

# **HYGROTHERMISCHE EVALUATIE**

## **RISICO'S BIJ PLAATSING PREFAB ELEMENT VOOR BESTAANDE WAND**

PRO<sup>3</sup>- IWT-TETRA 150144, Werkpakket 2  
September 2017

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur  
Vakgroep Architectuur & Stedenbouw  
Onderzoeksgroep Bouwfysica

E [marijke.steeman@ugent.be](mailto:marijke.steeman@ugent.be)  
T +3292643719

Campus Boekentoren, Technicum – Blok 4  
Sint-Pietersnieuwstraat 41 B4, B-9000 Gent

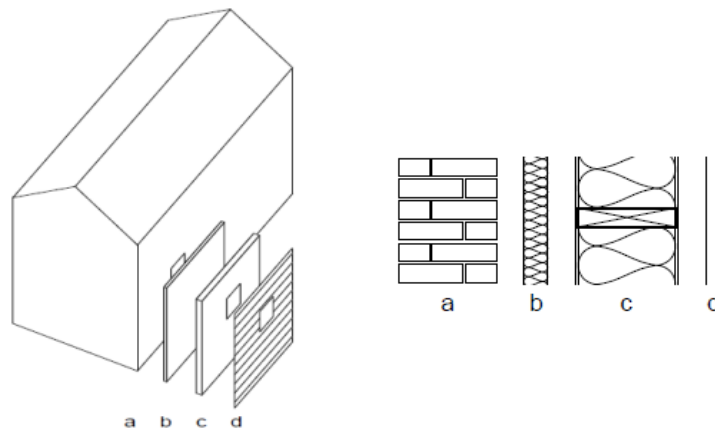
[www.ugent.be](http://www.ugent.be)

# INHOUDSOPGAVE

<b>Inhoudsopgave</b>	<b>2</b>
<b>1</b> <b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2</b> <b>Initieel vochtgehalte</b>	<b>4</b>
<b>3</b> <b>Hygrothermische evaluatie</b>	<b>7</b>
3.1      Houtskeletelementen	7
3.2      Module met geïntegreerde VIP's	18
<b>4</b> <b>Aanbevelingen</b>	<b>24</b>
<b>Referenties</b>	<b>25</b>

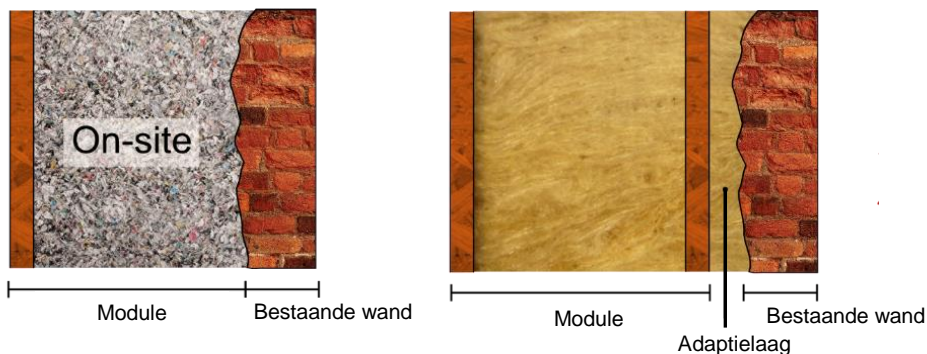
# 1 INLEIDING

Renovatie van bestaande gebouwen speelt een belangrijke rol in het terugdringen van het globale energieverbruik van het gehele gebouwenpark. Het gebruik van geprefabriceerde gevelelementen heeft hierbij vaak vele voordelen. In verschillende Europese onderzoeksprojecten werd het gebruik van geprefabriceerde gevelelementen dan ook reeds onderzocht. Onder meer TES Energy Façade onderzocht reeds prefab gevelelementen en focuste daarbij op houtskeletelementen. De TES gevelmodule is opgebouwd uit een gevelbekledingslaag, de TES module en een adaptielaag die de ruimte tussen de bestaande wand en het nieuwe element vult. De module kan open of gesloten zijn [1].



Figuur 1: De TES basismodule met a: bestaande wand, b: adaptielaag, c: TES element en d: gevelbekledingslaag [1].

De open module heeft geen beplating aan de achterzijde van de module, die tegen de bestaande muur wordt geplaatst. De module wordt meestal zonder isolatie aan de bestaande constructie vast gemaakt en daarna opgevuld met isolatievlokken via injectiegaten die vooraf off-site geboord werden. De gesloten module is langs beide zijden gesloten en bevat meestal al isolatie voor ze geplaatst wordt. Bij plaatsing voor de bestaande structuur wordt gewoonlijk een adaptielaag aangebracht die de oneffenheden van de bestaande structuur uitvlakt, bijvoorbeeld uit minerale wol of cellulosevlokken. De opbouw van dergelijke modules wordt verder behandeld in sectie 3.1 *Houtskeletelementen*.



Figuur 2: Een open en gesloten gevelmodule.

De hygrothermische prestaties van deze geprefabriceerde elementen komen in dergelijke onderzoeksprojecten echter slechts beperkt aan bod. Daarom wordt in dit onderzoek het hygrothermisch gedrag van geprefabriceerde gevelelementen onderzocht aan de hand van hygrothermische simulaties. Via deze simulaties wordt het vochtgedrag van een gevelmodule geplaatst voor een initieel vochtige constructie onderzocht. Hierbij wordt specifiek gefocust op de uitdroogcapaciteit en het degradatierisico van de nieuwe module. Deze simulaties worden uitgevoerd

in het simulatieprogramma WUFI. WUFI is een heat, air and moisture (HAM) model dat toelaat om gecombineerde dynamische warmte- en vochttransportsimulaties uit te voeren. Uit eerder onderzoek door Capener en Burke [2] is reeds gebleken dat WUFI een goede tool is om het vochtgedrag van de TES Energy Façade te gaan bepalen. Capener en Burke onderzochten houtskeletmodules geplaatst voor twee Europese residentiële gebouwen aan de hand van WUFI 2D. Voor het gebouw in München werden open modules geplaatst en in Finland werden gesloten modules voorzien. In hun onderzoek vergeleken ze in-situ metingen met de resultaten van de WUFI-simulaties. Meestal werd een goede overeenstemming vastgesteld tussen de metingen en de simulatieresultaten. Het risico op schimmel bleek laag te zijn in beide gevallen, voor het gemeten klimaat. Daarnaast bleek initieel vocht in de bestaande wand een risico te kunnen vormen voor aantasting van de houten structuur van de nieuwe gevelmodule.

Ander hygrothermisch onderzoek op houtskeletelementen focuste op de uitdroogcapaciteit van bestaande initieel vochtige betonnen panelen waar een nieuwe houtskeletmodule voor werd geplaatst, en op de impact van een dampscherm op de prestatie van de gehele schil [3]. De onderzochte open houtskeletmodule bleek het snelst uit te drogen wanneer een intelligent dampscherm werd geïntegreerd tussen de nieuwe gevelmodule en de adaptielaag.

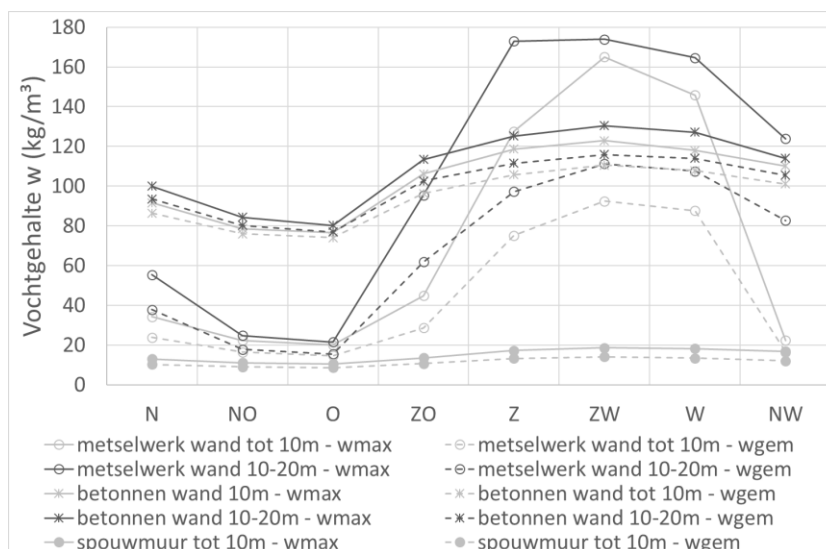
Dit hygrothermisch onderzoek focust op twee types geprefabriceerde gevelelementen. Eerst en vooral worden houtskeletmodules onderzocht. Het gebruik van prefab houtskeletelementen bij renovatie van gebouwen biedt vele voordelen: de module is licht, de isolatie bevindt zich tussen de houten structuur waardoor de dikte van de module beperkt blijft, HVAC kan geïntegreerd worden en het is gemakkelijk te plaatsen. Zowel het vochtgedrag van een open als van een gesloten houtskeletmodule wordt geëvalueerd na plaatsing voor een bestaande wand via 1D-simulaties in WUFI. De impact van verschillende ontwerpkeuzes wordt onderzocht zoals het al dan niet afschermen van de bestaande wand voor renovatie, het gebruik van cellulose-isolatie of minerale wol, de dikte van de isolatielaag, de integratie van een dampscherm, de invloed van oriëntatie ... De hygrothermische prestatie van de modules wordt hierbij onderzocht en de module met het laagste risico op degradatie wordt vervolgens gecontroleerd aan de hand van 2D-simulaties.

Daarnaast wordt ook de integratie van vacuüm isolatie panelen (VIP's) in een geprefabriceerd gevelelement onderzocht. De integratie van VIP-panelen heeft als voornaamste voordeel dat de warmteweerstand zeer hoog is bij een beperkte dikte van het gevelelement. De hygrothermische prestatie van een initieel ontwerp van een module met geïntegreerde VIP's, wordt geëvalueerd en waar nodig verder geoptimaliseerd. Door de hoge dampdiffusieweerstand van de VIP-panelen ten gevolge van de dampremmende folie wordt de droging van het bestaande binnenspouwblad namelijk verhinderd. Dit kan mogelijks tot interstitiële condensatie leiden en moet dus door het aanpassen van het ontwerp voorkomen worden.

## **2 INITIEEL VOCHTGEHALTE**

Om het initiële vochtgehalte van de bestaande structuur na te gaan, wordt het maximale en gemiddelde vochtgehalte bepaald na 15 jaar blootstelling aan het buitenklimaat. De hygrothermische simulaties worden uitgevoerd met het HAM-simulatieprogramma WUFI. Weerdata voor Brussel worden toegepast en het binnenklimaat wordt bepaald volgens EN 13788 (binnenklimaatklasse 3). De simulaties starten op 1 oktober en een tijdstap van 1 uur wordt toegepast.

Verschillende wandtypes worden onderzocht. Zo wordt het initieel vochtgehalte van een massieve metselwerkmuur, een betonnen muur en een spouwmuur bepaald. Daarnaast wordt ook de invloed van de hoogte en oriëntatie van de gevel onderzocht. Zo zal de gevel van hoger gelegen verdiepingen meer blootgesteld zijn aan slagregen dan de gevel van een lager gelegen verdieping. Daarnaast zijn zuidwest georiënteerde gevels het meest aan slagregen blootgesteld, noord georiënteerde gevels drogen dan weer het traagst uit door het ontbreken van zonnestraling.



Figuur 3: Initieel vochtgehalte na 15 jaar blootstelling (wmax: maximaal vochtgehalte, wgem: gemiddeld vochtgehalte).

Zoals verwacht tonen de resultaten aan dat het vochtgehalte het hoogst is voor zuidwest georiënteerde gevels. Ook hoger gelegen geveldelen leiden tot hogere initiële vochtgehalten. Massieve metselwerkmuren blijken het meest vochtig te zijn. Het vochtgehalte van de spouwmuur is veel lager dan dat van de andere muren. In realiteit zal het buitenspouwblad echter typisch afgebroken worden voor de plaatsing van de nieuwe gevelelementen. Het binnenspouwblad wordt hierbij vaak niet afgeschermd van de regen. Indien het binnenspouwblad wel afgeschermd wordt, gebeurt dit vaak door een regenwerende folie te voorzien of door de modules onmiddellijk te plaatsen na afbraak van het buitenspouwblad. Een andere mogelijke methode om het binnenspouwblad af te schermen is door er een dampopen regendichte coating op aan te brengen.

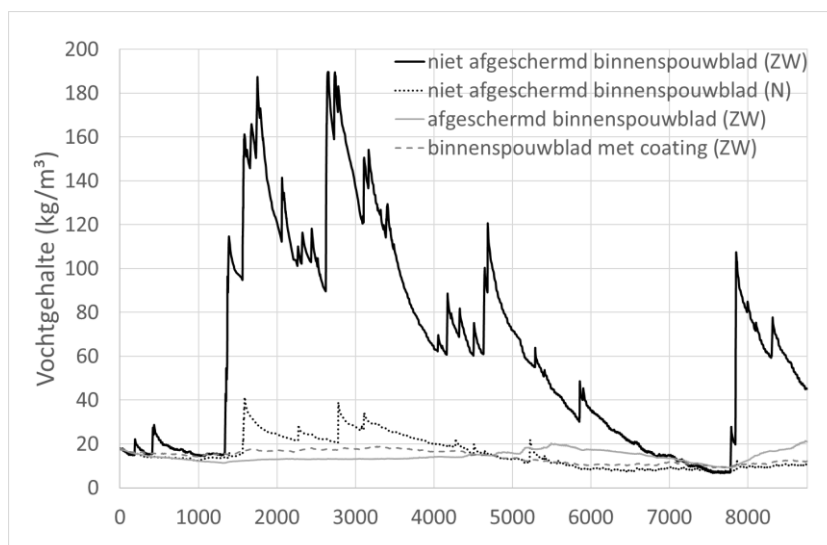
Tabel 1: Maximale vochtgehalten in kg/m³ voor de verschillende wanden.

	Massief metselwerk		Beton		Spouwmuur	Niet-afgeschermd spouwblad	Afgeschermd spouwblad	Spouwblad met coating
	<10m	10-20m	<10m	10-20m	<10m	<10m	<10m	<10m
N	34,3	55,4	91,6	100,0	13,0	41,4	11,2	18,6
NO	22,3	24,8	78,6	84,4	11,1	20,4	10,1	18,3
O	20,0	21,5	76,6	80,3	10,6	18	10,0	18,0
ZO	44,8	95,4	106,2	113,4	13,5	60,7	13,5	17,9
Z	127,5	173,0	118,6	125,3	17,3	188,6	20,0	18,2
ZW	165,0	173,9	122,9	130,4	18,6	189,7	21,4	18,9
W	145,8	164,6	118,0	127,1	18,2	189,4	20,0	19,4
NW	22,3	123,8	110,2	114,0	16,8	123,2	18,0	19,2

Tabel 2: Gemiddelde vochtgehaltenes in  $\text{kg/m}^3$  voor de verschillende wanden.

	Massief metselwerk		Beton		Spouwmuur	Niet-afgeschermd spouwblad	Afgeschermd spouwblad	Spouwblad met coating
	<10m	10-20m	<10m	10-20m	<10m	<10m	<10m	<10m
N	23,8	37,9	86,4	93,6	10,3	15,74	9,6	13,9
NO	16,5	17,8	76,0	80,2	9,0	11,5	8,4	13,8
O	14,6	15,5	74,0	77,0	8,6	10,9	8,2	13,6
ZO	28,6	61,9	96,3	102,6	10,7	21,6	10,5	13,4
Z	75,1	97,2	105,7	111,5	13,3	48,5	12,8	13,9
ZW	92,4	111,3	110,5	115,9	14,1	64,0	14,3	14,2
W	87,6	701,6	107,8	114,0	13,4	60,6	14,0	14,4
NW	16,4	82,7	101,1	105,5	12,1	40,7	12,8	14,3

Om het initiële vochtgehalte te bepalen indien het buitenspouwblad afgebroken werd, worden bijkomende simulaties uitgevoerd van een afgeschermd (zuidwest- en noord oriëntatie) en niet-afgeschermd binnenspouwblad (zuidwest oriëntatie) met een dikte van 14cm. Het initieel vochtgehalte van een standaard afgeschermd binnenspouwblad wordt bepaald aan de hand van een simulatie van de bestaande spouwmuur waarbij het buitenspouwblad het binnenspouwblad afschermt. Ook het initieel vochtgehalte van een binnenspouwblad waarop een dampopen ( $S_d=0,1\text{m}$ ) regendichte coating is op aangebracht, wordt nagegaan (Figuur 4). Het maximaal initiële vochtgehalte van een zuidwest georiënteerd niet-afgeschermd, een noord georiënteerd niet-afgeschermd, een zuidwest georiënteerd standaard afgeschermd binnenspouwblad en een zuidwest georiënteerd binnenspouwblad met dampopen regendichte coating bedraagt respectievelijk  $189,7 \text{ kg/m}^3$ ,  $41,4 \text{ kg/m}^3$ ,  $21,4 \text{ kg/m}^3$  en  $18,9 \text{ kg/m}^3$ . Deze vochtgehaltenes worden gebruikt in de hierna volgende simulaties als inschatting van het initiële vochtgehalte van de bestaande wand. Aangezien het maximaal vochtgehalte van een standaard afgeschermd binnenspouwblad en het maximaal vochtgehalte van een binnenspouwblad waarop een coating is op aangebracht niet veel van elkaar verschillen worden enkel simulaties uitgevoerd met een standaard afgeschermd buitenspouwblad. Daarnaast dient er opgemerkt te worden dat het gebruik van het maximale vochtgehalte eerder conservatief is. In realiteit zal het initiële vochtgehalte waarschijnlijk niet maximaal zijn.

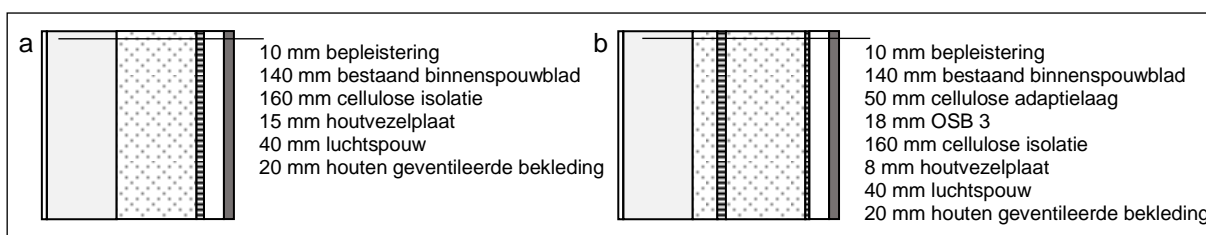


Figuur 4: Totale vochtgehalte van een metselwerk binnenspouwblad gedurende 1 jaar.

## 3 HYGROTHERMISCHE EVALUATIE

### 3.1 Houtskelelementen

Twee types houtskelelementen worden onderzocht: een open en een gesloten gevelement. Figuur 5 toont hoe deze modules typisch zijn opgebouwd. Er wordt verondersteld dat de module geplaatst wordt voor het bestaand binnenspouwblad van een spouwmuur, waarvan het buitenspouwblad werd afgebroken. De weergegeven modules zijn het startpunt van dit onderzoek en worden de basismodules genoemd. De basismodules zijn zuidwest georiënteerd en het binnenspouwblad wordt bij deze modules verondersteld niet afgeschermd geweest te zijn na afbraak van het buitenspouwblad (initieel vochtgehalte  $189,7 \text{ kg/m}^3$ , Figuur 4).



Figuur 5: (a) Open en (b) gesloten basismodule (gebaseerd op TES Energy Façade) [1].

Volgens TES is de adaptielaag typisch een 3 tot 5 cm dikke laag cellulose of minerale wol [1]. De dikte van de isolatielaag in de module is bepaald aan de hand van de Vlaamse EPBD regelgeving ( $U_{\max, \text{wand}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Alle simulaties worden uitgevoerd in WUFI PRO 5.3 en WUFI 2D - 3.4 met een ventilatievoud van 10 ACH in de luchtspouw. Het inschatten van het ventilatievoud in een geventileerde spouwmuur is echter niet eenvoudig [4]. In literatuur variëren de gerapporteerde ventilatievouden van 1 tot 1000 ACH. Voorafgaande simulaties toonden aan dat de resultaten met een ventilatievoud van 10 ACH en 100 ACH hier zeer weinig van elkaar verschilden. Daarom werd ervoor geopteerd om een ventilatievoud van 10 ACH toe te passen.

De materiaaleigenschappen van de materialen die gebruikt worden in de simulaties worden weergegeven in Tabel 3. Voor de cellulose-isolatie, de minerale wol, de OSB-plaat en het metselwerk wordt een constant dampdiffusieweerstandsgetal toegepast.

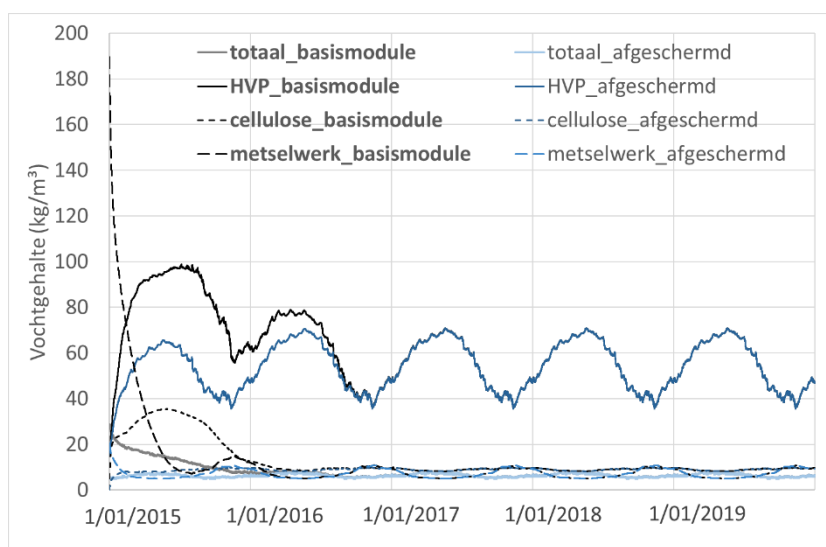
Tabel 3: Materiaaleigenschappen (gebaseerd op materiaaldatabase WUFI).

Materiaal	d (mm)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kgK)	$\lambda_{\text{dry}}$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	$\mu$ (-)	$S_d$ (m)
Houtvezelplaat	8 - 15	300	1500	0,05	0.16 - 0.3	12,5	0.1 - 0.19
Cellulose isolatie	160	70	2500	0,04	4	1,5	0.24
OSB	18	595	1700	0,11	0.16	165	2.97
Cellulose adaptielaag	50	70	2500	0.04	1.25	1.5	0.08
Metselwerk	140	1900	2500	0,6	0.23	10	1.40
Minerale wol	160	60	850	0,04	4	1,3	0.21
Houten stijl	160x45	455	1500	0,09	-	130	-
Cementgebonden spaanplaat	18	1250	1500	0,35	0.05	50	0.90
Gipsplaat	15	1008	850	0,25	0.06	10	0.15

#### 3.1.1 Open gevelmodule

Het verloop van het vochtgehalte in de open basismodule wordt weergegeven in Figuur 6. Zoals te zien is op de figuur, droogt het initieel zeer vochtige binnenspouwblad uit in de eerste twee jaar. Door deze dampstroom stijgt het vochtgehalte van de houtvezelplaat ("HVP") gedurende het eerste jaar.

Is het binnenspouwblad initieel niet vochtig, doordat het na afbraak van het buitenspouwblad afgeschermd werd van regen ("afgeschermd"), dan stijgt het vochtgehalte van de houtvezelplaat niet.



Figuur 6: Vochtgehalte in  $\text{kg/m}^3$  in een open module gedurende 5 jaar.

Omdat hoge vochtgehaltenes in houten materialen tot schimmelmoei en houtrot kunnen leiden is het van belang om het risico op degradatie van de houten materialen na te gaan. Verschillende evaluatiecriteria worden hiervoor toegepast.

### **EVALUATIECRITERIA**

In een eerste stap wordt het risico op degradatie geëvalueerd op basis van de TOW (= 'Time of Wetness') criteria van Viitanen [5]:

- TOW 20/5: Maximum 720 uren per jaar (1 maand per jaar) mag het vochtgehalte hoger zijn dan 20% en de temperatuur hoger dan  $5^\circ\text{C}$  om schimmelmoei te vermijden.
- TOW 25/10: Maximum 168 uren per jaar (1 week per jaar) mag het vochtgehalte hoger zijn dan 25% en de temperatuur hoger dan  $10^\circ\text{C}$  om houtrot te vermijden.

Het risico op schimmelmoei wordt verder beoordeeld via het VTT schimmelmoei model van Hukka en Viitanen. In dit voorspellingsmodel voor schimmel wordt de groei-ontwikkeling uitgedrukt door de schimmelindex M. Deze schimmelindex geeft een indicatie voor het risico op schimmelmoei. Het oorspronkelijke model is ontwikkeld op basis van metingen op monsters dennen- en sparrenhout. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de aangepaste versie van het model, die ook voor andere materialen dan hout kan gebruikt worden. Hiervoor werden metingen op samples van 9 verschillende materialen uitgevoerd. Aangezien onderzoek op alle bouwmaterialen niet mogelijk is werden 4 schimmelgevoeligheidsklassen opgesteld. Massief hout behoort tot de klasse 'zeer gevoelig', houten plaatmaterialen tot de klasse 'gevoelig'. Er werd echter slechts één houtgebaseerd materiaal tijdens de metingen onderzocht [6]. Meer specifieke prestatiecriteria voor het beoordelen van de degradatie van de verschillende houtgebaseerde en bio-gebaseerde materialen ontbreken dus nog. Bij gebrek aan dergelijke specifieke criteria wordt van dit aangepaste schimmelmoei model gebruik gemaakt.

Een mogelijke afname van de schimmelindex tijdens ongunstige condities wordt in dit onderzoek niet in rekening gebracht aangezien dit effect niet altijd betrouwbaar is [6]. In Tabel 3 worden de verschillende schimmelindexklassen weergegeven die in het model gebruikt worden.

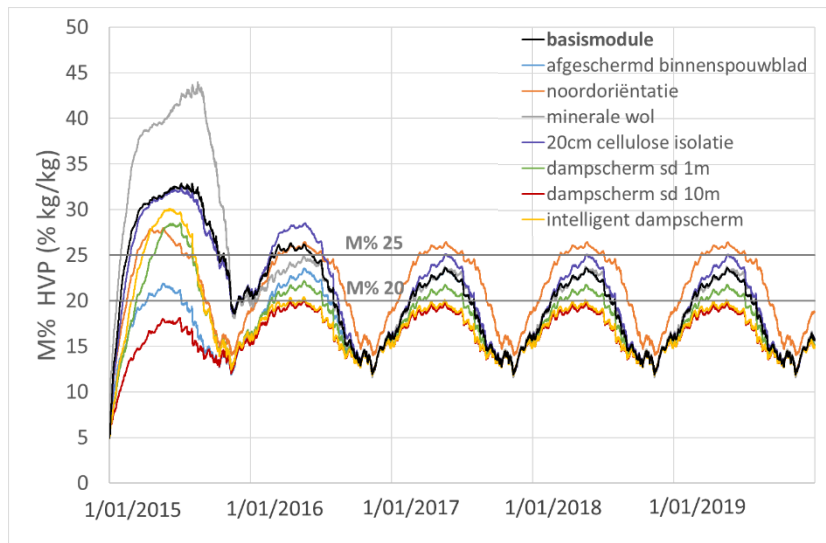


Tabel 3: Schimmelindexklassen in het VTT schimmelmodel [5].

Index	Groeitempo	Beschrijving
0	Geen schimmelgroei	Sporen zijn niet geactiveerd
1	Kleine hoeveelheden schimmel op het oppervlak	Initiële fase van schimmelgroei
2	<10% van het oppervlak is met schimmel bedekt	
3	10-30% van het oppervlak is met schimmel bedekt	Nieuwe sporen worden gevormd
4	30-70% van het oppervlak is met schimmel bedekt	Gematigde groei
5	>70% van het oppervlak is met schimmel bedekt	Sterke groei
6	Dense schimmel bedekt bijna 100% van oppervlak	Bedekking rond de 100%

Om het risico op schimmelgroei op het wandoppervlak aan de binnenzijde van het binnenspouwblad te evalueren wordt het isopleetenmodel van Sedlbauer dat geïmplementeerd is in WUFI toegepast. Dit model is gebaseerd op isopleetcurves die gunstige condities voor schimmelgroei scheiden van ongunstige condities (meer bepaald temperatuur- en relatieve vochtigheidscondities). Deze curves worden ook wel laagste isopleeten voor schimmelgroei (LIM) genoemd. De belangrijkste isopleetcurves zijn opgesteld voor twee types substraat: LIM 1 geldt voor muurbekledingen, gipsplaten en bouwmaterialen gemaakt uit biologisch afbreekbare materialen en LIM 2 geldt voor substraten met een poreuze structuur zoals bepleisteringen, minerale bouwmaterialen e.a. [6].

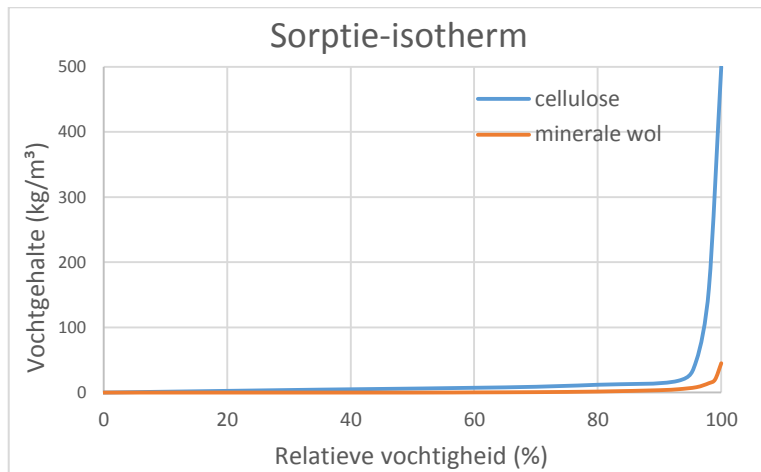
Figuur 6 geeft dus al aan dat afscherming van het buitenspouwblad een goede maatregel lijkt te zijn om het risico op degradatie terug te dringen aangezien dit het vochtgehalte in de houtvezelplaat doet afnemen. Daarnaast wordt ook het effect van oriëntatie, de toepassing van een dikkere celluloselaag, de toepassing van minerale wol als isolatiemateriaal en de integratie van een dampscherm onderzocht.



Figuur 7: Vochtgehalte in % kg/kg in de houtvezelplaat gedurende 5 jaar.

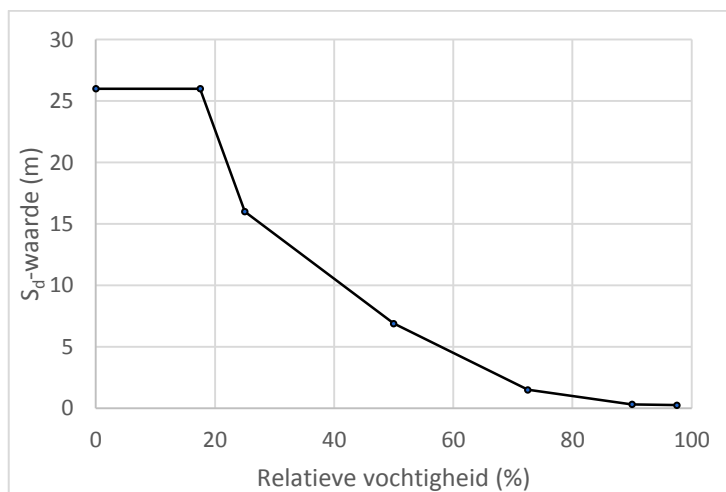
Figuur 7 geeft het verloop van het vochtgehalte van de houtvezelplaat (HVP) weer gedurende een periode van 5 jaar. In de basismodule wordt cellulose-isolatie toegepast. Voor deze module overschrijdt het vochtgehalte van de houtvezelplaat vaak 20% kg/kg, hetgeen een risico op schimmelgroei impliceert volgens het TOW 20/5-criterium van Viitanen. Zelfs wanneer het binnenspouwblad afgeschermd werd na afbraak van het buitenspouwblad, is het vochtgehalte van de houtvezelplaat op sommige momenten nog steeds hoger dan 20% kg/kg. Als de gevel noordelijk georiënteerd is (“noordoriëntatie”) dan kan vastgesteld worden dat het risico op degradatie iets kleiner is, vooral gedurende het eerste jaar na uitdroging. Dit kan verklaard worden door het lagere initiële

vochtgehalte in vergelijking met de zuidwest georiënteerde gevel. Het voorzien van een cellulose isolatielaag van 20cm in plaats van 16cm blijkt een zeer beperkte invloed te hebben op het vochtgehalte van de houtvezelplaat, vooral in het eerste jaar. Wanneer minerale wol toegepast wordt in plaats van cellulose-isolatie (“minerale wol”) stijgt het vochtgehalte van de houtvezelplaat tot ongeveer 44% kg/kg in het eerste jaar. De oorzaak hiervan is het zeer beperkte vermogen van minerale wol om vocht te bufferen in vergelijking met cellulose (Figuur 8).



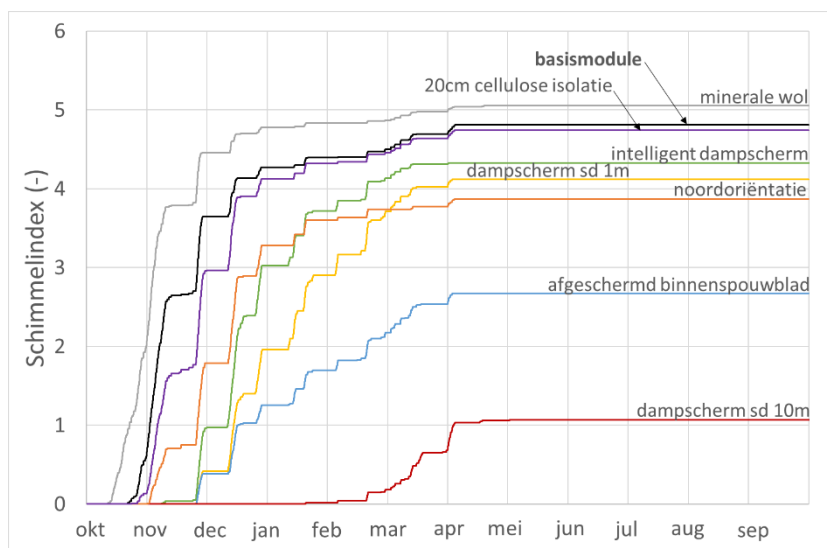
Figuur 8: Sorptie-isotherm van cellulose en minerale wol in WUFI database.

De integratie van een dampscherm tussen het bestaande binnenspouwblad en de nieuwe module lijkt een positieve invloed te hebben op het vochtgehalte van de houtvezelplaat. De integratie van twee soorten dampschermen wordt geanalyseerd: een dampscherm met een  $S_d$ -waarde van 1m en met een  $S_d$ -waarde van 10m. De beste resultaten worden bekomen wanneer een dampscherm met een  $S_d$ -waarde van 10m aangewend wordt (“dampscherm sd 10m”). Dit dampscherm heeft dan ook de hoogste equivalente luchtlaagdikte en zal de dampstroom dus het meest tegenhouden. Toepassing van een intelligent dampscherm met variërende equivalente luchtlaagdikte volgens de grafiek in Figuur 9 (“intelligent dampscherm”) wijst niet op een verbetering. Integendeel, Figuur 7 toont dat het risico in het eerste jaar hoger is in vergelijking met de andere dampschermen omdat de relatieve vochtigheid ter hoogte van het dampscherm aanvankelijk tot  $S_d$ -waardes leidt die lager zijn dan 1m. Deze lagere  $S_d$ -waarde laat wel een snellere droging van de bestaande structuur toe. Maar aangezien deze versnelde uitdroging tot een verhoogd risico op degradatie in de houtvezelplaat leidt, is het voor deze module prioritair om dit te voorkomen. Het risico op degradatie bij toepassing van een intelligent dampscherm is evenwel minder groot dan voor de basismodule.



Figuur 9:  $S_d$ -waarde van het intelligent dampscherm in functie van de relatieve vochtigheid volgens WUFI.

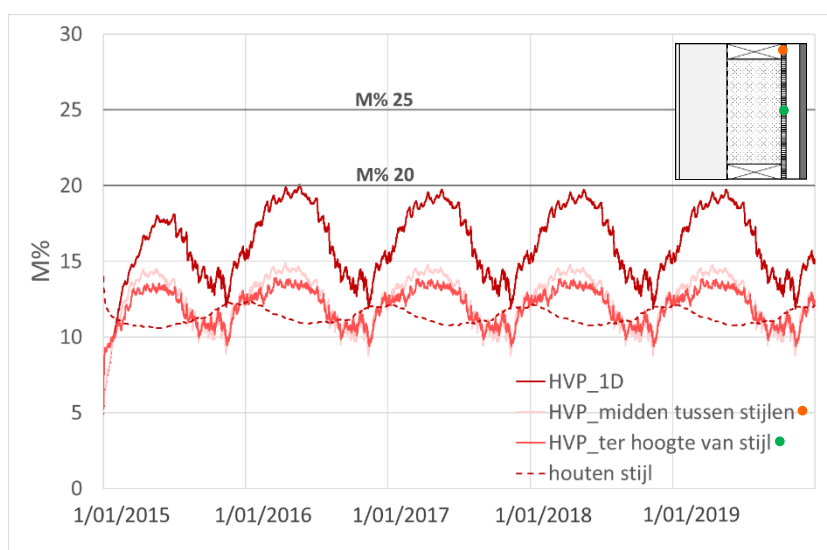
Het risico op degradatie op basis van de TOW-criteria van Viitanen wordt bevestigd door de schimmelgroeiontwikkeling van de houtvezelplaat volgens het VTT schimmelmodel gedurende het eerste jaar. De integratie van een damp scherm met een  $S_d$ -waarde van 10m reduceert de schimmelindex sterk van een schimmelindex van bijna 5 voor de basismodule tot iets meer dan 1.



Figuur 10: Evolutie van de schimmelindex gebaseerd op het VTT model gedurende het 1<sup>ste</sup> jaar.

De voorgaande resultaten zijn bepaald op basis van 1D-simulaties waarbij de constructie vereenvoudigd is tot een ééndimensionale constructie zonder houten stijlen. Deze vereenvoudiging is verdedigbaar aangezien de houten stijlen enigszins kunnen bijdragen tot de buffering van damp en het tegenhouden van de uitgaande dampstroom, met lagere vochtgehalten in de houtvezelplaat tot gevolg. Dat deze redenering correct is wordt ook bewezen in Figuur 11. In deze 1D-simulaties wordt met andere woorden uitgegaan van de meest negatieve situatie voor de houtvezelplaat.

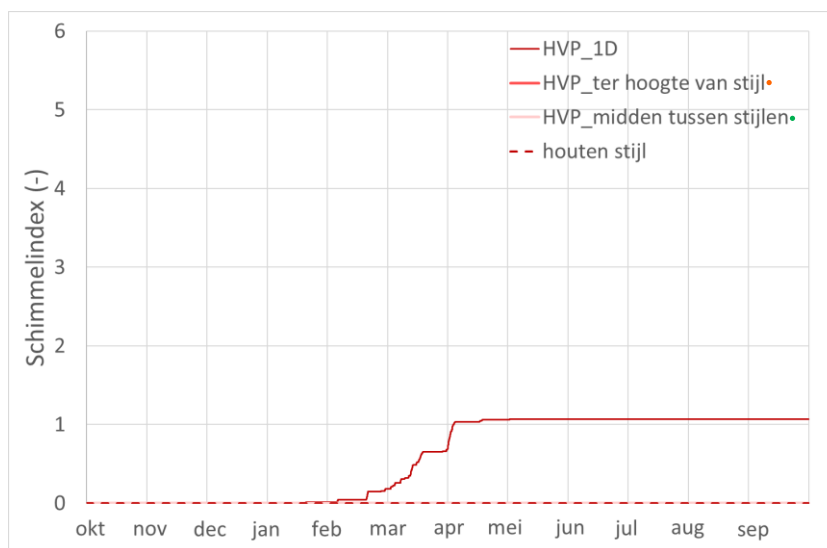
Om te controleren of de toepassing van een damp scherm met een  $S_d$ -waarde van 10m ook niet tot degradatie van de houtvezelplaat leidt als rekening gehouden wordt met vochttransport in de houten stijlen, wordt een 2D-simulatie uitgevoerd met een hart-op-hart-afstand van 400mm tussen de stijlen.



Figuur 11: Vochtgehalte in % kg/kg voor de module met een damp scherm met  $S_d=10m$  o.b.v. 2D-simulatie.

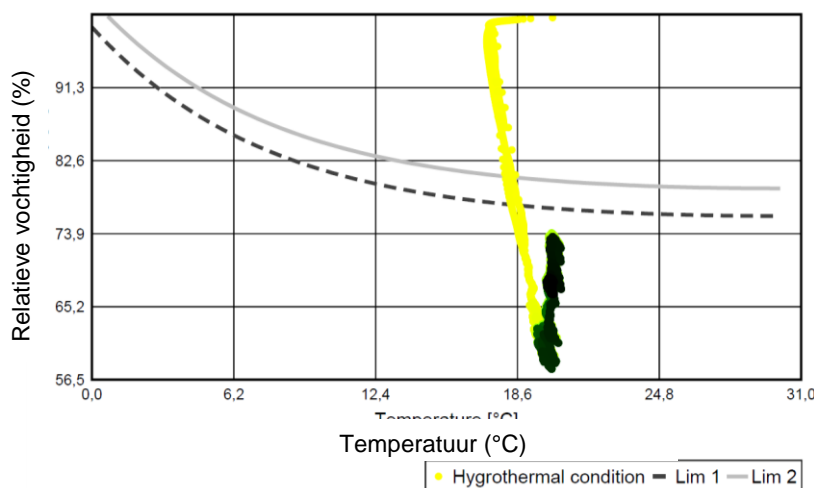
Ten eerste valt op dat in de 2D simulaties, waarbij de houten stijlen meegenomen worden in de simulaties, het vochtgehalte van de houtvezelplaat lager is dan in de 1D-simulatie. Dit bevestigt dat de 1D-simulatie het vochtgehalte lichtjes overschat, en dus zorgt voor een veilige benadering.

De 2D simulatie toont dat het vochtgehalte van de houtvezelplaat in het midden tussen twee stijlen tot ongeveer 1% hoger is dan naast de stijl. Dit is te wijten aan de hogere dampdiffusieweerstand van de stijl in vergelijking met de cellulose-isolatie (Tabel 2). De houten stijl lijkt het vochtgehalte van de houtvezelplaat ook in het midden tussen twee stijlen nog te beïnvloeden: ook daar is het vochtgehalte lager dan bij de 1D-simulatie. De 2D-simulatie leidt in dit geval dan ook tot betere resultaten (minder risico op degradatie) dan de 1D-simulatie. De schimmelindex volgens het VTT-schimmelmodel is 0 voor de gehele houtvezelplaat. Voor de houten stijl zelf bedraagt de schimmelindex, bepaald aan de hand van gemiddelde waarden over de ganse stijl, ook 0.



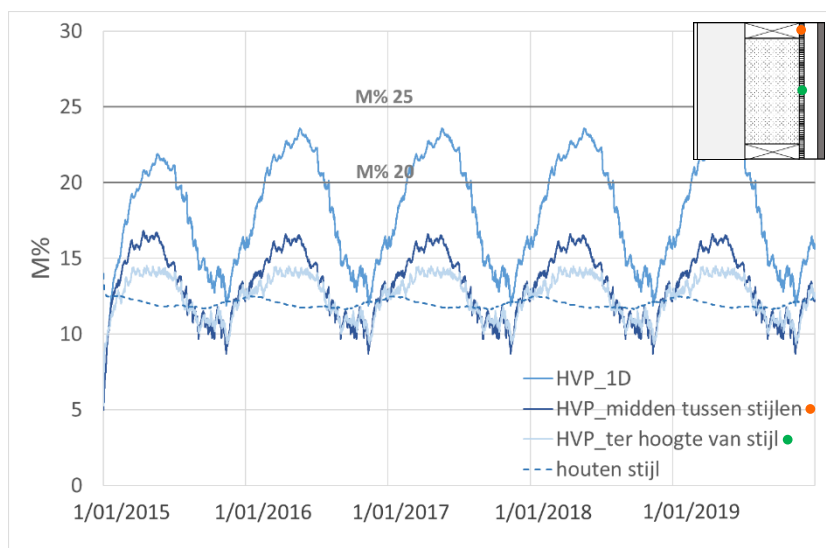
Figuur 12: Verloop schimmelindex gedurende 1<sup>ste</sup> jaar voor module met dampscherm met  $S_d=10m$  o.b.v. 2D-simulatie.

Aangezien er zich een dampscherm bevindt tussen de bestaande structuur en de nieuwe module zal een deel van de damp die initieel aanwezig is in het binnenspouwblad, uitdrogen naar binnen toe. Dit kan mogelijks schimmelgroei op het binnenoppervlak veroorzaken. Daarom wordt via het isopletenmodel van Sedlbauer het risico op schimmelgroei nagegaan. Figuur 13 toont dat de laagste isopleet voor schimmelgroei (LIM 1) slechts overschreden wordt in de beginperiode waarin het bestaande binnenspouwblad uitdroogt (weergegeven in geel). Het risico op schimmelgroei op het binnenoppervlak wordt dan ook verondersteld beperkt te zijn.

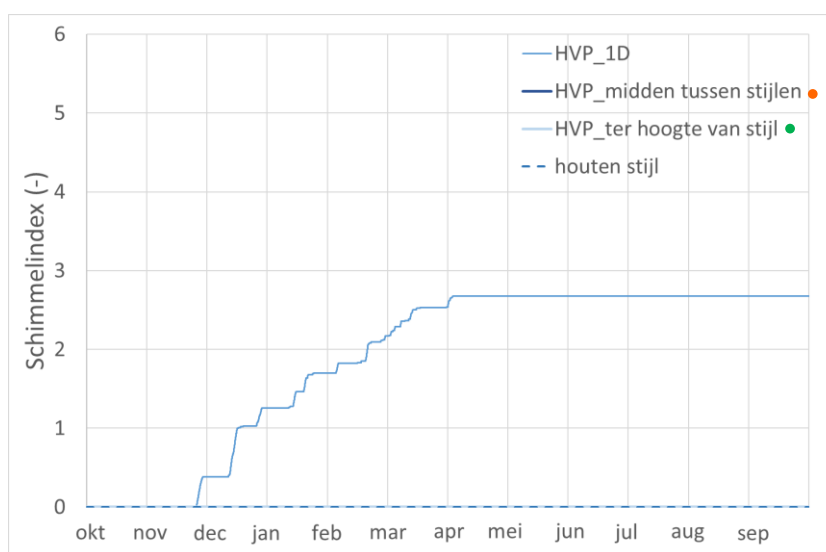


Figuur 13: Isopleten op het binnenoppervlak voor de module met een dampscherm met  $S_d=10m$ .

Aangezien de 2D-simulatie hier tot betere resultaten leidt dan de 1D-simulatie, is het mogelijk dat ook de module in combinatie met een afgeschermd binnenspouwblad in 2D niet tot een risico op degradatie leidt. Figuur 14 en Figuur 15 bevestigen dit. Volgens de TOW-criteria is er niet langer een risico op degradatie voor de module in combinatie met een afgeschermd binnenspouwblad en ook volgens het VTT-model doet zich geen risico op schimmelgroei voor.



Figuur 14: Vochtgehalte in % kg/kg voor module in combinatie met afgeschermd binnenspouwblad o.b.v. 2D-simulaties.



Figuur 15: Verloop van de schimmelindex gedurende het 1<sup>ste</sup> jaar voor de module in combinatie met een afgeschermd binnenspouwblad o.b.v. 2D-simulaties.

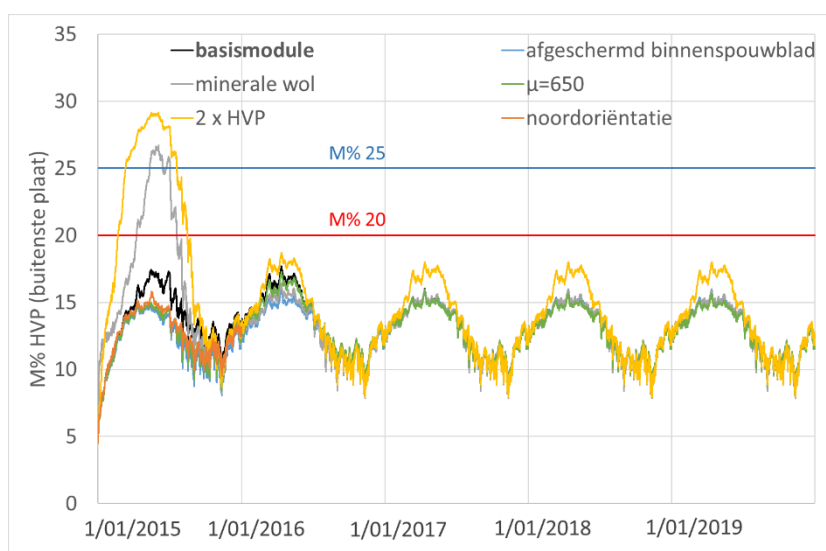
Naast schimmelgroei en houtrot bij de houtvezelplaat, kan ook de cellulose-isolatie onder invloed van vocht gaan degraderen. Door de binding van vochtige cellulosevlokken kan er zich een verandering in textuur voordoen. Dit fenomeen wordt ook wel caking genoemd [7]. Specifieke criteria om dit risico te gaan evalueren ontbreken echter nog steeds. In onderzoek door Langmans [8] werden wel experimenten uitgevoerd op cellulose-isolatie waarbij vochtgehalten gemeten werden tot 35% kg/kg zonder visuele vervormingen of caking. Het maximale vochtgehalte van de cellulose-isolatie in de basismodule bedraagt 35,54 kg/m<sup>3</sup> (Figuur 6) of 51% kg/kg. Aangezien dit 35% kg/kg overschrijdt, kan potentiële caking niet uitgesloten worden. Voor de andere modules varieert het maximale vochtgehalte van de cellulose-isolatie van 14% kg/kg voor de module in combinatie met een afgeschermd binnenspouwblad tot 17% kg/kg voor de module met een intelligent dampscherm.

Aangezien het vochtgehalte van de cellulose-isolatie in alle andere gevallen significant lager is dan 35% kg/kg, wordt verondersteld dat er zich geen caking zal voordoen.

Om een beter zicht te krijgen op het fenomeen caking en de vochtcondities waarbij dit ontstaat, dient verder onderzoek te gebeuren. Dit valt niet binnen de scope van dit project.

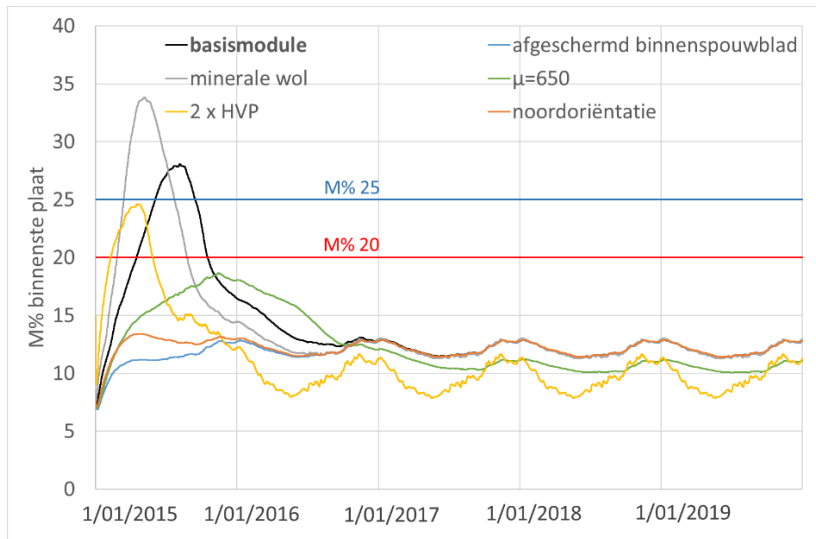
### 3.1.2 Gesloten gevelmodule

De gesloten gevelmodule bevat twee houten materialen die gevoelig zijn voor degradatie. In tegenstelling tot de open basismodule leidt de gesloten basismodule niet tot een risico op degradatie van de houtvezelplaat (buitenste plaat) volgens TOW 20/5. De OSB-plaat (binnenste plaat) echter vertoont een significant risico op degradatie. Net zoals bij de open module stijgt het risico wanneer minerale wol wordt toegepast in plaats van cellulose en daalt het risico wanneer de wand noord georiënteerd is (lager initieel vochtgehalte) en wanneer het bestaande binnenspouwblad afgeschermd wordt. Wanneer de OSB-plaat vervangen wordt door een 4 keer dampdichtere OSB-plaat ( $\mu=650$  i.p.v. 165: " $\mu=650$ ") doet dit het vochtgehalte in de OSB-plaat zodanig verlagen dat er niet langer een risico op degradatie van zowel de houtvezelplaat als de OSB-plaat is volgens de TOW-criteria. Indien de OSB-plaat vervangen wordt door een houtvezelplaat met  $\mu=12,5$  ("2 x HVP"), dan is de dampstroom van het binnenspouwblad naar de prefabmodule hoger. Het maximale vochtgehalte is dan hoger voor de buitenste plaat en iets lager voor de binnenste plaat.

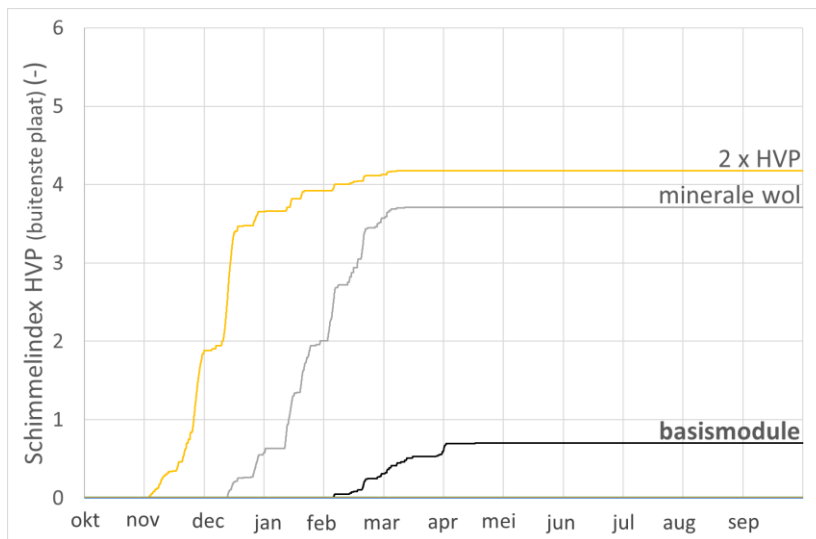


Figuur 16: Vochtgehalte in % kg/kg van de buitenste plaat (HVP) gedurende een periode van 5 jaar.

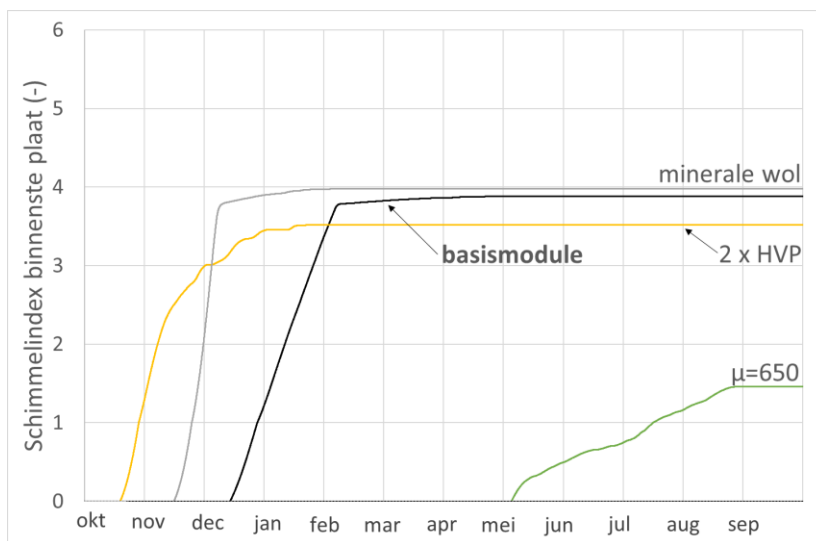
Opnieuw stemt het risico op schimmelgroei bepaald volgens het TOW 20/5-criterium overeen met de inschatting van het risico op schimmelgroei volgens het VTT schimmelmodel (Figuur 18 en Figuur 19). Enkel voor de module in combinatie met een afgeschermd binnenspouwblad en de module met een dampdichtere OSB-plaat is het risico op degradatie zeer laag. Voor de module met afgeschermd binnenspouwblad is de schimmelindex zelfs 0 voor zowel de houtvezelplaat als de OSB-plaat, dit is ook het geval voor de noord georiënteerde module. Voor de module met een dampdichtere OSB-plaat is de schimmelindex 0 voor de houtvezelplaat en iets meer dan 1 voor de OSB-plaat.



Figuur 17: Vochtgehalte in % kg/kg van de binnenste plaat (OSB of HVP) gedurende een periode van 5 jaar.



Figuur 18: Evolutie van de schimmelindex van de buitenste plaat gedurende het 1<sup>ste</sup> jaar.



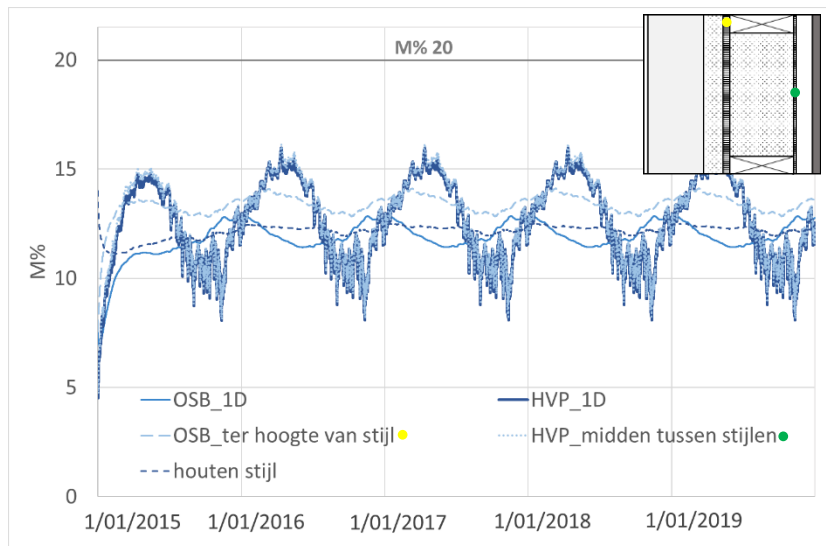
Figuur 19: Evolutie van de schimmelindex van de binnenste plaat gedurende het 1<sup>ste</sup> jaar.

Om te controleren of de gesloten module in combinatie met een afgeschermd binnenspouwblad en de module met een dampdichtere OSB-plaat ook niet tot degradatie van de houten plaatmaterialen leidt

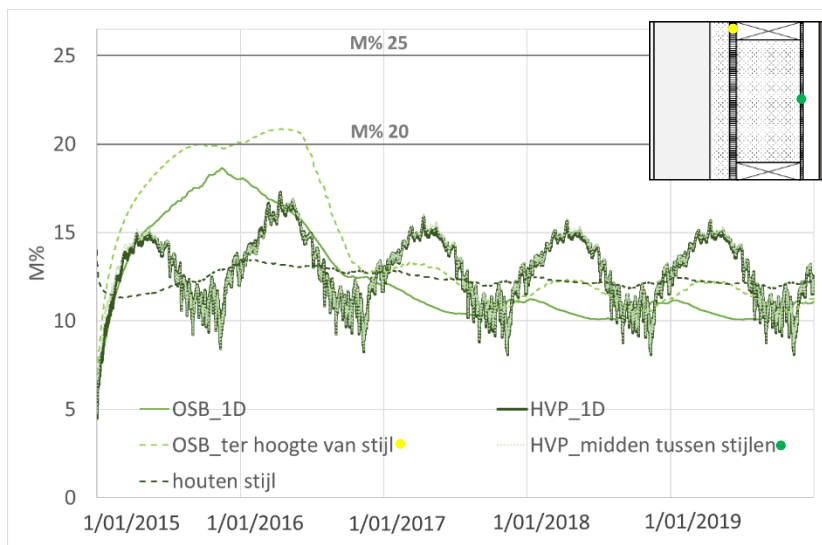
als rekening wordt gehouden met het vochttransport in de houten stijlen, worden 2D-simulaties uitgevoerd en geëvalueerd.

Figuur 20 en Figuur 21 tonen het vochtgehalte in % kg/kg van de houten materialen voor deze twee modules. Enkel de meest vochtige punten in de materialen worden geanalyseerd:

- net naast de houten stijl voor de OSB-plaat aangezien uitdroging van de OSB-plaat meer verhinderd wordt door de houten stijl en
- in het midden tussen twee stijlen voor de houtvezelplaat aangezien de cellulose-isolatie de dampstroom het minst tegenhoudt.



Figuur 20: Vochtgehalte in % kg/kg van de houten materialen voor module met afgeschermd binnenspouwblad in 2D en 1D.

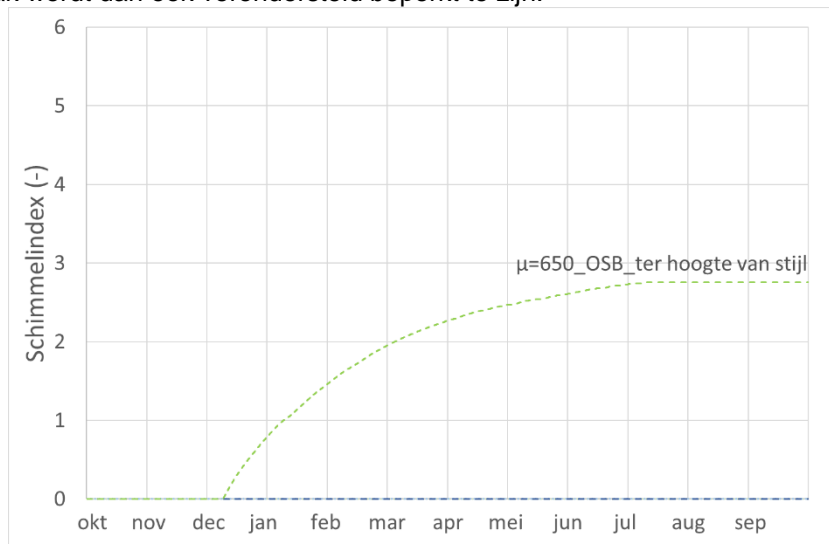


Figuur 21: Vochtgehalte in % kg/kg van de houten materialen voor module met dampdichtere OSB-plaat in 2D en 1D.

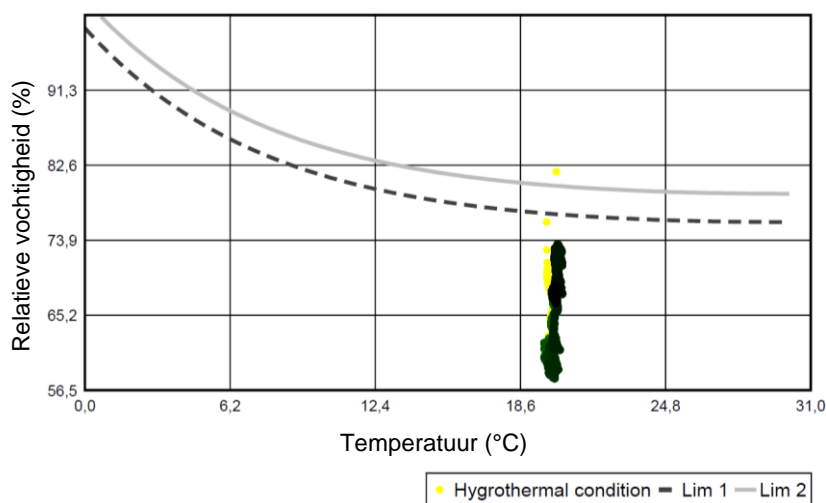
Figuur 20 en Figuur 21 tonen dat het vochtgehalte van de houtvezelplaat in 1D quasi identiek is aan het vochtgehalte van de houtvezelplaat in 2D. Voor de OSB-plaat is er echter een uitgesproken verschil. Aangezien de houten stijl een hogere dampweerstand heeft dan cellulose, houdt de stijl het uitdrogen van de OSB-plaat meer tegen. Dit leidt tot risicovollere condities voor degradatie dan in de 1D-simulatie. Figuur 20 en Figuur 21 tonen daarnaast dat enkel voor de OSB-plaat in de module met een dampdichtere OSB-plaat het vochtgehalte de 20% kg/kg nog voor enige tijd overschrijft. Dit betekent dat enkel wanneer het bestaande binnenspouwblad afgeschermd wordt, er geen risico op degradatie is van de houten materialen. Evaluatie van het degradatierisico aan de hand van het VTT



schimmelmodel bevestigt dit: de schimmelindex is 0 voor elk houten materiaal in deze module (Figuur 22: enkel schimmelindex > 0 voor houten stijl in module met dampdichtere OSB-plaat) . Ten slotte wordt voor de module in combinatie met een afgeschermd binnenspouwblad het risico op schimmelgroei op het binnenoppervlak onderzocht via het isopletenmodel. Figuur 23 toont aan dat de laagste isopleet voor schimmelgroei slechts overschreden wordt in de beginperiode waarin het bestaande binnenspouwblad uitdroogt (weergegeven in geel). Het risico op schimmelgroei op het binnenoppervlak wordt dan ook verondersteld beperkt te zijn.



Figuur 22: Evolutie van de schimmelindex ter plaatse van alle houtgebaseerde plaatmaterialen gedurende het 1<sup>ste</sup> jaar voor de module met dampdichtere OSB-plaat (groen) en de module met afgeschermd binnenspouwblad (blauw) in 2D.

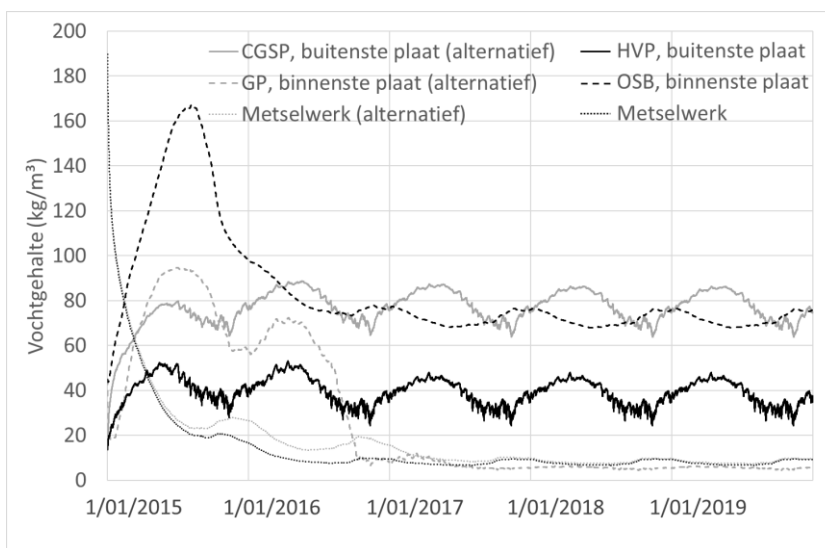


Figuur 23: Isopleten op binnenoppervlak van gesloten module in combinatie met een afgeschermd binnenspouwblad.

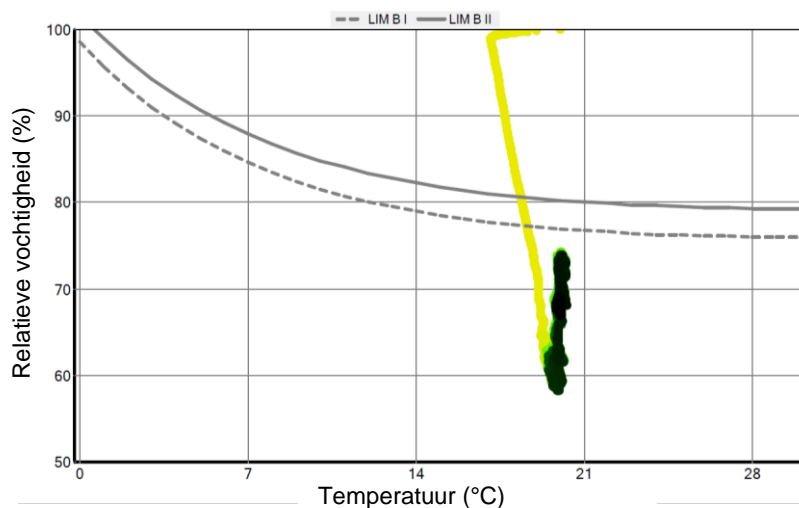
Wat de cellulose-isolatie betreft, bedraagt het maximale vochtgehalte over 5 gesimuleerde jaren in de basismodule ongeveer 16% kg/kg. Aangezien dit lager is dan 35% kg/kg zoals gemeten door Langmans, wordt verondersteld dat er zich geen caking zal voordoen [8]. Het vochtgehalte van de cellulose in de andere modules is nog lager dan in de basismodule, hetgeen tot een nog lager risico op caking leidt.

In de voorgaande modules werden vochtgevoelige houten plaatmaterialen toegepast. Niet-houtgebaseerde plaatmaterialen kunnen natuurlijk ook aangewend worden. Het gebruik van dit type plaatmaterialen heeft als voornaamste voordelen dat ze kunnen toegepast worden bij hoge gebouwen, omwille van hun hogere brandweerstand, en hun vermoedelijk lagere degradatierisico. Op basis van literatuur is het echter niet duidelijk wat de maximaal toelaatbare vochtgehalten in dergelijke plaatmaterialen zijn.

Om de hygrothermische prestatie van deze alternatieve plaatmaterialen te onderzoeken in, wordt de houtvezelplaat vervangen door een cementgebonden spaanplaat (CGSP) en de OSB-plaat door een gipsplaat (GP). Typisch wordt een damp scherm voorzien aan de buitenzijde van de gipsplaat om damp- en luchtdichtheid te verzekeren. Figuur 24 toont het verloop van het vochtgehalte in dit element ("alternatief") in vergelijking met de gesloten basismodule gedurende 5 jaar. Deze module met alternatieve, niet-houtgebaseerde plaatmaterialen heeft een iets langere uitdroogtijd omdat de cementgebonden spaanplaat dampdichter is dan de houtvezelplaat. Evaluatie van de temperatuur en relatieve vochtigheid aan het binnenoppervlak via het isopletenmodel toont aan dat de laagste isopleet voor schimmelgroei slechts overschreden wordt in de beginperiode waarin het bestaande binnenspouwblad uitdroogt. Het risico op schimmelgroei op het binnenoppervlak wordt dan ook verondersteld beperkt te zijn.



Figuur 24: Vochtgehalte in  $\text{kg}/\text{m}^3$  gedurende 5 jaar voor de alternatieve module en de basismodule.



Figuur 25: Isopleten op het binnenoppervlak voor de alternatieve module.

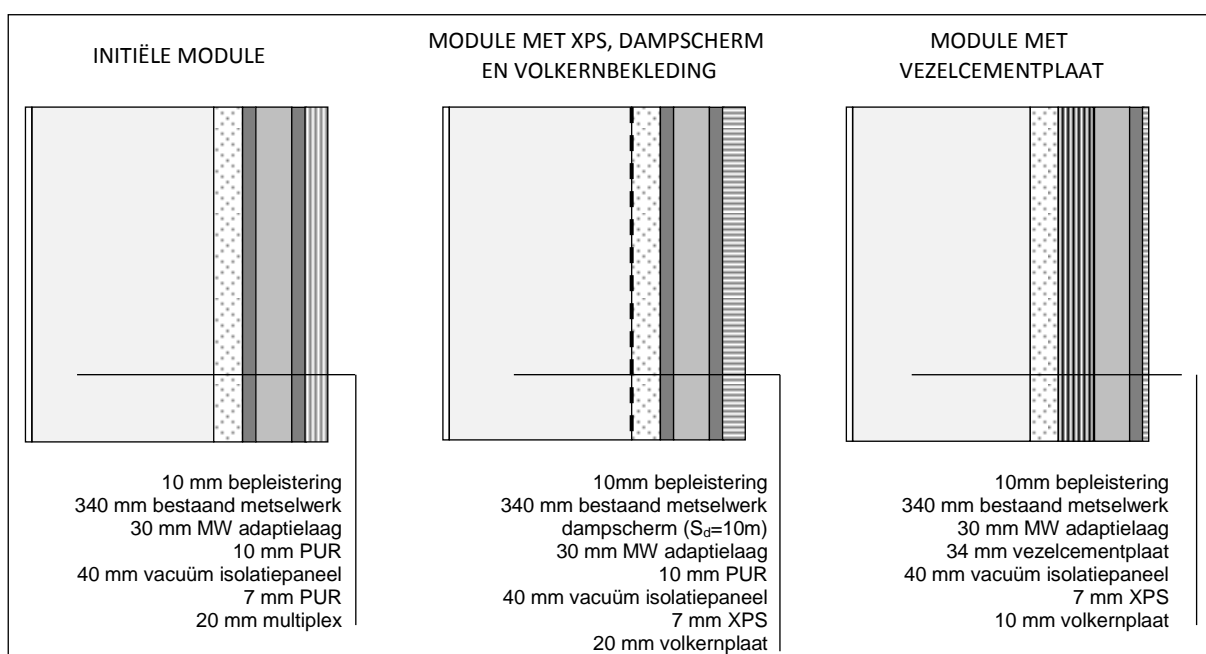
### 3.2 Module met geïntegreerde VIP's

Naast de prefab houtskeletelementen wordt de opbouw van een module met geïntegreerde vacuüm isolatiepanelen (VIP's) onderzocht. De integratie van VIP's in geprefabriceerde gevelelementen heeft enkele voordelen:

- In tegenstelling tot traditionele prefabelementen zoals TES, is de beperkte dikte en uitstekende isolatiewaarde zeer interessant voor renovatietoepassingen waarbij de bestaande wand slechts met beperkte dikte uitgebreid kan worden.
- Door de integratie in geprefabriceerde panelen is ook de bescherming van de VIP-panelen tijdens het installatieproces verzekerd.

Enkele eerste simulaties gebaseerd op bestaande prefabsystemen toonden reeds het potentieel van de integratie van VIP-panelen in geprefabriceerde modules aan [9-18]. Deze panelen hebben echter een hoge dampdiffusieweerstand door de dampremmende folie ( $\mu = 2,66 \text{ à } 7,03 \cdot 10^7$ ) die de droging van het bestaande binnenspouwblad verhindert. Dit kan tot interstitiële condensatie leiden. Hierdoor moet de toepassing van vochtgevoelige materialen tussen de bestaande wand en de VIP-panelen vermeden worden [9].

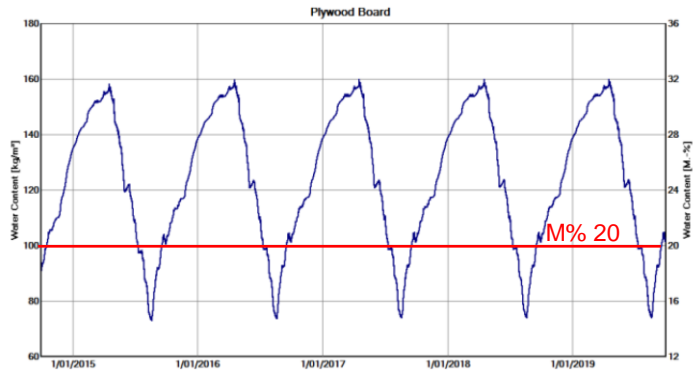
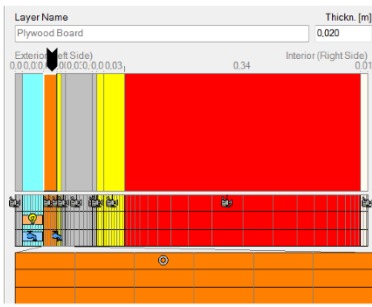
Het initiële ontwerp en uitgangspunt voor dit onderzoek bestaat uit een adaptielaag in minerale wol, een polyurethaanlaag die de VIP-panelen beschermt en een multiplexplaat die voor de stijfheid van de module instaat en zich aan de buitenzijde van het gevelement bevindt. De U-waarde van deze initiële module bedraagt  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  (zonder het in rekening brengen van het bevestigingssysteem). Afhankelijk van het bevestigingssysteem bedraagt de totale U-waarde tussen de  $0,12$  en  $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  [9]. De opbouw van deze module is weergegeven in Figuur 26.



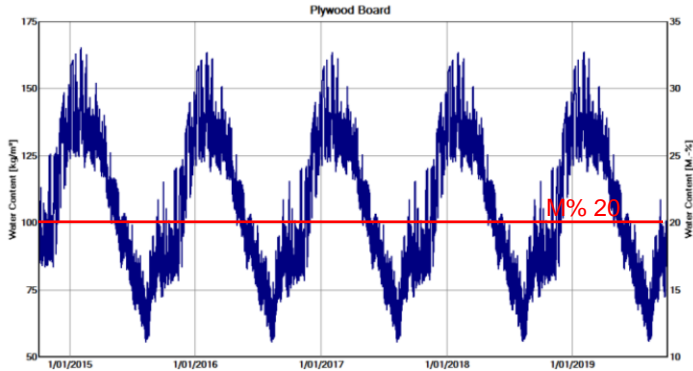
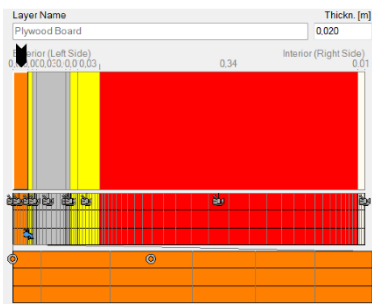
Figuur 26: Modules met geïntegreerde VIP's [9].

Aan de hand van hygrothermische simulaties wordt het initiële ontwerp van een geïntegreerde VIP-module verder geoptimaliseerd. In alle simulaties is de module geplaatst voor een wand uit massief metselwerk van 34 cm dik die niet afgeschermd werd van de regen voor plaatsing van de module (dus een hoog initieel vochtgehalte van  $189,7 \text{ kg/m}^3$ ). De wand is zuidwest georiënteerd en de hoogte van de wand is kleiner dan 10m. Doordat er gebruik gemaakt wordt van 1D-simulaties worden lokale koudebruggen ter hoogte van de voegen tussen de VIP-panelen niet in rekening gebracht.

Figuur 27 en Figuur 28 tonen dat hoewel de multiplexplaat in het initiële ontwerp kan uitdrogen naar buiten toe, het vochtgehalte van de multiplexplaat toch vaak de  $20\% \text{ kg/kg}$  overschrijdt, zowel voor panelen met en zonder geventileerde gevelbekleding. Volgens de TOW-criteria impliceert dit een risico op degradatie (zowel schimmelgroei als houtrot). Om dit te voorkomen wordt de multiplexplaat vervangen door een volkernplaat die vochtbestendig is en kan gebruikt worden als afwerkingslaag.



Figuur 27: Vochtgehalte in de multiplexplaat met spouwventilatie, gedurende 5 jaar.



Figuur 28: Vochtgehalte in de multiplexplaat zonder spouwventilatie, gedurende 5 jaar.

Wanneer de relatieve vochtigheid van de PUR-laag die de VIP-panelen beschermt achter de gevelbekleding wordt uitgezet in de tijd, dan blijkt dat de relatieve vochtigheid soms hoger is dan 100%. Er bestaat dus een risico dat er condensvorming ter hoogte van de beschermende PUR-laag optreedt. Het materiaal van de beschermende laag moet dus ook vochtbestendig zijn. Deze wordt daarom vervangen door een laag XPS.

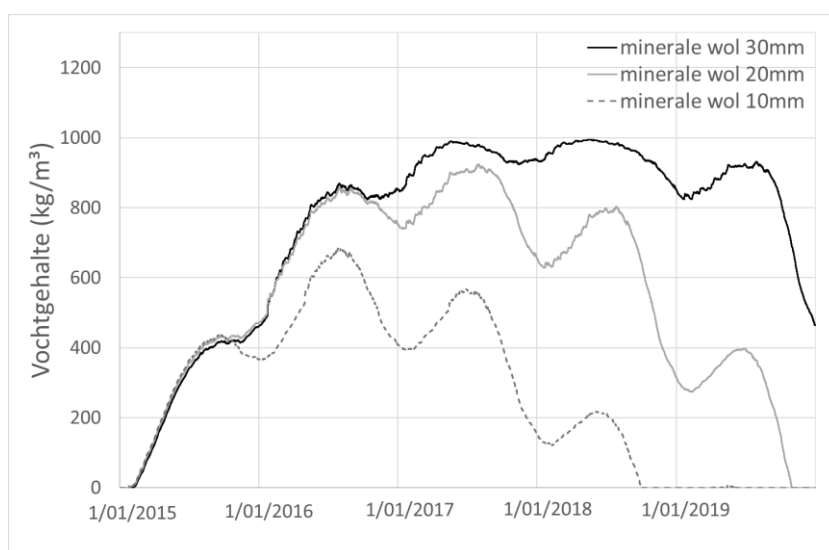


Figuur 29: WUFI model voor de evaluatie van interstitiële condensatie (met in het blauw: de denkbeeldige luchtlag).

Vervolgens wordt ook het risico op interstitiële condensatie nagegaan tegen het VIP-paneel door uitdroging van de bestaande wand. Dit wordt onderzocht door een denkbeeldige dunne luchtlag (1mm) met een grote vochtcapaciteit toe te voegen tussen het VIP-paneel en de binnenste beschermende PUR-laag zoals weergegeven in Figuur 29. Om aflopend water (run-off) tegen het oppervlak van het VIP-paneel te voorkomen wordt vooropgesteld dat de maximale hoeveelheid interstitiële condensatie ter hoogte van het oppervlak van het VIP-paneel de 0,200 kg/m<sup>2</sup> niet mag overschrijden (wat neerkomt op 200 kg/m<sup>3</sup> voor een luchtlag met een dikte van 1mm). Dit is

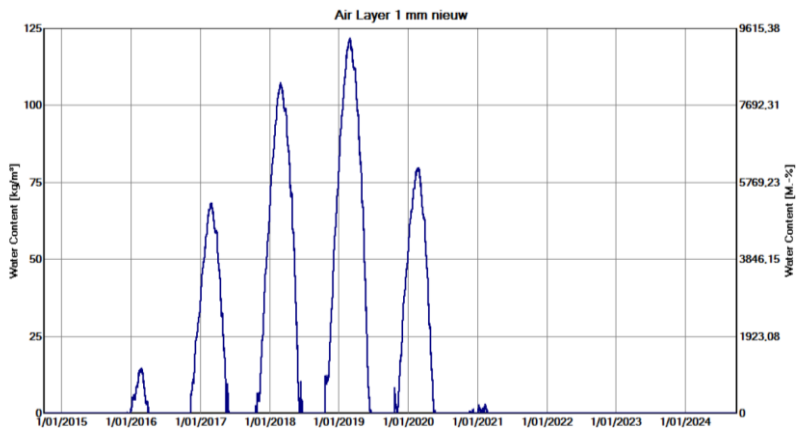
gebaseerd op evaluatiecriteria voor interstitiële condensatie van niet-hygroscopische, niet-capillaire materialen [19].

Het risico op interstitiële condensatie wordt nagegaan voor drie gevallen: een module met een adaptielaag in minerale wol van 10mm, 20mm en 30mm. Figuur 30 toont het vochtgehalte van de toegevoegde luchtlag voor deze drie modules. In alle gevallen overstijgt het vochtgehalte de 200 kg/m<sup>3</sup> sterk en is er dus een groot risico op condensatie op het binnenoppervlak van het VIP-paneel. Zoals verwacht is het risico het hoogst voor de module met een adaptielaag van 30mm, zoals in het initiële ontwerp. Hoe dikker de adaptielaag namelijk is, hoe lager de temperatuur tussen de isolatielaag en het VIP-paneel zal zijn en dus hoe groter het risico op condens. Er kan dan ook een lichte verbetering vastgesteld worden wanneer de dikte van de adaptielaag gereduceerd wordt tot 20 en 10mm, maar het risico op interstitiële condensatie is ook voor deze gevallen nog steeds hoog.

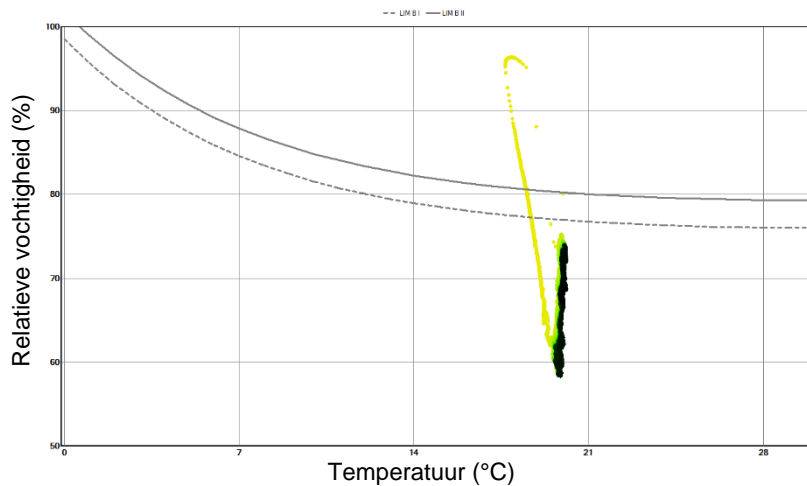


Figuur 30: Vochtgehalte in de denkbeeldige luchtlag in de module met een minerale wol adaptielaag van 30mm, 20mm en 10 mm gedurende 5 jaar.

Daarom wordt het effect van een dampscherm tussen de bestaande wand en de adaptielaag onderzocht. Figuur 31 geeft aan dat het vochtgehalte in de toegevoegde luchtlag aan de binnenkant van het VIP-paneel lager is dan 200 kg/m<sup>3</sup> wanneer een dampscherm wordt geïntegreerd met een S<sub>d</sub>-waarde van 10m. Het toevoegen van een dampscherm tussen de bestaande wand en de module zou het probleem van condensatie dus kunnen verhelpen. De integratie van een dampscherm op die plek verhindert echter de uitdroging van de initieel vochtige wand naar buiten toe. De resulterende hogere dampstroom naar binnen toe kan mogelijks tot schimmelgroei op het binnenoppervlak leiden. Daarom wordt het risico op schimmelgroei op het binnenoppervlak nagegaan via het isopletenmodel van Sedlbauer. Figuur 32 toont dat de laagste isopleet voor schimmelgroei slechts overschreden wordt in de beginperiode waarin de bestaande wand uitdroogt. Het risico op schimmelgroei op het binnenoppervlak wordt dan ook verondersteld beperkt te zijn.



Figuur 31: Vochtgehalte in de denkbeeldige luchtlaag in de module met een damp scherm ( $S_d=10m$ ) gedurende 10 jaar.



Figuur 32: Isopleten op het binnoppervlak van de module met damp scherm ( $S_d=10m$ ).

De integratie van een damp scherm aan de achterzijde van de module kan praktisch echter nogal moeilijk uit te voeren zijn. Het damp scherm zou moeten geplaatst worden op de bestaande wand voor de modules geplaatst worden. Een alternatieve oplossing bestaat eruit om een vochtbufferende laag te integreren in de prefabmodule. Deze laag laat dan buffering van de dampstroom toe ten gevolge van de uitdroging van de bestaande wand. Als vochtbufferende laag wordt een vezelcementplaat toegevoegd die dan bovendien de functie van uitstijvende plaat overneemt, waardoor de dikte van de volkernplaat gereduceerd kan worden tot 10mm.



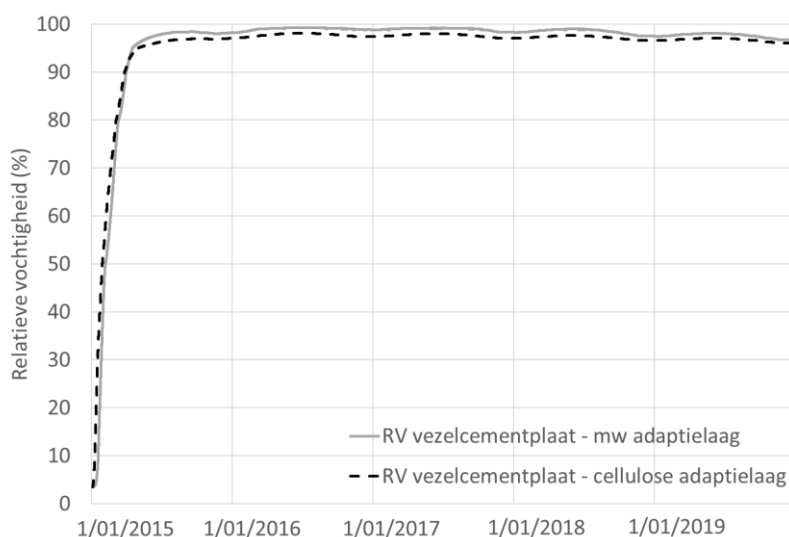
Figuur 33: Vochtgehalte in de denkbeeldige luchtlaag van de module met vezelcementplaat.

Om na te gaan of er ook in de module met een vezelcementplaat in plaats van damp scherm geen risico op interstitiële condensatie is wordt opnieuw een simulatie uitgevoerd met een dunne luchtlaag,

dit keer tussen de vezelcementplaat en het VIP-paneel. Aangezien het vochtgehalte van deze luchtlaag onder de 200 kg/m<sup>3</sup> blijft, wordt verondersteld dat er geen risico op interstitiële condensatie is.

Wanneer de relatieve vochtigheid van de vezelcementplaat wordt uitgezet in de tijd (Figuur 34), kan vastgesteld worden dat de relatieve vochtigheid sterk stijgt wanneer de bestaande wand begint uit te drogen. Dit geeft aan dat de vezelcementplaat bijna gesatureerd is. Uit evaluatie van de temperatuur en relatieve vochtigheid aan het binnenoppervlak via het isopletenmodel blijkt dat er geen risico is op schimmelgroei.

Ten slotte wordt ook nagegaan of het vervangen van de minerale wol door cellulose-isolatie een grote invloed heeft op het vochtgedrag van de module. Aangezien cellulose-isolatie een hogere vochtcapaciteit heeft, kan verwacht worden dat deze wijziging tot een daling van het vochtgehalte van de vezelcementplaat zal leiden. Fig. 33 toont echter dat dit effect beperkt is: het gebruik van cellulose-isolatie leidt slechts tot een geringe daling van de relatieve vochtigheid, globaal gezien blijft de relatieve vochtigheid in deze laag zeer hoog.



Figuur 34: Verloop van de relatieve vochtigheid in de vezelcementplaat gedurende 5 jaar.

Hoewel de vezelcementplaat vochtbestendig wordt verondersteld te zijn, zou verder onderzoek moeten verduidelijken of deze aanhoudend hoge relatieve vochtigheden de duurzaamheid van de vezelcementplaat op termijn negatief kunnen beïnvloeden.

## 4 AANBEVELINGEN

Op basis van de resultaten van bovenstaande hygrothermische simulaties kunnen volgende aanbevelingen en richtlijnen geformuleerd worden:

- Het gebruik van cellulose-isolatie wordt verkozen boven dat van minerale wol omwille van de vochtbuffercapaciteit van cellulose.
- Noord georiënteerde gevels zijn iets minder kritisch naar degradatie dan zuidwest georiënteerde gevels.
- Integratie van een dampremmende laag tussen de nieuwe module en de bestaande wand heeft een positief effect op de hygrothermische prestatie.
- Het afschermen van het bestaande binnenspouwblad na afbraak van het buitenspouwblad heeft een gunstige invloed op het degradatierisico.

Voor de open module wordt aanbevolen om een dampscherm met een  $S_d$ -waarde van 10m tussen de nieuwe module en de bestaande wand te voorzien. In het geval van een gesloten module wordt het binnenspouwblad best afgeschermd na afbraak van het buitenspouwblad om degradatie van de houten plaatmaterialen te voorkomen. Het aanbrengen van een dampopen regendichte coating op het buitenoppervlak van het binnenspouwblad kan hiervoor potentieel een goede oplossing zijn. Daarnaast heeft de toepassing van een OSB-plaat met een hoge dampdiffusieweerstand als dampremmende laag in de gesloten module ook een positief effect op de hygrothermische prestatie. Integratie van alternatieve niet-houten plaatmaterialen in de gesloten module kan tot een lager risico op degradatie leiden. Er moet hierbij wel opgemerkt worden dat er slechts weinig informatie beschikbaar is over mogelijke degradatie bij hoge vochtigheden. Niet-houtgebaseerde plaatmaterialen worden courant gebruikt bij hoogbouw aangezien houtgebaseerde platen daar niet toegelaten zijn omwille van brandveiligheid.

Om interstitiële condensatie in de module met geïntegreerde VIP-panelen te voorkomen wordt aanbevolen om een dampscherm aan de achterzijde van de module te voorzien of een uitstijvende plaat met vochtbufferende eigenschappen aan de binnenzijde van de module te integreren zoals bijvoorbeeld een vezelcementplaat. Daarnaast wordt ook aanbevolen om een volkernplaat in plaats van een multiplexplaat als buitenplaat te voorzien om degradatie te voorkomen en om XPS aan te wenden als beschermende laag achter de VIP-panelen in plaats van PUR-isolatie omwille van de vochtbestendigheid van dit materiaal.



## REFERENTIES

- [1] TES Energy Façade. Prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope. 2012-2013.
- [2] Capener CM, Burke S, Le Roux S, Ott S. Hygrothermal Performance of TES Energy Façade at two European residential building demonstrations - Comparison between Field Measurements and Simulations. Nordic Symposium on Building Physics. 2014. pp. 1244-1251.
- [3] Pihelo P, Lelumees M, Kalamees T. Influence of Moisture Dry-out on Hygrothermal Performance of Prefabricated Modular Renovation Elements. Energy Procedia. 2016. pp. 745-755.
- [4] Van Belleghem M, Steeman M, Janssens A, De Paepe M. Heat, air and moisture transport modelling in ventilated cavity walls. Journal of Building Physics, Vol 38(4) 317-349.
- [5] Viitanen H. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. PhD thesis. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products. 1996.
- [6] Vereecken E. Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation. Building and Environment 2012; 51:296-310.
- [7] Derome D. Moisture occurrence in roof assemblies containing moisture storing insulation and its impact on the durability of building envelope. PhD thesis. Concordia University. 1999.
- [8] Langmans J. Feasibility of exterior air barriers in timber frame construction. PhD thesis. KU Leuven. 2013.
- [9] Martens S. Detaillering van geprefabriceerde gevelpanelen in renovatietoepassingen met VIP's. Masterproef. UGent. 2015.
- [10] Bine. Building refurbishment – highly insulative large elements: Applications: Façade insulation in old buildings: Three buildings in Hofheim am Taunus. FIZ Karlsruhe, 2011.
- [11] IEA ECBCS Annex 50. Prefab retrofit demonstration project: Passive renovation De Kroeven 505 Roosendaal, NL.
- [12] Johansson P. Vacuum Insulation Panels in Buildings: Literature Review (Report 2012: 1). Gothenburg. Zweden: Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering. 2012.
- [13] Lylykagas K. Energy-efficiency Up-grade with Pre-fabricated Façade elements - the Innova Project Renovation in Saternuksenkate 2. Riihimäki.
- [14] Nederlandse Bond van Timmerfabrikanten i.s.m. Bouwlokalen. Duurzaam bouwen met hout.
- [15] Panic E. Erste Altbausanierung auf Passivhausstandard mit VIPs: Sanierung eines 150 Jahre alten Bauernhauses auf Passivhausstandard nach PHPP unter Einsatz von Vakuumdämmung. 2009.
- [16] Teilprojekt Großelement-Dämmtechnik mit Vakuumdämmung. Sanierung von drei kleinen Wohngebäuden in Hofheim. Endbericht. Darmstadt. November 2007.
- [17] VIP-BAU. Applications: Facade insulation in old buildings: Listed house near Nuremberg.
- [18] VIP-BAU. Applications: Facade insulation in old buildings: Terraced house in Munich.
- [19] WTCB. Het platte dak: Opbouw, materialen, uitvoering, onderhoud. Technische Voorlichtingsnota 215, 2012.