurva) har de lägsta fuktnivåerna och de största svängningar (största amplituden).

12 Ytterväggskonstruktion II - Sandwichelement

Ytterväggskonstruktionen hos en modulbyggnad med begränsad area belägen i mellersta Småland har studerats under våren och försommaren 2017. Dels har prover tagits ur ytterväggen för analys på laboratorium och dels har loggande mätutrustning monterats i konstruktionens luftspalt.

Två motstående ytterväggar har studerats genom loggade mätningar av RF och Temp i luftspalterna samt genom uttagna prover vid mätningens start och avslutning, som analyserats på laboratorium.

Modulbyggnadens bärande ytterväggskonstruktion bestod av ett så kallat Zip-element, som var uppbyggt av två MgO-skivor med mellanliggande PIR-isolering. Utanpå detta hade en svart träfasad av liggande träpanel monterats på stående träreglar så att 12 mm dränerande luftspalt bildades. Panelen var monterad ända ner mot en utstickande stålsyll så att luftspalten saknade egentlig öppning i nederkant. Anslutningen mellan träpanel och stålsyll hade sådana otätheter att det ansågs föreligga fullgod dräneringsförmåga hos luftspalten.



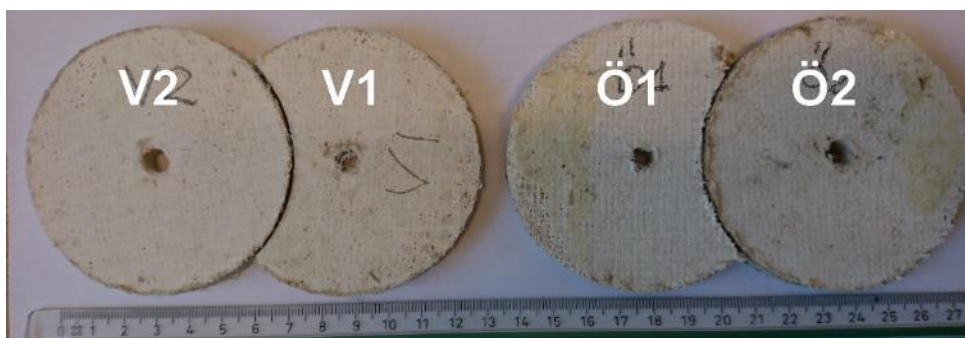
Figur 40 Temporära placeringar av mindre byggnad under fältmätningen, pilen motsvarar nordlig riktning.

Byggnaden var placerad utomhus och under den första delen av mätningen 2017-01-19 till 2017-03-21 orienterad enligt position 1 i Figur 40. Därefter flyttades modulbyggnaden in i en montagehall med reglerad temperatur, 18 °C, position 2. Under den sista delen av mätningen 2017-04-05 till 2017-06-14 var modulbyggnaden placerad enligt position 3, vilket medför att fasaderna och loggerenheter exponerades i motsatt väderstreck i jämförelse med position 1. Den stora montagehallen skuggade modulen vid olika tidpunkter beroende på position. I position 1 skuggades modulbyggnaden främst under eftermiddagstid. I position 3 skuggades modulen från cirka klockan 12 fram till kvällen.

12.1 Uttaget prov av MgO-skiva

Prover i form av rondeller från Zip-elementets yttre MgO-skiva sågades ut med hålsåg (Ø 80 mm) vid två tillfällen. Respektive rondell förpackades omedelbart efter att de sågats ut i tre lager kraftiga plastpåsar, modell "fryspåsar". Vid angivande av prov från en fasad med visst väderstreck angivet så gäller *ursprunglig position* det vill säga *position 1*.

Vid den första provtagningen 2017-01-19 blev proverna väldigt varma under sågningen, sannolikt beroende på att det var fel modell av hålsåg för dessa hårda MgO-skivor.



Figur 41 Uttagna prov av MgO-skiva från västra respektive östra fasaden.

På laboratoriet togs provkropparna ur plastpåsar och vägdes i fuktigt tillstånd, ca 4 timmar efter att de tagits ur konstruktionen. Vägningen skedde på en analysvåg med upplösningen 0,001 g och maxkapacitet 410 gram. Vid vägningstillfället var provkropparna inte längre varma och ingen kondens var synlig i påsarna.

Därefter torkades prover i ugn med temperaturen 35 °C under 12 dygn och vägdes sedan för att erhålla den torra vikten. I Tabell 14 redovisas samtliga vikter och den beräknade fuktkvoten.

Tabell 14 Vikt av fuktig respektive torkad provkropp och beräknad fuktkvot för prov av magnesiumoxidskiva uttaget från östra respektive västra fasaden på fältobjektet, position 1.

Benämning	Tidpunkt	tidpunkt		
MgO-prov	2017-01-19 16:00	2017-01-31 16:00	Fuktkvot	Medelfuktkvot
	vikt [g]	vikt[g]	u[-]	u[-]
Öster 1	38,28	34,00	0,13	0,13
Öster 2	47,29	41,61	0,14	
Väster 1	36,22	33,41	0,08	0,08
Väster 2	44,44	41,06	0,08	

Resultatet visade att MgO-skivans fuktkvot, u, på den östra sidan av byggnaden var 13,2%, medan den på västra sidan var 8,3%. Det är en signifikant skillnad och innebär att det har varit fuktigare i den östra luftspalten än i den västra under en viss tid.

Vid den andra provtagningen, som skedde ungefär 5 månader efter den första, användes en annan hålsåg med större tänder på, vilket innebär att proverna inte blev varma av provtagningsförfarandet. I Tabell 15 redovisas vikter, fuktkvoter och medelfuktkvot för prover tagna vid det andra tillfället.

Tabell 15 Vikt av fuktig respektive torkad provkropp och beräknad fuktkvot för prov av magnesiumoxidskiva uttaget från östra respektive västra fasaden på fältobjektet.

Benämning	Tidpunkt	tidpunkt		
MgO-prov	2017-06-14 14:30	2017-06-19 08:45	Fuktkvot	Medelfuktkvot
	vikt [g]	vikt[g]	u[-]	u[-]
1	33,32	33,15	0,005	0,005
2	31,41	31,25	0,005	
3	31,25	31,01	0,008	0,008

Resultatet visade att MgO-skivan hade torkat avsevärt hos båda ytterväggskonstruktionerna sedan föregående mätning. Fuktkvoten, u , på den västra sidan av byggnaden (prov 1 och 2) var 0,5 %, och på den östra sidan (prov 3) 0,8 %. Denna fuktkvot ska inte förväxlas med en fuktkvot som erhålls så ett material torkas i 105 °C.

12.2 Loggning av temperatur och fuktighet

Trådlösa loggers av modellen HOBO MX2301 för kontinuerlig mätning av RF och temperatur användes för att studera ytterväggskonstruktionerna. Fyra dataloggerenheter monterades, en inne i modulbyggnaden och en utomhus monterad på modulens ursprungliga nordliga fasad, skyddad under en mindre plåtskärm öppen i botten. Varje enhet loggade RF och temp-värden varje halvtimme. Två av loggerenheterna placerades i luftspalt i motstående ytterväggskonstruktioner, Figur 42 och Figur 43 . Dessa var orienterade åt öst respektive väst och fick omkastade placeringar då modulbyggnaden omplacerades efter en tid. Loggrarnas plats byttes inte under mätperioden.

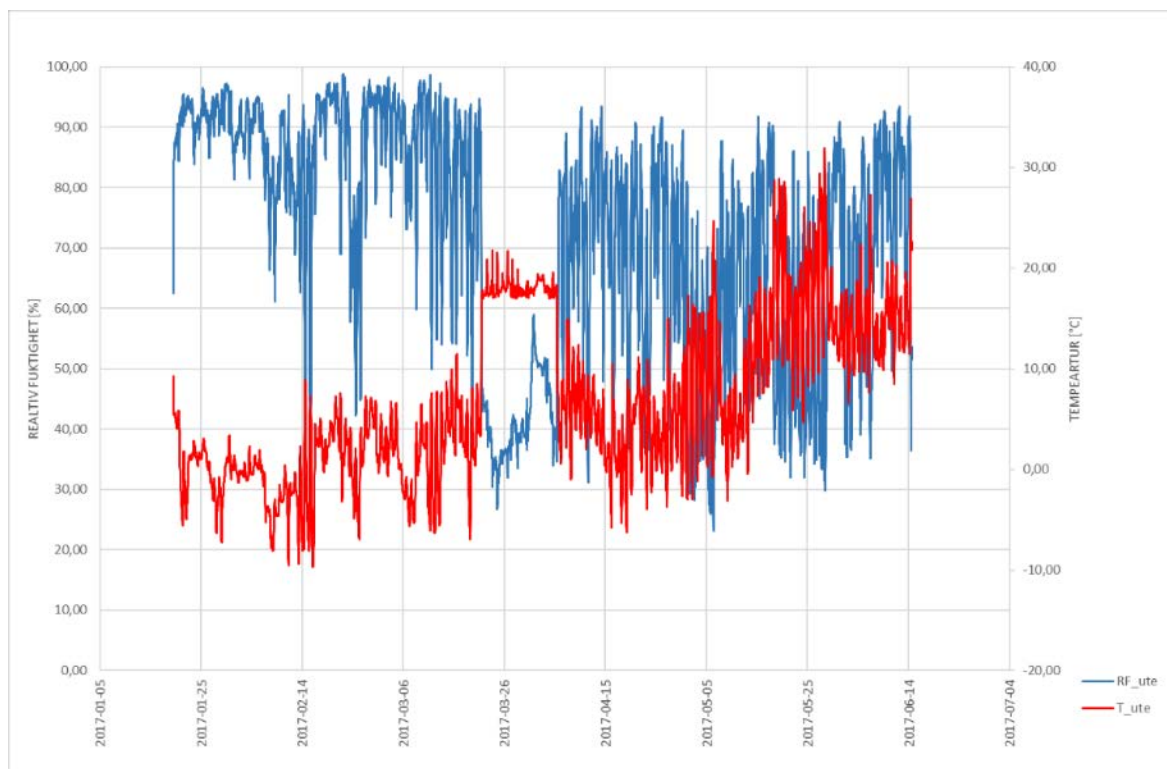


Figur 42 Fotografi på datalogger 2 monterad i luftspalt.



Figur 43 Fotografi på datalogger 3 monterad i luftspalt.

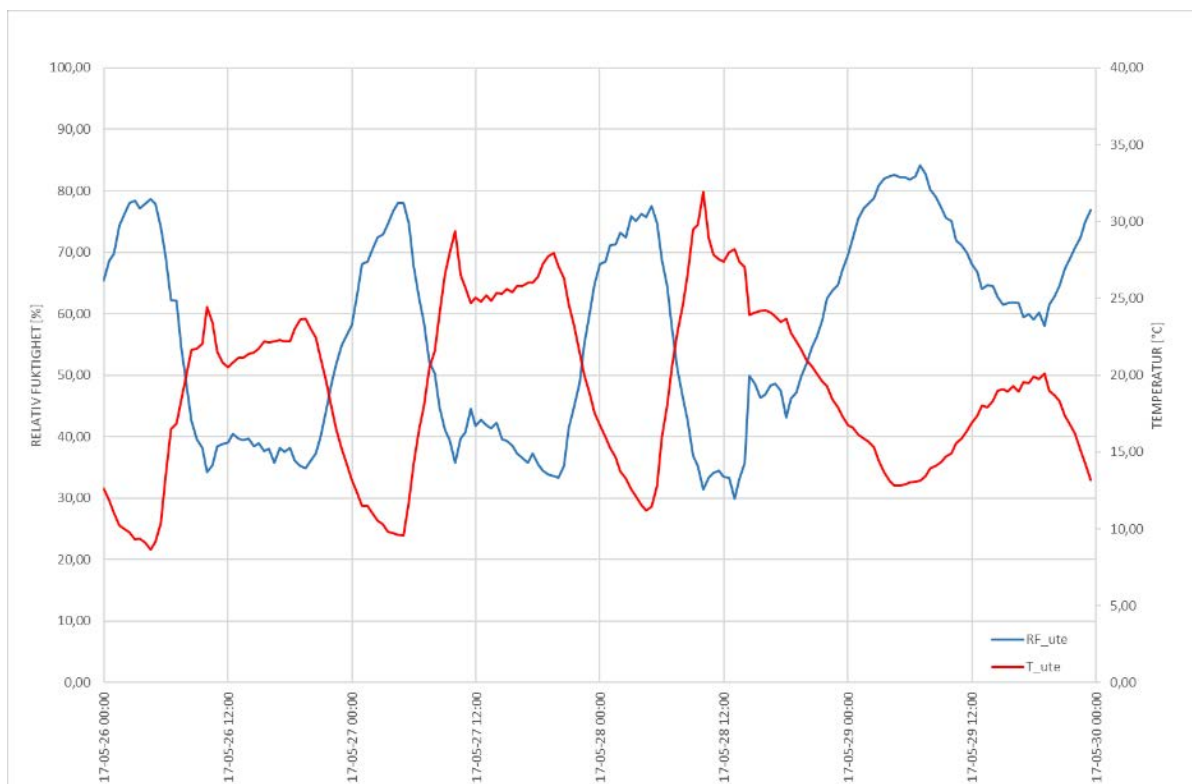
Lufttemperaturen och luftens relativa fuktighet (RF) från den logger som placerades utomhus visas i Figur 44. Relativa fuktigheten representeras av den blåa kurvan och temperaturen av den röda kurvan. Relativa fuktigheten avläses på den vänstra y-axeln, temperaturen avläses på den högra y-axeln och på x-axeln visas tiden.



Figur 44 Relativ fuktighet och temperatur utanför mindre byggnad under hela mätperioden från den 19 januari till den 14 juni 2017.

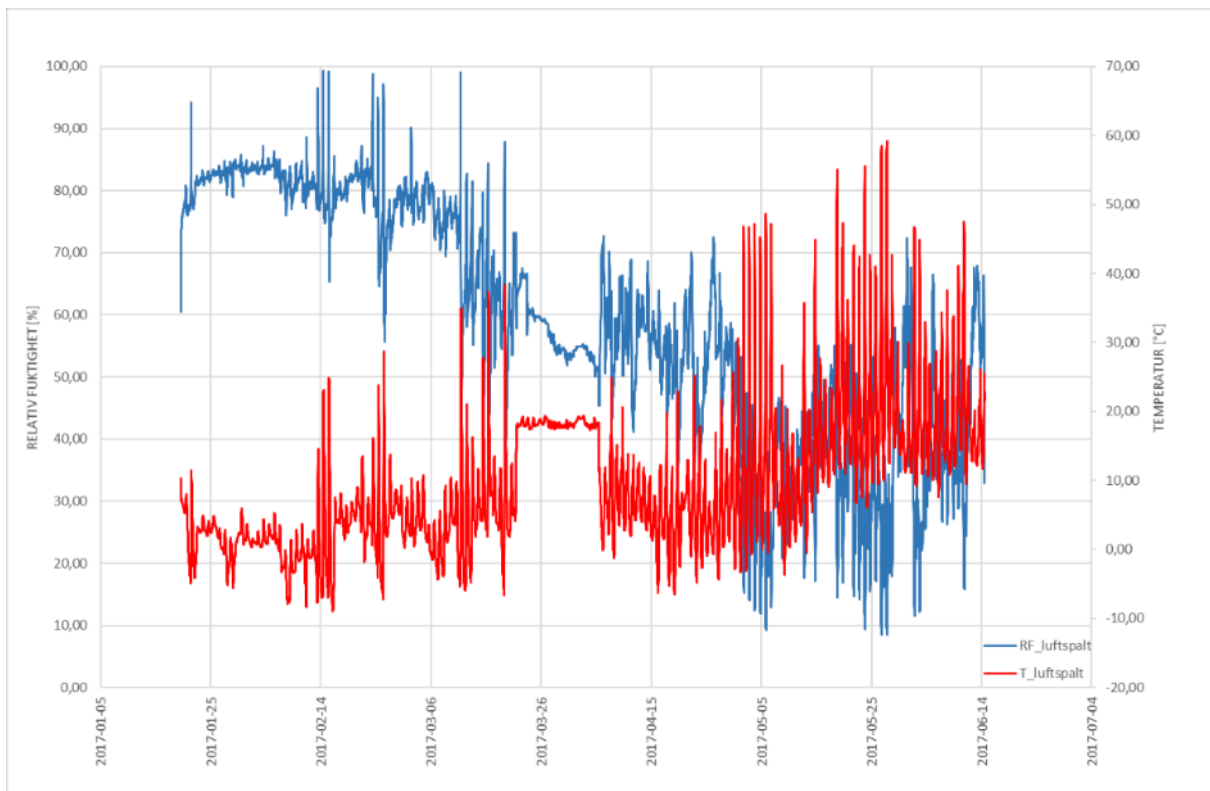
Relativa fuktigheten i utomhusluften varierade under mätperioden mellan 23 % RF och 98 % RF. Vidare kan noteras att luftfuktigheten varierade mycket under kort tid. Under början av mätperioden var det fuktigare i luften än i slutet av perioden, vilket är väntat. Luftfuktigheten under inomhusperioden var betydligt lägre än utomhus, vilket också är väntat, cirka 40% RF.

Temperaturen varierade under mätperioden från som lägst -10 °C i början av mätperioden till cirka 30 °C under försommaren, vilket också är som förväntat. De högsta temperaturerna utomhus beror förmodligen på att plåtskärm, som loggern satt under, värmdes upp av förmiddagssolen, ty många temperaturtoppar återfanns kl 10:00. Perioden då byggnaden var inomhus visar att temperaturen i montagehallen var cirka 18 °C.



Figur 45 Relativ fuktighet och temperatur utomhus under tre dygn i slutet av maj.

Relativa fuktigheten och temperaturen i den begränsat ventilerade luftspalten för hela mätperioden visas i Figur 46. Notera att skalan på y-axeln går från +70 °C till -20 °C. Vad som måste observeras är att loggern satt på en fasad som under första mätperioden var orienterad mot öster. Efter inomhusperioden var denna fasad orienterad mot väster.

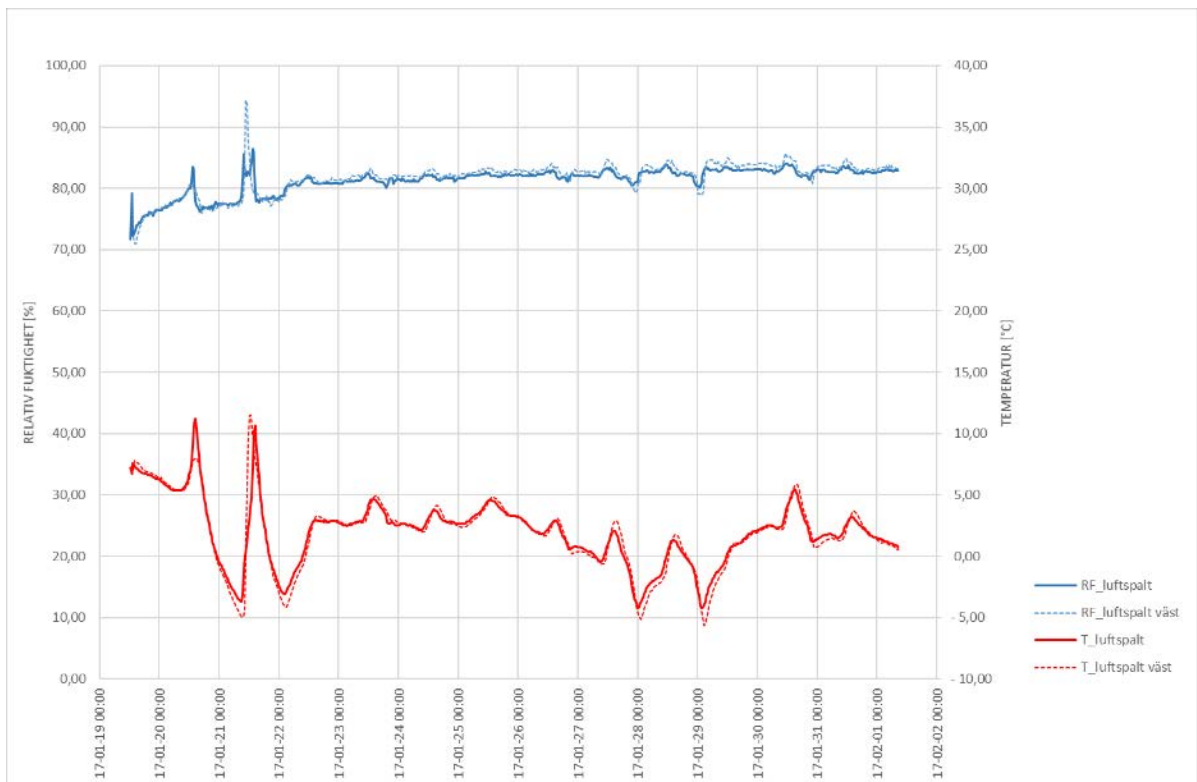


Figur 46 Relativ fuktighet och temperatur i luftspalt med begränsad ventilation under hela mätperioden från den 19 januari till den 14 juni 2017.

Relativa fuktigheten i luftspalten varierade mellan 8 % RF och 98 % RF. Luftfuktigheten i spalten var i medel cirka 80 % RF under de två första månaderna, för att sedan sjunka till cirka 40 % RF under försommaren. Dygnsvariationerna i luftfuktighet i luftspalten är låga under vintern.

Temperaturen i den begränsat ventilerade spalten varierade mellan -8 °C och 58 °C. Dygnsvariationerna under vintern var mycket lägre än under försommaren, vilket är ett rimligt resultat. De höga temperaturtopparna beror till stor del på solinstrålning och att luftspalten är begränsat ventilerad.

En jämförelse mellan luftfuktighet och temperatur och i östra (RF_luftspalt, T_luftspalt) och västra (RF_luftspalt väst, T_luftspalt väst) fasadens luftspalt kunde endast göras under de första två veckorna av mätperioden. Därefter slutade loggern i den ena luftspalten att fungera. Resultatet av jämförelsen visas i Figur 47.



Figur 47 Jämförelse av relativ fuktighet och temperatur i östra och västra luftspalten.

Mätningen visar att luftens relativa fuktighet och temperatur är väldigt snarlik under den korta loggningsperioden. Att både fuktigheten och temperaturen i luftspalten är lika verkar rimligt då solens inverkan på temperaturen vintertid är låg. Relativa fuktigheten i luftspalten skiljer cirka 2-3 % RF med enstaka undantag och temperaturen skiljer som mest ungefär 1-2 °C, med något enstaka undantag.

13 Trä som varit i kontakt med MgO-skiva

Det har visat sig att tårvätskan som uppstår, kan sugas in i anliggande trä och fukta upp det. Det kan då uppstå mer eller mindre tydligt missfärgade områden på exempelvis träregelstommen och träreglar i den ventilerade luftspalten.

Dessa missfärgade områden på träet benämns som "saltpåverkade" eller påverkade av tårvätska och kan ha fått ändrade egenskaper. Bland annat kan de elektriskt ledande (resistiva) egenskaperna förstärkas av salterna i tårvätskan, se avsnitt 5.5.

13.1 Träreglar i uteluftsventilerad palten

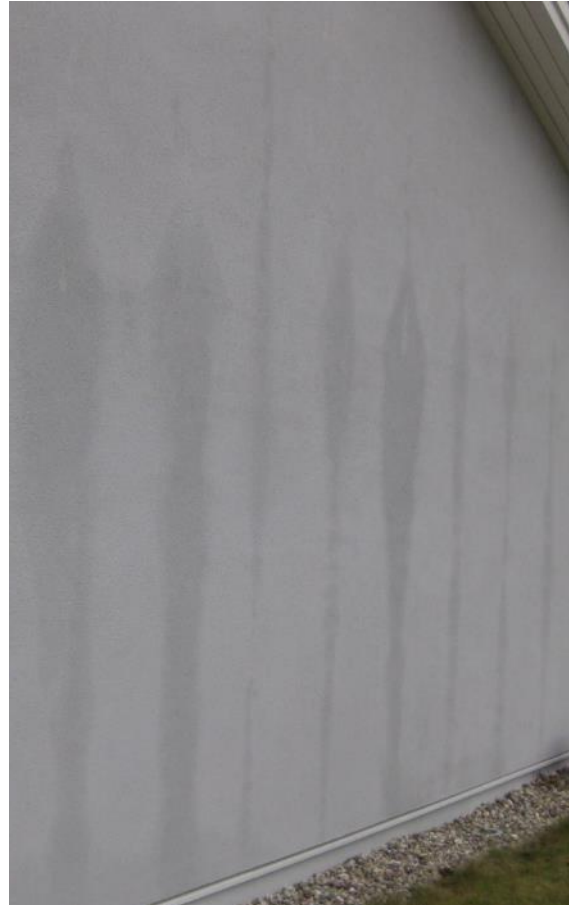
Träreglar som sitter i en ventilerad luftspalt kan absorbera fukt direkt ur luften som passerar genom luftspalten och även ta upp vatten från angränsande material. Träreglar monterade på en gråtande MgO-skiva kan även suga upp de tårar som bildas.

Figur 48 visar en träregel som monterats i luftspalten ner mot den hålade öppningsprofilen, "musbandet". Ändrätet var i kontakt med musbandet och tårvätskan som rann ut på musbandet kunde därmed sugas upp i regelns. Det noterades att regeln inte var fuktig i innerkant, mot MgO-skivan, eftersom dess montering "utanpå" musbandet skapade en liten distans. Intelligande regler, som inte låg an med ändrätet ner mot musbandet, hade inte fuktats upp alls.

Figur 49 visar en fasad med missfärgningar i form av mörka områden som överensstämmer med placeringen av reglarna i luftspalten. Saltpåverkade regler i en luftspalt kan av allt att döma ta upp så mycket fukt att de i sin tur kan påverka putsbärarskivan



Figur 48 Träregel i luftspalt som uppfuktats från ändträet som ligger an mot plastprofilen



Figur 49 Fasad där putsbärarskivan fuktats upp av saltpåverkad träregel i luftspalten.

I några fall har troligtvis uppfuktning av reglarna i luftspalten skett i överkant där de anslöt till hammarbandet. Kallvindens klimat kan ha haft en avgörande betydelse i dessa fall.

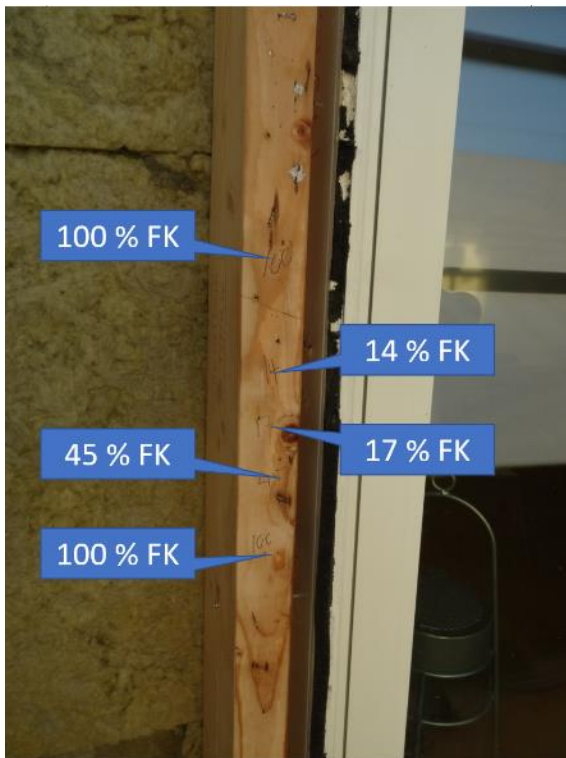
Det är osäkert hur orsakssambandet kan se ut vid uppfuktning av reglarna. Det kan vara så att luftflöden och reglar i luftspalten tillsammans med reglarna i den isolerade delen av väggen ger upphov till "köldbryggor" mm som kan påverka de kritiska förhållandena för att MgO-skivor skall gråta.

13.2 Träreglar i husets stomme

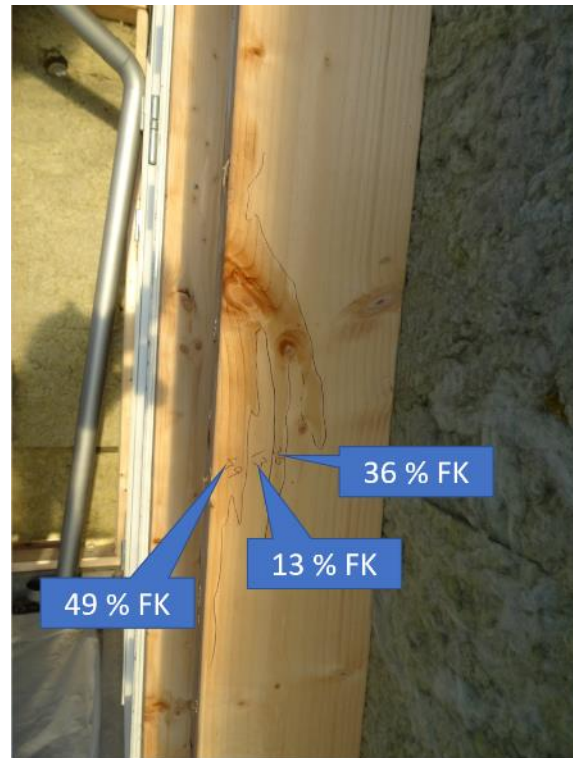
Träregelstommen kan under vissa förutsättningar fuktas upp av tårvätska från en utanpåliggande vindskyddsskiva av MgO. Tårvätskan tränger då främst in i träregelstommen på horisontella ytor, där vätskan kan bli stående under lång tid ända tills den torkar bort, och i ändträet samt på ställen där träfibrernas sugrörsliknande struktur har öppnats upp av någon anledning. Exempelvis vid spikhål, skruvar, klammer och vid kvistar och kvisthål.

Den vertikala träregeln i Figur 50 har en generell fuktnivå på 14-17 % fuktkvot mellan de områden som påverkats av tårvätskan. Invid hålen, som orsakats av vindskyddskivans häftklammer, mäts fuktnivån till 45 respektive 100 % fuktkvot med en resistiv FK-givare.

Figur 51 visar hur en träregel har påverkats av tårvätskan som verkar ha spridit sig i fiberriktningen utifrån en kvist. Notera att de skarpa gränserna för det påverkade området har markerats med en penna i Figur 51 och inte i Figur 50.



Figur 50 Vertikal del av träregelstomme med påverkade områden invid häftklamrarnas hål.



Figur 51 Vertikal del av träregelstomme som påverkats av tårvätska i fiberriktningen utifrån en kvist.

Tårvätskan, som rinner på insidan av en vindskyddskiva, kan ansamlas på olika horisontella ytor såsom syllen, hammarbandet och kortlingarna. Det bildas ofta en skarp synlig gräns för det påverkade området som följer träets fibrer ovanpå dessa ytor. På mindre än 1 cm avstånd kan mätvärdet hos en resistiv FK-givare öka från det normala 10-17 % FK, se Figur 52, till 90-100 %FK, se Figur 53.



Figur 52 Mätvärde (10,7 % FK) på den opåverkade delen av syllen, strax intill påverkat område.



Figur 53 Mätvärde (94,1 % FK) på den opåverkade delen av syllen, precis bredvid gränsen.

13.3 Insugning av saltlösning i trä och indikering av saltpåverkat trä

I detta avsnitt beskrivs en undersökning för att bestämma inträngningsdjupet i träregel av en saltlösning som motsvarar tårvätska. Inträngningsdjupet är en viktig parameter vid val av åtgärder för att avlägsna påverkade delen av en träkonstruktion.

För att detektera inträngningsdjupet har träreglarna delats och sprayats med silvernitratlösning, som normalt skapar en tydlig missfärgning hos trä åt det mörkare hållet. Då lösningen sprejades på de delar av regeln som påverkats av magnesiumkloridlösning hände ingenting utan de förblev ljusa.

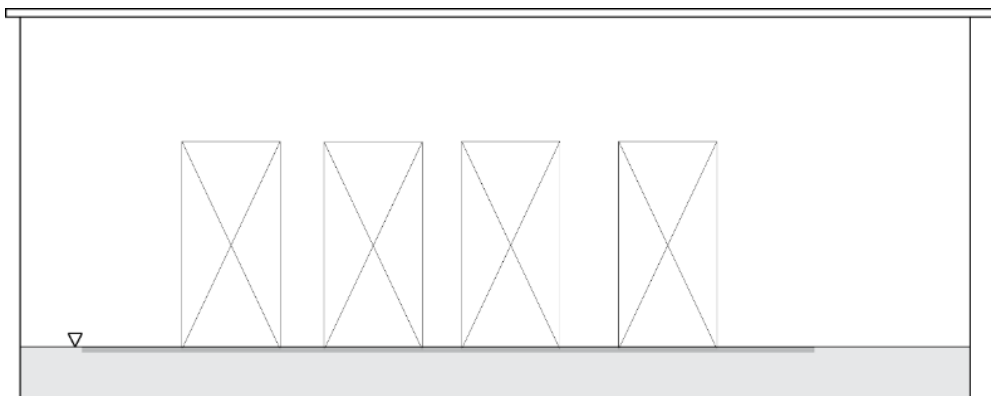
Silvernitratt används även för att undersöka inträngning av klorider i betong. I det fallet blir utslaget tvärtom. Det vill säga de delar av betongen som innehåller klorider får en färgskiftning åt det mörkare hållet jämfört med delar som inte innehåller klorider.

Det bör också nämnas att silvernitratt också kan reagera med magnesiumsulfat och bildar silversulfat.

13.4 Kontrollerad metod för att exponera trä för saltlösning

Hyvlade träreglar, (45*95) mm², sågades till och ändträbehandlades med en färg för att hindra (minska) transport av saltlösning längs med fiberriktningen.

Träreglarna markeras med ett kryss i Figur 54. De lades med 45 mm*400 mm anliggningsyta på wettexdukar nedsänkta 2-3 mm i saltlösningen i en klimatbox med tättsittande lock av glas.



Figur 54 Träreglar som ligger på en wettexduk på en saltlösning i en klimatbox

Figur 55 visar ett fotografi på träreglarna där de ligger nedsänkta cirka 2-3 mm i en saltlösning med Wettexdukar på botten.



Figur 55 Fotografi som visar träreglar i klimatlåda med magnesiumkloridlösning.

Efter 54 dygn vägdes alla fyra provbitarna varefter tre av dem lades tillbaka i klimatboxen för fortsatt konditionering. Innan proverna vägdes torkades vätskan bort från bottenyta och andra våta ytor med ett torrt papper. Därefter vägdes proverna och tre av dem återbördades till klimatboxen, där de konditionerades i ytterligare 280 dygn innan de vägdes ytterligare en gång.

Prov 1 lades att lufttorka i normal inomhusmiljö. Därefter kontrollerades inträngningsdjupet på detta prov genom att det sågades upp i tunna 5-10 mm skivor från ändträet och mot mitten av träregeln, se Figur 56.



Figur 56 Princip för hur träregeln sågades upp i tunna skivor.

Avsågning skedde enligt Tabell 16.

Tabell 16 Tider för avsågning av skivor samt totalt avsågad längd räknat från ändträ.

Datum	Antal dagar efter avslutad kapillärsugning	Totalt avsågad längd från ändträ
2016-08-22	0	0-30 mm
2016-08-23	1	35-55 mm
2016-11-08	78	55-75 mm
2016-11-18	88	75-80 mm

13.5 Resultat saltpåverkan

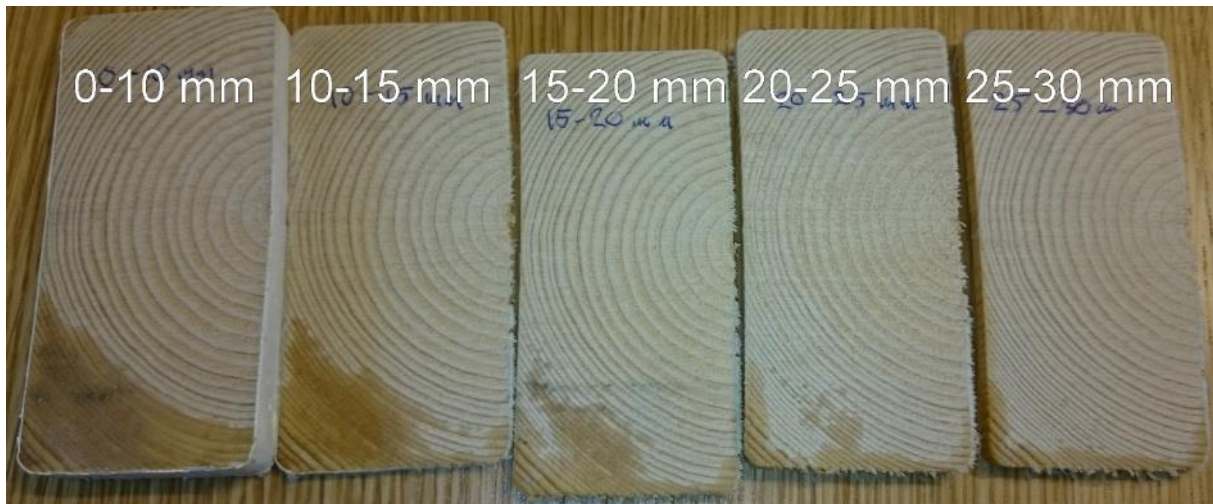
Inträngningsdjupet för kapillar sugning tvärs fiberriktningen noterades genom att visuellt inspektera färgskiftningen på den avsågade ytan. Den bedömdes vara cirka 0-1 mm på träregeln som exponerats i saltlösningen under ca två månader.

Det noterades att direkt efter avsågning började saltlösningen sprida sig upp längs den sågade ytan, se Figur 57. Detta skedde trots att all synlig saltlösning redan hade torkats bort från regelns våta ytor.



Figur 57 Träregel avsågad, notera "fransarna" spånflisorna på höger sida.

Kapillärsugning längs fiberriktningen förekom in till ett avstånd av cirka 30 mm från ändträytan se Figur 58. Det är tydligt att förseglingen av ändträ med en tät färg inte fungerade tillfredsställande i detta försök.



Figur 58 Skivor av träregel från 0-30 mm avstånd från ändträ. Fotografiet är taget cirka 15 minuter efter uppsågning

De "träfransar" som bildades vid avsågning verkade spela en avgörande roll som sugrör och spred sannolikt saltlösningen efter avsågning.

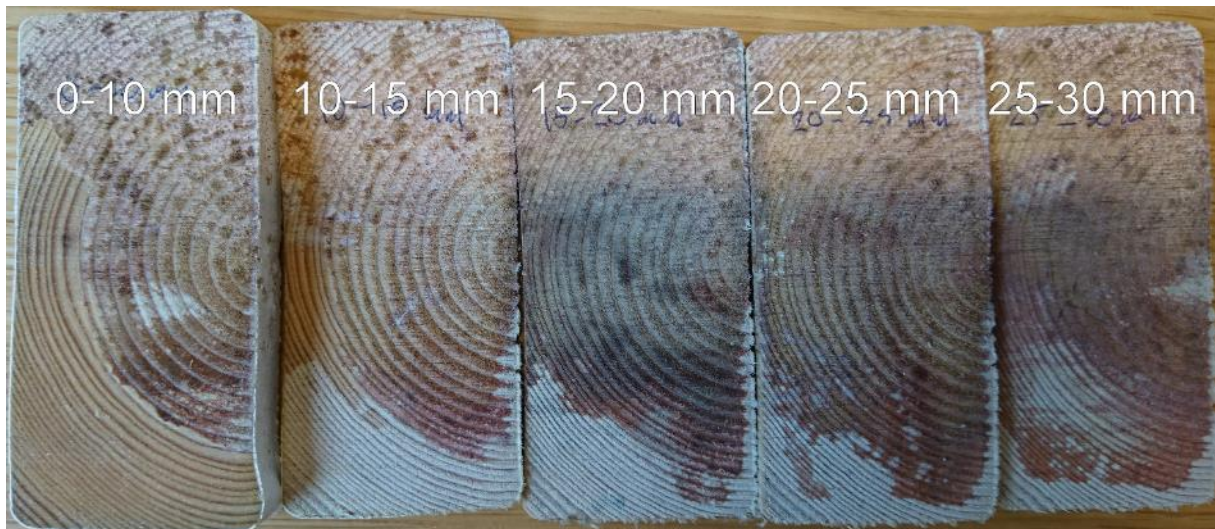
Det noterades att när träet är fuktigt förekommer tydliga färgskiftningar hos de områden som påverkats av saltlösningen. När det saltpåverkade träet torkar så bleknar dessa färgskiftningar och blir svåra eller omöjliga att upptäcka med blotta ögat.

13.6 Resultat för indikation med silvernitratlösning

För att undersöka inträngningen av saltlösning efter att proverna hade torkat användes indikatorlösning med silvernitratlösning. Då trä sprejas med silvernitratlösning ändrar det färg och mörknar. Trä som påverkats av saltlösningen behåller däremot sitt ursprungliga utseende.

Provkroppen fick torka i ca tre månader och därefter sågades nya skivor från änden på träregeln. Områdena som tidigare, i vått tillstånd, hade uppvisat en stor färgskiftning var nu bleknade och kunde inte urskiljas med blotta ögat.

Träskivorna sprejades med silvernitratlösning en timme efter avsågning. I Figur 59 framgår att det påverkade området i nedre vänstra hörnet behåller sitt ursprungliga utseende, medan större delen av skivan skiftar till en mörkare färg. Denna färgskiftning sker alltså på den del av träskivan som inte påverkats av saltlösningen.



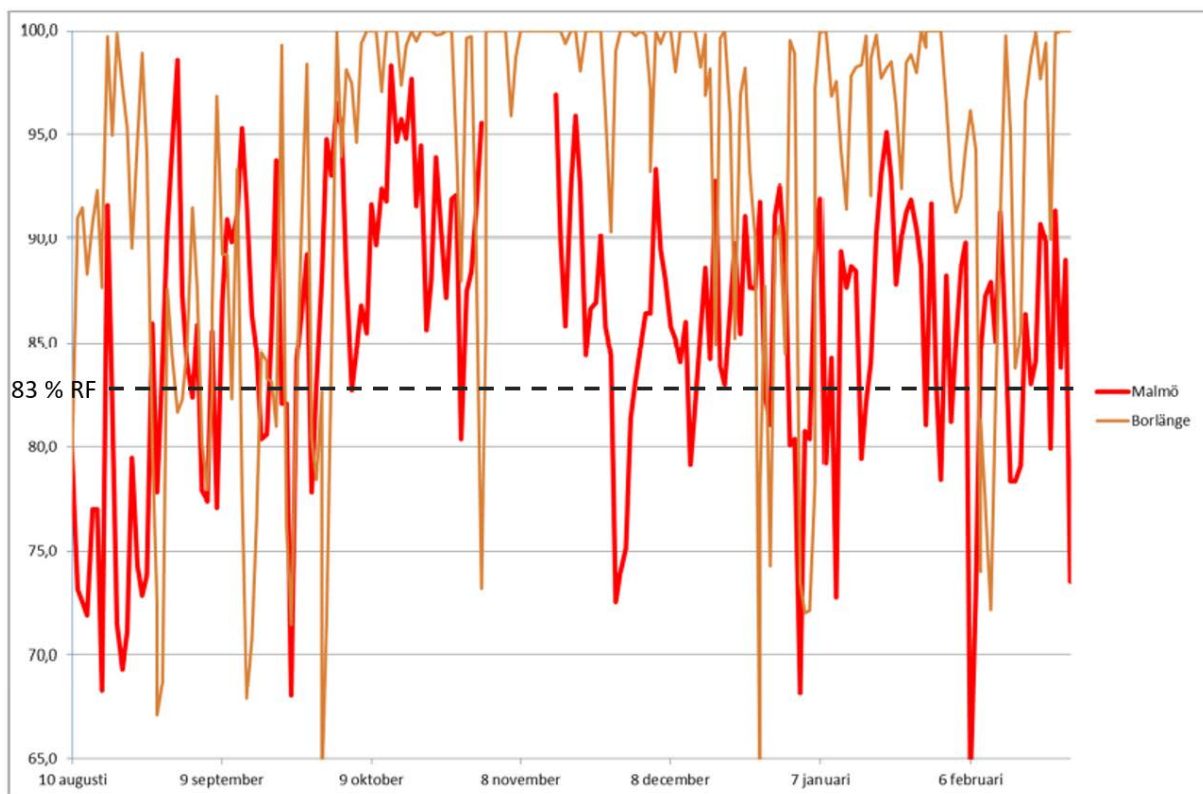
Figur 59 Missfärgning av opåverkat trä som sprayats med silvernitratlösning, foto taget 2017-05-30. Notera att skivan markerad med 0-10 mm är kraftigt deformerad (i det saltpåverkade området) och är tydligt fuktig (jämför med 10-15 mm skivan) trots att den förvarats i kontorsmiljö under lång tid.

Det kan noteras att utbredningen av det område som inte ändrar färg i ovanstående Figur 59 är större än det fuktiga området i Figur 58, trots att dessa båda områden antas vara en indikation på inträngd saltlösning. Eventuellt kan detta bero på att området har utvidgats på grund av omfördelning av saltlösning inuti trämaterialiet under torktiden eller kanske på grund av yteffekter som uppstår då silvernitratlösningen sprayas på träskivan.

14 Klimatets inverkan

Det är känt att den relativa fuktnivån i luften har avgörande betydelse för att tårar skall kunna bildas på ytan av MgO-skivor.

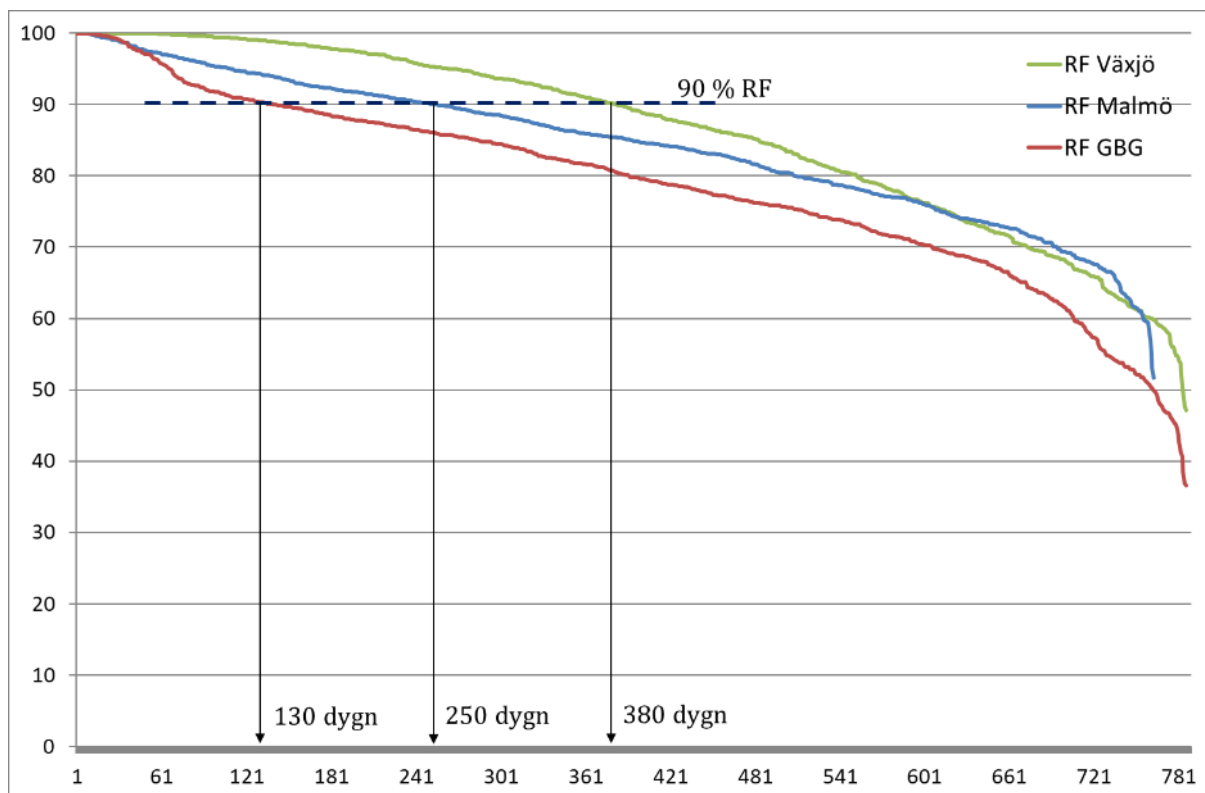
I denna studie har det visats att MgO-skivor kan börja gråta vid fuktnivåer över ca 90-95 % RF, vilket är nivåer som kan förekomma utomhus så gott som varje månad i hela Sverige. Om man ser till vintermånaderna så är den relativa fuktigheten i utomhusluften ofta högre i norra delarna av Sverige än utmed kusterna i södra Sverige, se Figur 60. Detta konstaterande kan te sig motsägelsefullt i och med att husfasaderna utmed södra Sveriges kuster anses ha en hög klimatbelastning och ofta har rapporterats vara fuktskadade.



Figur 60 Kronologiskt diagram med Relativ fuktighet (% RF) i uteluften på två orter uppmätt under några vintermånader. Notera att Borlänge har avsevärt högre "fuktnivå" än Malmö. Data från SMHI.

14.1 Varaktighetsdiagram

Ett annat sätt att redovisa uppmätta fuktnivåer är i ett så kallat varaktighetsdiagram där mätvärdena för RF i utomhusluften har ordnats i storleksordning, utan hänsyn till när de inträffar. Med ett varaktighetsdiagram blir det överskådligt hur länge en viss fuktnivå har överskridits under en mätperiod. I Figur 61 framgår att under perioden 2013.01.01. – 2015.02.28. var dygnsmedel-RF i uteluften högre än 90 % RF under 380 dygn i Växjö, 250 dygn i Göteborg och 130 dygn i Malmö. Vilket kan synas underligt att inlandsklimatet i Växjö är betydligt fuktigare än hos de två senare kuststäderna med erkänt fuktigt klimat, speciellt höst och vinter.



Figur 61 Varaktighetsdiagram med uppmätt klimatdata från SMHI. Dygnsmedelvärden registrerade för uteluftens RF under period 2013.01.01. – 2015.02.28. Data från SMHI.

Trots att det sannolikt är tillräckligt hög RF, i hela Sverige varje vinter, för att MgO-skivor skall kunna ta upp fukt och gråta så uppmärksammades detta fenomen inte förrän vintern 2014/2015.

Det går inte heller att förklara avsaknaden av tårar innan 2015 med att varaktigheten hos de höga fukttillstånden i uteluften varit så kort att tårar inte hunnit uppstå. Det har visats i denna studie att det räcker med någon enstaka dags exponering i 100 % RF för att de känsligaste MgO-skivorna skall börja gråta och flera av de andra skivorna gråter inom en vecka. Varaktigheter av höga RF-nivåer på flera dagar är inga ovanligheter för de flesta orter i Sverige, se tex Borlänge klimat i Figur 60.

Utifrån de registrerade fuktnivåerna i Figur 61 ovan är det rimligt att anta att MgO-skivor ($RF_{\text{tit}} = 90\%$ RF) som utsätts för utomhusklimatet i Borlänge och Växjö har större risk att gråta än om de utsätts för Malmös klimat. Vilket inte alls tycks överensstämma med rapporter om att gråteffekten anses vara mest påtaglig nära kusten i de delar av södra Sverige som har ett klimat som liknar Danmarks.

14.2 Mild vinter 2014/2015

Det var först under vintern 2014/2015 som de första gråtande MgO-skivorna uppmärksammades i Sverige och Danmark, se exempel på detta i Figur 62 och Figur 63. Detta kan tyckas egendomligt att detta inte uppmärksammats tidigare eftersom skivorna då varit i bruk i Sverige i mer än fem år. Varje år har den relativa fuktigheten i uteluften överskridit 95 % under långa sammanhängande perioder i samtliga delar av Sverige och Danmark.



Figur 62 Kallvind sydvästra Skåne där lagrade MgO-skivor gråtit i november 2004.



Figur 63 Saltpåverkad gipsvägg och golvspånskiva där en MgO-skiva tidigare stått lutad mot väggen.

Den avgörande skillnaden kan vara klimatet. SMHI beskriver hösten 2014 som varm solig och mulen med temperaturer 5-7 °C över det normala och höga nivåer i många vattendrag. December 2014 och januari 2015 beskrivs som mild, och regnig av SMHI, speciellt i södra Sverige där temperaturen låg ett par grader över det normala och flera orter fick onormalt mycket nederbörd, däribland Lund med nära 200 % av normal nederbörd vilket var den blötaste december sedan 1985.

14.3 Inverkan av ånghalt

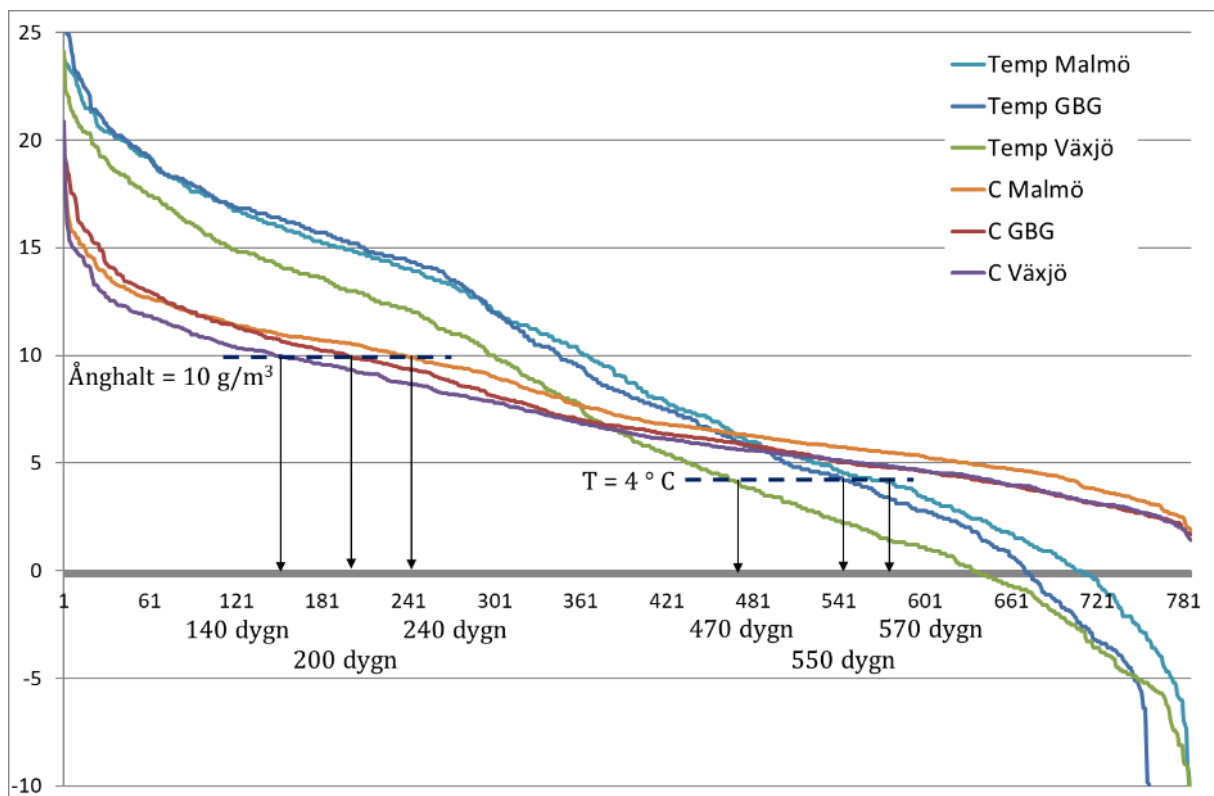
Under stora delar av året råder det ett överskott av vatten i den svenska naturen och fuktnivån i miljön är generellt sett hög. När hög relativ fuktnivå i uteluften sammanfaller med en låg temperatur vintertid blir resultatet en förhållandevis låg ånghalt, det vill säga att uteluften bara innehåller en liten mängd vattenånga. Under en mild vinter är den relativa fuktigheten fortfarande hög i uteluften och resultatet blir då att den innehåller en betydligt högre ånghalt.

Nedanstående Figur 64 visar ett varaktighetsdiagram för utluftens temperatur och ånghalt på tre orter. Samtliga orter ligger samlade i den sydligaste 1/6-delen av Sverige. Där framgår av kurvornas inbördes placering att Malmö har en högre temperaturnivå vintertid än de andra två orterna, alltså i praktiken mildare vintrar.

Notera exempelvis den streckade linjen "T = 4 °C" i Figur 64 som visar att Malmö har haft 570 dygn med en medeltemperatur över 4° C under perioden 2013.01.01. – 2015.02.28. Under samma period hade Göteborg 550 dygn och Växjö 470 dygn med medeltemperaturen över 4° C.

På motsvarande sätt visar en avläsning vid den streckade linjen för "Ånghalt = 10 g/m³" att Malmö har haft flest dygn med denna ånghalten, eller högre, och Växjö har haft lägst antal dygn. För de 70 dygn med de högsta ånghalter under mätperioden är det omkastade roller med Göteborg i topp och Malmö som tvåa.

Notera att dessa dygn inte behöver infalla samtidigt på de olika orterna, utan det är de dygn med den högsta ånghalten som förekommit under perioden.



Figur 64 Varaktighetsdiagram för Temp och Ånghalt. Dygnsmedelvärden för perioden 2013.01.01. – 2015.02.28. Data från SMHI.

14.4 Medeltemperatur som indikator

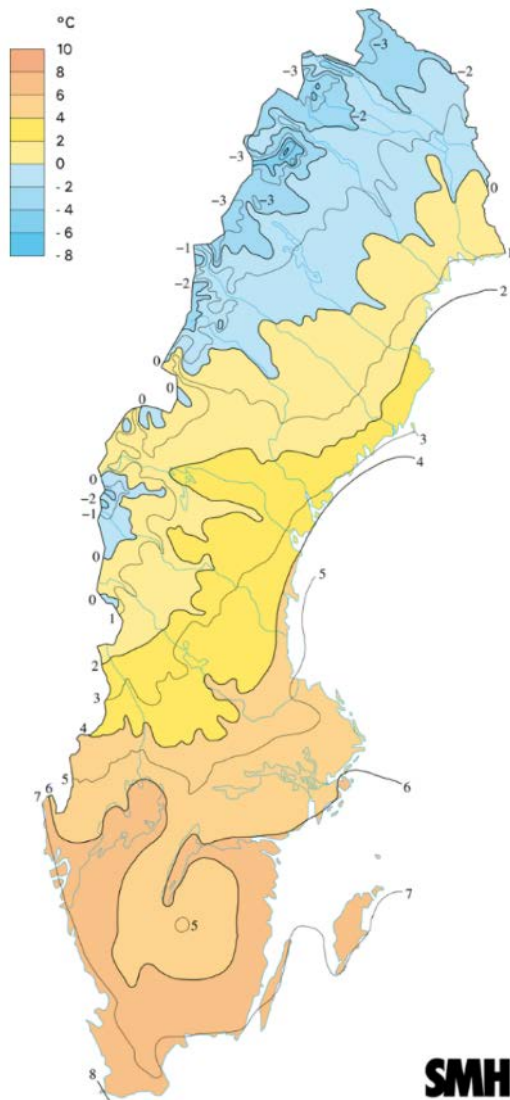
Förutom att den relativa fuktnivån i utomhusluften behöver överskrida ett kritisk RF-värde för att MgO-skivor skall gråta så är även temperaturen betydelsefull. Temperaturen styr ånghalten hos uteluften som sannolikt är avgörande för hastigheten hos fuktupptagningen i MgO-skivor. Fuktupptagningens hastighet är sannolikt avgörande för om MgO-skivorna skall hinna ta upp tillräckligt mycket fukt för att gråta innan de yttre betingelserna, RF och Temperatur i uteluften, återgår till en gynnsammare nivå.

Bedömningsvis innebär detta att den största risken för gråtande MgO-skivor finns i de delar av Sverige med högst medeltemperatur under de fuktiga perioderna av året. En sådan sammanställning låter sig inte enkelt göras, utan istället kan den efterfrågade temperaturen approximeras med den allmänna temperaturnivån på orten i fråga.

SMHIs karta över årsmedeltemperaturer, Figur 65, kan därmed utgöra en första grov vägledning för att i någon mån kunna bedöma var risken för gråtande MgO-skivor kan vara störst. Det vill säga att

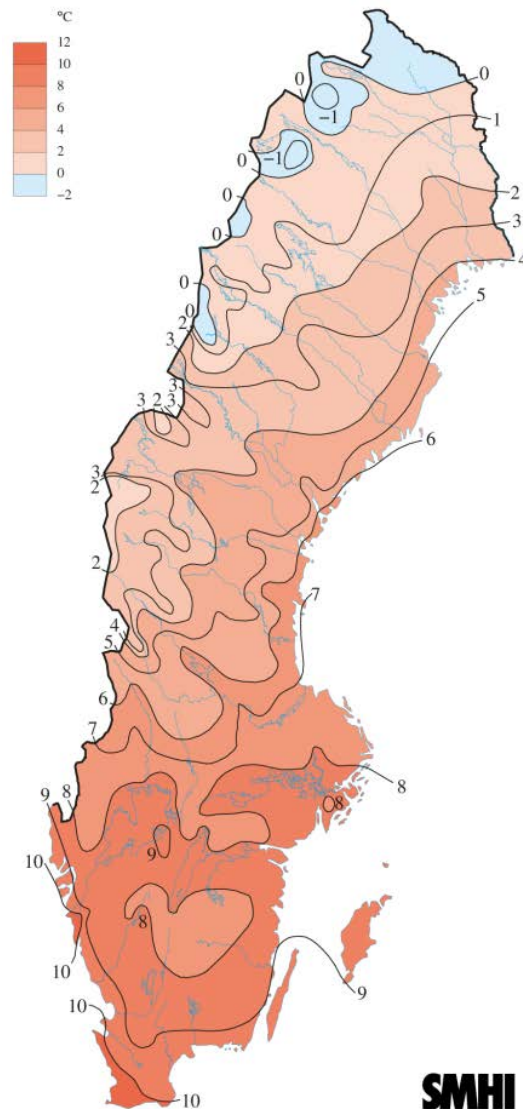
det kan förekomma en förhöjd risk inom de mörkrosa områdena i södra Sveriges samt Öland och Gotland, i förhållande till landet i övrigt. Norra delarna av Sverige kan därmed anses ha en lägre risk än de södra delarna.

Figur 66 visar en karta över årsmedeltemperaturer 2014, vilket ligger 2-3 ° C över normalåret som visas i Figur 65. Figur 67 visar kartor över årsmedeltemperaturens avvikelse (från normalår) för åren 2014 – 2016, där framgår att både 2014 och 2015 hade 2-3 ° C hade årsmedeltemperatur än normalåret.



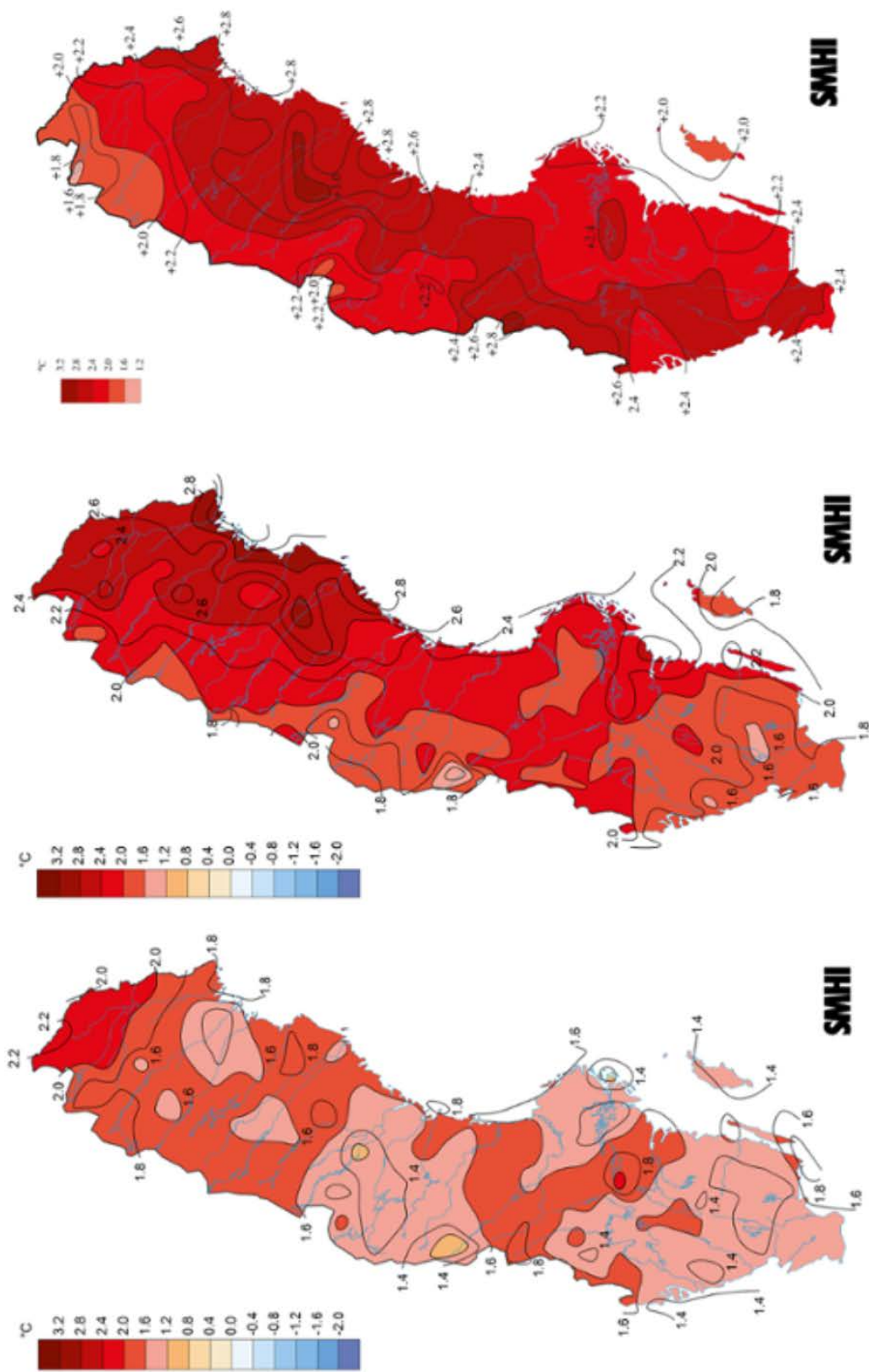
Klimatkarta som illustrerar årsmedeltemperaturen för den av WMO definierade normalperioden 1961-1990.

Figur 65 Årsmedeltemperatur normalår, Källa SMHI.



Figur 66 Årsmedeltemperatur 2014, Källa SMHI.

Det går dock inte att avgöra hur medeltemperaturen för vintern 2014–2015 skiljer sig från andra vintrar utifrån dessa kartor. En varm sommar kan ha motsvarande inverkan på årets medeltemperatur som en mild vinter. Dessutom delar perioden för kartorna upp vintern i två delar, före och efter årsskiftet, så att en mild vinter med sen höst och tidig vår kan påverka medeltemperaturen hos två av vartannat följande år.



Årsmedeltemperaturens
avvikelse år **2014**

Årsmedeltemperaturens
avvikelse år **2015**

Årsmedeltemperaturens
avvikelse år **2016**

Figur 67 Årsmedeltemperaturens avvikelse från normalår (se Figur 65) för åren 2014 – 2016. Källa SMHI.

15 Diskussion

I det här kapitlet diskuteras resultatet från denna och andra undersökningar, i syfte att öka förståelsen för materialen som de olika typerna av MgO-skivor är gjorda av. Det råder idag en stor okunskap om egenskaperna hos MgO-skivor, detta kan påverka de beslut som fattas. Diskussionen i det här kapitlet och råden i nästa kapitel syftar till att öka läsarens kunskap och förståelse för MgO-skivor.

Såhär i efterhand är det tydligt att år 2014 fanns det ingen inom landets gränser som förstod att byggskivor kunde gråta, innan de väl gjorde det. Det är lätt att vara efterklok. Detta har skapat en ny utmaning i branschen som många idag väljer att möta genom att ta ett steg tillbaka och byta ut MgO-skivor mot andra material, med mångårig dokumenterade egenskaper.

Förhoppningen är att ökad kunskap, om MgO-skivornas egenskaper och de betingelser som driver oönskade processer, kan hjälpa till i valet av bra lösningar.

15.1 Gråtande MgO-skivor (delikvescens)

Denna rapport har visat att det finns två olika typer av MgO-skivor som är tillverkade med olika bindemedel, Typ I, Magnesiumoxid-kloridskivor (MOC) och Typ II, Magnesiumoxid-sulfatskivor (MOS).

Det har även visats att MOC-skivor kan ha delikvescerande egenskaper och börja gråta vid normalt förekommande RF-nivåer, ca 90 % RF. Men studien visar också att alla MOC-skivor inte gråter. Det ligger nära till hands att delikvescensen beror på att vatten kan tas upp av fria salter i MgO-skivorna. Dessa fria salter kan vara rester av oreagerade material som använts vid tillverkningen.

Med delikvescens avses i första hand inte att skivan flyter sönder och tappar sin hållfasthet. Utan istället en process som orsakar att tårar bildas på skivans yta. Det förekommer inga studier eller rapporter om skadefall som kan visa på att skivorna tappar hållfasthet, med tiden, så att de inte kan upprätthålla sin funktion.

De olika MOC-skivornas delikvescerande egenskaper skulle därmed kunna vara ett resultat av olika (kvalitets-) val som gjorts genom hela värdekedjan. Det kan handla om skillnader i recepturer, kvaliteten hos råmaterial, toleranser i tillverkningsprocessen och vid kravspecifikationer samt om tredjepartskontroll utförts mm.

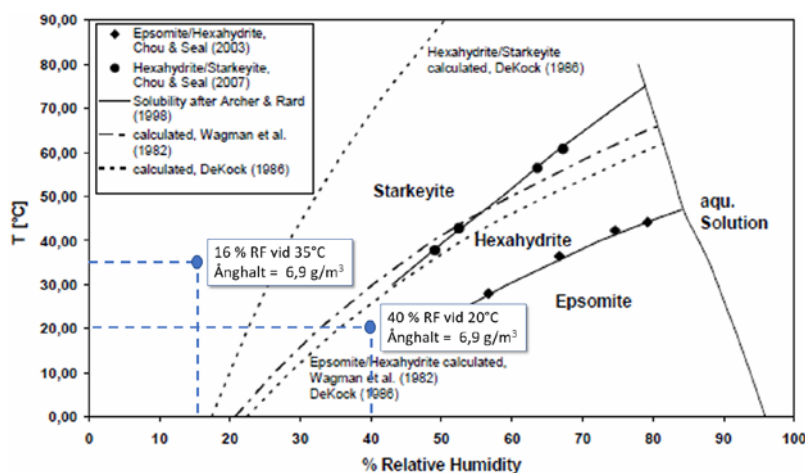
Om saltet Magnesiumklorid (MgCl_2) ensamt hade orsakat delikvescensen borde tårarna ha inträffat redan vid 33 % RF. Och eftersom de nu inträffar vid ca 90 % RF eller strax däröver så är det möjligt att flera ämnen spelar in i denna process.

I denna studie uppkom gråteffekten hos ett fall av de fem MOS-skivorna som undersöktes. Droppar bildades då på ytan efter en vecka i 100 % RF. En delikvescering av rent magnesiumsulfat (MgSO_4), dvs när den inte är i förening med MgO sker vid 93 % RF enligt Tabell 2. Sannolikt kan den verkliga gränsvåren för att delikvescering skall uppstå i MOS-skivor vara högre än den som gäller vid rent magnesiumsulfat, på motsvarande sätt som delikvescering uppstår i MOC-skivor först vid fuktnivåer över 90 % RF trots att delikvescensen för rent MgCl_2 är 33 % RF.

15.2 Fasomvandling för magnesiumsulfat ($MgSO_4$)

MgO -skivor innehåller så kallade hydrater, gips är ytterligare en hydrat. Detta är föreningarna där "kemiskt bundet" vatten lätt kan avgå och bindas till strukturen beroende på temperatur och RF. I Figur 68 visar Grevel & Majzlan (2009) de olika faserna för hydrater av magnesiumsulfat. Dessa är epsomite ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), hexahydrate ($MgSO_4 \cdot 6H_2O$), starkeyite ($MgSO_4 \cdot 4H_2O$) samt kieserite ($MgSO_4 \cdot H_2O$).

Vid lagring av $MgSO_4$ vid $20^\circ C$ och 40 % RF bildas vid jämvikt hexahydrate som binder 6 st H_2O till varje $MgSO_3$, på molekylnivå. Om $MgSO_4$ istället lagras vid $35^\circ C$ och 16 % RF ombildas hydraten av magnesiumsulfat till starkeyite, som på molekylnivå binder 4 st H_2O till varje $MgSO_3$. Båda dessa klimat har samma ånghalt, de innehåller båda $6,9 \text{ (g/m}^3\text{)}$ gram vatten per m^3 luft. Det innebär att genom att höja temperaturen $15^\circ C$ avgår $1/3$ av vattnet i hydraten vid jämvikt.



Figur 68 Fasdiagram för hydraterna av magnesiumsulfat ($MgSO_4$). Grevel & Majzlan (2009).

Huruvida en ytterligare höjning av temperaturen driver hydraten till kieserite framgår inte av Figur 68. Däremot framgår det att vid normala uteklimat med RF-nivåer över 50 % RF bildas epsomite, som binder ytterligare en vattenmolekyl jämfört med hexahydrate.

Linjen till höger i Figur 68 beskriver gränsen till "aqu. Solution". Det är vid den linjen som hydraten har tagit upp så mycket vatten att delikvessens uppstår. Notera att linjen lutar åt vänster vilket betyder att kritiskt RF-värde för delikvessens sjunker med ökande temperatur.

Observera att detta bara gäller för magnesiumsulfat ($MgSO_4$) i sin rena form, vilket är en av beståndsdelarna hos bindemedlet i sorelceмент och MgO -skivor. Rimligtvis finns motsvarande egenskaper hos sorelceмент och MgO -skivor. Det är sannolikt att fasdiagram för sorelceмент (MgO -skivor) är materialspecifikt och beror av ingående material och tillverkningsmetod etc. Därmed behöver fasdiagrammet bestämmas för varje MgO -skiva på motsvarande sätt som jämviktsfuktkurvan och övriga egenskaper behöver göras.

15.3 Identifiering av MgO -skiva

Det kan förekomma två olika fall av identifiering av MgO -skivor. Det första fallet är att identifiera om det är en MgO -skiva eller inte. Det andra fallet är att identifiera om skivan innehåller $MgCl_2$ eller inte.

Fall 1. Identifiering om det är en MgO-skiva, eller inte, sker genom att skivan krossas och blandas till en vattenlösning. Lösningen tillsätts silverniträt enligt metoden som beskrivs i avsnitt 4.4.2. Om det uppstår utfällningar är det sannolikt en MgO-skiva.

Fall 2 (acetone). Denna metod bygger på att utfällningen från ovanstående försök (Fall 1) avskiljs från vattenlösningen. Utfällningen och blandas med acetone enligt metoden som beskrivs i avsnitt 4.4.2. Om utfällningen löser upp sig och försvinner är det sannolikt en MOS-skiva. Om utfällningen är intakt och inte löser sig i acetonet är det sannolikt en MOC-skiva.

Fall 2 (sticka). Identifiering om skivan är en MOC-skiva, eller inte, sker genom att den krossas och blandas till en vattenlösning. Lösningen analyseras med en Cl-sticka enligt metoden som beskrivs i 4.4.2.

Det är även relativt enkelt att testa gråteffekten hos skivor. Upprätta först en klimatbox med H₂O (med eller utan fläkt), se Figur 16. Den ger ett klimat på ca 100 % RF. Då bitar av MgO-skivor placeras i boxen utsätts de för 100% RF någon timma efter locket förslutits. Skivorna som observerades gråta av Talevska & Fakhro (2016) gjorde det inom ca 7 dagar vid 100 % RF i rumstemperatur.

15.4 Fuktegenskaper

Det har visats sig att det inte finns något direkt samband mellan de undersökta skivornas fuktegenskaper i de hygroskopiska områdena och typen av bindemedel i skivan, MOC respektive MOS. Sannolikt beror dessa egenskaper på samtliga ingående delmaterial och de förutsättningar som skapas under tillverkningsprocessen. Exempelvis kan porositet och porfördelning vara avgörande egenskaper.

Hansen et al (2016) och Rode et al (2017) kopplar samman en stark fuktupptagning, hos MgO-skivan de studerade, med gråteffekt (delikvescens). Detta uppkom i deras fall vid ca 84 % RF. I undersökningen av Talevska & Fakhro (2016) påvisas på motsvarande sätt en stark fuktupptagning i samma intervall, men ingen tåreffekt. Tåreffekten uppstår inte vid 85 % RF utan istället vid nästa provade fuktnivå, 95 % RF. Det är varit lämpligt att utföra dessa tester med fler fuktnivåer i det kritiska intervallet som kan vara mellan 80 och 95 % RF.

Det har diskuterats om det är fria klorider, i form av tillverkningsrester, som suger upp vatten och delikvescerar. I så fall är det troligt att det sker en urlakningsprocess och delikvesceringen upphör så småningom, så som skedde efter 3 månader i försöket i avsnitt 6.2. Detta medför då sannolikt att fuktegenskaperna hos skivan förändras allteftersom saltet urlakas.

15.5 Fuktmätning

De mest tillförlitliga metoderna vid fuktmätning av MgO-skivor är gravimetriska metoder där proverna vägs-torkas-vägs och fukthalten eller fuktkvoten beräknas. Det är dock avgörande vilken temperatur skivorna torkas i så att det framgår om kemiskt bundet vatten avgått under torkningen eller inte. Detta vatten behöver i så fall beaktas vid utvärdering av mätresultatet.

Den enklaste och kanske mest praktiska metoden är att mäta RF på uttaget prov i provrör med kapacitiva RF-givare. Denna metod är dock inte fullt utredd och det kan förekomma effekter och fenomen som påverkar jämvikten och därmed mätresultatet.

Mätningar med resistiv FK-givare har i detta projekt endast utförts på MgO-skivor Typ I (MOC). Det är därmed okänt om metoden fungerar på MgO-skivor av Typ II (MOS).

15.6 Högsta tillåtna fukttillstånd

Högsta tillåtna fukttillstånd innebär kritiskt fukttillstånd (gör tex tårar) minskat med en säkerhetsmarginal som beror av mätmetoder, beräkningsmodell, ingångsparametrar etc, se Nilsson (2007) för en utförlig förklaring.

Välj material med egenskaper som är väl undersökta och dokumenterade av leverantören. Vid riskbedömningar och utredningar där styrka egenskaper saknas skulle högsta tillåtna fukttillstånden kunna väljas enligt nedanstående resonemang.

Undersökningarna i denna rapport visar sammantaget på att de känsligaste MOC-skivorna kan börja gråta vid ca 90 % RF och att de känsligaste MOS-skivorna vid ca 95 % RF. Med stöd av detta man argumentera för att kritiska fuktnivån för gråteffekten är 90 % RF för MOC-skivorna samt 95 % RF för MOS-skivor. Det är vid den fuktnivån tårarna kan börja uppstå enligt denna rapport.

Eftersom det finns en betydande osäkerhet i detta antagandet behövs en rimligt stor säkerhetsmarginal. En säkerhetsmarginal på 3 % RF kan vara att betrakta som en rimligt stor säkerhetsmarginal vid normalt förekommande risker. Medan en säkerhetsmarginal på 5 % RF är att betrakta som relativt stor säkerhetsmarginal och bara förekommer vid relativt stora risker.

Med tanke på gränsvärdet för delikvoscens av $MgCl_2$ i Tabell 2 samt resultaten presenterade av Hansen et al (2016) och Rode et al (2017) är det rimligt med en stor säkerhetsmarginal för MOC-skivor, exempelvis 5 % RF.

Risken med MOS-skivor kan bedömas som mindre än ovanstående eftersom $MgSO_4$ har ett betydligt högre gränsvärde för delikvoscens enligt Tabell 2. Resultaten i Hansen et al (2016) och Rode et al (2017) är av all att döma baserade på skivor med ett innehåll av $MgCl_2$ och berör därmed inte MOS-skivor som istället innehåller $MgSO_4$. Exempelvis väljs en normalt stor säkerhetsmarginal på 3 % RF.

Tabell 17 Förslag på värden för högsta tillåtna fukttillstånd med avseende på delikvoscens vid 20 °C, observera att förhöjd korrosionsrisk för infästningar med låg korrosionsklass inte har beaktats.

TYP av MgO	Risikfaktor Salt	Kritiskt fukttillstånd	Säkerhets- marginal	Högsta tillåtna fukttillstånd
MOS	$MgSO_4$	95 % RF	3 % RF	92 % RF
MOC	$MgCl_2$	90 % RF	5 % RF	85 % RF

De är kritiska värden i *Tabell 17* gäller vid lång tids exponering vid 20 °C, det vill säga normal rumstemperatur. Det är troligt att MgO-skivor klarar att exponeras för en högre RF-nivå under en kort tid utan att gråta. Det verkar också sannolikt att MgO-skivor kan exponeras mot ett högt RF under längre tid då temperaturen är låg. Detta beror sannolikt på att den drivande potentialen, ånghalt, är lägre vid en låg temperatur.

15.7 Saltpåverkad träregelstomme

I detta projekt har inte i huvudsak fokuserat på problematiken med saltpåverkan hos träregelstommar.

Det framgår av avsnitt 5.5 att de elektriska egenskaperna ändras hos saltpåverkat trä. Vilket får till följd att resistiva FK-givare visar fel värde (för högt) och att gravitetiska metoder för FK-mätning är betydligt säkrare.

I avsnitt 10.3 visas några bilder med misstänkt mögelpåväxt på träregelstomme som påverkats av salter från MgO-skivor. Det har dock inte förklarats huruvida tårvätskan från en gråtande MgO-skiva ingår i orsakssambandet för den mikrobiella påväxten eller inte.

Kapitel 13 handlar i huvudsak om insugningen av tårvätska i träregelstomme samt metoder att mäta detta. Det verkar som om träet snabbt kan fuktas upp i ändträet samt vid kvistar, spik- och skruvhål samt där träets fibrer skadats på annat sätt. Inträngningen av tårvätska verkar endast vara några få mm tvärs fiberriktningen på oskadat trä.

15.8 Korrosion av infästningar

Det här projektet har inte analyserat korrosionsrisken för infästningsdetaljer till MgO-skivor. Spikar, skruvar och andra infästningar av metall kan sannolikt utsättas för ökad miljöbelastning och högre korrosionshastigheter än normalt då de går genom en fuktig MOC-skiva. Huruvida en MOS-skiva påverkar korrosionen av infästningar mm är okänt.

Figur 69 visar ett svart "beläggning" som bildats utanpå elgalvaniserade skruvarna (mättdubbar) i försöket som beskrivs i avsnitt 9.1. Beläggningen på mättdubbarna uppstod efter att skivan med monterade mättdubbar exponerats ett par veckor i de fuktigaste saltklimatboxarna med ca 95 % RF.



Figur 69 Beläggning som uppstått på elgalvaniserade skruvar efter ett par veckors exponering i ca 95 % RF.

Hansen m.fl. (2016) och Rode m.fl. (2017) beskriver att tårvätskan från MgO-skivor i danska fasader kan orsaka att korrosionsskyddet på både förzinkad plåt och elgalvaniserade beslag, spikar och skruvar försvinner på 1-2 år. Rode m.fl. (2017) anger att rostfritt stål av klass A2 och A4 kan användas utan att problem uppstår.

MagO är en materialleverantör som i sin produktinformation "Best Practices" (2015) (<http://magobp.com/best-practices>) beskriver att: "All fasteners must be coated or use stainless steel against the corrosive action of the magnesium chloride component which increases in the presence of moisture." Samt att: "MagO board contains chlorides that may become corrosive to metals in the presence of water. ... Stainless steel 316 or 304, 305 grades will work in wet environments..."

15.9 Utredning av fuktskador i fasader med MgO-skiva

MgO-skivor kan utgöra en fuktrelaterad risk i konstruktioner som utsätts för höga fuktillstånd. Vid utredning och projektering av åtgärder används samma förfarande för dessa konstruktioner som normalt gäller, Nilsson (1994).

Först påvisas att en skada har inträffat, vilken typ av skada det är och att denna är fuktrelaterad.

Därefter utreds och beskrivs orsaken till den uppkomna skadan. En beskrivning av orsakssambandet innehåller bland annat dokumentation av fuktkällor samt uppmätta eller beräknade fuktillstånd i det skadade materialet.

Det skadade materialets kritiska fuktillstånd behöver dokumenteras och en beskrivning av hur skadan på materialet kan orsakas av det visade fuktillståndet behöver dokumenteras.

15.10 Projektering/Riskbedömning av fasader med MgO-skiva

Projektering (riskbedömning) av dessa konstruktioner utförs enligt samma förfarande som normalt gäller, Nilsson (2007).

Bedöm konstruktionen (risken) utifrån en jämförelse mellan materialets kritiska fuktillstånd, RF_{krit} (materialparameter) och det högsta fuktillstånd MgO-skivan utsätts för i den aktuella konstruktionen (beräknat eller uppmätt värde).

Jämförelser skall även innefatta en lämplig säkerhetsfaktor som bedöms utifrån ingångsvärdenas tillförlitlighet. Följ reglerna i BBR 6:52 och använd en lämplig säkerhetsmarginal som tar hänsyn till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar eller mätmetoder. Det ligger i projektörens ansvar att redovisa och använda rätt säkerhetsmarginal. Tabell 18 visar hur en säkerhetsmarginal appliceras alltid på uppmätt kritiskt fuktillstånd för att bestämma högsta tillåtna fuktillstånd.

Tänk på att säkerhetsmarginalen skall appliceras även på de värden som redovisas av materialleverantörer. En "inbakad" (och därmed okänd) säkerhetsfaktor behöver brytas ut och redovisas separat. Redovisning med "inbakad" kan tyda på låg kunskapsnivå och dåligt utförda mätningar / undersökningar.

Använd egenskaper från material som är väl undersökta och dokumenterade, gärna garanterade av leverantören. Efterfråga skriftlig dokumentation av materialets egenskaper, kritiska fuktillstånd etc. som är utförda med verifierade metoder av ackrediterade institut. Be att leverantören lämnar skriftliga garantier enligt branschpraxis.

15.11 Åtgärder för konstruktioner med MgO-skiva

Åtgärder av konstruktioner med skadad MgO-skiva eller som skadats av MgO-skiva utförs på motsvarande sätt som konstruktioner som skadats av andra orsaker.

Först utredas skadans orsak för att säkerställa att den projekterade åtgärden kan åtgärda orsaken till skadan och inte bara symptomen, se avsnitt 15.9.

Därefter projekteras åtgärden utifrån normala principer. I de fall orsaken till skadan åtgärdas utan att MgO-skivan avlägsnas görs en riskbedömning på normalt sätt, se avsnitt 15.10.

Att riva ner och byta ut symptomfria fasader, som innehåller MgO-skivor, kan ses som en kraftfull (dyr) och säker åtgärd för att förebygga gråtande MgO-skivor. Betänk att flertalet MgO-skivor som

använts och byggts in i byggnader har väl undersökta och dokumenterade egenskaper enligt bästa kunskap vid den tiden, samt att gråtande MgO-skivor främst observerats i Danmark och utmed kusterna i södra Sverige under den milda vintern 2014–2015.

Identifiera först typen av MgO-skiva (kapitel 15.3) och bedöma risken för att den gråter (Kapitel 15.10) som underlag till beslut. Det kan ibland varas så att MgO-skivan i fasaden inte är av den typen som kan gråta.

15.12 MgO-skivor på kallvind

En iakttagelse som gjorts under projektet är diskussionen huruvida gråtande MgO-skivor på gavelspetsarna i en kallvind skall bytas ut eller om det är lämpligare att styra klimatet på kallvinden så att RF inte överskrider de kritiska värdena.

Diskussionen som uppkom handlade om ifall klimatet på vinden kunde betraktas vara för fuktigt för att behålla MgO-skivorna, vilka kan betraktas ha ett högsta tillåtna fukttillstånd av 85 % RF. Och samtidigt är klimatet acceptabelt för takstolar etc av trä, vilka har ett högsta tillåtna fukttillstånd mellan 75 – 90 % RF beroende på temperaturen och varaktigheter

Kan en lösning i dessa fall vara att reglera klimatet på vinden genom styrd ventilation och / eller värme. Sådana system är sedan en tid kommersiellt tillgängliga. I så fall bör man sannolikt beakta om utsidan av MgO-skivorna är isolerad eller om luftspalten är helt oisolerad. Korrosionsklassen hos infästningar av MgO-skivan kan vara av betydelse vid en sådan bedömning.

15.13 Introduktion av nya material på marknaden

De nya materialen introducerades på den svenska marknaden på grund av en eller flera goda egenskaper i kombination med en lägre kostnad. Innan introduktionen har de utprovats och många gånger även certifierats baserat på parametrar och egenskaper som har ansetts vara viktiga för tillämpningen, bedömt utifrån erfarenheter och verifierade modeller.

Detta förfarande ska förhindra att kända skador uppstår med de nya materialen, men det är ingen garanti för uppkomsten av nya typer av skador som kan uppstå på grund av de nya materialens kombination av kända eller okända egenskaper. Det ter sig föreligga ett behov av andra insatser när det gäller att förebygga spridningen av nya skador gällande nya material. Ett annat angreppssätt att förhindra spridningen av nya typer av skador bygger på omsorgsfull omvärldsbevakning samt lyhördhet och tolkning av tidiga tecken hos nya material, exempelvis oväntade beteenden, Nilsson (2006). Detta kräver dock ett mer proaktivt angreppssätt än vad som idag är brukligt i bygg- och fastighetsbranschen.

16 Råd och rekommendationer

16.1 Fuktmätning

Använd gravimetrisk metod för att mäta fukttinnehåll i MgO-skivor och saltpåverkat trä, se avsnitt 15.5.

16.2 Kontrollera gråteffekten

Kontrollera att MgO-skivans egenskaper är kända vid riskbedömning eller skadeutredning av en fasad, speciellt om fasaden är oskadad. Om det inte med säkerhet framgår vilken typ av MgO-skiva som monterats och att denna kan gråta så utred detta enligt se avsnitt 15.3.

Utred vid behov om det är en MgO-skiva samt om det är en MOC- eller MOS-skiva enligt se avsnitt 15.3.

16.3 Risk för korrosion

Kontrollera att det framgår vilken typ av MgO-skiva som monterats, utred annars det enligt avsnitt 15.3. Ta hänsyn till att MOC-skivor påverkar korrosion i högre omfattning än MOS-skivor.

Beakta att MOC-skivor kan utgöra en korrosiv miljö för spikar, skruvar och andra infästningar som går igenom MgO-skivan. Använd korrosionsklassa A2 eller A4 för att undvika problem, se avsnitt 15.8.

16.4 Högsta tillåtna fukttillstånd för gråteffekt

Använd i första hand väl undersökta och dokumenterade värden för kritiska fukttillstånd för gråteffekt, från leverantören. Använd en säkerhetsmarginal på 3 % RF för att beräkna högsta tillåtna fukttillstånd under normala förhållanden. Justera säkerhetsmarginalen vid behov enligt avsnitt 15.10.

I andra hand, då dokumentation saknas av väl undersökta kritiska fukttillstånd för gråteffekt, låt utföra sådana. För undersökning av gråteffekt, se av Talevska & Fakhro (2016). Överväg en säkerhetsmarginal på 5 % RF vid egenhändigt uppmätta gränsvärden (kritiska fukttillstånd).

Använd i tredje hand de generella värdena i Tabell 18, se avsnitt 15.6.

Tabell 18 Förslag på gränsvärden för högsta tillåtna fukttillstånd för gråteffekt, vid 20 °C, för MgO-skivor utan kända och / eller dokumenterade kritiska fukttillstånd.

TYP av MgO	Risikfaktor	Kritiskt fukttillstånd	Säkerhetsmarginal	Högsta tillåtna fukttillstånd
MOS	Gråteffekt	95 % RF	3 % RF	92 % RF
MOC	Gråteffekt	90 % RF	5 % RF	85 % RF

Notera att i de fallen det kritiska fukttillståndet anges av leverantören för en produkt, så gäller de specifika värdena (från leverantören) framför de generella värdena i tabellen ovan.

17 Fortsatt forskning

17.1 Fuktegenskaper hos befintliga skivor

Det har visats att MgO-skivor både kan binda och även transportera fukt på ett nytt och oväntat sätt. Särskilt vid delikvesceringsnivån uppvisar vissa MgO-skivor ett oväntat beteende där de binder stora mängder fukt och hastigheten av fukttransporten ser ut att minska för några skivor.

För att till fullo kunna förstå och förutse beteendet hos MgO-skivor behöver dessa processer studeras och beskrivas ingående. Det är oklart hur samspelet mellan skivans hygroskopiska och delikvescerande egenskaper ser ut vid olika fuktnivåer.

Vad som händer inne i skivans porsystem över delikvesceringspunkten samt vad som händer med skivans hygroskopiska egenskaper på lång sikt då tårvätskan avtagit. Beskrivning av olika typer av skadealstrande mekanismer samt bestämning av kritisk fuktnivå.

Mäta upp sorptionskurvor och transkorkoefficienter för ett antal MgO-skivor från fältobjekt i olika ålder och fabrikat. Samt motsvarande mätningar för olika fabrikat av nya MgO-skivor. Bestämma hur sorptionskurvan och transkorkoefficienter förändras med tiden hos gråtande MgO-skivor som (salter) succesivt lakas ut. Skapa och verifiera en modell i WUFI eller annat lämpligt fuktberäkningsprogram.

Reda ut hur RF, temperatur och ånghalt samverkar för kritiska värden på exponering. De värden som uppmätts gäller vid lång tids exponering vid rumstemperatur. Det är troligt att MgO-skivor klarar att exponeras för en hög RF-nivå under en kort tid utan att gråta. Det verkar också sannolikt att MgO-skivor kan exponeras mot ett högt RF under längre tid då temperaturen är låg. Detta beror sannolikt på att den drivande potentialen, ånghalten, är lägre vid en låg temperatur.

Kartläggning av egenskaper för fuktförloppsberäkningar, däribland Wufi-beräkningar, hos olika typer av nya oorganiska byggskivor av typen magnesium- eller kalciumföreningar eller andra föreningar. Vid BML-LTH finns särskilt anpassad och väl lämpad utrustning i form av DVS.

Framtagning och verifiering av ovanstående materialdata sker i samverkan med nätverket Diplomerad Fuktsakkunniga som är branschföreningen för sakkunniga fuktkonsulter i Sverige.

17.2 Utreda i detalj fenomenet som avgör när delikvescensen inträder.

Att förstå hur förutsättningarna för delikvescensen som uppträder i vissa MgO-skivor. Vad det är i skivan som går i lösning i gråtvätskan. Utreda om salterna som löses ut är en del av skivans fasta struktur (bundna joner) så att dess hållfasthet riskerar att minska med tiden. Eller om salterna snarare är ett överskott från tillverkningen (fria joner) som efter att ha lakats ut och runnit bort lämnar en skiva med normala hygroskopiska egenskaper.

Utreda hur klimatet i omgivningen samspelar med fuktnivåerna och fuktmekniken inne i MgO-skivorna. Hur långa cykler i de höga fuktnivåerna åtgår för att starta delikvesceringen och vad behövs därefter för att tårar skall uppstå. Sannolikt ett fyllt porsystem.

Avgöra vilka klimat som riskerar att skapa delikvescering och fälla ut tårar, sannolikt förekommer ett avgörande samspel mellan RF och ånghalt som vi ännu inte har klart för oss. Utreda om det kan finnas regioner i landet som är utsatta för större risk och regioner där risken är mindre. Verifiera huruvida södra Sveriges kustområden kan vara behäftade med en viss förhöjd risk.

Utreda vad som händer med skivans egenskaper och innehåll av fria joner, om fuktnivån minskar efter att delikvesceringen uppstått men innan eller efter att tårar uppstått. Utreda om det sker en förändring hos sorptionskurvan och transkorkoefficienter som följd av urlakningen, och vad denna förändring i så fall får för konsekvenser.

Utreda om salterna som löser sig är delar av det fasta materialet, för att kunna modellera och kunna förutse och kontrollera. Ökad kunskap om mekanismer för att utreda skada och bedöma risker. Säkerställa vad som händer med en skiva under långvarig fuktexponering. Flyter materialet sönder så indikerar det på att det är själva strukturen som är inblandad i de delikvescenta förloppen, avtar gråteffekten så indikerar det att det främst är tillverkningsrester i porsystemet som delikvescerar.

Utvecklig och verifiering av ovanstående modeller sker i samverkan med nätverket Byggdoktorerna som är branschföreningen för sakkunniga fuktskadeutredare i Sverige.

17.3 Metodik för utredning av MgO-skivor

Det råder idag fortfarande en osäkerhet angående tekniska mätningar i en fasad med MgO-skivor. Nedan beskrivs några av de metoder som kan behöva utvecklas och verifieras för att kunna göra en korrekt undersökning och utvärdering av en fasad med MgO-skivor.

- Mätmetoder för gravitetiska mätningar av fuktnivå i MgO-skiva. Utvärderingsmetodik för uppmätta värden. Förväntade värden. Gränsvärden etc.
- Mätmetoder för gravitetiska mätningar av fuktnivå i saltpåverkat trä. Utvärderingsmetodik för uppmätta värden. Förväntade värden. Gränsvärden etc.
- Metoder för att avgöra MgO-skivans gränsvärde för delikvescens och tårar.
- Metoder för att utvärdera olika konstruktioner och klimat med avseende på delikvescens och tårar hos MgO-skivor i befintlig konstruktion.
- Metod för att bedöma risk för följdskador i saltpåverkat trävirke. Vilka egenskapsförändringar sker hos träet vid saltpåverkan. Vilken skadetyp kan uppstå som följdskador av saltpåverkan.
- Metoder för att bedöma risk för korrosion av infästningar.

Utvecklig och verifiering av ovanstående metoder sker i samverkan med nätverket Byggdoktorerna som är branschföreningen för sakkunniga fuktskadeutredare i Sverige.

17.4 Metoder för att åtgärda fasader med MgO-skiva

Med en ökad kunskap om skivornas egenskaper och förekommande processer kan precisa och robusta metoder utvecklas och verifieras för byggnadsdelar med MgO-skiva.

- Sammanställa och teoretiskt värdera "best practice" vad gäller de lösningar som idag har använts för att åtgärda fasader med MgO-skivor.
- Identifiera avgörande förutsättningarna och processerna som skapar oönskade problem och beskriva precisa avhjälpande åtgärder.
- Följa upp åtgärder som har utförts med lyckade respektive mindre lyckade metoder. Undersöka och beskriva resultatet samt orsaken till resultatet.

Utföra fördjupade utredningar av fuktillstånd i oorganiska byggskivor eller SIPs vid en eller flera tillämpningar. Exempelvis MgO-skivor monterad:

- Innanför en isolering i luftspalten.
- I en kallvind, vindskyddsskiva på gavelspetsarna
- Innanför ett dränerande tvåstegstätad fasadsystem.

Utvecklig och verifiering av ovanstående metoder sker i samverkan med nätverket Byggdoktorerna som är branschföreningen för sakkunniga fuktskadeutredare i Sverige.

17.5 Korrosion

Sammanställa befintlig kunskap om korrosion i anslutning till MgO-skiva och korrosion under relevant omständigheter för MgO-skiva.

Utföra praktiska experiment i labbet inom området för korrosion av spik, skruv och andra infästningar genom MgO-skiva. Parameterstudier för att förstå och beskriva de processer som uppstår.

Undersöka och dokumentera korrosion av infästningar hos objekt i fält. Verifiera teorier och labbmätningar med resultaten som dokumenterats i fält.

17.6 Säkerställa att nya skivor inte får problem

Undersöka och beskriva fuktteknisk funktion och egenskaper hos de nya typerna av MgO-skivor. Säkerställa att de nya typerna uppvisar kända processer vad avser fuktmekanik som är väl undersökta och dokumenterade.

Det ter sig även föreligga ett behov av andra insatser när det gäller att förebygga spridningen av nya skador gällande nya material. Ett framtida forskningsområde kan vara att beskriv en metod att hantera introduktion av nya material så att systemfel som man inte visste fanns skall kunna undvikas, förhindras alternativt mildras i framtiden.

Ett angreppssätt att förhindra spridningen av nya typer av skador bygger på omsorgsfull omvärldsbevakning samt lyhördhet och tolkning av tidiga tecken hos nya material, exempelvis oväntade beteenden. Detta kräver dock ett mer proaktivt angreppssätt än vad som idag är brukligt i byggbranschen.

Utvecklig och verifiering av ovanstående metoder sker i samverkan med nätverket Diplomerad Fuktsakkunniga som är branschföreningen för sakkunniga fuktkonsulter i Sverige.

18 Referenser

Brycke E., Drotz R., Tengberg C.S. (2015) Förstudie: Sprickor i nyproducerade våtutrymmen – nästa stora branschgemensamma problem? SBUF projekt 12976

BYG-ERFA. Fugtsugende vindspærreplader. Erfarenhetsblad (21) 150505; 2015. Fonden Byg-Erfa, Köpenhamn, Danmark. Chengyou W., Huifang Z., Wuyu Z., Hui L., Sainan X., Wenhai C. (2016) Water Resistance of Basic Magnesium Sulfate Cement. MATEC Web of Conferences , 07008 (2016), SMAE 2016. DOI: 10.1051/matecconf/201667 707008.

Dincel & Associates, Rapport (2015). Non-compliant products concrete cancer of concrete walls having permanent formwork with fibre cement (FC) sheets and magnesium oxide (MgO) boards. St Clair NSW, Australien.

Francis P., Tariku F., Nghana B. (2016) Investigation of the Moisture Buffering Potential of Magnesium Oxide Board. MAGO Building Products Ltd. Vancouver, BC, V5T 1R5.

Greenspan L., (1977), Humidity fixed points of Binary saturated aqueous solutions, Journal of Research of the national bureau of standards, A. Physics and Chemistry, Vol. 81A, No. 1, sid 89-96

Grevel K-D., Majzlan J. (2009) Internally consistent thermodynamic data for magnesium sulfate hydrates. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume73, Issue 22. November 2009, Pages 6805-6815. Elsevier.

Hansen K. K., Bunch-Nielsen T., Grelk B., Rode C. (2016) Magnesium-oxide boards cause moisture damage inside facades in new danish buildings, International RILEM Conference on Materials, Systems and Structures in Civil Engineering, 22-24 August 2016, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.

ICC EVALUATION SERVICE, INC. (2007) Acceptance criteria for fiber-reinforced magnesium-oxide-based sheets. AC308 (2007).

MagO (2015). "Best Practices". <http://magobp.com/best-practices>. Produktinformation utställd av leverantör. Date 2017-10-26

Nilsson L.O. (1994) Methods of diagnosing moisture damage in buildings. International Symposium, "Dealing with Defects in Building". 27-30 September 1994. Varenna. Italien.

Nilsson, L-O (2006) Fuktskadeorsaker i golv & grunder : vad har vi lärt av historien? V-byggaren : Väg- och vattenbyggaren, 2006, 3, pp.14-18

Nilsson L.O. FUKT,(2007) Byggvägledning 9, en handbok i anslutning till Boverkets byggregler. Svensk byggtjänst, Stockholm.

Pehrsson D. & Persson A. Examensarbete (2013), Fuktrörelser I oorganiska vårtums-och vindskyddsskivor. Rapport TVBM-5090. Avdelning Byggnadsmaterial, Institutionen för Bygg- och miljöteknologi

Rode C., Bunch-Nielsen T., Kielsgaard Hansen K., Grelk B. (2017). Moisture damage with magnesium oxide boards in Danish facade structures. 11 th Nordic Symposium on Buildig Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway.

Swanson G. Magnesium oxide, Magnesium Chloride, and Phosphate-based Cements. Building Biology Based New Building Protocol. The International Institute for Bau-biologie® & Ecology. IBE, P.O. Box 8520, Santa Fe, New Mexico 87504-8520 USA. infopod@buildingbiology.net.

Talevska A. & Fakhro O. Examensarbete 2016, Fuktegenskaper hos magnesiumoxidskivor, LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg. Avdelning Byggnadsmaterial, Institutionen för Bygg- och miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

tececo.com - History of Magnesium Cements, www.tececo.com/history.magnesium_cements.php.
497 Main Road Glenorchy, Tasmania 7010 Australia, Phone: +61 3 62497868, Fax: +61 3 62730010.
Mobile: +61 413993911

Walling, S. A. & Provis, J. L. ,Magnesia-Based Cements: A Journey of 150 Years, and Cements for the Future? Chem. Rev., 2016, 116 (7), pp 4170–4204.