



Hygrothermische prestatie Typha Board

Bouwfysische monitoring Typha Board



Hygrothermische prestatie Typha Board

Bouwfysische monitoring Typha Board

opdrachtgever Veenweiden Innovatiecentrum
rapportnummer N 1165-4-RA-002
datum 8 november 2021
referentie PSt/TKru//N 1165-4-RA-002
verantwoordelijke dr. ir. P.W.M.H. Steskens
opsteller dr. ir. T.W. Kruisselbrink
 085 8228 648
 t.kruisselbrink@peutz.nl

peutz bv, postbus 66, 6585 zh mook, +31 85 822 86 00, mook@peutz.nl, www.peutz.nl
kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2015

mook – zoetermeer – groningen – eindhoven – düsseldorf – dortmund – berlijn – nürnberg – leuven – parijs – lyon

Inhoudsopgave

1	Introductie	4
2	Methode	5
2.1	Metingen op locatie	5
2.2	Klimaatkameronderzoek	10
2.3	Numerieke simulaties	17
3	Resultaten	20
3.1	Metingen op locatie	20
3.2	Klimaatkameronderzoek	24
3.3	Numerieke simulaties	32
4	Conclusie	34
4.1	Meting op locatie	34
4.2	Klimaatkameronderzoek en numerieke simulaties	34
4.3	Hygrothermische prestatie en toepassingsgebied	36

1 **Introductie**

In opdracht van Innovatiecentrum Veenweiden is een bouwfysische monitoring van Typha Board uitgevoerd. Typha Board betreft een thermische isolatie en constructieplaat op basis van de lisdodde. Door de teelt van natte gewassen zoals de lisdodde kan de bodemdaling en CO₂-uitstoot van veengebieden beperkt worden. Gebruik van dit natuurlijke materiaal lijkt kansrijk, omdat het een combinatie van isolerende als constructieve eigenschappen heeft terwijl de milieubelasting beperkt is.

Eerder onderzoek ten aanzien van de materiaaleigenschappen en bouwfysische eigenschappen met betrekking tot de Duitse bouwpraktijk van Typha Board is uitgevoerd door het Fraunhofer instituut. Het in dit rapport gepresenteerde onderzoek heeft tot doel de bouwfysische prestatie van Typha Board te onderzoeken ten aanzien van de Nederlandse bouwpraktijk. Het onderzoek focust met name op de vochtbufferende werking van Typha Board en het geschatte risico op schimmelvorming.

Het onderzoek is opgebouwd uit 3 fases:

1. Een bouwfysische monitoring d.m.v. metingen op locatie van Typha Board in combinatie met een kalkzandsteen constructie in een appartementencomplex te Schoonhoven;
2. Een klimaatkameronderzoek waarin Typha Board beproefd is voor vijf, in Nederland, voorkomende constructies;
3. Numerieke simulaties waarin de beproefde Typha Board constructies gesimuleerd zijn om de bouwfysische prestatie op de lange termijn te onderzoeken.

2 Methode

2.1 Metingen op locatie

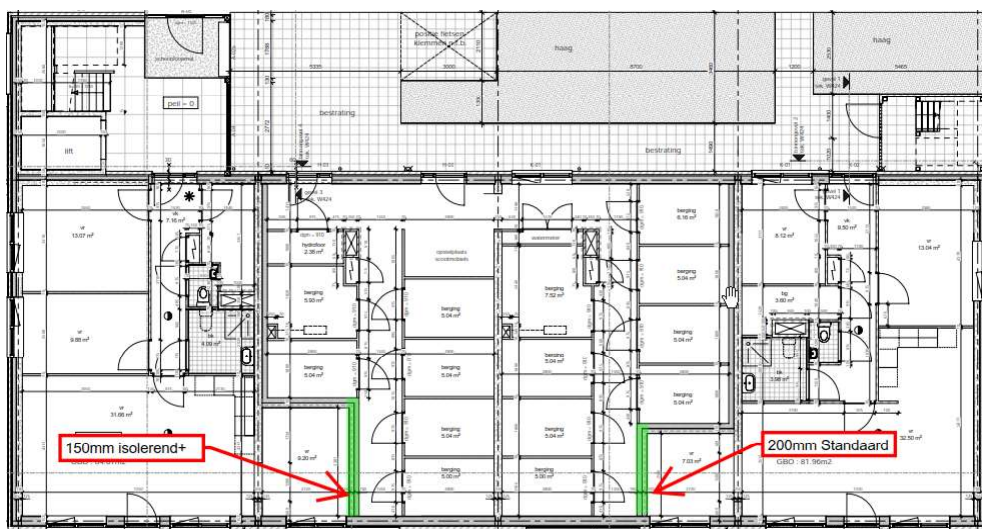
In een eerste stap zijn metingen verricht in een appartementencomplex waar thermische isolatie door middel van Typha Board is toegepast.

2.1.1 Constructie

De Typha Board thermische isolatie is aangebracht op 2 binnenwanden in een appartementencomplex aan de Edelsmidreef te Schoonhoven. Dit appartementencomplex is opgeleverd eind 2020.

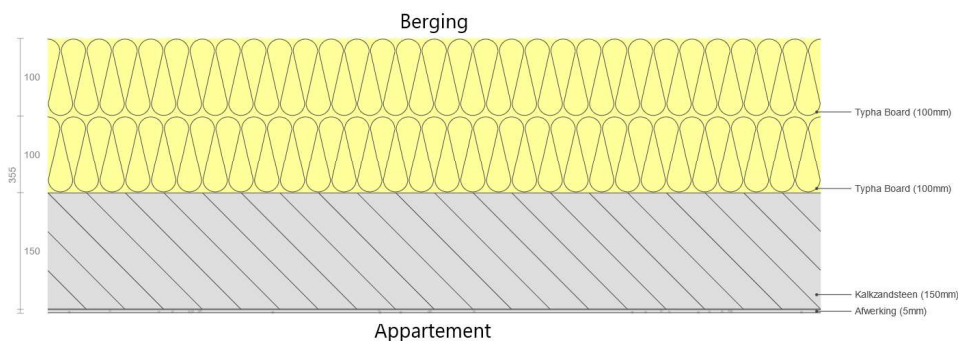
Het betreft twee kalkzandsteen binnenwanden welke elk de scheiding vormen tussen een appartement en een berging. De positie van deze twee wanden is weergegeven op de plattegrond in Figuur f2.1.

f2.1 Plattegrond waarin de gemonitorde constructies zijn weergegeven



De bestaande thermische isolatie is ten tijde van de montage en installatie d.d. 1 februari 2021 verwijderd. Daaropvolgend is de Typha Board thermische isolatie aangebracht zoals weergegeven in Figuur f2.1. De opbouw van de gemonitorde wanden is weergegeven in Figuur f2.2. De Typha Board bestaat uit twee lagen van 100mm Typha Board welke overlappend is uitgevoerd. Tevens is er geen afwerking aangebracht.

f2.2 Opbouw van de gemonitorde wand met Typha Board Standaard thermische isolatie. De opbouw voor Typha Board Isolerend+ is vergelijkbaar met twee lagen van 75mm



2.1.2 Meetopstelling

Twee identieke meetopstellingen zijn toegepast. Figuren f2.3 tot en met f2.5 beschrijven de meetopstelling zoals deze is toegepast. Opgemerkt wordt dat de meetopstelling ter plaatse van de interface achter een laag Typha Board is gelegen. Per constructie zijn de volgende metingen verricht:

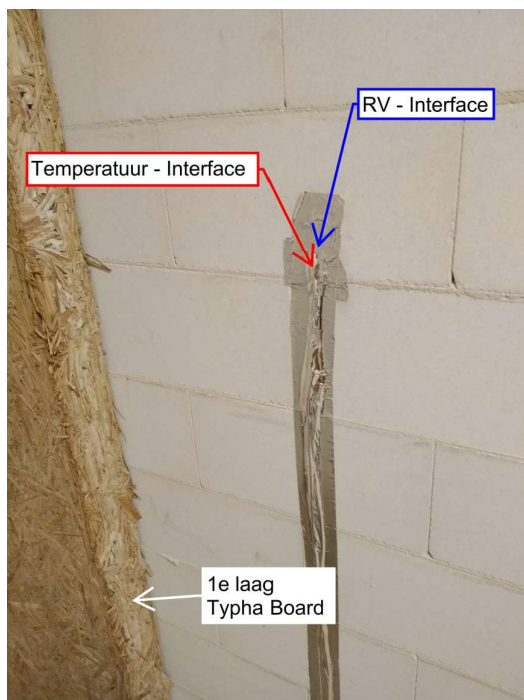
- Temperatuur en relatieve vochtigheid (RV) van de binnenomgeving (Figuur f2.3) d.m.v. respectievelijk een NTC en een Honeywell RH sensor;
- Temperatuur, RV en warmtestroom van het binnenoppervlak (Figuur f2.3) d.m.v. respectievelijk een NTC, een Hukseflux heatflux sensor en een Honeywell RH sensor;
- Temperatuur en RV op de interface tussen kalkzandsteen en Typha Board (Figuur f2.4) d.m.v. respectievelijk een NTC en een Honeywell RH sensor;
- Temperatuur en RV van het buitenoppervlak (Figuur f2.5) d.m.v. respectievelijk een NTC en een Honeywell RH sensor;
- Temperatuur en RV van de buitenomgeving (i.e. de berging) (Figuur f2.5) d.m.v. respectievelijk een NTC en een Honeywell RH sensor.

Metingen hebben plaatsgevonden van 1 februari 2021 tot 23 februari 2021. Figuur f2.6 weergeeft de buitentemperatuur, als een referentie, zoals deze is gemeten in het nabijgelegen KNMI weerstation te Cabauw (hemelsbreed 6 km).

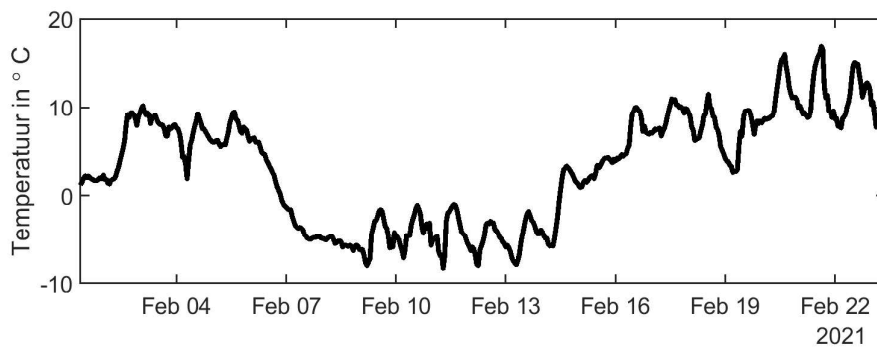
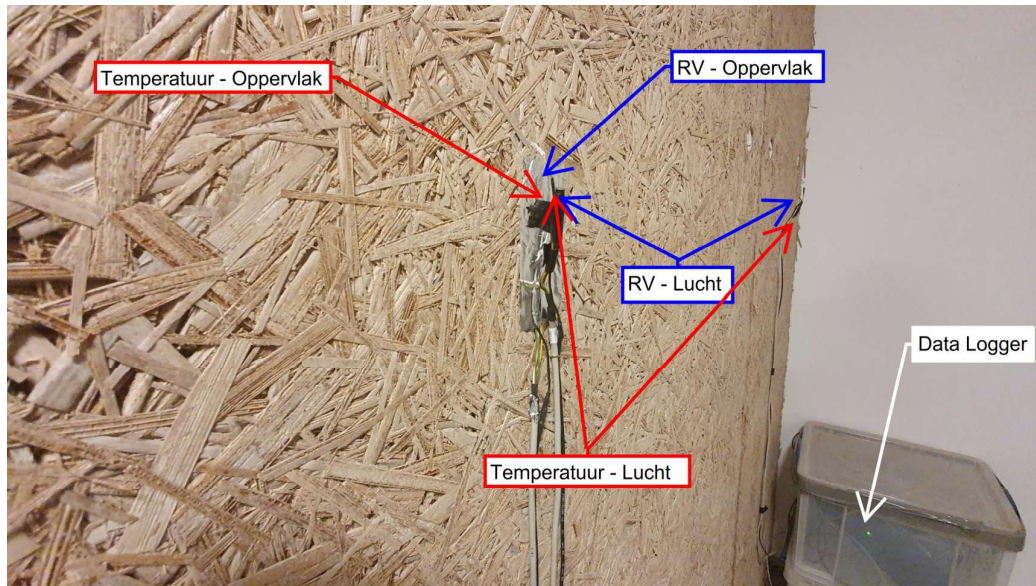
f2.3 Meetopstelling ter plaatse van de appartementen



f2.4 Meetopstelling ter plaatse van de interfaces



f2.5 Meetopstelling ter plaatse van de berging



f2.6 Buiten temperatuur gemeten door het KNMI, locatie Cabauw, ten tijde van metingen

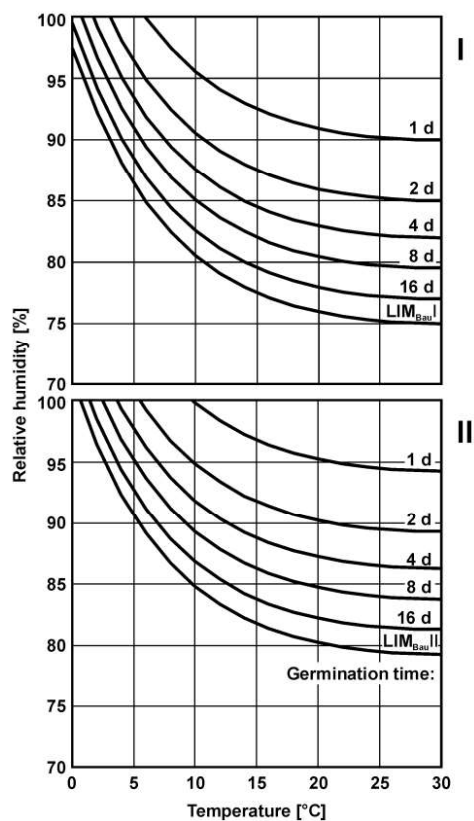
2.1.3 Risico op schimmelgroei

Een eerste analyse van het risico op schimmelgroei is uitgevoerd op basis van het Lowest Isoleth for Mould (LIM) model [Sedlbauer 2001, *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*]. Het model staat een vergelijking toe van de hygrothermische condities in relatie tot de ontkieming van schimmelsporen en de groei van mycelium, ook wel zwamvlokken genoemd.

Op basis van literatuur zijn isolijnen ontwikkeld welke de groei van verschillende schimmelfamilies afzetten tegen de temperatuur en relatieve vochtigheid. Tevens is hierbij onderscheid gemaakt tussen groei substraten. De isolijnen zijn gegeneraliseerd tot de *Lowest Isoleth for Mould* (LIM) welke de maatgevende isolijn is. Figuur f2.7 geeft een voorbeeld van een LIM model. Indien een meetpunt, bijvoorbeeld een daggemiddelde, zich onder de LIM bevindt impliceert dit een laag risico op schimmelgroei. De substraatklassen waarin onderscheid wordt gemaakt in het LIM model zijn weergegeven in Tabel t2.1

Op basis van het LIM model is het risico op schimmelgroei geanalyseerd voor Typha Board Standaard en Isolerend+ ter hoogte van de interface tussen het materiaal en de kalkzandsteenwand en aan het oppervlakte van het materiaal in de berging.

f2.7 Lowest Isoleth for Mould (LIM) voor sporengroei voor respectievelijk substraatklasse I en II [Sedlbauer 2001].



t2.1 Substraatklassen waarin het LIM model onderscheid maakt.

Substraatklasse	Typische materialen
0. Optimale groei media	Biologische materialen
I. Substraten op basis van biologische grondstoffen	Behang, gipskartonplaten, bouwmaterialen van degradeerbare grondstoffen
II. Substraten met een poreuze structuur	Pleisters, minerale bouwmaterialen, isolatoren niet behorend tot klasse I
III. Inerte substraten	Metalen, folies, glas, tegels

2.2 Klimaatkameronderzoek

In een tweede stap is een klimaatkameronderzoek uitgevoerd met als doelstelling het generaliseren van de bevindingen van de metingen op locatie. Tevens geeft het de mogelijkheid meerdere constructies te beproeven.

2.2.1 Constructie

De volgende constructies met een breedte van 1000 mm en een hoogte van 750 mm zijn beproefd (van binnen naar buiten):

Kalkzandsteen constructie

- 10 mm gipspleister;
- 100 mm kalkzandsteen;
- 200 mm Typha Board Standaard.

Metselwerk constructie

- 10 mm leempleister;
- 200 mm Typha Board Standaard;
- 210 mm metselwerk.

HSB – dampopen

- 12,5 mm gipskartonbord;
- 300 mm Typha Board Standaard met vuren stijlen van ca. 50 bij 300 mm met h.o.h. van 600 mm;
- Damp-openfolie.

HSB – dampremmend

- 12,5 mm gipskartonbord;
- Dampremmende folie: Pro Clima Intello Plus;
- 300 mm Typha Board Standaard met vuren stijlen van ca. 50 bij 300 mm met h.o.h. van 600 mm;
- Damp-openfolie.

Zelfdragende constructie

- 10 mm leempleister;
- 300 mm Typha board Standaard;
- 10 mm leempleister.

De opbouw van de constructies is afgestemd in overleg met de opdrachtgever en besproken tijdens een overleg d.d. 8 april 2021.

2.2.2 Meetopstelling

De constructies zijn opgebouwd in de klimaatkamer in het laboratorium van Peutz te Molenhoek. De opstelling is weergegeven in Figuur f2.8. De constructies, geplaatst in een stijl- en regelwerk, vormen de scheiding tussen het binnen- en buitenklimaat, welke beide geklimatiseerd zijn. De constructies zijn ter plaatse van de interface tussen de constructies is een strook minerale wol met een dampdichte folie toegepast, zodanig dat de invloed van de constructies onderling voldoende beperkt is.

f2.8 Meetopstelling in het Peutz laboratorium



Buitencondities

Een constante buitenconditie is opgelegd aan de gevel. Een koelmachine is toegepast om een temperatuur van 5°C te handhaven. Er is geen sturing toegepast voor de RV. De buitencondities van één meetcyclus zijn weergegeven in Figuur f2.9 en Figuur f2.10. Opgemerkt wordt dat de RV relatief constant is.

Binnencondities

Variabele binnencondities zijn opgelegd aan de gevel. Elke repetitieve meetcyclus bevat de volgende stappen, onafhankelijk van de tijd die benodigd is om te stabiliseren:

- Temperatuur van 22°C met een RV van 45% voor een stabiele periode van 4 uur;
- Temperatuur van 22°C met een RV van 70% voor een stabiele periode van 4 uur;
- Temperatuur van 22°C met een RV van 45% voor een stabiele periode van 1 uur;
- Temperatuur van 22°C met een RV van 70% voor een stabiele periode van 1 uur.

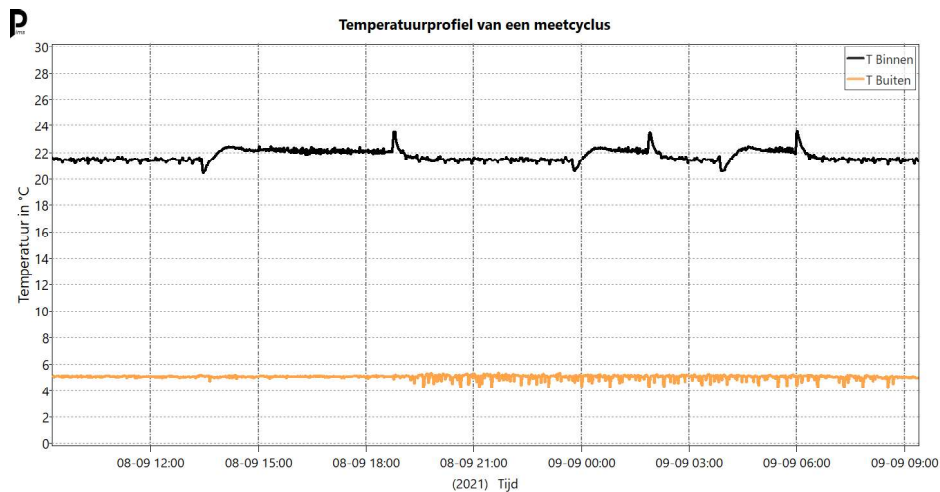
De meetcyclus neemt ca. 14 uur in beslag.

De regeling is als volgt gerealiseerd.

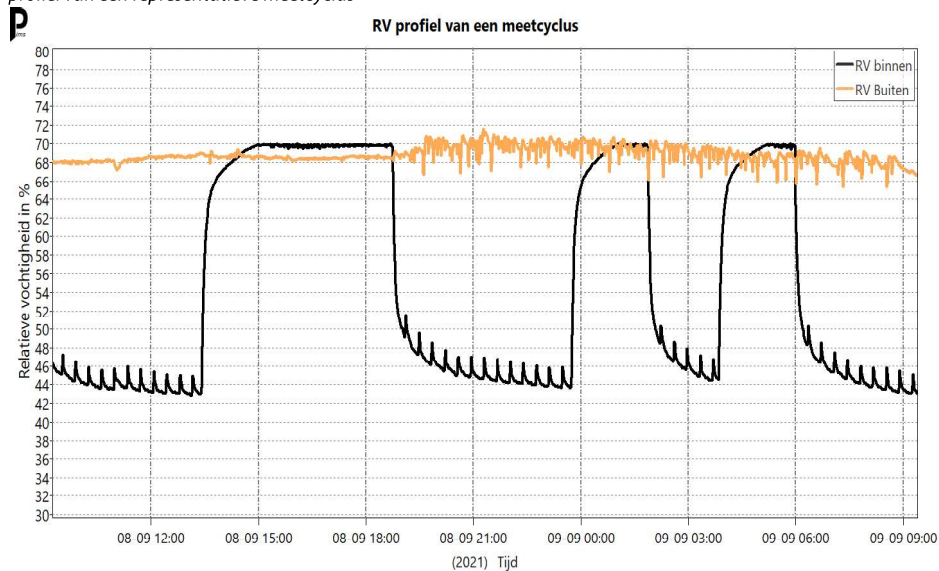
- Constante temperatuur van 21°C door middel van de luchtbehandelingskast van de klimaatkamer;
- Constante wand-, vloer- en plafondtemperatuur van 20°C door middel van een warm water circuit;
- Bijsturing van de temperatuur naar 22°C door middel van PID gestuurde interne warmtelasten (gloeilampen);
- RV van 70% door een bevochtiger;
- RV van 45% door een ontvochtiger;
- Een relais schakeling welke de bevochtiger en ontvochtiger regelt afhankelijk van het punt in de meetcyclus.

De binnencondities van een meetcyclus zijn weergegeven in Figuur f2.9 en Figuur f2.10. Deze condities zijn opgelegd na droging van bouwvocht uit de constructies. Fluctuaties van de temperatuur- en relatieve vochtigheid worden veroorzaakt door ontdooicycli van de koelmachinge, in- en uitschakelen van de bevochtiger en ontvochtiger.

f2.9 Temperatuurprofiel van een representatieve meetcyclus



f 2.10 RV profiel van een representatieve meetcyclus

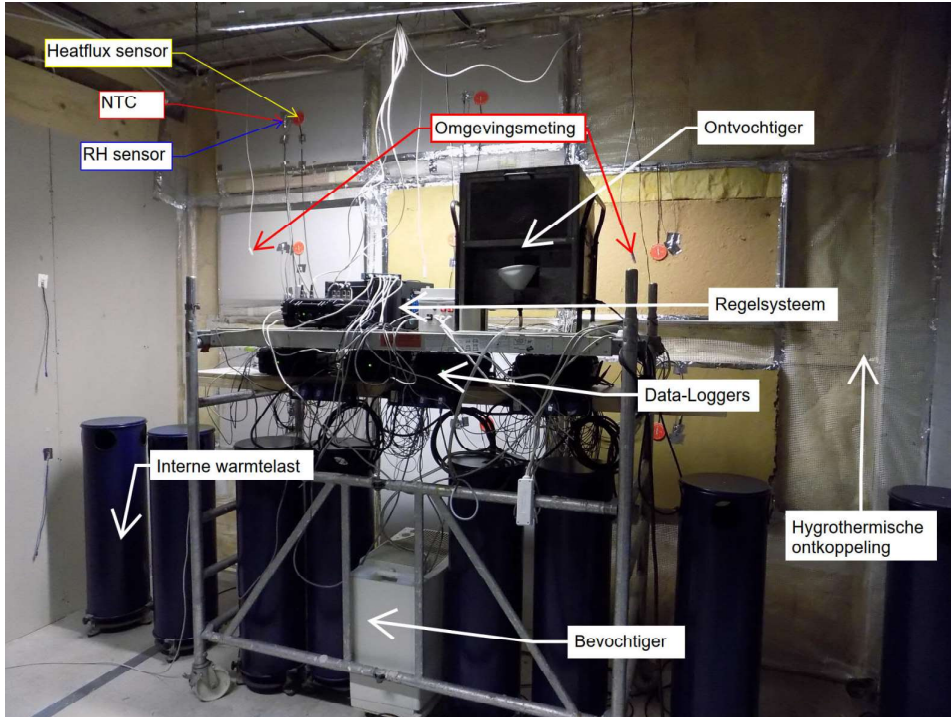


Metingen zijn verricht op de binnenzijde, buitenzijde, en interfaces tussen de verschillende materialen, overeenkomend met de metingen op locatie. Opgemerkt wordt dat het niet mogelijk was om metingen verrichten op een interface met een gepleisterd materiaal aangezien de sensoren een ingepleisterde bevestiging niet toelaten. Tevens zijn de ruimte condities gemonitord. Hierbij is gebruikgemaakt van een identiek meetsysteem als de metingen op locatie waarbij voor elk meetpunt de temperatuur en RV continue gemonitord is en waarbij aan de binnenzijde van de constructie tevens de warmtestroom is gemonitord.

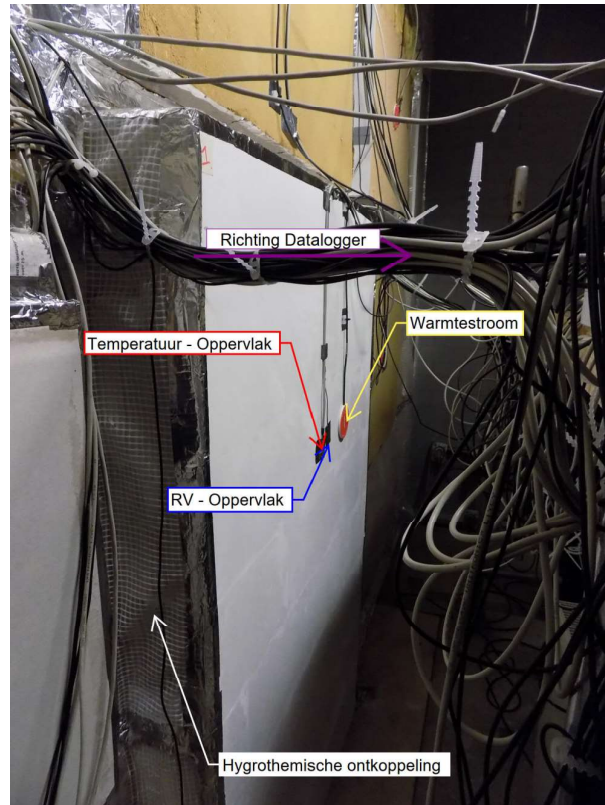
Figuren f2.11 t/m f2.13 geven een impressie van de meetopstelling aan de binnenzijde en buitenzijde.

Representatieve metingen hebben plaatsgevonden van 30 augustus t/m 4 oktober 2021.

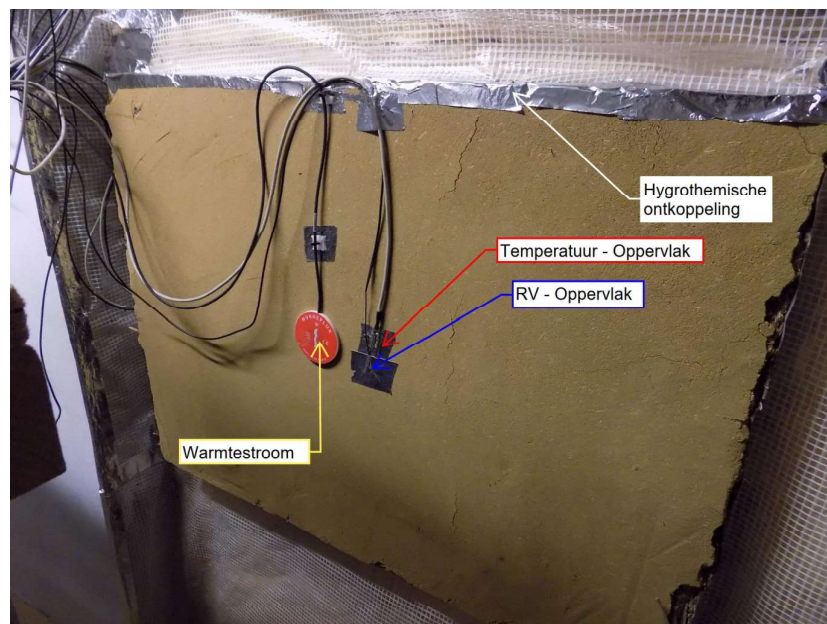
f2.11 Binnenaanzicht meetopstelling



f2.12 Binnenaanzicht kalkzandsteen constructie



f2.13 Binnenaanzicht metselwerk constructie

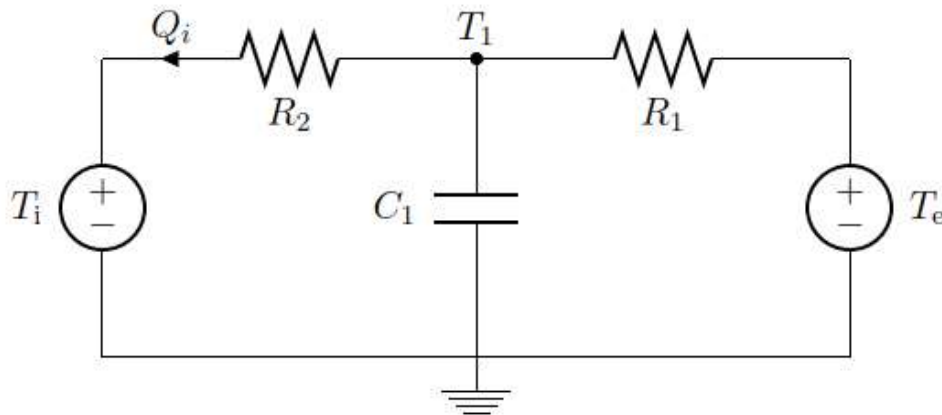


2.2.3 Warmteweerstand in de praktijk

Door het toepassen van een wiskundig model op basis van stochastische differentiaal vergelijkingen kan het warmtetransport door de constructie worden geanalyseerd. Door middel van dit grey-box model kan een inschatting gemaakt worden van de warmteweerstand en warmtecapaciteit van de constructie in de praktijk.

Het model dat hiervoor toegepast wordt is gevisualiseerd in Figuur f2.14. De inputs zijn de binnen temperatuur T_i , buiten temperatuur T_e en de warmtestroom Q_i . De outputs zijn de warmtecapaciteit C_1 en de thermische weerstand R_1+R_2 van de constructie. De stochastische differentiaal vergelijking conform de RC-schakeling is opgelost door middel van de CTSM module in R.

f2.14 Weergave van het model op basis van een RC-schakeling



2.3 Numerieke simulaties

Numerieke simulaties zijn uitgevoerd om de hygrothermische prestatie van de constructies te analyseren voor een langere, i.e. gedurende twee jaar, periode.

Om het hygrothermische gedrag van de Typha Board constructies in kaart te brengen is een dynamische berekening van het gecombineerd warmte- en vochttransport in de constructies uitgevoerd. De dynamische berekeningen zijn uitgevoerd met het softwarepakket Delphin 5.9, waarbij het gecombineerd warmte-, lucht- en vochttransport wordt berekend. Een eendimensionale berekening is uitgevoerd voor vijf verschillende constructies met Typha Board, identiek aan de constructies beproefd in het klimaatkameronderzoek.

Daarnaast is als referentie een standaard HSB constructie gesimuleerd met de volgende opbouw:

- 12,5 mm gipskartonplaat;
- dampremmende folie;
- 300 mm minerale wol 600 mm;
- dampopenfolie.

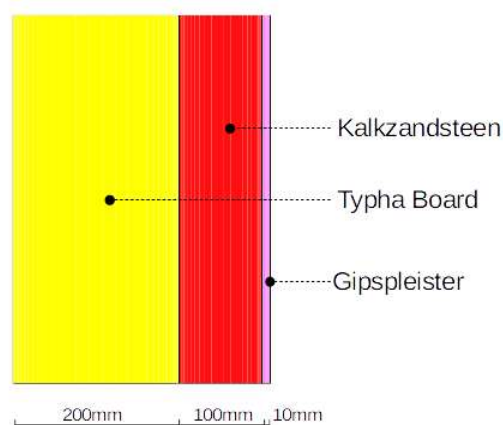
2.3.1 Constructies

De numerieke simulatie is uitgevoerd voor de constructies zoals beschouwd in het klimaatkameronderzoek voor een periode van twee jaar.

Figuur f2.15 weergeeft de geometrie, zoals deze is ingevoerd in de simulatie software, van de kalkzandsteen constructie weer. De overige constructies zijn weergegeven in de Bijlage.

De meetpunten zijn identiek aan de meetpunten in het klimaatkameronderzoek.

f2.15 Geometrie van de kalkzandsteen constructie zoals ingegeven in de simulatie software



2.3.2 Materiaaleigenschappen

Materiaaleigenschappen van de verschillende constructies zijn geïmplementeerd op basis van informatie vergaard tijdens het klimaatkameronderzoek. De eigenschappen van de overige materialen en eventuele ontbrekende materiaaleigenschappen zijn ontleend aan de door het Building Physics Laboratory van de Technische Universiteit Dresden samengestelde databank.

Tabel t2.2 presenteert een overzicht van de belangrijkste hygrothermische eigenschappen van de toegepaste materialen.

t2.2 *Hygrothermische eigenschappen van de toegepaste materialen*

Materiaal	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	θ_{cap} [m ³ /m ³]	A_w [kg/m ² √s]	μ [-]
Minerale wol					
Typha Board	250	0,055	0,24	0,018	5
Gipskartonbord	850	0,2	0,4	0,277	10
Gipspleister	1043	0,26	0,35	0,367	11,28
Metselwerk	1400	0,55	0,265	0,1773	19
Leempleister	1498	0,41	0,25	0,019	9,26
Kalkzandsteen	1810	1	0,22	0,052	40
Dampremmende folie	-	-	-	-	Overeenkomend met een μ_d van 14 meter

2.3.3 Randvoorwaarden

Randvoorwaarden voor de dynamische berekeningen zijn toegepast op basis van onderstaande (normatieve) referentie:

- WTA Merkblatt E-6-5 (2012) – Interior insulation according to WTA II: Evaluation of internal insulation systems with numerical design methods.

Klimaatcondities

Als randvoorwaarden voor de berekening is als buitenklimaat de randconditie gemeten in het klimaatkameronderzoek aangehouden overeenkomend met een constante temperatuur van 5 °C en een relatieve vochtigheid van 68%. De overgangscoefficienten voor warmte- en vochttransport aan de buitenzijde van de constructie zijn vastgesteld op $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ en $\beta = 2 \cdot 10^{-7} \text{ s/m}$.

Met betrekking tot het binnenklimaat wordt ook de randconditie gemeten in het klimaatkameronderzoek aangehouden overeenkomend met een constante temperatuur van 22 °C. Met betrekking tot de relatieve vochtigheid is het RV profiel opgelegd weergegeven in Figuur f2.10. Opgemerkt wordt dat een resolutie van één uur is aangehouden m.b.t. tot de randvoorwaarden. De overgangscoefficienten voor warmte- en vochttransport zijn vastgesteld op $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ en $\beta = 3 \cdot 10^{-8} \text{ s/m}$, respectievelijk.

Adiabatische randvoorwaarden zijn toegepast op de randen van het berekeningsdomein.



Beginwaarden en initiële condities

Startdatum van de berekeningen is 1 januari. Uitgangspunt is dat de berekeningen starten met een relatief droge constructie, i.e. 20 °C en 50 % relatieve vochtigheid in de materialen. De hygrothermische simulatie is uitgevoerd voor een periode van 2 opeenvolgende jaren om de invloed van de initiële condities uit te sluiten en een eventuele vochttoename per jaar vast te kunnen stellen. De beoordeling vindt plaats op basis van de laatste berekeningsdag.

3 Resultaten

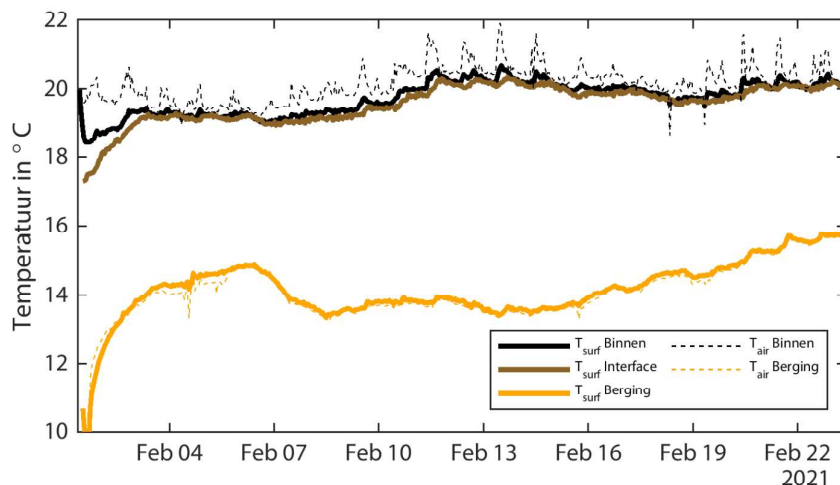
3.1 Metingen op locatie

Figuren f3.1 en f3.2 presenteren het temperatuur- en relatieve vochtigheidsprofiel dat is gemeten voor de constructie met Typha Board Standaard. De meetresultaten van Typha Board Isolerend+ zijn weergegeven in Bijlage 1.

Figuur f3.1 illustreert de isolerende capaciteit van Typha Board doordat een groot temperatuurverschil waargenomen is tussen de twee zijdes van het materiaal. Tevens volgt de oppervlaktetemperatuur in de berging de omgevingstemperatuur doordat de warmtetransmissie door de constructie beperkt is. Aan de binnenzijde van de constructie is eenzelfde trend waargenomen. Al is het verschil met de omgevingstemperatuur enigszins hoger door de thermische massa van de kalkzandsteenwand. De kalkzandsteenwand heeft een beperkte thermische isolatie in vergelijking met de Typha Board. De temperatuur op de interface tussen kalkzandsteen en Typha Board weergeeft immers een zeer klein verschil. De bevindingen met betrekking tot Typha Board Isolerend+, weergegeven in de bijlage, komen in grote mate overeen.

Opgemerkt wordt dat de temperatuur in de berging relatief laag was aan het begin van de meting. Dit is veroorzaakt doordat ten tijde van de installatie van de Typha Board en meetapparatuur de toegangsdeur van de berging geopend was (voor minimaal 1 dag), resulterend in een lagere omgevingstemperatuur. Doordat er geen actieve verwarming plaatsvond heeft een aantal dagen gekost om weer op temperatuur te komen. Tevens is het effect van de koude periode tussen 7 en 13 februari zeer beperkt, deze is enkel waarneembaar in de berging.

f3.1 Temperatuurprofiel van constructie met Typha Board Standaard

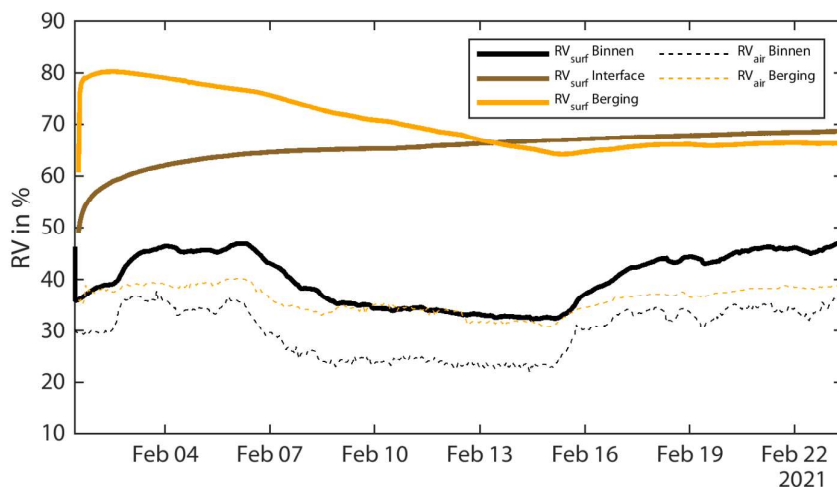


Figuur f3.2 illustreert de dempende werking van Typha Board in relatie tot de relatieve vochtigheid. In tegenstelling tot het temperatuurprofiel wijken de RV's van de constructie af van de RV's gemeten in de omgeving. Het RV profiel van de kalkzandsteenwand toont hierbij overeenkomsten met die van de omgeving doordat de dampdiffusieweerstand relatief hoog is. Typha Board daarentegen betreft een dampopen materiaal met een relatief lage dampdiffusieweerstand waardoor demping van vocht in het materiaal optreedt. Dit wordt kenbaar doordat er nauwelijks fluctuaties optreden in het Typha Board.

De hoge relatieve vochtigheid van het Typha Board aan het begin van de meting wordt verklaard door het regenachtige weer ten tijde van de montage waardoor het aannemelijk is dat het Typha Board enigszins nat geworden is. Ondanks de relatief lage RV in de berging is de acclimatisatie van het materiaal trager in vergelijking met de temperatuur. Ongeveer 2 weken was benodigd om een steady-state te bereiken. Echter, dit impliceert ook dat de constructie in staat was om te drogen.

In grote lijnen gedraagt de Typha Board Isolerend+ constructie, weergegeven in Bijlage 1, zich gelijk aan Typha Board Standaard. Echter de RV van de interface geeft een licht toenemende trend weer voor Typha Board Standaard terwijl Typha Board Isolerend+ een licht afnemende trend weergeeft. Tevens is het gradiënt van de RV groter voor Typha Board Isolerend+.

f3.2 RV profiel van de constructie met Typha Board Standaard



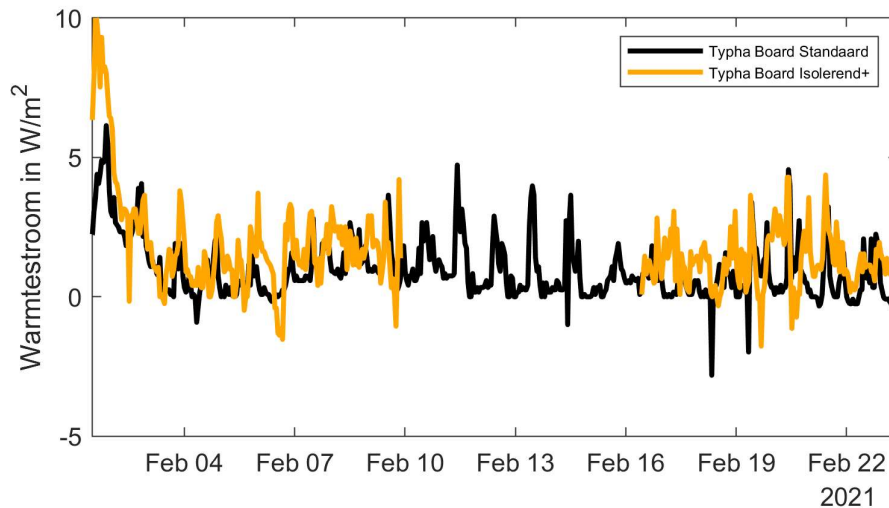
3.1.1 Warmteweerstand

Op basis van de metingen in het appartementencomplex te Schoonhoven kan de warmteweerstand van de constructie, zowel voor Typha Board Standaard als Typha Board Isolerend+, niet bepaald worden doordat:

- Ten tijde van de meetperiode zijn geen stationaire condities waargenomen. Door de dynamische processen waar de constructie aan onderhevig is kan de energiebalans niet opgelost worden.
- Door het toepassen van stochastische differentiaal vergelijkingen kan het warmtetransport door een constructie worden geanalyseerd en een inschatting van de warmteweerstand bepaald worden. Echter, om deze berekening succesvol uit te voeren was de excitatie van de constructie onvoldoende. M.a.w. het temperatuurverschil over de constructies was te beperkt om de warmteweerstand te bepalen.

Ondanks dat de warmteweerstand van de constructies niet bepaald kon worden is het warmtestroomprofiel van de constructies weergegeven in Figuur f3.3. De warmtestroom door de Typha Board Isolerend+ is enigszins hoger doordat er een hogere binnentemperatuur is waargenomen in het betreffende appartement gedurende de metingen.

f3.3 Warmtestroomprofiel van constructie met Typha Board Standaard



3.1.2 Risico van schimmelgroei

Een monster van het materiaal is weergegeven in Figuur f3.4. Op basis van dit monster wordt geconcludeerd dat Typha Board in substraatklasse I. valt. Het product bevat immers biologische grondstoffen.

f3.4 Monster van Typha Board Standaard

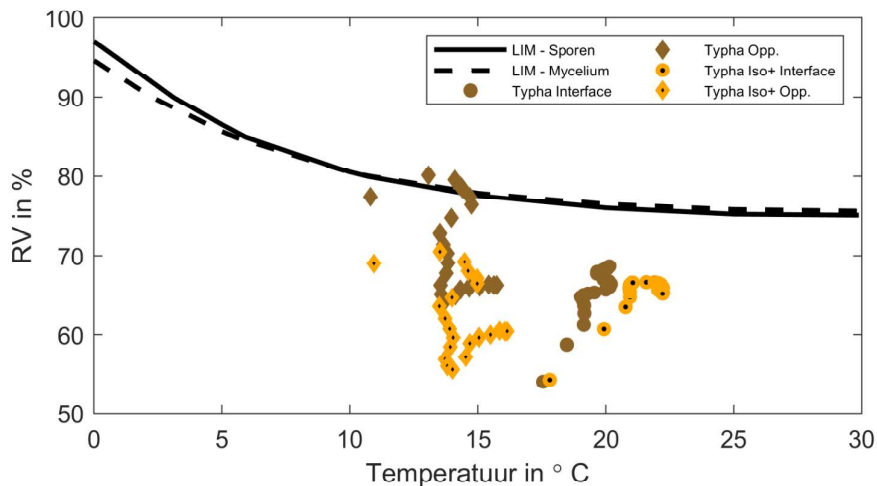


Figuur f3.5 presenteert het LIM model voor de ontkieming van sporen en mycelium groei. Tevens zijn de gemeten daggemiddelden van Typha Board Standaard en Typha Board Isolierend+ weergegeven. Met uitzondering van Typha Board Standaard, gemeten aan het oppervlak in de berging, bevinden de meetpunten zich ruim onder de maatgevende isolijnen. Derhalve kan geconcludeerd worden dat over het algemeen het geschatte risico op schimmelgroei laag is.

Voor de meetpunten welke boven of in de nabijheid van de LIM liggen wordt voornamelijk een afwijking in de relatieve vochtigheid waargenomen. De temperatuur is immers gelijk

aan die gemeten voor Typha Board Isolerend+. Afgaand op Figuur f3.2 zijn deze waarden waargenomen aan het begin van de metingen, als gevolg van het weer ten tijde van de installatie, om vervolgens langzaam af te nemen richting een lagere steady-state. Derhalve wordt geconcludeerd dat deze meetpunten niet representatief zijn voor het verwachte risico op schimmelgroei.

f3.5 *Lowest Isoleth for Mould (LIM) voor sporen en mycelium in relatie tot de daggemiddelden voor Typha Board Standaard en Typha Board Isolerend+*



3.2 Klimaatkameronderzoek

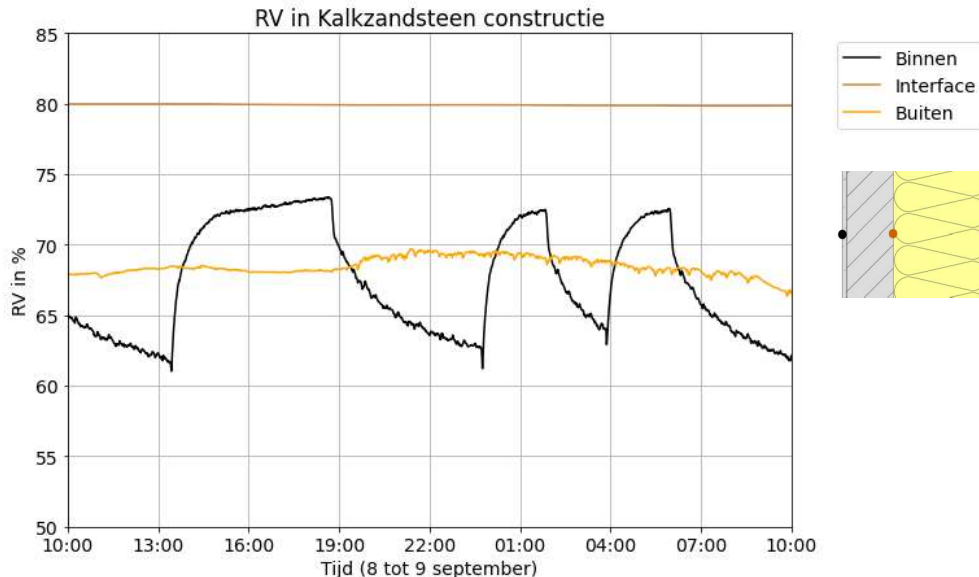
Figuren f3.6 en f3.7 geven het RV en temperatuurprofiel van de kalkzandsteen constructie weer voor één enkele meetcyclus tussen op 8 en 9 september. Opgemerkt wordt dat de temperatuur constant is overeenkomend met de opgelegde randvoorwaarden. De RV op het binnenoppervlak vertoont grote overeenkomsten met de randvoorwaarden. De RV wordt enigszins vertraagd en gedempt ten opzichte van de randvoorwaarden. De RV tussen de kalkzandsteen en Typha Board is zeer constant, er is zeer klein effect van de binnen of buiten condities. De combinatie van de kalkzandsteen en Typha Board is derhalve in staat om fluctuaties in de RV te bufferen. Dit komt overeen met de bevindingen van de metingen op locatie.

Figuren f3.8 en f3.9 geven het RV en temperatuur verloop van de kalkzandsteen constructie weer voor de gehele meetperiode. In vergelijking met een enkele meetcyclus is er meer variatie waarneembaar. Met betrekking tot de temperatuur zijn met name in de buitenconditie verstoringen waarneembaar. De korte pieken representeren een ontdooicyclus om aangegroeid ijs op de koelmachine te ontdooien. Tevens is een grote verstoring waarneembaar rond 20 september, de constructie had tijd nodig om na deze verstoring te stabiliseren. Met betrekking tot de RV in de constructie is een duidelijke

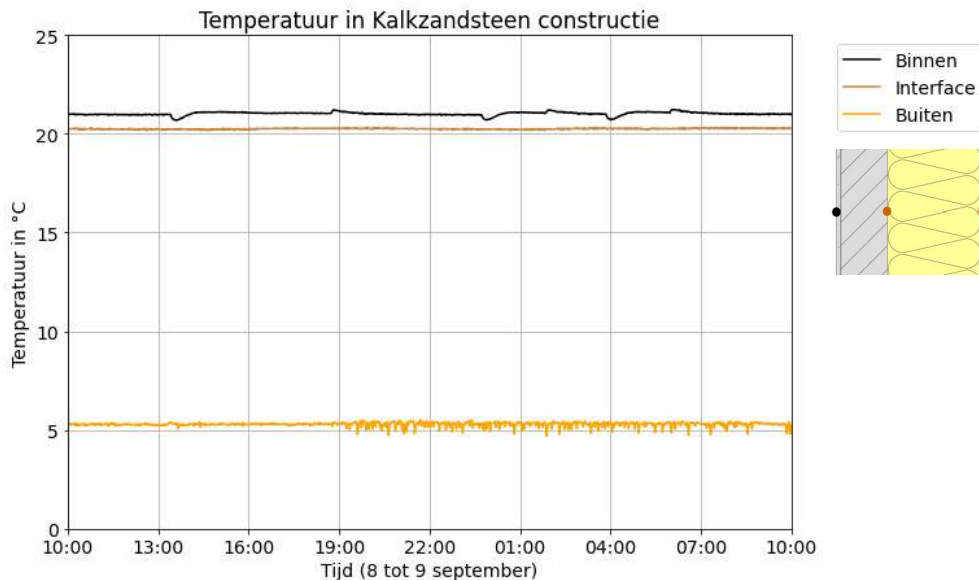
dalende trend zichtbaar, welke niet waarneembaar was voor een meetcyclus. Naar verwachting was bouwvocht in de constructie aanwezig welke tijdens de metingen langzaam uitdroogde. De constructie is derhalve nog niet in zijn steady-state situatie.

De RV en temperatuurprofielen van de overige constructies zijn weergegeven in de Bijlage. Over het algemeen wordt een gelijke trend waargenomen. Het binnenoppervlak volgt de trend van het RV profiel, de metselwerk constructie vertoont hierbij meer vertraging dan de HSB constructies. De RV op de interface tussen de is nagenoeg constant, ook voor de lichtgewicht (relatief) HSB constructies.

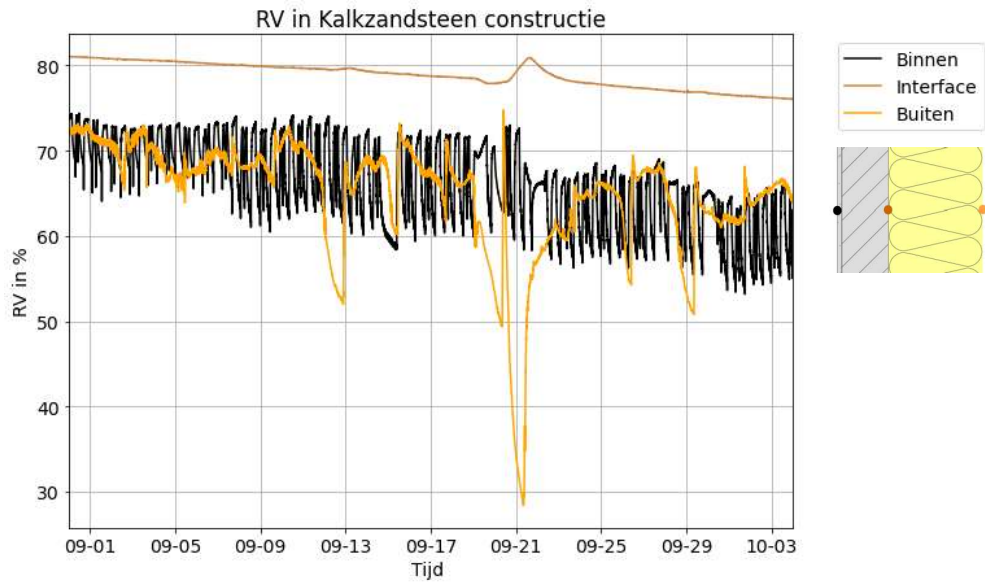
f3.6 RV profiel van de kalkzandsteen constructie voor één enkele meetcyclus



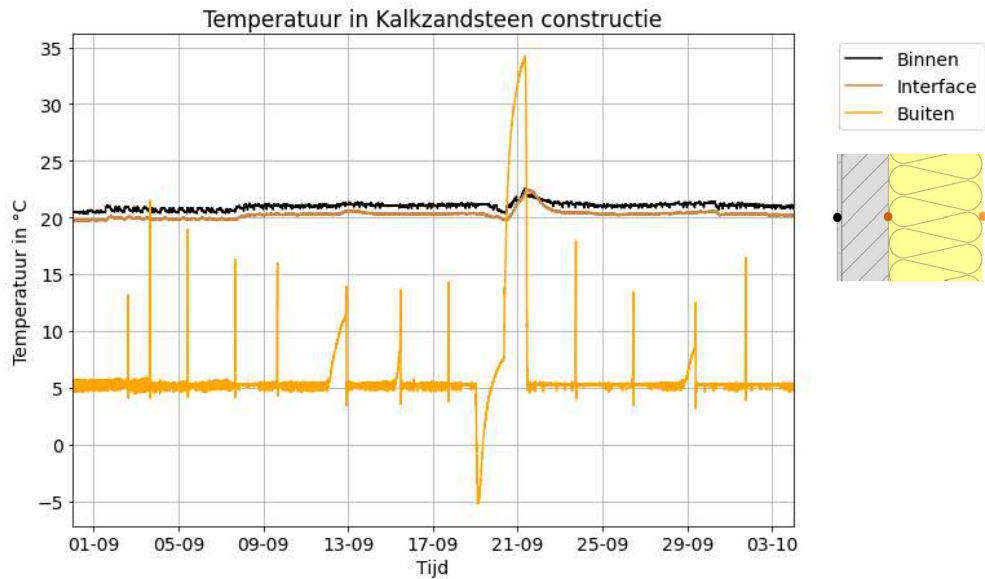
f3.7 Temperatuurprofiel van de kalkzandsteen constructie voor één enkele meetcyclus



f3.8 RV profiel van de kalkzandsteen constructie voor de gehele meetperiode



f3.9 Temperatuurprofiel van de kalkzandsteen constructie voor de gehele meetperiode

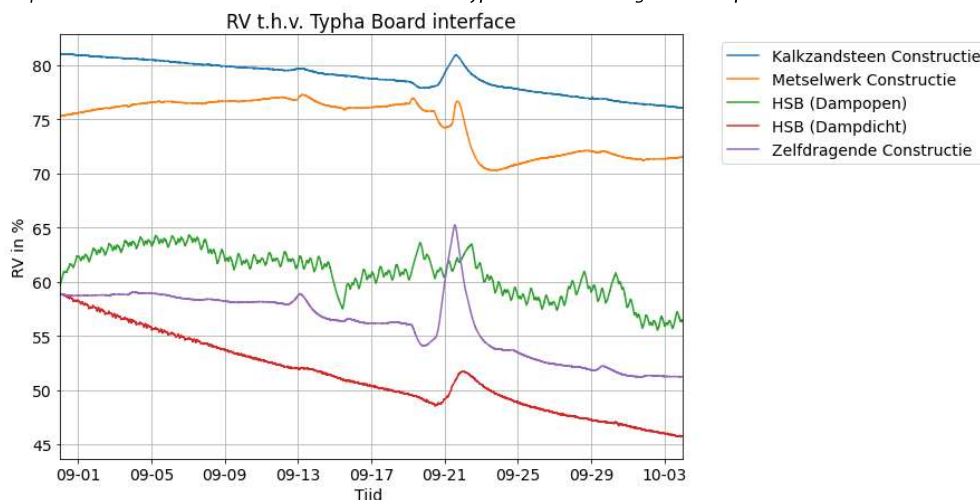


Onderstaand ligt de nadruk op de (relatieve) vochtigheid van de constructies op de interfaces van de Typha Board over de gehele meetperiode. M.a.w. deze meetpunten grenzen niet aan het binnen of buitenoppervlak.

Figuur f3.10 weergeeft het RV profiel tegen de Typha Board aan voor alle constructies voor de gehele meetperiode. Opgemerkt wordt dat de constructies, met uitzondering van de metselwerk constructie, een dalende trend weergeven. Met name voor de dampdichte HSB constructie is een sterk dalende trend zichtbaar. Droging vindt plaats via het buitenklimaat, terwijl het toegevoegde vocht in het binnenklimaat de Typha Board niet bereiken ten gevolge van de dampdichte folie. Tevens wordt opgemerkt dat de dampopen HSB constructie de meeste fluctuaties weergeeft, deze zijn ook enigszins waarneembaar voor één enkele meetcyclus. Deze fluctuaties worden verklaard doordat het meetpunt zich relatief dicht op het binnenoppervlak bevindt, desalniettemin vind er behoorlijke buffering plaats.

In de metselwerk constructie heeft droging met name plaatsgevonden ten gevolge van de storing. In het overige deel van de meetperiode is een licht stijgende trend waarneembaar.

f3.10 RV profiel van de verschillende constructies t.h.v. van de Typha Board voor de gehele meetperiode

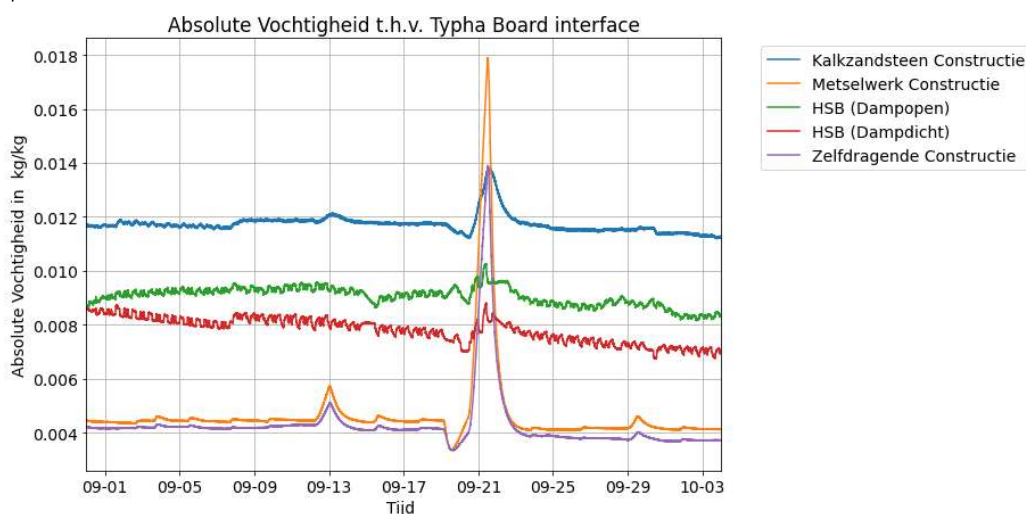


Figuur f3.11 weergeeft het profiel van de absolute (lucht) vochtigheid van de constructies weer, overeenkomend met Figuur f3.10. Op basis van de RV profielen kan geen directe vergelijking gemaakt worden tussen de constructies, de temperatuur van de meetpunten is immers niet gelijk. In de absolute luchtvochtigheid is dit effect verdisconteerd. Opgemerkt wordt dat hierdoor de dalende trend van de constructies minder waarneembaar is. In absolute zin is de afname van de vochtigheid dus beperkt en zeer traag. Echter, de stabiele metselwerk en zelfdragende constructie waren in staat snel te herstellen van de verstoring. De combinatie van leempleister en Typha Board is een veel belovende constructie welke

goed in staat is om te bufferen, relatief snel gereageerd en een relatief lage luchtvochtigheid oplevert.

De metselwerk constructie was ten tijde van de start van de metingen behoorlijk droog. Het bouwvocht is voor aanvang van de metingen actief uitgedroogd. Dit is niet gedaan voor de kalkzandsteen constructie welke relatief vochtig bleek te zijn. Ook de zelfdragende constructie was behoorlijk droog, opgemerkt wordt dat deze in het midden van de constructie gemeten is. Het absolute verschil in vochtigheid kan ook ontstaan zijn door de verschillende partijen Typha Board. Een partij is aanzienlijk later geleverd, het overige deel heeft al die tijd al kunnen drogen.

f3.11 Absoluut luchtvochtigheidsprofiel van de verschillende constructies t.h.v. van de Typha Board voor de gehele meetperiode

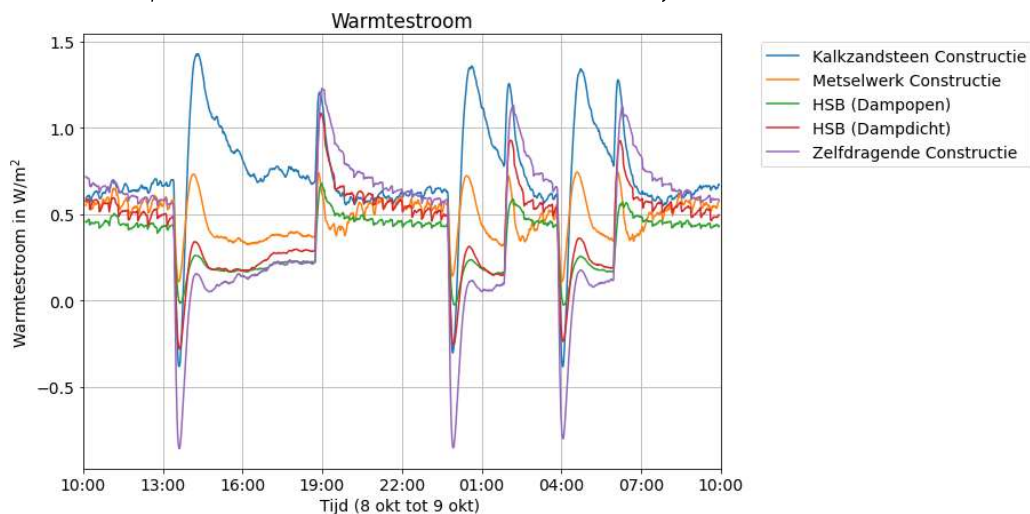


Met betrekking tot de afwerking illustreert Figuur f3.11 dat de buffering het hoogst is voor de constructies afgewerkt met leempleister. Ten eerste, is het absolute vochtgehalte lager. Ten twee worden er minder fluctuaties waargenomen. De fluctuaties zijn hierbij het meest aanwezig voor het gipskartonbord.

3.2.1 Warmteweerstand

De warmtestromen van de verschillende constructies voor één enkele meetcyclus is weergegeven in Figuur f3.13. Ondanks dat de temperatuur constant was tijdens de metingen is er voor iedere constructie een variabele warmtestroom waargenomen. De fluctuaties worden met name veroorzaakt door een verandering van de RV. Tijdens constante condities is de warmtestroom voor all constructies ca. $0,5 \text{ W/m}^2$. Ten gevolge van een verandering in de RV reageren de HSB en zelfdragende constructies, lage thermische massa, snel, enkel een kleine piek is vertoond. De kalkzandsteen constructie, met een hoge thermische massa, reageert traag. De metselwerk constructie vertoont weinig fluctuaties, de combinatie van het metselwerk en de Typha Board heeft een sterk bufferend karakter.

f3.12 Warmtestroomprofiel van de verschillende constructies voor één enkele meetcyclus



Door het toepassen van stochastische differentiaal vergelijkingen is een inschatting gemaakt van de warmteweerstand en warmtecapaciteit van de constructies. De berekening is uitgevoerd op basis een enkele meetcyclus (8 tot 9 September), waarbij de helft van de data gebruikt is om de differentiaal vergelijking op te lossen, de andere helft is toegepast ter validatie. Tabel t3.1 weergeeft de resultaten van het stochastische model. De resultaten van de validatie is weergegeven in de bijlage.

Ten aanzien van de warmteweerstand geeft de tabel een vergelijking van de inschatting van de warmteweerstand in de praktijk met de theoretische waarde van de warmteweerstand van de constructie berekend volgens de norm NEN-EN-ISO 6946 (2017). Uitgangspunt hierbij is een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,055 W/mK voor het Typha Board, conform de specificaties bepaald door het Fraunhofer instituut. Opgemerkt wordt dat het niet mogelijk is de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ [W/mK]) van het Typha Board te berekenen aangezien tijdens de metingen de totale warmtestroom, i.e. warmteweerstand, van de constructie is gemeten/bepaald. Het analyseren van de materiaaleigenschappen van de afzonderlijke materialen is derhalve niet mogelijk.

t3.1 Output van de stochastische differentiaal vergelijking

	Warmteweerstand (R_c [m²K/W])	Warmteweerstand (R_c [m²K/W])	Warmtecapaciteit (C [kJ/m²K])
	<i>praktijk</i>	<i>theorie</i>	
Kalkzandsteen constructie	2,1 ± 0,5	3,8	396 ± 261
Metselwerk constructie	3,23 ± 1,0	4,0	535 ± 542
HSB dampopen	5,1 ± 2,0	4,6	394 ± 574
HSB dampdicht	3,6 ± 0,7	4,6	203 ± 132
Zelfdragende constructie	4,0 ± 0,5	5,5	134 ± 132

Opgemerkt wordt dat de afwijking van het model relatief groot is doordat het stochastische model enkel het warmtetransport in rekening brengt, en niet het gecombineerde warmte- en vochttransport. Desalniettemin, geeft het een inschatting van de thermische prestatie van de constructie.

Met betrekking tot de warmteweerstand is er duidelijk onderscheid tussen de constructies met 200 mm en 300 mm Typha Board. De warmteweerstand van de 200 mm constructies, kalkzandsteen en metselwerk, blijven achter in vergelijking met de constructies van 300 mm. Tevens is de warmteweerstand lager dan verwacht op basis van de warmtegeleidingscoëfficiënt in de specificaties, bepaald door het Fraunhofer instituut.

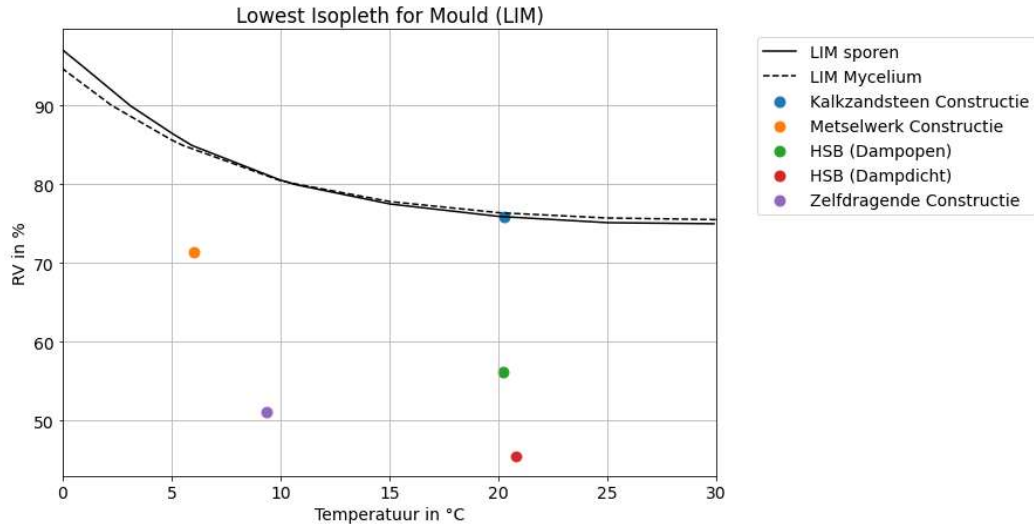
Ook de warmteweerstanden van de 300 mm constructies blijft achter met de verwachtingen (zie referentie constructie), met name de dampdichte HSB constructie heeft een significant lagere warmteweerstand. De zelfdragende constructie heeft omgerekend een warmtegeleidingscoëfficiënt van ca. 0,075 W/mK. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de invloed van vocht op de warmtegeleidingscoëfficiënt en dus de warmteweerstand.

De warmtecapaciteit is naar schatting hoger dan verwacht op basis van de referentie constructie. Zoals verwacht is met name voor de constructies met steen de warmtecapaciteit hoger dan een constructie volledig opgetrokken uit Typha Board. Indien Typha Board met een steenachtig materiaal toegepast wordt vindt zowel buffering van warmte als bufferen van vocht plaats. Vereiste hiervoor is dat de binnenafwerking damp-open is.

3.2.2 Risico op schimmelgroei

In overeenkomst met de metingen op locatie is het LIM model voor de ontkieming van sporen en mycelium groei toegepast op basis van de laatste meetdag (4 oktober 2021). De resultaten zijn weergegeven in Figuur f3.13. De kalkzandsteen constructie bevindt zich op de isolijn, echter zoals eerder waargenomen is er nog bouwvocht in de constructie aanwezig welke langzaam aan het uitdrogen is. Derhalve is naar verwachting het risico op schimmelgroei klein. De overige constructies tonen een laag risico op schimmelgroei. De RV tussen het metselwerk en de Typha Board is relatief hoog, maar de temperatuur is te laag voor schimmelgroei.

f3.13 Lowest Isopleth for Mould (LIM) voor sporen en mycelium in relatie tot de daggemiddelden voor de laatste meetdag



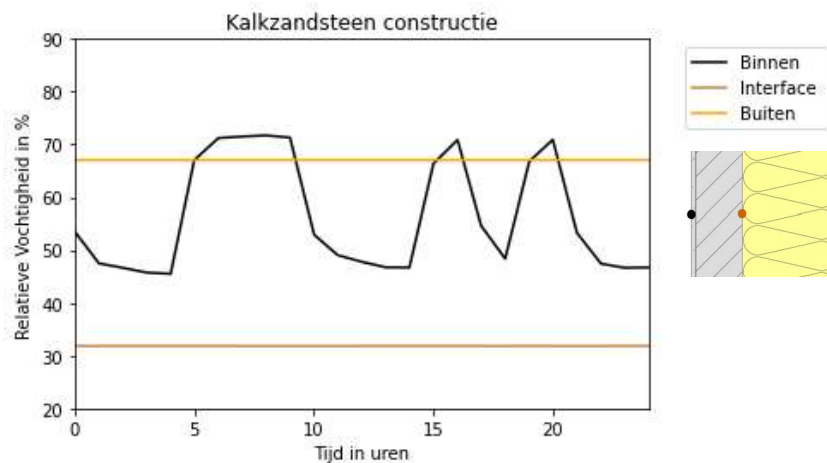
3.3 Numerieke simulaties

In overeenkomst met het klimaatkameronderzoek is het RV profiel uitgezet voor één enkele meetcyclus. In dit geval betreft het de laatste meetcyclus van een simulatie periode van twee jaar. In tegenstelling tot het klimaatkameronderzoek is de RV tussen de kalkzandsteen en Typha Board laag. Opgemerkt wordt dat tijdens de numerieke simulaties twee jaar tijd beschikbaar is geweest om uit te drogen. Tevens is het bouwvocht niet meegenomen in de simulatie. Desalniettemin is ook hier het bufferende karakter van het materiaal zichtbaar, gedurende één meetcyclus wordt geen variatie waargenomen.

Het RV profiel van de overige constructies is weergegeven in de Bijlage. Over het algemeen is de RV op de interface extremer in vergelijking met de metingen in het klimaatkameronderzoek. Dit is als gevolg van de simulatie duur. De metselwerk constructie wordt hierbij het meest vochtig terwijl de dampdichte HSB constructie het meest droog blijft.

De metingen in de referentie constructie noteert de laagste RV doordat deze niet hygroscopisch actief is. Derhalve is het RV profiel op de interface tegen de thermische isolatie zichtbaar, er vind dus zeer beperkt buffering plaats.

f3.14 RV profielen bepaald op basis van de numerieke simulaties



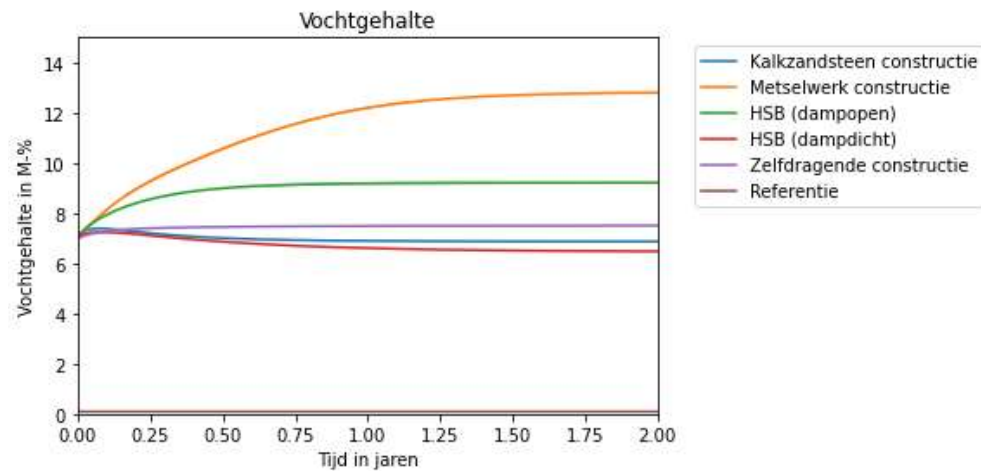
Figuur f3.15 weergeeft het vochtgehalte in het Typha Board gedurende de gehele meetperiode. Opgemerkt wordt dat er een lange periode nodig is om een steady-state situatie te verkrijgen. Dit komt overeen met de bevinding dat tijdens het klimaatkameronderzoek geen steady-state situatie bereikt is, met name voor de metselwerk constructie kan het een jaar duren voor een steady-state situatie bereikt wordt.

Tevens wordt opgemerkt dat de kalkzandsteen en dampdichte HSB constructie na een korte periode van toename voornamelijk een afname van het vochtgehalte weergegeven. Met

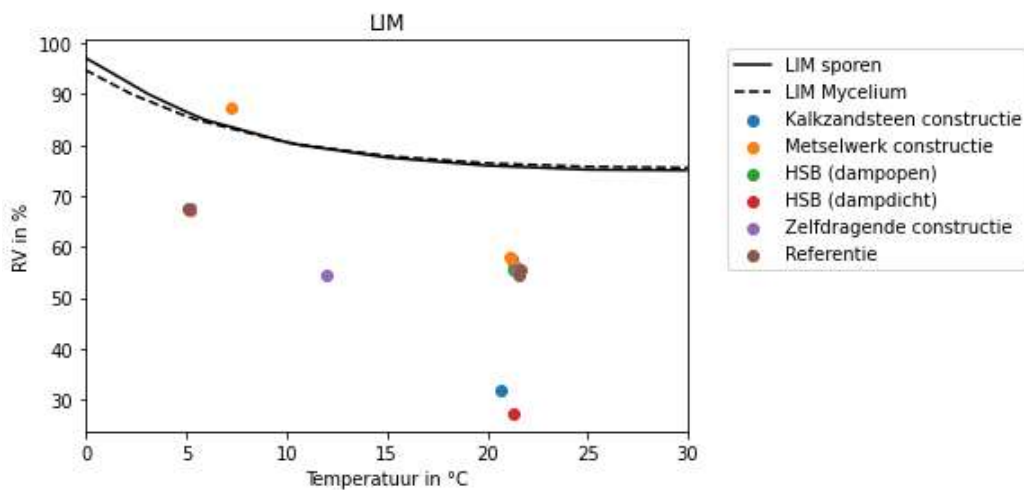
name de constructies welke kunnen drogen naar de buitenzijde met weinig impact van de binnenzijde resulteren in lage vochtgehaltes. Opgemerkt wordt dat in de praktijk de buitenzijde belast wordt met regen en zonnestraling.

In overeenstemming met de metingen op locatie en het klimaatkameronderzoek is het LIM model voor de ontkieming van sporen en mycelium groei toegepast op basis van de laatste simulatie dag. De kalkzandsteenconstructie vertoont een groot verschil met het klimaatkameronderzoek met een zeer beperkt risico op schimmelvorming. Bovendien vertoont de metselwerk constructie een risico op schimmelvorming doordat ook de metselwerkconstructie hygroscopisch actief is. Opgemerkt wordt dat dit voor extreme condities geldt waarin bijvoorbeeld geen droging plaatsvindt ten gevolge van zonnestraling.

f3.15 Gesimuleerd vochtgehalte in de constructie



f3.16 Lowest Isoleph for Mould (LIM) voor sporen en mycelium in relatie tot de daggemiddelden van de verschillende constructies



4 Conclusie

In opdracht van Innovatiecentrum Veenweiden is een bouwfysische monitoring van Typha Board. Typha Board betreft een thermische isolatie en constructieplaat op basis van de lisdodde. Door de teelt van natte gewassen zoals de lisdodde kan de bodemdaling en CO₂-uitstoot van veengebieden beperkt worden. Gebruik van dit natuurlijke materiaal lijkt kansrijk, omdat het een combinatie van isolerende als constructieve eigenschappen heeft terwijl de milieubelasting beperkt is.

Eerder onderzoek ten aanzien van de materiaaleigenschappen en bouwfysische eigenschappen met betrekking tot de Duitse bouwpraktijk van Typha Board is uitgevoerd door het Fraunhofer instituut. De onderhavige rapportage presenteert de bouwfysische prestatie van Typha Board in relatie tot constructies welke toegepast worden in de Nederlands bouwpraktijk.

4.1 Meting op locatie

Een analyse van de bouwfysische prestatie van Typha Board heeft plaatsgevonden op basis van de metingen in het appartementencomplex te Schoonhoven. Op basis van de metingen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De resultaten verkregen op basis van de metingen zijn niet generiek. De metingen vormen een momentopname. Tevens zijn er significante beperkingen t.a.v. de randvoorwaarden.
- Door de beperkingen van de randvoorwaarden kon de warmteweerstand van de constructies niet bepaald worden. Het temperatuurverschil over de constructies was te beperkt waardoor er onvoldoende excitatie plaats heeft gevonden.
- Op basis van de metingen kan geconcludeerd worden dat Typha Board een vocht bufferende werking heeft. Fluctuaties in de relatieve vochtigheid worden gedempt door het materiaal. Het betreft hierbij een relatief traag proces.
- In de context van deze specifieke case study biedt Typha Board voldoende thermische isolatie. De oppervlaktetemperatuur is praktisch gelijk aan die van de omgeving. Tevens is de warmtestroom door de constructie beperkt.
- In de context van deze specifieke case study is het geschatte risico, bepaald aan de hand van het LIM model, op schimmelgroei relatief laag.

4.2 Klimaatkameronderzoek en numerieke simulaties

Een analyse van de bouwfysische prestatie van Typha Board heeft plaatsgevonden op basis van klimaatkameronderzoek. Op basis van de metingen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Op basis van de metingen kan geconcludeerd worden dat Typha Board een vocht bufferende werking heeft. Fluctuaties in de relatieve vochtigheid worden gedempt door

het materiaal. Het betreft hierbij een zeer traag proces. Fluctuaties op dagniveau zijn veelal niet zichtbaar;

- Vocht buffering wordt versterkt door een zeer dampopen afwerking zoals leempleister;
- De inschatting is dat de warmteweerstand ten gevolge van het gecombineerde warmte- en vochttransport enigszins lager is vergeleken met de Typha Board specificaties;
- De inschatting is dat de warmtecapaciteit ie ten gevolge van het gecombineerde warmte- en vochttransport enigszins hoger is vergeleken met de Typha Board specificaties;
- Bouwvocht in de kalkzandsteen constructie is in staat te drogen. Echter dit betreft een zeer traag proces;
- De metselwerk constructie vertoont gedurende de metingen een toename van vocht, in absolute zin is de hoeveelheid vocht relatief laag;
- De zelfdragende constructie afgewerkt met leempleister is in staat, onder de opgelegde condities, vocht te bufferen, relatief snel te reageren en resulteert in een relatieve lage luchtvochtigheid;
- In de context van dit klimaatkameronderzoek is het geschatte risico, bepaald aan de hand van het LIM model, op schimmeligroei relatief laag. Indien het drogen van de kalkzandsteen constructie lang duurt neemt het geschatte risico voor deze constructie enigszins toe.
- De dampdichte variant heeft een laag risico op schimmelvorming, echter gaat dit ten koste van de kwaliteiten van de Typha Board, zowel de bufferende als thermische isolerende werking neemt hierdoor af. Derhalve wordt in deze constructie Typha Board niet geadviseerd.
- Een dampopen variant met een hoge warmtecapaciteit, door de toevoeging van een steenachtig materiaal, is in staat zowel warmte als vocht te bufferen;
- Met betrekking tot de warmteweerstand is er duidelijk onderscheid tussen de constructies met 200 mm en 300 mm Typha Board. De warmteweerstand van de constructies in de praktijk is lager dan verwacht op basis van de warmtegeleidingscoëfficiënt in de specificaties, bepaald door het Fraunhofer instituut. Dit wordt naar verwachting veroorzaakt door de invloed van vocht op de warmtegeleidingscoëfficiënt en warmteweerstand;
- De warmtecapaciteit is naar schatting hoger dan verwacht op basis van de referentie constructie. Indien Typha Board met een steenachtig materiaal toegepast wordt vindt zowel buffering van warmte als bufferen van vocht plaats. Vereiste hiervoor is dat de binnenafwerking damp-open is.

Opgemerkt wordt dat de bevindingen uitsluitend geldig zijn voor de condities ten tijde van het klimaatkameronderzoek.

4.3 Hygrothermische prestatie en toepassingsgebied

Op basis van de resultaten van de metingen op locatie, metingen in de klimaatkamer, en de resultaten van de numerieke simulaties concluderen wij dat de warmte- en vochtbufferende eigenschappen van de Typha Board thermische isolatie met name tot zijn recht komen in een damp-open constructie. Gedacht kan hierbij worden aan het toepassen van het materiaal in een damp-open houtskeletbouw wand zonder dampremmende folie danwel in een renovatie-toepassing waarbij het materiaal aan de binnenzijde van een metselwerk gevel wordt geplaatst. De onderzoeksresultaten tonen aan dat bij een dampdichte/dampremmende toepassing, waarbij aan de binnenzijde van de constructie een dampremmende folie wordt geplaatst, de vochtbufferende eigenschappen van het materiaal minder tot zijn recht komen. In dit laatste geval heeft het toepassen van traditionelere isolatiematerialen, bijvoorbeeld minerale wol, de voorkeur.

De onderzoeksresultaten tonen eveneens aan dat de warmteweerstand van Typha Board in de praktijk afhankelijk is van het vochtgehalte van het materiaal. In het geval het materiaal onderhevig is aan hogere relatieve vochtigheden daalt de effectieve warmteweerstand van het materiaal. Typha Board is derhalve minder geschikt voor toepassing onder extreem vochtige omstandigheden, gedacht kan hierbij worden aan badkamers, zwembaden, etc. In drogere omstandigheden, zoals woningen, kantoren, etc. is Typha Board beter toepasbaar.

Dit rapport bevat 36 pagina's en 4 bijlagen

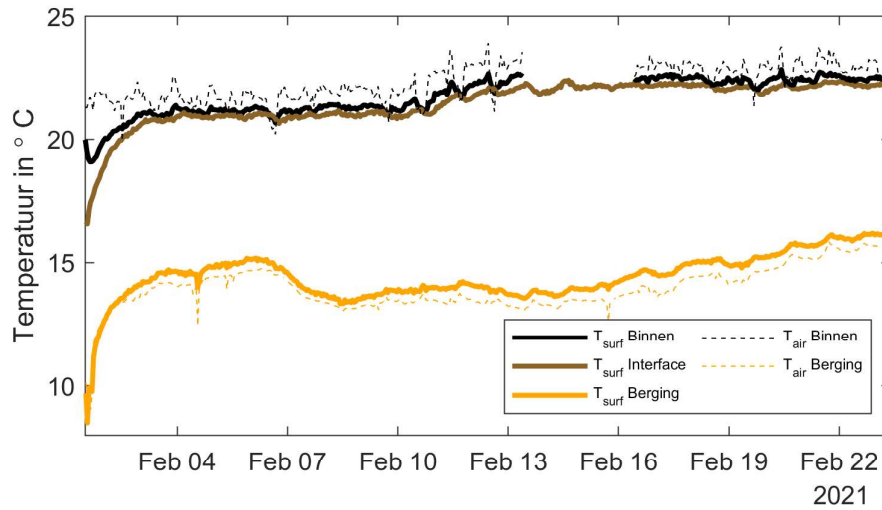
Mook,



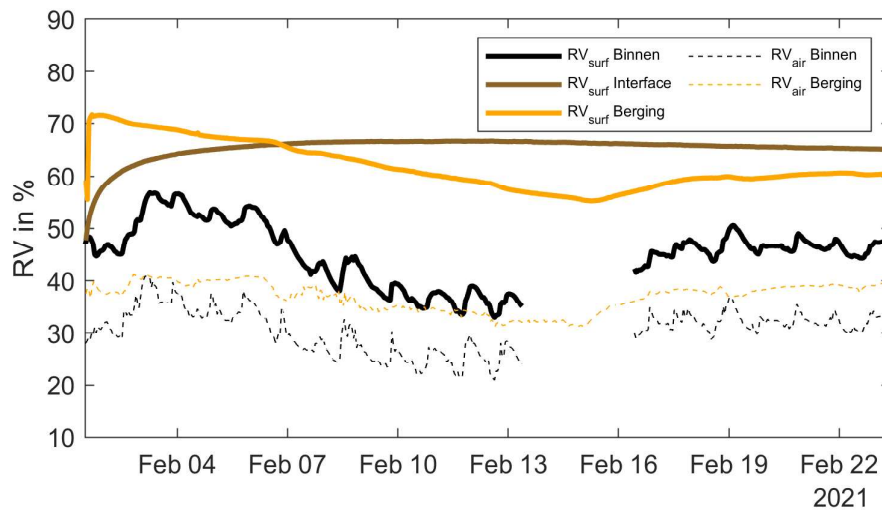
Bijlage 1

Meetresultaten Typha Board Isolerend+

f4.1 Temperatuurprofiel van constructie met Typha Board Isolerend+

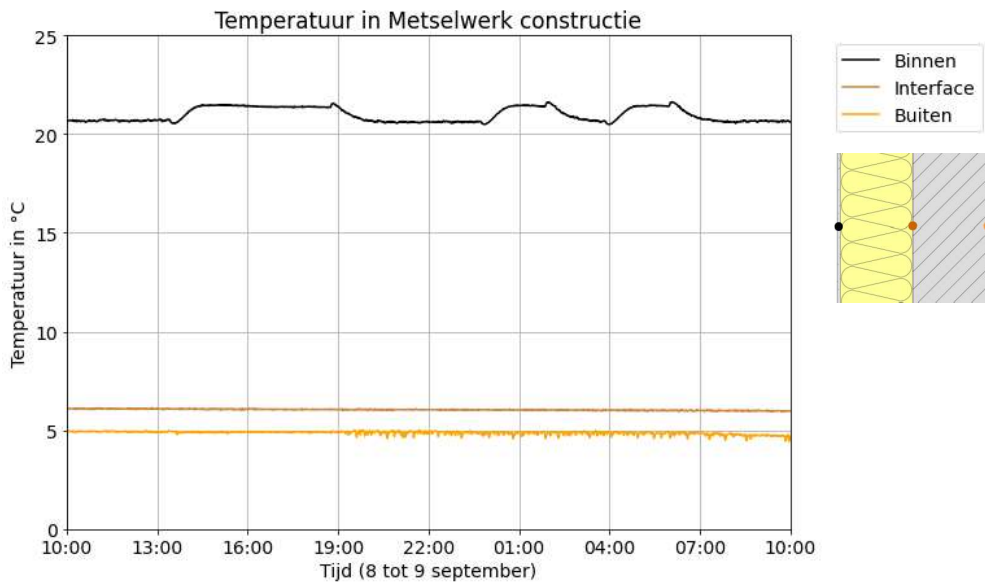
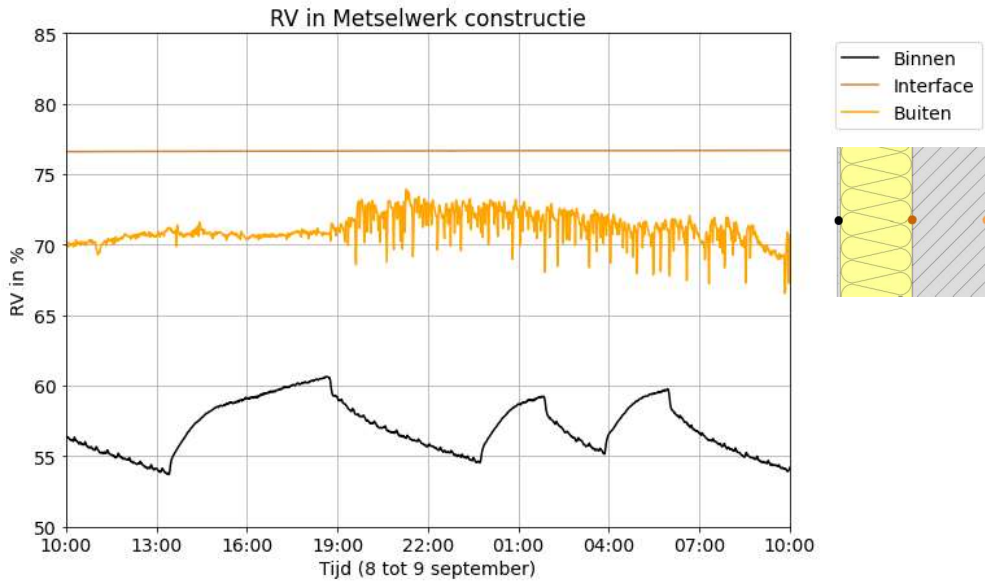


f4.2 RV profiel van de constructie met Typha Board Isolerend+



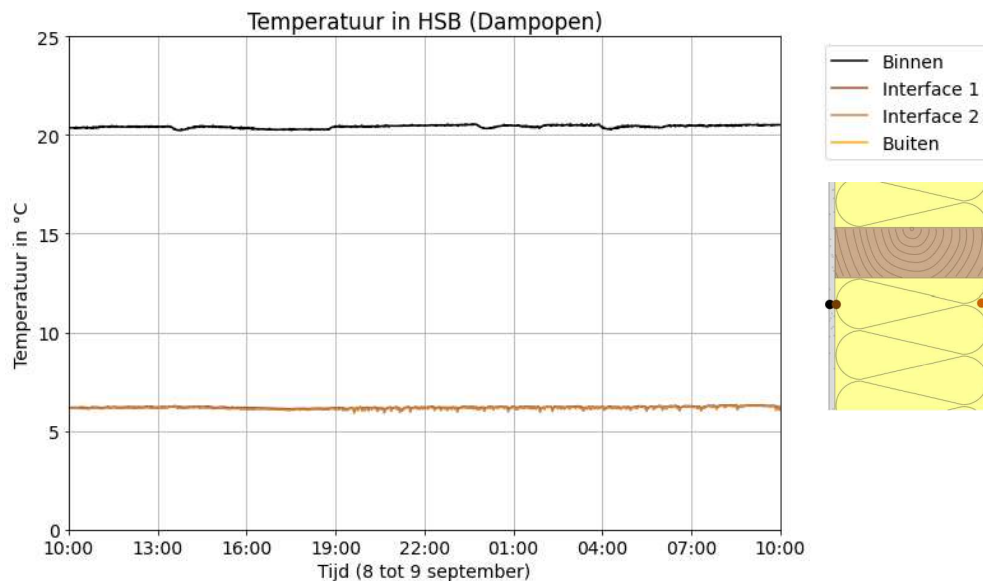
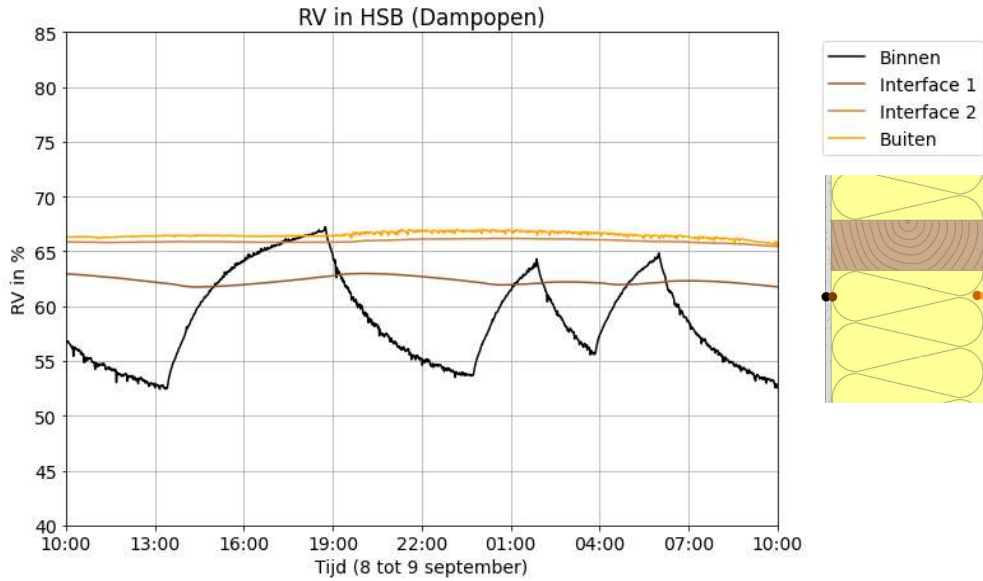
Bijlage 2

Klimaatkameronderzoek



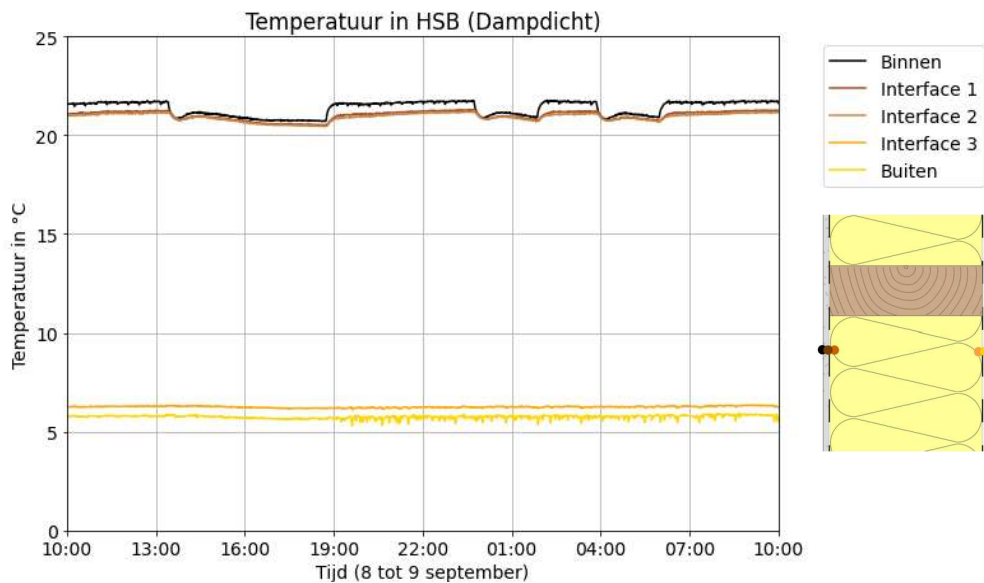
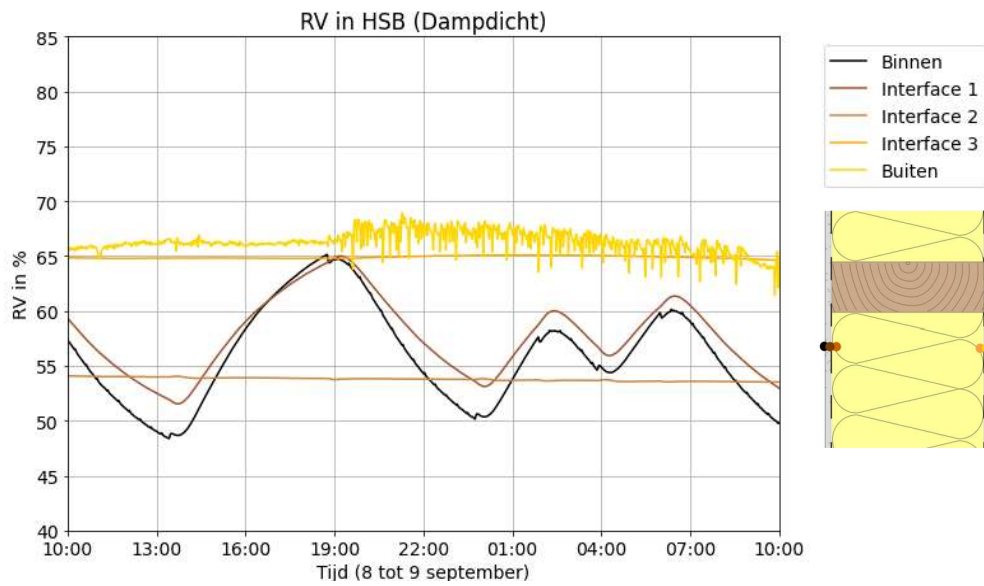
Bijlage 2

Klimaatkameronderzoek



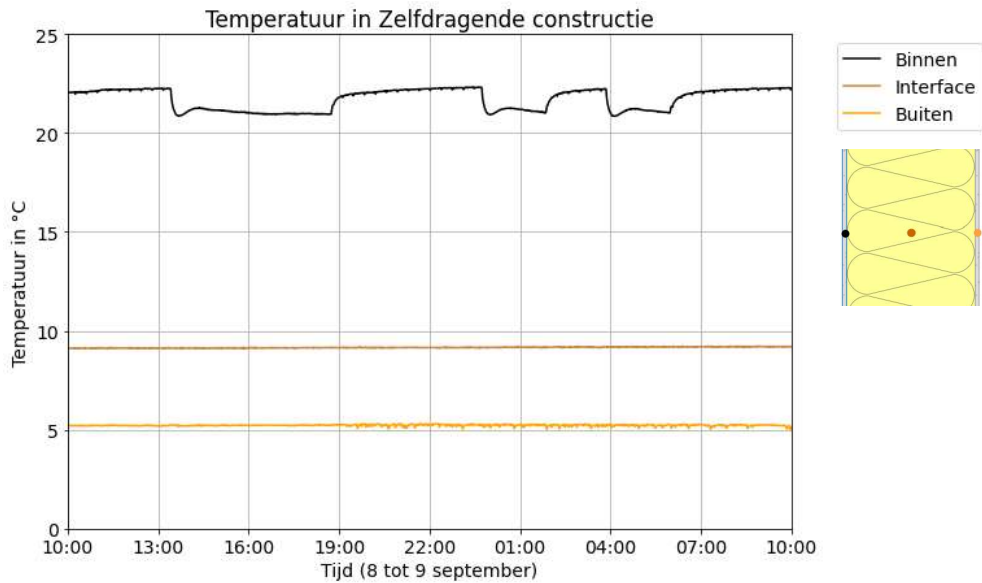
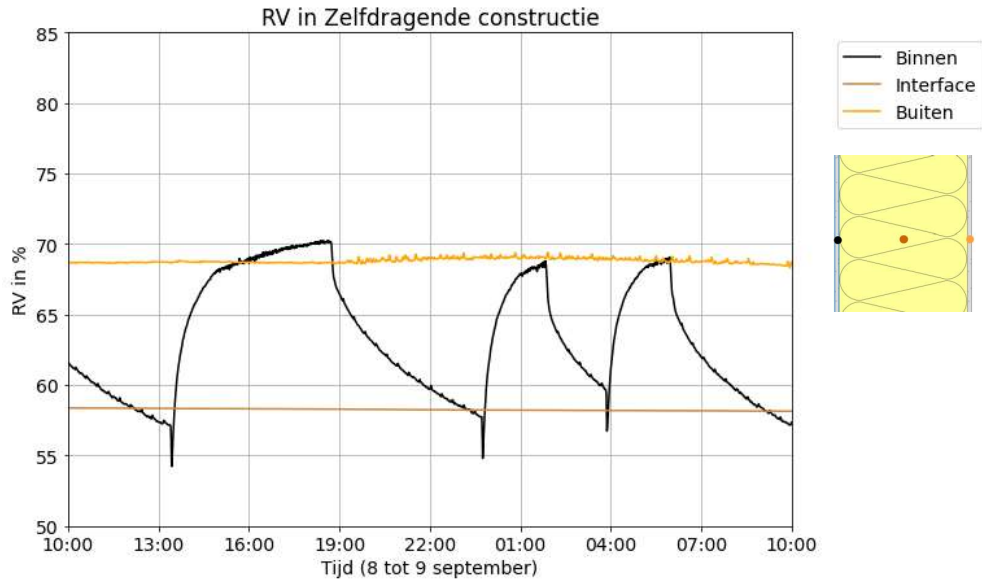
Bijlage 2

Klimaatkameronderzoek



Bijlage 2

Klimaatkameronderzoek

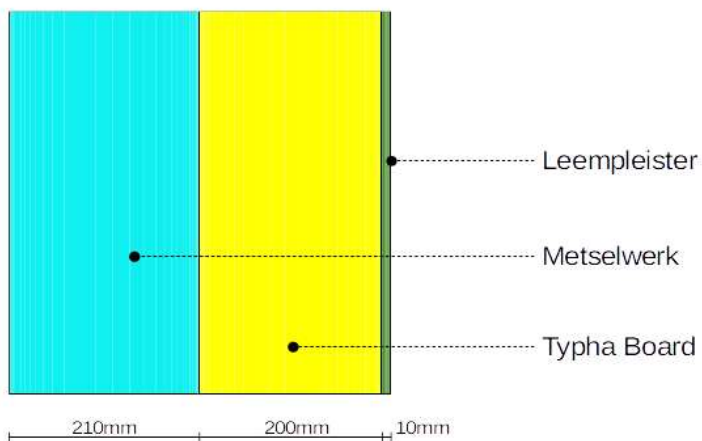


Bijlage 3 simulaties

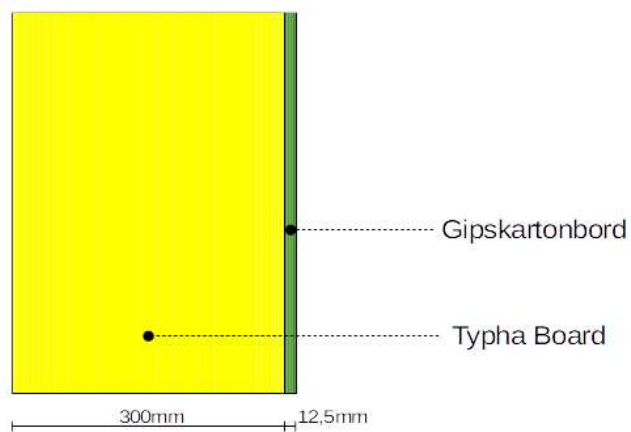
Numerieke



Geometrie van de metselwerk constructie



Geometrie van de HSB constructie (Dampopen)

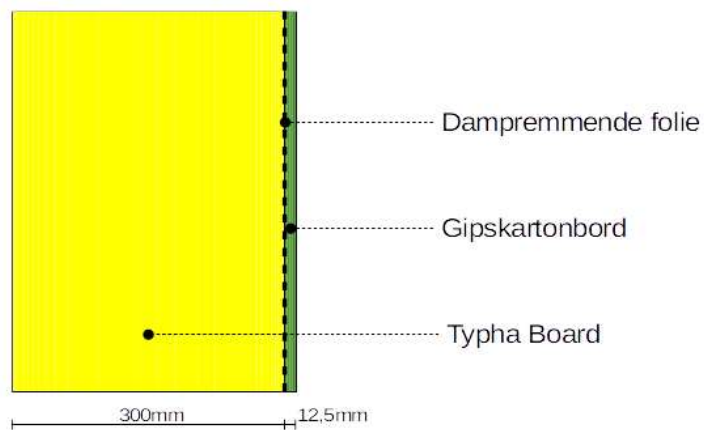


Bijlage 3 simulaties

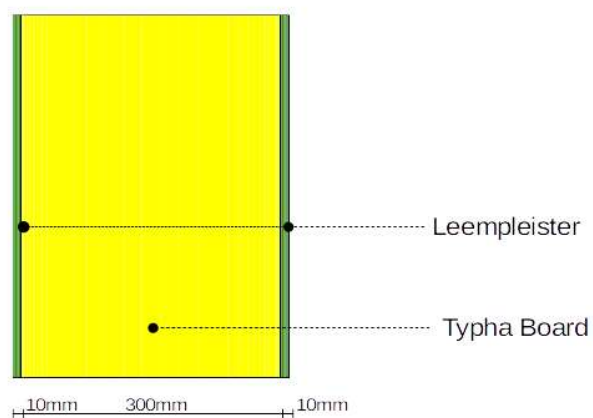
Numerieke



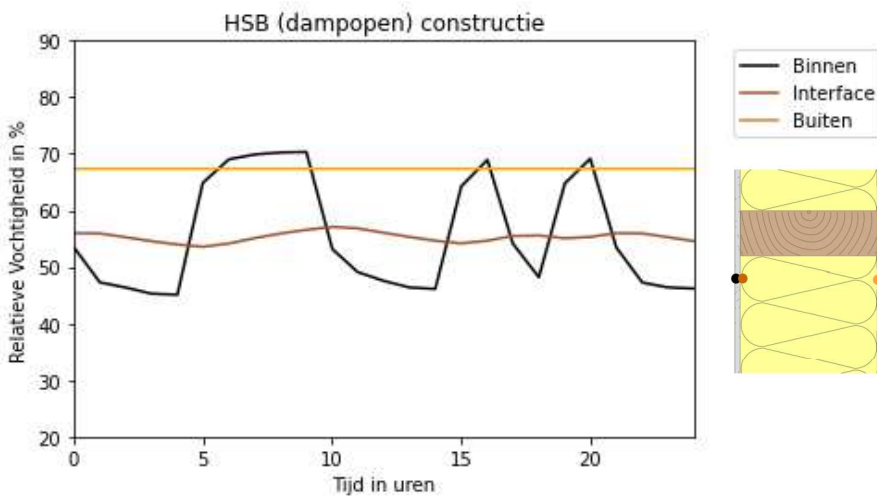
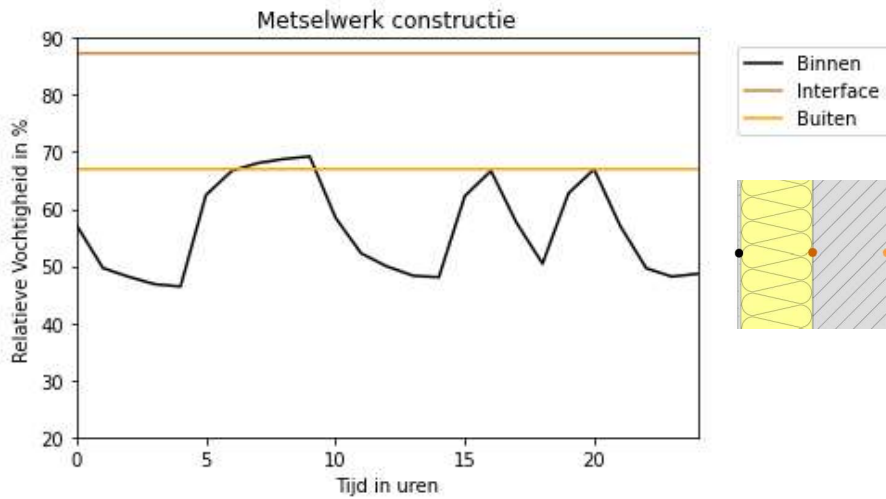
Geometrie van de HSB constructie (Dampdicht)



Geometrie van de zelfdragende constructie

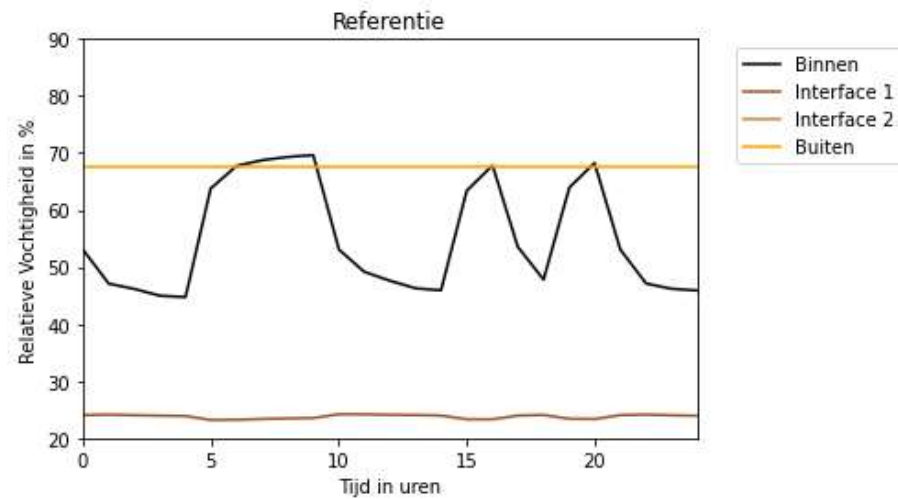
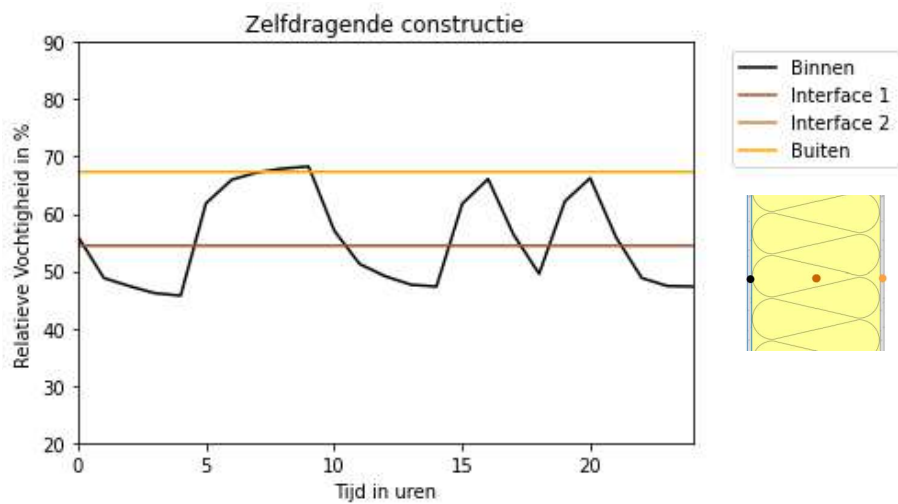
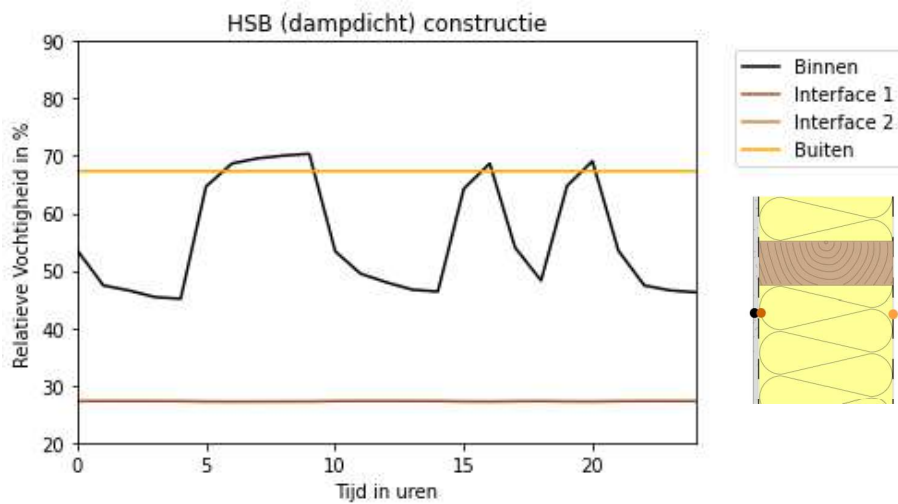


Bijlage 3 Numerieke simulaties



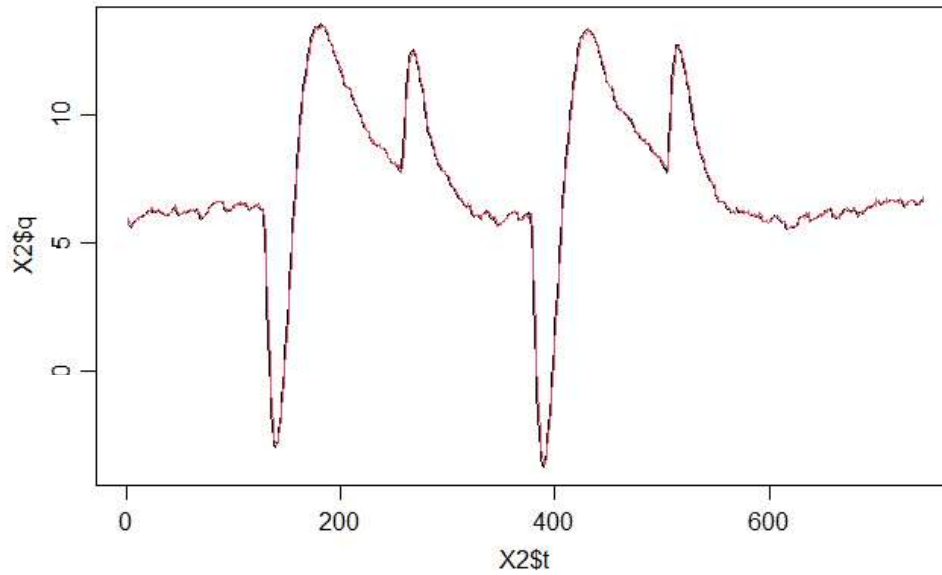
Bijlage 3 simulaties

Numerieke

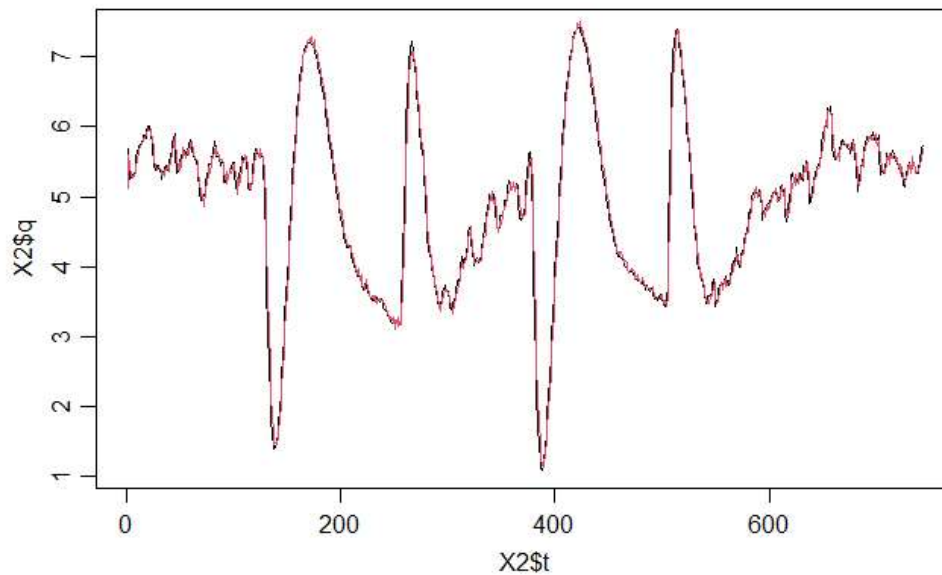


Bijlage 4 Validatie stochastisch model

Validatie van de kalkzandsteen constructie. Zwart weergeeft de gemeten warmtestroom afhankelijk van de tijd, rood weergeeft de geschatte warmtestroom op basis van het model

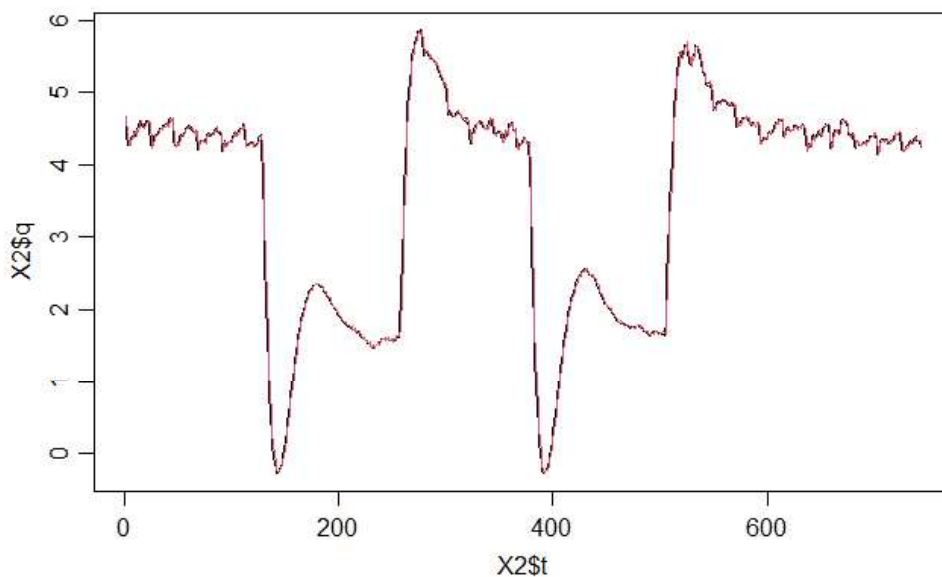


Validatie van de metselwerk constructie. Zwart weergeeft de gemeten warmtestroom afhankelijk van de tijd, rood weergeeft de geschatte warmtestroom op basis van het model

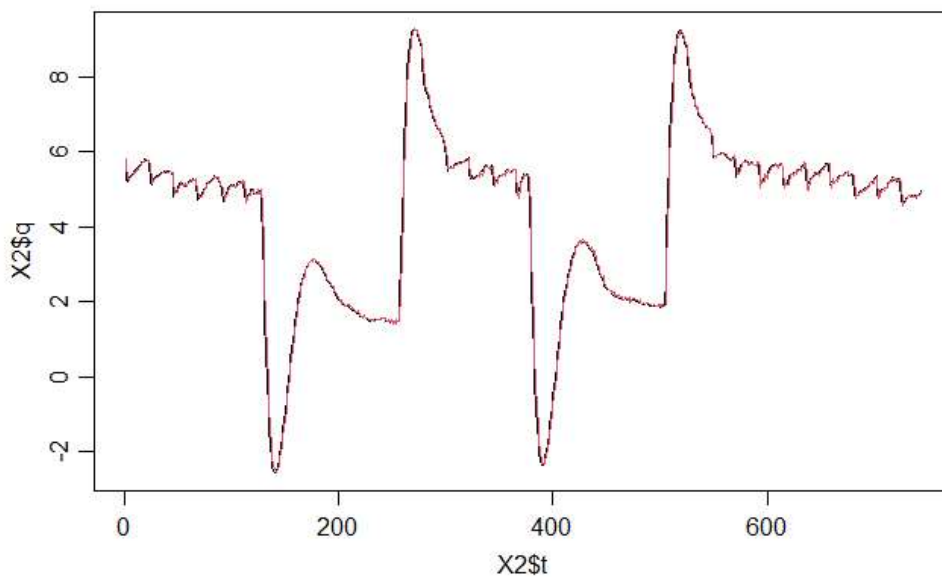


Bijlage 4 Validatie stochastisch model

Validatie van de dampopen HSB constructie. Zwart weergeeft de gemeten warmtestroom afhankelijk van de tijd, rood weergeeft de geschatte warmtestroom op basis van het model



Validatie van de dampdichte HSB constructie. Zwart weergeeft de gemeten warmtestroom afhankelijk van de tijd, rood weergeeft de geschatte warmtestroom op basis van het model



Bijlage 4 Validatie stochastisch model

Validatie van de zelfdragende constructie. Zwart weergeeft de gemeten warmtestroom afhankelijk van de tijd, rood weergeeft de geschatte warmtestroom op basis van het model

