

RenoFase WP3: Keuze uitvoeringstechniek: Gevalideerde en innovatieve oplossingen voor na-isolatie van gevels



DRAFT Deliverable D3-1 Rapport: 'Na-isolatie en houten elementen'

12/05/2017

Timo De Mets – WTCB – timo.de.mets@bbri.be

Evy Vereecken, Staf Roels – KU Leuven – evy.vereecken@kuleuven.be

Met de medewerking van: WTCB, KU Leuven, Universiteit Gent

Disclaimer

Dit rapport is een projectresultaat gegenereerd binnen de context van het IWT-project RenoFase. Het geldt bijgevolg niet als een officieel document van de partijen die het document gerealiseerd hebben. De gepresenteerde bevindingen, analyses en adviezen worden enkel ten titel van inlichting gegeven.

INLEIDING

De regelgeving voor nieuwbouw wordt steeds strenger, waardoor het nieuwste deel van het gebouwenpark redelijk tot zeer energiezuinig is. Ongeveer twee derde van de woningen is echter gebouwd voor 1970, een periode waarbij woningen doorgaans amper of niet geïsoleerd werden. Om het globale energieverbruik te beperken, zal er dus zeker aandacht geschonken moeten worden aan het isoleren van bestaande woningen.

Hoewel buitenisolatie hygrothermisch gezien de meest aangewezen oplossing is om de muren energetisch te renoveren, is voor een deel van de woningen binnenisolatie de enige oplossing, bijvoorbeeld bij massieve muren met een waardevolle gevel. Binnenisolatie is ook in het algemeen een goedkopere oplossing dan buitenisolatie.

Een deel van de hygrothermische risico's die gepaard gaan met binnenisolatie kunnen door recent intensief onderzoek al beheerst worden. De toepasbaarheid van binnenisolatie in combinatie met houten balken blijft echter nog een vraagstuk, aangezien binnenisolatie aanleiding kan geven tot een verhoogd risico op schimmelgroei en houtrot van de vloerbalken, waardoor in extreme gevallen zelfs de stabiliteit van het gebouw in gedrang kan komen. Hier zijn twee fenomenen verantwoordelijk voor: vocht langs binnen door convectief vochttransport en vocht langs buiten door slagregen.

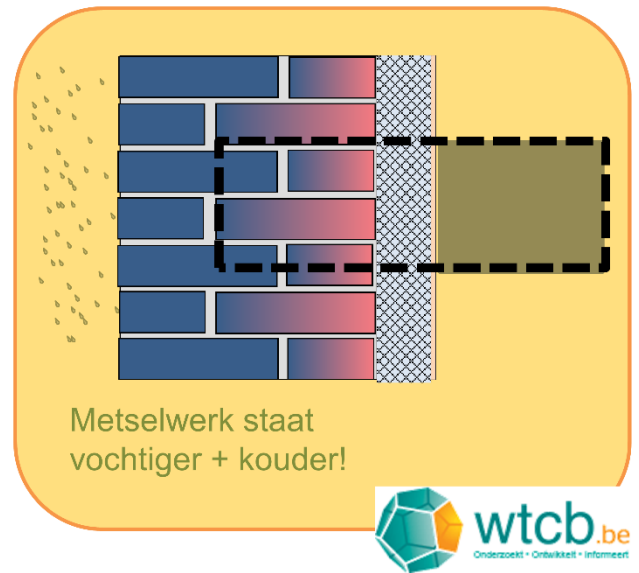
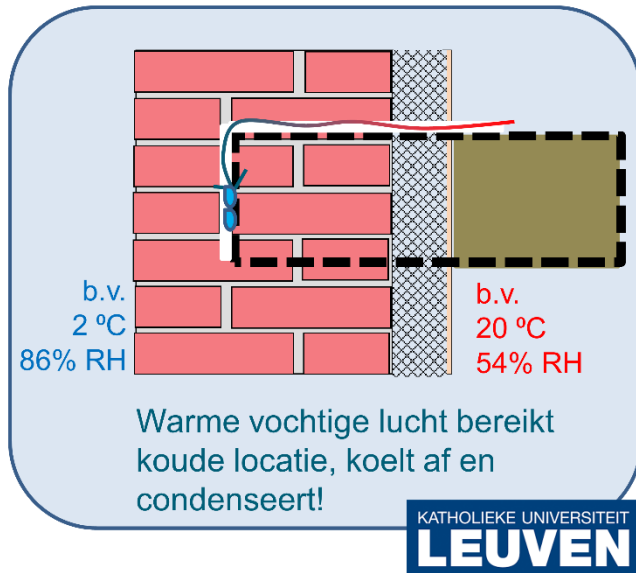
Vochttransport door luchtstroming (convectie) ontstaat doordat warme vochtige lucht uit de binnenruimte het balkuiteinde bereikt via de luchtspleten tussen balk en metselwerk. Het balkuiteinde staat op een veel koudere temperatuur, waardoor de luchtstroom afkoelt en de relatieve vochtigheid stijgt en condensatie kan optreden. In het algemeen wordt er daarom aangeraden om de isolatie luchtdicht aan te sluiten op de balk om deze convectiestroom te vermijden [1–6]. De precieze invloed is in-situ nog maar zelden onderzocht. Het loont dus de moeite om te onderzoeken of en in welke mate deze luchtdichte afwerking vereist is.

Een andere vochtbron is slagregen. De bestaande muur zal trager kunnen uitdrogen omdat hij kouder staat. Bovendien zal de muur naar binnen toe minder snel kunnen drogen, zeker bij dampdichte isolatiematerialen. De hoeveelheid slagregen op het metselwerk is wel dezelfde als voor de isolatiewerkzaamheden, waardoor de muur doorgaans dus vochtiger zal zijn. Dit kan in het bijzonder bij ingemetste houten vloerbalken ongewenst zijn: een vochtiger metselwerk betekent een vochtigere vloerbalk, waardoor het risico op schimmelgroei en houtrot vergroot.

Huidige richtlijnen raden binnenisolatie af als houten balken ingemetst zijn in een buitenmuur die onderhevig is aan matige tot hoge regenbelasting [6]. Is deze belasting te hoog, dan kan de waterabsorptie van de muur verminderd worden door een waterwerende behandeling aan te brengen. Deze producten hebben echter ook hun nadelen. Ze moeten bijvoorbeeld regelmatig opnieuw worden aangebracht en uitvoeringsfouten kunnen de situatie verslechteren.

Het loont dus de moeite om te onderzoeken of er alternatieven zijn in materiaalgebruik of ontwerpkeuze die het toepassen van binnenisolatie toelaten zonder het risico op houtrot te vergroten. Indien mogelijk wordt er hierbij gezocht naar een universele oplossing die voor de meeste gevallen toepasbaar is, zodat niet elk gebouw een afzonderlijke (dure) studie zou vereisen.

Om de invloed van beide vochtbronnen te onderzoeken, wordt het onderzoek opgesplitst en worden ze afzonderlijk behandeld. Het eerste hoofdstuk van dit rapport zal de toegespitst zijn op het vochttransport door convectie, het tweede hoofdstuk zal het vochttransport door slagregen behandelen. Een gemeenschappelijke conclusie en richtlijnen zal terug te vinden zijn in het derde en laatste hoofdstuk.



DRAFTVERSIE

Het rapport in zijn huidige vorm is een draftversie. Het document kan aldus onvolledigheden of fouten bevatten. Opmerkingen van de gebruikersgroep mogen doorgestuurd worden naar timo.de.mets@bbri.be, zodat ze in een finale versie meegenomen kunnen worden.

INHOUDSOPGAVE

Inleiding.....	2
Draftversie.....	3
Inhoudsopgave.....	4
Afkortingen	5
1 Invloed van luchtconvectorie (KU Leuven).....	6
1.1 Testopstelling.....	6
1.1.1 Hot box-cold box.....	6
1.1.2 Wandopbouw.....	7
1.1.3 Meettechnieken.....	11
1.1.4 Initiële condities.....	11
1.1.5 Randvoorwaarden.....	12
1.2 Resultaten	12
1.2.1 Thermische weerstand.....	12
1.2.2 Relatieve vochtigheid.....	12
1.2.3 Vochtgehalte.....	15
1.2.4 Temperatuur	15
1.3 Conclusies en bemerkingen	17
2 Invloed van regenbelasting (WTCB).....	19
2.1 Testopstelling.....	19
2.1.1 Houten balken.....	21
2.1.2 Test Cell 1.....	23
2.1.3 Test Cell 2.....	26
2.1.4 Sensoren	31
2.2 Metingen.....	32
2.2.1 Type afwerking.....	32
2.2.2 Isolatiesysteem	34
2.2.3 Geen isolatie naast balk	36
2.3 Conclusie	36
3 Gezamenlijke conclusie.....	37
Referentielijst.....	38

AFKORTINGEN

Isolatiematerialen:

REF	Referentiewand (niet-geïsoleerd)
EPS	Geëxpandeerd polystyreen
MW	Minerale wol
CASI	Calciumsilicaat
AERO	Aerogel
PERL	Geëxpandeerd perliet
CEL	Isolatieplaat uit cellenbeton

Grootheden:

T	Temperatuur
RV	Relatieve vochtigheid
p	Dampdruk
R	Warmteweerstand
λ	Warmtegeleidingscoëfficiënt
μ	Dampdiffusieweerstand

Andere afkortingen:

OVD	Overdruk
-----	----------

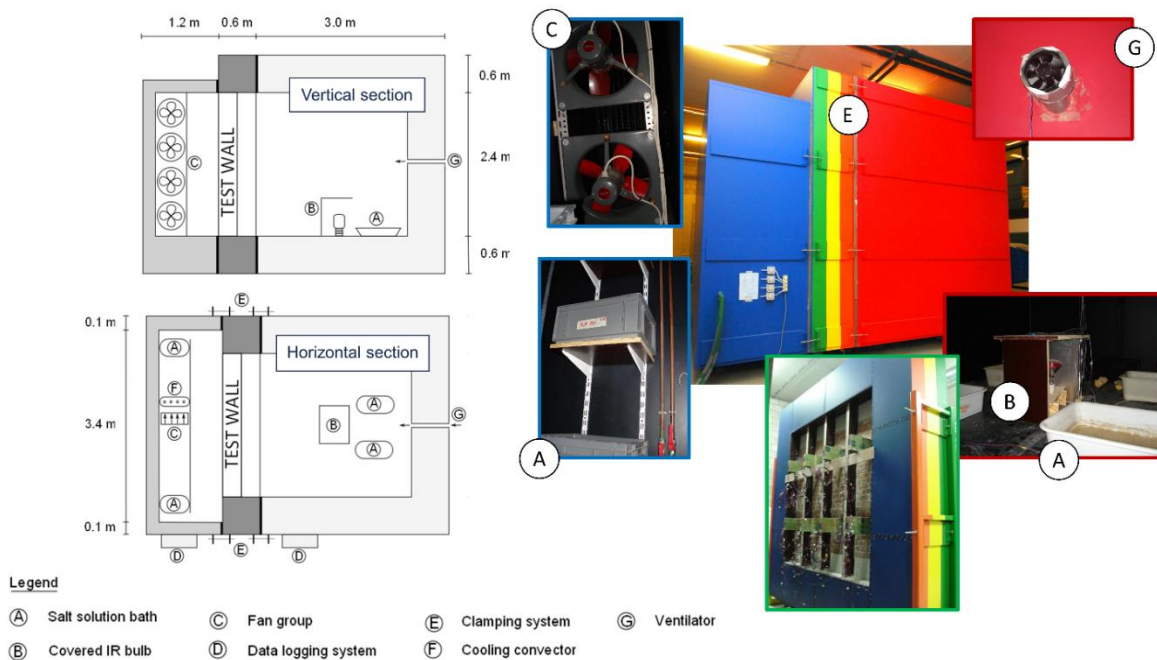
1 INVLOED VAN LUCHTCONVECTIE (KU LEUVEN)

Het belang van de luchtdichtheid rond de aansluiting met houten balken, en dus de impact van convectief vochttransport op het hygrothermisch gedrag van houten balken, wordt nagegaan op basis van een hot box-cold box experiment. Tevens wordt de invloed van het binnenisolatiesysteem bekeken: een dampopen capillair actief systeem en twee dampdichte systemen worden vergeleken met een niet-geïsoleerde referentiewand. Dit rapport geeft een uitgebreide versie van de bespreking in [7] weer. Sectie 1.1 beschrijft de testopstelling en -methodes. De meetresultaten worden besproken in sectie 1.2. Ten slotte worden in sectie 1.3 de voornaamste besluiten samengevat.

1.1 TESTOPSTELLING

1.1.1 HOT BOX-COLD BOX

Het hygrothermisch gedrag van de testwanden werd nagegaan in een hot box-cold box experiment uitgevoerd aan de Afdeling Bouwfysica, KU Leuven (Figuur 1). In het tussenstuk van de box werden 4 testwanden opgebouwd, welke langs de kant van het metselwerk in contact stonden met de cold box (koude buitenomgeving) en langs de binnenzijde van de wand in contact stonden met de hot box (binnenomgeving). De relatieve vochtigheid in beide boxen werd geregeld m.b.v. verzadigde zoutoplossingen. De temperatuur in de koude box werd geregeld m.b.v. een vloeistof-lucht warmtewisselaar en vier ventilatoren. De temperatuur in de warme box werd geregeld m.b.v. een infraroodlamp en een temperatuurregeling. Een kleine ventilator aan de achterzijde van de hot box laat bovendien toe om een overdruk/onderdruk in de hot box op te leggen. Voor een gedetailleerde beschrijving van de hot box-cold box wordt verwezen naar [8].



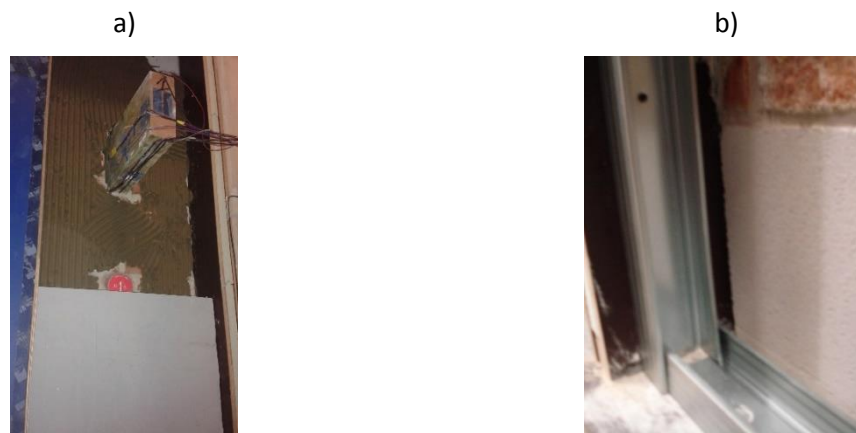
Figuur 1. Hot box-cold box testopstelling

1.1.2 WANDOPBOUW

Vier 1,5-steens metselwerkwallen (29.5 cm dik) werden opgebouwd in het tussenstuk van de hot box-cold box en voorzien van volgende binnenisolatiesystemen:

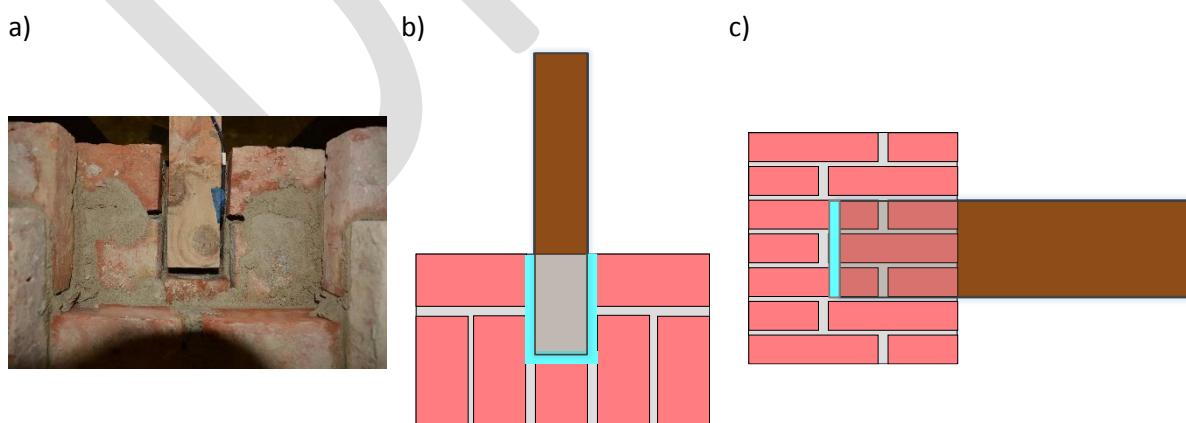
- Wand 'CaSi': 5-10 mm lijm mortel + 10 cm calcium silicaat + 5-10 mm pleister
- Wand 'MW+SVR': 11.5 cm minerale wol + vochtvariable damprem (smart vapour retarder Vario KM Duplex®) + 1.25 cm gipskarton
- Wand 'EPS': 5-10 mm lijm mortel + 8 cm geëxpandeerd polystyreen (Doublissimo) + 1.25 cm gipskarton
- Referentiewand: geen isolatie

Het CaSi- en het EPS-systeem werden volklakkig verkleefd op het metselwerk (Figuur 2a). Bij de wand met minerale wol werden de metal studs op een afstand van 4 cm van het metselwerk geplaatst (Figuur 2b). Deze tussenruimte werd opgevuld met minerale wol. Samen met de laag van 7.5 cm minerale wol geplaatst tussen de metal studs levert dit een totale dikte van 11.5 cm aan minerale wol. De extra laag tussen metal studs en metselwerk beperkt het koudebrugeffect t.g.v. de metal studs.



Figuur 2. a) volklakkige verkleving van calcium silicaat, b) de metalstuds worden op een afstand van het metselwerk geplaatst.

In elk van de testwanden werden twee houten balken opgelegd in het metselwerk, op een afstand van 15 cm van het buitenoppervlak. Tussen de houten balken en het metselwerk werd 1 á 1.5 cm luchtspouw gelaten langs alle zijden met uitzondering van de boven- en onderzijde van de balk (Figuur 3). Merk echter op dat t.g.v. krimp en uitzetting op termijn ook langs de onder- en bovenzijde van de balk kleine scheuren (en dus luchtpaden) kunnen ontstaan. De aansluiting tussen geïsoleerde metselwerkwallen en de onderste balken in de testconstructie werden voorzien van een luchtdichte afdichting (Figuur 4a,c). Hiervoor werd bij de wand met calcium silicaat en de wand met EPS gebruik gemaakt van flexibel PUR-schuim. Bij de wand met minerale wol werd de luchtdichtheid bekomen door de damprem door te trekken tot op de houten balk en met luchtdichte tape te verkleven. Tevens werd de opening tussen gipskarton en houten balk opgespoten met flexibel PUR-schuim. Bij de balken in de referentiewand en de bovenste balken werd in een eerste meetreeks geen luchtdichte aansluiting voorzien (Figuur 4a,b). Op basis van infraroodfoto's werd de aanwezigheid/afwezigheid van een luchtdichte afdichting gecontroleerd (Figuur 5). In een tweede meetreeks (resultaten volgen later) werden de aansluitingen met de bovenste balken luchtdicht afgewerkt met een luchtdichte tape (Figuur 6). Een overzicht van de verschillende cases wordt weergegeven in Tabel 1.

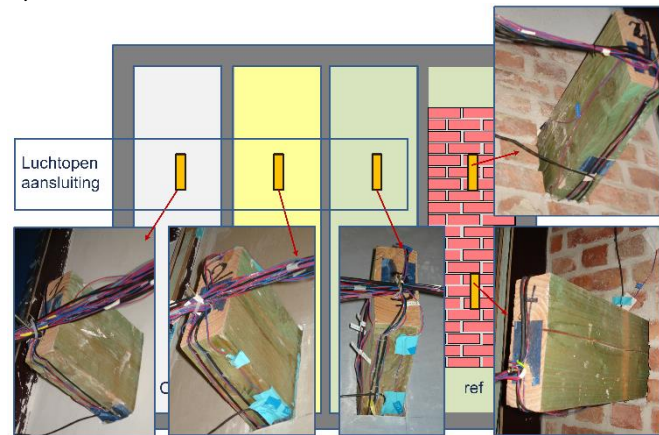


Figuur 3. a) Bovenaanzicht oplegging balk, b) schematisch bovenaanzicht balk, c) schematisch zijaanzicht balk

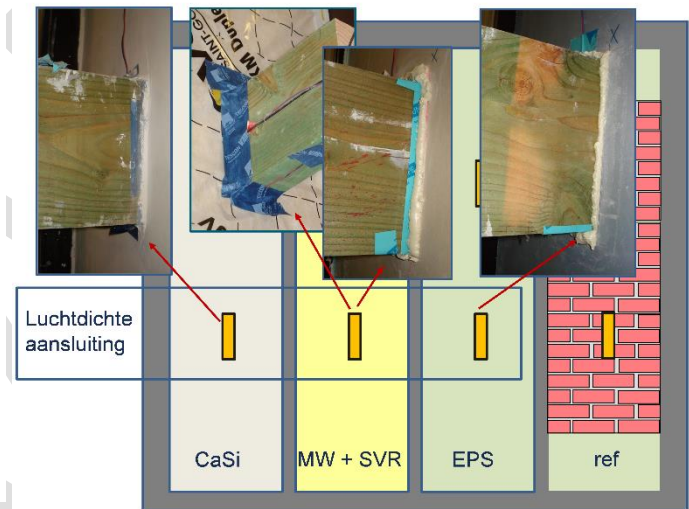
a)



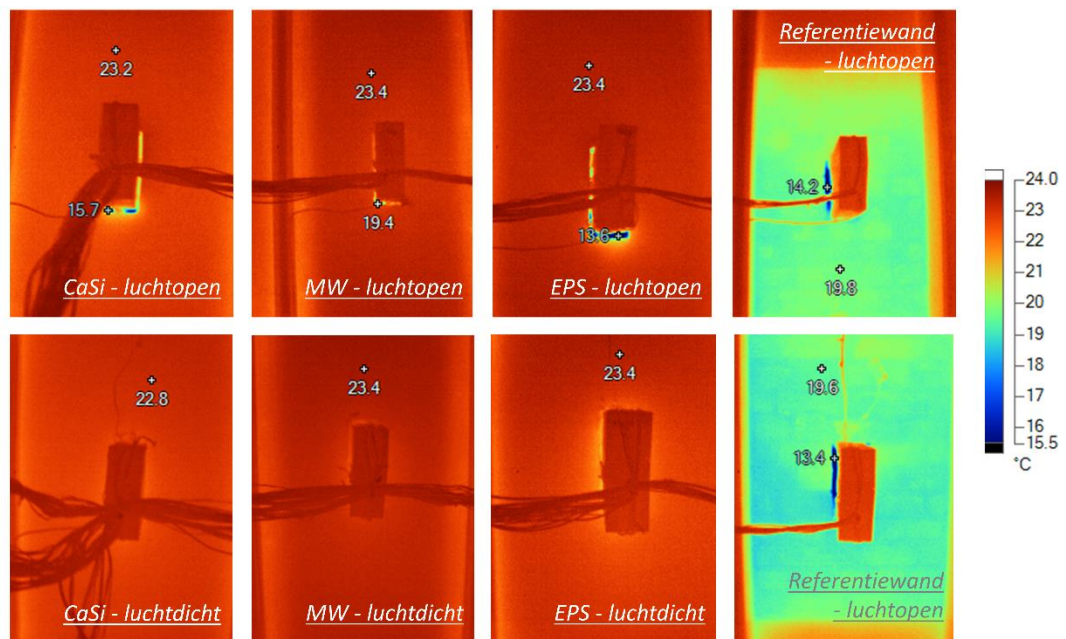
b)



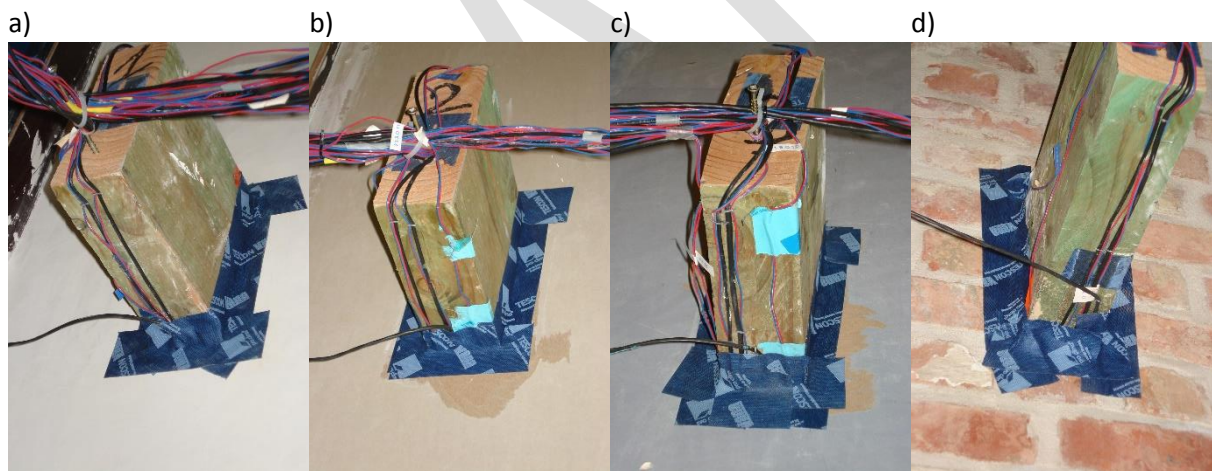
c)



Figuur 4. (a) Tussenstuk met houten balken en aanduiding van balken zonder luchtdichte aansluiting (b) en met luchtdichte aansluiting.



Figuur 5. Infraroodfoto's van de balken in de testopstelling: de luchtlekken bij de luchtopen configuraties zijn zichtbaar (in mindere mate bij de constructie met minerale wol).



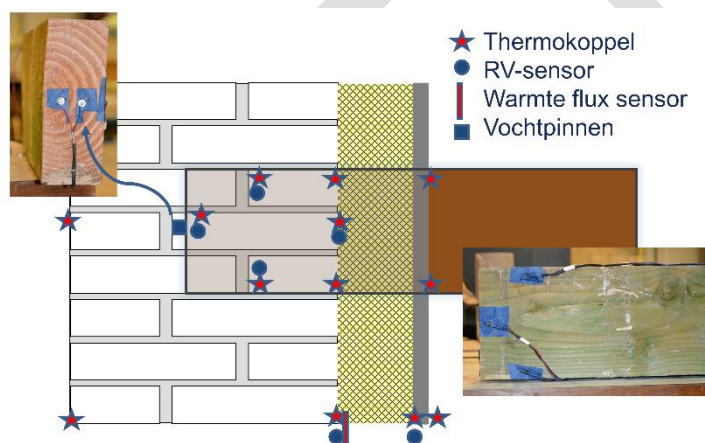
Figuur 6. Uitgevoerd aanpassing voor reeks 2: afgetapete balken (bovenste rij balken)

Tabel 1. Overzicht van de verschillende aansluiting tussen balk en metselwerk.

	Wand 'CaSi'	Wand 'MW+SVR'	Wand 'EPS'	Referentiewand
<i>Reeks1</i>				
Bovenste balk	luchtopen	luchtopen	luchtopen	luchtopen
Onderste balk	luchtdicht (PUR)	luchtdicht (SVR+tape+PUR)	luchtdicht (PUR)	luchtopen
<i>Aanpassing reeks 2 (aan de aansluitingen van de onderste balken werden geen aanpassingen aangebracht)</i>				
Bovenste balk	luchtdicht (tape)	luchtdicht (tape)	luchtdichte (tape)	luchtdicht (tape)

1.1.3 MEETTECHNIEKEN

De temperatuur en relatieve vochtigheid in de beide boxen en in de testwanden werd gemeten met Thermo Electric thermokoppels en Honeywell relatieve vochtigheidsensoren. Deze sensoren hebben – na een in-huis kalibratie – een nauwkeurigheid van +/- 0.2°C en +/- 2%. De positie van de sensoren wordt weergegeven in Figuur 7. De sensoren op de houten balken werden langs één zijde van de balk bevestigd, zoals weergegeven in de inzet in Figuur 7. In de kopse kant van de verschillende houten balken werd een set van vochtpinnen geplaatst. Niet-geïsoleerde vochtpinnen werden gebruikt, waardoor de vochtpinnen telkens het hoogste vochtgehalte over de diepte van de vochtpinnen opmeten [9]. In deze testcase wordt het hoogste vochtgehalte verondersteld op te treden aan het oppervlak van de houten balk. De vochtpinnen werden gekalibreerd voor het type hout gebruikt in de testopstelling. Op half de hoogte van de wand, tussen beide balken, werden RV- en T-sensoren geplaatst. Op de warme zijde van het metselwerk werd tevens een fluxmeter geplaatst.



Figuur 7. Sensoren

1.1.4 INITIËLE CONDITIES

De initiële relatieve vochtigheid in het metselwerk varieerde van wand tot wand. In de eerste meetreeks varieerde de initiële relatieve vochtigheid in de niet-geïsoleerde metselwerkwand en het metselwerk van de wand met calcium silicaat tussen 60% en 73%. De initiële relatieve vochtigheid in het metselwerk met de dampdichte binnenisolatiesystemen (EPS en MW+SVR) varieerde tussen 65% en 85%. Deze hogere initiële vochtigheid was het gevolg van het lager drogingspotentieel tijdens de constructiefase. Ook de initiële relatieve vochtigheid rond de houten balken met een luchtdichte aansluiting was hoger dan deze rond de balken voorzien van een luchtdichte aansluiting. De initiële temperatuur van de testwanden was 20°C.

Na de eerste meetreeks werd de hot box in onderdruk geplaatst. Dit leverde bij zowel de dampopen als de damdichte systemen lagere (en homogener) initiële condities (nl. rond de 60% RH, max 70% RH) op voor een tweede meetreeks (resultaten volgen later).

1.1.5 RANDVOORWAARDEN

De temperatuur en relatieve vochtigheid in de hot box waren tijdens het experiment respectievelijk 20°C en 54%. De temperatuur en relatieve vochtigheid in de cold box waren respectievelijk ongeveer 3°C en 86%. Op het einde van de eerste testreeks werd een verhoogde overdruk opgelegd. De testwand was niet blootgesteld aan slagregen, waardoor een afzonderlijke analyse van de impact van convectief vochttransport mogelijk was.

1.2 RESULTATEN

1.2.1 THERMISCHE WEERSTAND

De werkelijke thermische weerstand werd bepaald op basis van de gemeten warmteflux q (W/m²) door de wand en de gemeten oppervlaktetemperaturen op het buiten- en binnenoppervlak θ (K) van de wand (in de '1D-zone'):

$$R = \frac{\theta_{se} - \theta_{si}}{q}$$

De thermische weerstand voor elk van de testwanden wordt weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Thermische weerstand

	Wand 'CaSi'	Wand 'MW+SVR'	Wand 'EPS'	Referentiewand
R [m ² K/W]	1.8	3.5	3.0	0.4

1.2.2 RELATIEVE VOCHTIGHEID

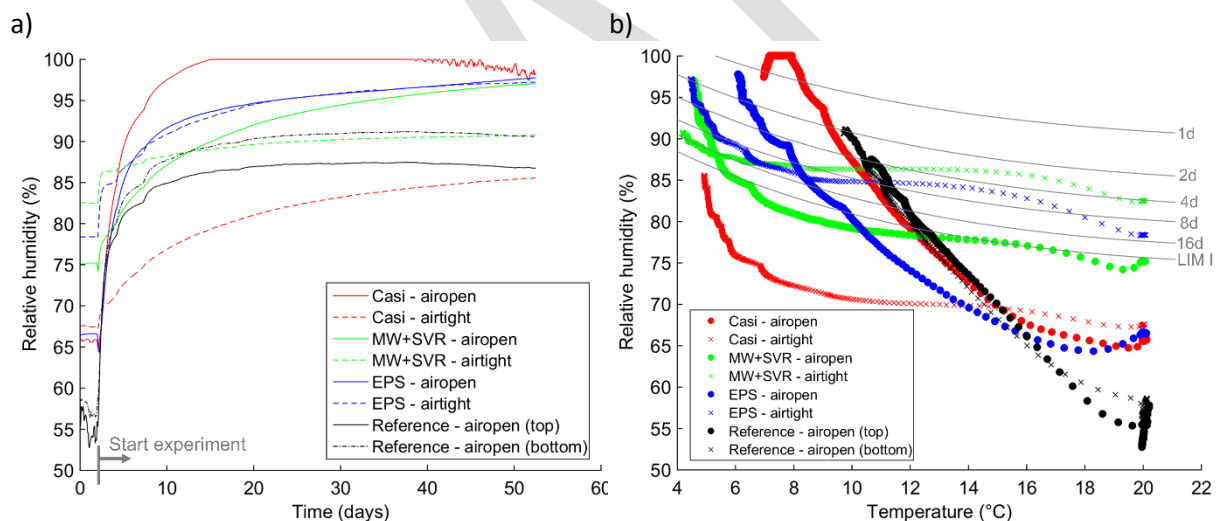
De relatieve vochtigheid is een belangrijke invloedsfactor bij schimmelgroei. Hoewel schimmelgroei in de constructie niet tot visuele schade leidt, dient toch de nodige aandacht besteed te worden aan het risico op schimmelgroei. Schimmelsporen zouden immers – vooral bij de luchtopen constructies – de binnenruimte kunnen bereiken en alsnog gezondheidsissues met zich meebrengen. Bovendien kan schimmelgroei optreden als een initiator voor houtrot.

Figuur 8a geeft de relatieve vochtigheid achteraan de zijkant van de houten balken weer. De relatieve vochtigheid bij de configuraties waarbij geen aandacht besteed werd aan de luchtdichtheid is hoger of (in geval van het EPS-systeem) gelijk aan deze opgemeten bij de luchtdichte configuraties. Merk echter op dat de initiële relatieve vochtigheid bij de configuraties zonder luchtdichte afdichting lager ligt dan bij de luchtdichte configuraties, waardoor de toename in relatieve vochtigheid bij de configuraties waarbij geen aandacht besteed werd aan de luchtdichtheid telkens groter is dan bij de luchtdichte configuraties. De impact van een luchtdichte afdichting is het meest uitgesproken voor de wand met calcium silicaat. Zonder luchtdichte afdichting wordt de hoogste relatieve vochtigheid bekomen. Wanneer daarentegen een luchtdichte afdichting wordt toegepast, wordt de laagste relatieve vochtigheid bekomen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze lage relatieve vochtigheid bekomen werd bij een constructie waarbij de opening tussen calcium silicaat en de houten balk werd

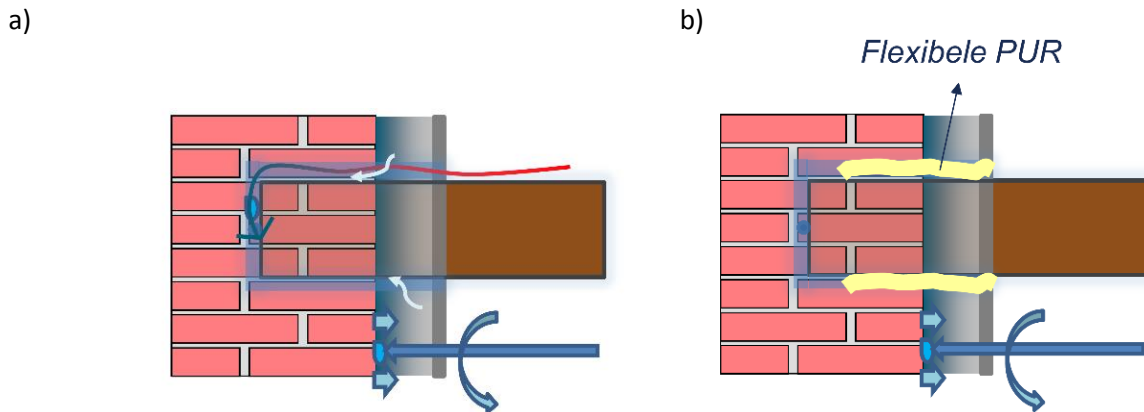
opgespoten met een flexibel PUR-schuim. Op deze manier wordt mogelijks ook vochttransport vanuit de calcium silicaat plaat en de lijm mortel naar de luchtholte vermeden (Figuur 9).

De impact van een luchtdichte afdichting is tevens duidelijk zichtbaar wanneer de temperatuur en relatieve vochtigheid samen worden geplot (Figuur 8b). Bij de configuraties zonder luchtdichte afdichting wordt een steilere helling van de curves waargenomen. Uitzondering hierop vormt de curve van de minerale wol zonder luchtdichte afdichting. Hierbij is de steilere helling slechts zichtbaar bij lage temperatuur (rond 6°C). De relatief vlakke curve boven 6°C bij deze configuratie kan verklaard worden doordat de (zachte) minerale wol makkelijker aansluit op de houten balken en bijgevolg convectief vochttransport gedeeltelijk belemmert.

Om een zicht te krijgen op het risico op schimmelgroei kunnen deze T/RV-curves geplot worden op Sedlbauer's germination isopleths [10]. Sedlbauer's germination isopleths geven voor de verschillende T/RV-combinaties de tijd weer alvorens - bij de desbetreffende condities - de ontkieming van schimmelsporen optreedt. Bij de configuratie met calcium silicaat en een luchtdichte afdichting wordt voorspeld dat geen risico op schimmelgroei zal optreden. Door de steile helling van de curves behorende bij de configuraties zonder luchtdichte afdichting vallen deze al snel in de zone met risico op schimmelgroei. Merk echter op dat de curves behorende bij de wanden met minerale wol en EPS en met een luchtdichte afdichting reeds bij aanvang – t.g.v. een lager drogingspotentieel in de periode voor het opstarten van het experiment – in een risicovolle zone liggen.

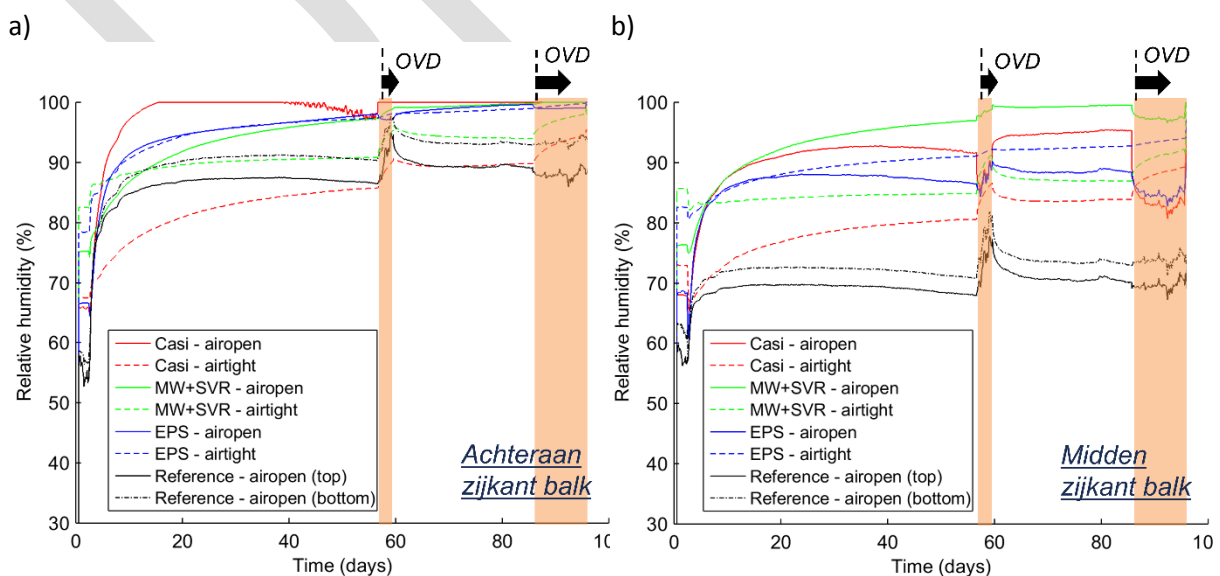


Figuur 8. Relatieve vochtigheid achteraan de zijkant van de houten balk: (a) in functie van de tijd, (b) in functie van de opgemeten temperaturen en geplot op Sedlbauer's isopleten (in figuur b zijn de condities opgemeten bij aanvang van het experiment rechts in de figuur terug te vinden, naarmate het experiment vordert verlaagt de temperatuur en bevinden de meetpunten zich in de linkerzone van de figuur).



Figuur 9. Schematische voorstelling van de (a) luchtopen en (b) luchtdichte configuratie bij de wand met calciumsilicaat (de exacte indringingsdiepte van het PUR-schuim is niet gekend).

Figuur 10 geeft het verloop van de relatieve vochtigheid achteraan (a) en in het midden (b) van de zijkant van de balk weer, inclusief de periodes met een verhoogde overdruk. Tijdens de eerste test met verhoogde overdruk werd t.g.v. labo-problemen vochtiger lucht in de box getrokken, waardoor ook rond de balken een verhoogde relatieve vochtigheid werd opgemeten. Tijdens de tweede test met verhoogde overdruk werd lucht op een relatieve vochtigheid ongeveer gelijk aan de relatieve vochtigheid in de hot box binnengesuigd. Doordat de relatieve vochtigheid tegen de achterzijde van de zijkant van de houten balken reeds tegen 100% lag is de impact van een toename van de overdruk in de hot box niet duidelijk zichtbaar hier. Op andere posities op de houten balken (zie bv. Figuur 10b) werd een kleine toename in de relatieve vochtigheid waargenomen wanneer een luchtdichte afdichting aanwezig was. Bij de configuraties zonder luchtdichte afdichting werd een daling in relatieve vochtigheid waargenomen. Deze daling is het gevolg van de toename in de temperatuur t.g.v. de verhoogde overdruk (zie sectie 1.2.4). Voor zowel de configuraties met als zonder een luchtdichte afdichting wordt een toename van de dampdruk ter plaatse van de balkkoppen waargenomen na het verhogen van de overdruk in de hot box (niet getoond).



Figuur 10. Relatieve vochtigheid (a) achteraan de zijkant en (b) in het midden van de zijkant van de balk: testen verhoogde overdruk.

1.2.3 VOCHTGEHALTE

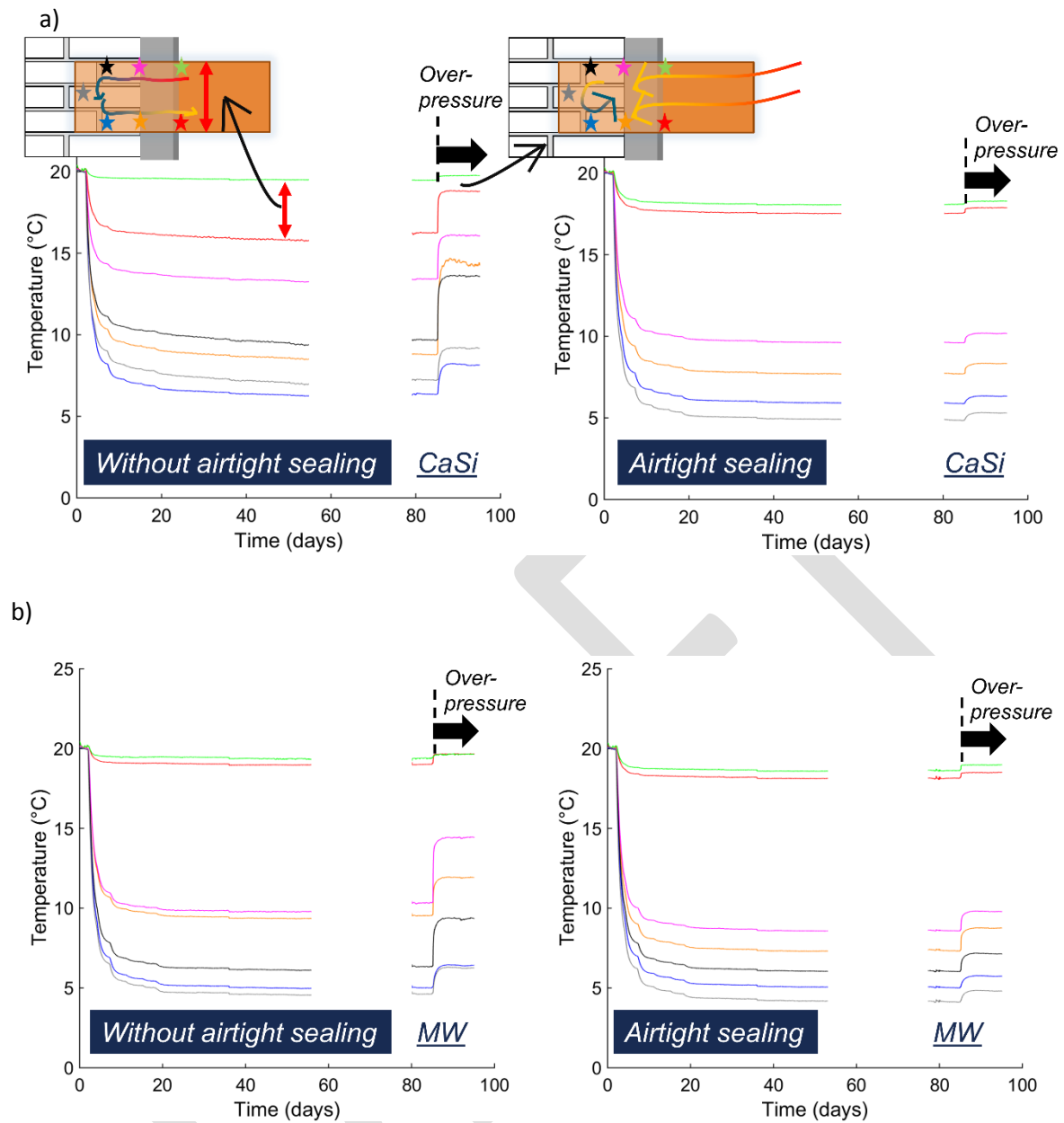
Het vochtgehalte opgemeten met de vochtspinnen wordt weergegeven in Tabel 3. De wand geïsoleerd met calcium silicaat en voorzien van een luchtdichte afwerking (met PUR-schuim) vertoont het laagste vochtgehalte. Wanneer geen luchtdichte afdichting voorzien wordt, levert calcium silicaat echter het hoogste vochtgehalte op. Bij de dampdichte systemen is de impact van de afdichting minder uitgesproken. Volgens de richtlijnen dient het vochtgehalte lager dan 20% gehouden te worden om houtrot te vermijden [11, 12]. In een aantal gevallen wordt dit criterium (bijna) overschreden.

Tabel 3. Vochtgehalte op het uiteinde van de balkkoppen op het einde van het standaard experiment en op het eind van het experiment met verhoogde overdruk

Wand	Vochtgehalte (%) op dag 54		Vochtgehalte (%) op het einde van de test me verhoogde overdruk	
	Zonder luchtdichte afdichting	Met luchtdichte afdichting	Zonder luchtdichte afdichting	Met luchtdichte afdichting
Wand 'CaSi'	19.8	13.1	23.8	15.7
Wand 'MW + SVR'	15.5	14.8	17.5	17.0
Wand 'EPS'	18.9	18.4	19.8	20.3
Referentiewand	15.8 (onder) – 14.7 (boven)	/	16.5 (onder) – 15.4 (boven)	/

1.2.4 TEMPERATUUR

Figuur 11 toont de temperaturen opgemeten tegen de houten balken opgelegd in de wand met calcium silicaat en in de wand met minerale wol. Bij de wand met calcium silicaat en zonder luchtdichte afdichting is er een duidelijk verschil tussen de temperaturen bovenaan en onderaan de zijkant van de houten balk zichtbaar. Lucht op kamertemperatuur lijkt via de luchtpouw langs de bovenzijde van de houten balk de wand binnen te dringen, koelt vervolgens achter de isolatie af en stroomt onderaan de balk terug de kamer binnen. Merk op dat deze lagere temperatuur aan de onderzijde (van de zijkant) van de balk op het binnenoppervlak voor een verhoogd risico op schimmelgroei kan zorgen. Bij de wand met minerale wol - welke beter aansluit tegen de houten balken - en bij de configuraties met een luchtdichte afdichting is dit fenomeen, duidend op inwendig convectieve luchtstroming, minder uitgesproken. Wanneer de overdruk in de hot box verhoogd wordt, treden dieper in de wand geïsoleerd met minerale wol en zonder luchtdichte afdichting echter convectie loops (aangeduid door het grotere temperatuurverschil) op. Dit fenomeen lijkt wanneer geen luchtdichte afdichting aanwezig is ook op te treden in de zone van de balk gelegen achter de calcium isolatie. In de zone van de binnenisolatie daarentegen stemmen bij de configuratie met calcium silicaat zonder luchtdichte afdichting na het verhogen van de overdruk de temperatuur boven- en onderaan de balk beter overeen. Het gedrag bij de wand met het EPS-systeem is gelijkaardig aan de resultaten voor de wand met calcium silicaat (niet getoond).



Figuur 11. Temperatuur op de houten balken opgelegd in (a) de wand met calcium silicaat en (b) de wand met minerale wol.

1.3 CONCLUSIES EN BEMERKINGEN

In een hot box-cold box experiment werd het belang van een luchtdichte afdichting van de aansluiting met houten vloerbalken bestudeerd. Volgende conclusies kunnen afgeleid worden uit de metingen:

1. De (toename in) relatieve vochtigheid op de balken zonder luchtdichte afdichting is hoger dan op de balken met een luchtdichte afdichting. Een luchtdichte afwerking van de aansluiting tussen de wand en een houten balk is bijgevolg van uiterst belang.
2. De wand met een dampopen capillair actief binnenisolatiesysteem vertoont bij de afwezigheid van een luchtdichte afdichting het grootste risico op schimmelgroei en houtrot (terwijl dit het binnenisolatiesysteem met de laagste thermische weerstand is en de laagste initiële relatieve vochtigheid in de wand had). Bij een dampopen capillair actief binnenisolatiesysteem is een luchtdichte afwerking bijgevolg van uiterst belang.
3. De wand met een dampopen capillair actief binnenisolatiesysteem vertoont wanneer een luchtdichte afdichting in combinatie met flexibel PUR-schuim wordt toegepast de laagste relatieve vochtigheid op de houten balk. Merk echter op:
 - a. dat het opspuiten met PUR-schuim van de luchtholte rond de vloerbalk bij de toepassing van een dampopen capillair actief binnenisolatiesysteem niet de gebruikelijke gang van zaken is. De mogelijke impact van het opspuiten met PUR-schuim op dit resultaat wordt nog verder nagegaan in een tweede meetreeks.
 - b. dat de initiële relatieve vochtigheid bij de wand met calcium silicaat lager lag dan bij de wanden met een dampdicht systeem. De invloed hiervan zal via numerieke simulaties worden nagegaan in het H2020 RiBuild-project. Mogelijks is deze lagere initiële relatieve vochtigheid een intrinsieke eigenschap van het dampopen systeem (grotere drogingspotential).
c. het calcium silicaat systeem een lagere thermische weerstand heeft dan de overige geteste binnenisolatiesystemen.
4. De luchtopen balkaansluitingen bij de niet-geïsoleerde referentiewand leveren (ondanks hun lager initieel vochtgehalte!) volgens Sedlbauer's isopleten een hoger risico op schimmelgroei (vluggere initiële start) op dan de wand met een dampopen capillair actief binnenisolatiesysteem in combinatie met een luchtdichte afdichting (+ opgespoten met PUR-schuim). Merk op dat de niet-geïsoleerde referentiewand op het binnenoppervlak ook niet voorzien is van een pleisterlaag en dus ook het metselwerk niet luchtdicht is. Een gebrekkige luchtdichtheid van oude massieve metselwerk wanden kan zich echter ook in de praktijk voordoen.
5. Het drukverschil over de wand beïnvloedt het convectief vochttransport. Bij overdruk neemt de dampdruk op de balkkop toe. Door een temperatuurstijging bij de luchtopen constructies kan de relatieve vochtigheid wel dalen.

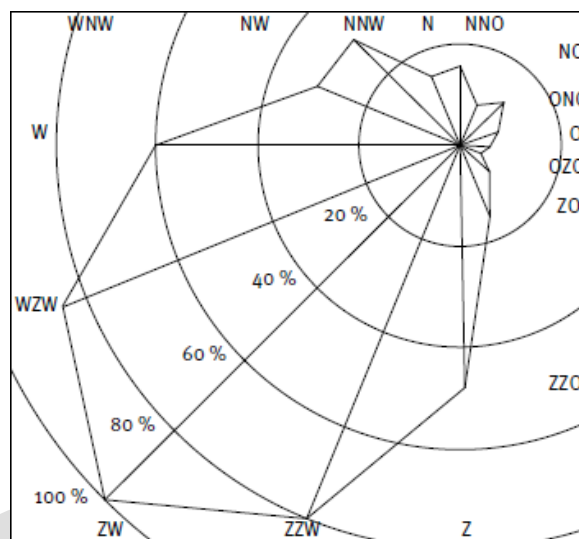
Merk ook op dat in het experiment het drukverschil over de verschillende wanden mogelijks niet volledig gelijk was, nl. minder overdruk bij de wanden langs de buitenkant van het middenstuk (Wand 'CaSi' en referentiewand). Voor de tweede meetreeks werd de testopstelling aangepast om een homogener luchtcirculatie in de cold box te bekomen en extra meetpunten voor de luchtdruk werden geplaatst.

Verder numeriek onderzoek zal worden uitgevoerd binnen het H2020 RiBuild-project om de invloed van het initiële vochtgehalte in de wand, het verschil in thermische weerstand, de invloed van (dynamische) randvoorwaarden, enz. na te gaan.

DRAFT

2 INVLOED VAN REGENBELASTING (WTCTB)

Vochtproblemen bij ingemetste houten balken zijn vaak te wijten aan slagregen. De blootstelling van een gevel aan slagregen hangt af van zijn oriëntatie (Figuur 12). In België ondervinden zuidwest georiënteerde muren het meeste regen, terwijl dit bij gevels die gericht zijn naar het noorden of oosten veel minder is. Voor oriëntaties die in principe vaak aan regen blootgesteld worden, kan de hoeveelheid regen op de gevel toch beperkt zijn omdat hij beschermd is door bijvoorbeeld omliggende bomen, naastliggende hoge gebouwen of een voldoende grote overstek van het dak of terras.



Figuur 12: Relatief belang van slagregens in functie van de oriëntatie

2.1 TESTOPSTELLING

Om deze problematiek te onderzoeken, wordt er op het proefstation van het WTCTB te Limelette een testgebouw gebruikt, bestaande uit twee identieke naast elkaar liggende kamers (Figuur 13). In de openingen wordt een muur gebouwd waarin houten balken zijn ingemetst. Aan de binnenzijde van de wand worden verschillende isolatiesystemen geplaatst.

De muren hebben een dikte van anderhalf steens metselwerk, wat overeenkomt met een dikte van ongeveer 30 cm. Deze dikte is terug te vinden in de meeste Vlaamse gezinswoningen. Er worden recuperatiestenen gebruikt om een muur na te bootsen die ook in een oud gebouw aanwezig zou kunnen zijn.

Het binnenklimaat van de kamers wordt gecontroleerd door een klimaatinstallatie. De buitenzijde van de wand is onderworpen aan het werkelijk buitenklimaat. De wanden zijn ZZW-georiënteerd en zijn dus onderhevig aan veel regen.

Voor het ontwerp van de testopstelling zijn een aantal ontwerpkeuzes gemaakt, waarbij telkens werd getracht om representatief te zijn voor een gemiddelde Vlaamse gezinswoning om op die manier het toepassingsgebied zo breed mogelijk te houden. Via een monitoringsysteem worden de geteste opstellingen grondig geanalyseerd.



Figuur 13: Testopstelling op het proefstation van het WTCB, bestaande uit twee kamers waarin verschillende testwanden gebouwd werden. De wanden zijn onderworpen aan de buitenomstandigheden.

2.1.1 HOUTEN BALKEN

De uitvoering en detaillering van de houten balken in het metselwerk wordt zodanig gekozen dat deze zoveel mogelijk overeenstemt met wat in oude gebouwen terug te vinden is. Hierbij zijn de volgende drie ontwerpkeuzes belangrijk.

Ten eerste wordt **de diepte van de houten balken in de structuur gelijk gesteld aan 9 cm**. Voor gewone woningen werden de balken doorgaans niet meer dan 10 cm opgelegd. Aangezien de breedte van de kopse kant van een typische baksteen 9 cm bedraagt, is het zeer waarschijnlijk dat deze afmeting vaak als oplegdiepte werd toegepast. Er zal een groter risico op houtrot zijn indien de houten balken dieper in het metselwerk zit, omdat de balk dichterbij het buitenoppervlak zit [13, 14]. Een balk die dieper in het metselwerk zit, heeft daarentegen wel meer materiaal beschikbaar dat mag rotten voor er structureel schade optreedt.

Ten tweede wordt **de voeg tussen het metselwerk en de balk (ongeveer 1 cm breed) ofwel opgevuld met mortel ofwel open gelaten**. Op vlak van vochtbehouding zal de luchtvoeg gunstiger zijn omdat er een onderbreking gevormd wordt en water in het metselwerk dus niet rechtstreeks de balk kan bereiken. Daarom zijn er al in de 15^e eeuw richtlijnen terug te vinden die een luchtvoeg aanraden [15]; ook huidige richtlijnen raden dergelijke onderbreking aan [6]. In de praktijk wordt echter vaak een makkelijker uit te voeren mortelvoeg teruggevonden (zie Figuur 14).

Ten slotte wordt **de voeg tussen de binnenisolatie en de balk enerzijds wel en anderzijds niet luchtdicht afgewerkt**. In hoofdstuk 1 werd het belang van een luchtdichte afwerking in labo-omstandigheden aangetoond. Via deze testopstelling wordt de overeenkomst onder werkelijke omstandigheden onderzocht.

Bijzondere uitvoeringen, zoals de *fire cut joist end* (schuin afgesneden balkuiteinde, waardoor het metselwerk niet opgetild en beschadigd wordt indien de balk ten gevolge van een brand bezwijkt) en de oplegging van de houten balk op een strijkbalk, worden buiten beschouwing gelaten door de beperkte plaats in de testopstelling en omdat ze hygrothermisch minder interessant zijn.



Figuur 14: Foto's uit bestaande woningen, waar de voeg tussen balk en metselwerk opgevuld is met mortel.



Figuur 15: Luchtvoeg (boven) en mortelvoeg (onder) bij opbouw van muren in de testopstelling

2.1.2 TEST CELL 1

In de eerste testkamer, Test Cell 1, worden vier wanden getest. Elke wand heeft drie balkkoppen ingemetst, die telkens op een andere manier worden uitgevoerd (zie paragraaf 0), namelijk:

- een mortelvoeg met een luchtdichte afwerking;
- een mortelvoeg zonder bijkomende aandacht aan de luchtdichtheid;
- een niet-gevulde voeg met een luchtdichte afwerking.

De niet-gevulde voeg zonder bijkomende aandacht aan de luchtdichtheid wordt dus niet onderzocht in deze testopstelling. Deze situatie, waar luchtconvectie rond het balkeinde mogelijk is, wordt uitgebreid bestudeerd in de testopstelling van de KU Leuven (zie hoofdstuk 1).

De volgende paragrafen verduidelijken hoe de vier wanden werden geïsoleerd. Een overzicht is terug te vinden in Tabel 4.

Tabel 4: Binnenisolatiesystemen gebruikt in Test Cell 1

Muur	Isolatie			Afwerking
	Materiaal	Dikte	Bevestiging	
1	Niet-geïsoleerd	-	-	-
2	EPS	8 cm	Gelijmd (doppen)	Gipsplaat
3	Minerale wol	5 cm	Regelwerk	Gipsplaat
4	Calciumsilicaat	10 cm	Gelijmd (vol)	Pleister

NIET-GEÏSOLEERDE MUUR (REF)

Door een muur niet te isoleren, kan telkens de voor en na binnenisolatie met elkaar vergeleken worden. De luchtdichtheid rond de balken is voor deze wand niet verzorgd, waardoor de bovenste en middelste balk op dezelfde manier zijn uitgevoerd. Dit laat toe om na te gaan of er een invloed is in de hoogte.

GEËXPANDEERD POLYSTYREEN (EPS)

Het binnenisolatiesysteem op basis van met grafiet verbeterd (grijs) EPS kan met een μ d-waarde van ongeveer 5 m beschouwd worden als een dampdicht systeem. Hierdoor zal inwendige condensatie (meestal) niet plaatsvinden, maar de muur zal ook niet naar de binnenzijde kunnen drogen.

Het isolatiesysteem is een sandwichplaat bestaande uit EPS met een gipskartonplaat. Het materiaal wordt op de muur gekleefd door een gipspleister in stroken en doppen op de isolatieplaat aan te brengen (Figuur 16).

De luchtdichtheid rond de houten balken wordt voorzien door PUR-schuim.



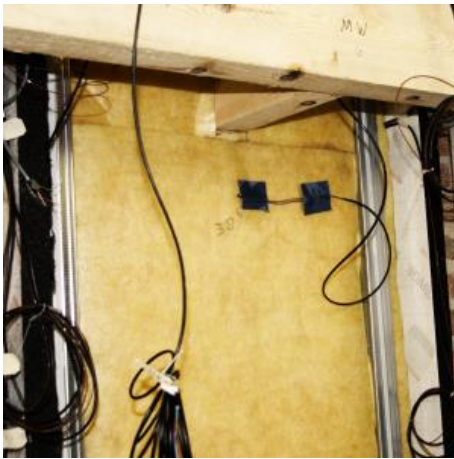
Figuur 16: Geprefabriceerd binnenisolatiesysteem op basis van een grijs EPS, gelijmd op de muur met een gipslijm

MINERALE WOL MET VOCHTVARIABEL DAMPSCHERM (MW)

Minerale wol is een dampopen en niet-hygroscopisch materiaal. Zonder dampscherm zou er dan ook inwendige condensatie ontstaan. In dit geval werd gekozen voor een vochtvariabel dampscherm, waarvan de μ d-waarde varieert naargelang de relatieve vochtigheid rond het scherm. In de winter zal het scherm eerder dampdicht zijn, waardoor inwendige condensatie wordt vermeden op het moment dat het risico het grootst is. In de zomer zal het dampscherm eerder dampopen zijn, waardoor de muur naar binnen toe kan uitdrogen.

Het isolatiemateriaal wordt geplaatst tussen een metalen stijl- en regelwerk. Om koudebruggen te beperken, worden de profielen op een bepaalde afstand van de muur geplaatst. Het geheel wordt afgewerkt met gipskartonplaten.

De luchtdichte aansluiting wordt voorzien door met een luchtdichte tape de balk met het dampscherm te verbinden (Figuur 18).



Figuur 17: Minerale wol tussen metalen stijl- en regelwerk



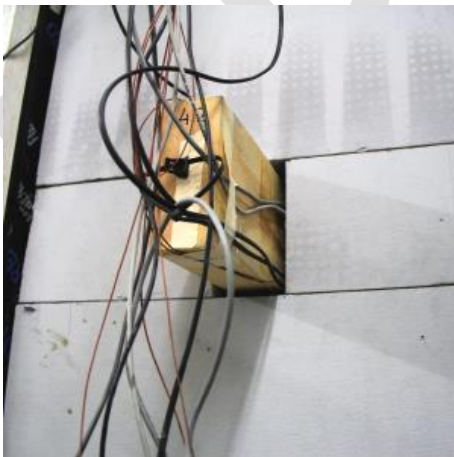
Figuur 18: Luchtdichte afwerking rond balk met tape

CALCIUMSILICAAT (CASI)

Calciumsilicaat is een dampopen capillair actief isolatiemateriaal. De muur zal naar binnen toe kunnen uitdrogen, terwijl inwendige condensatie vermeden wordt doordat vocht in de poriën van het materiaal geabsorbeerd wordt. Het materiaal wordt volvlakkig met een lijm mortel op de muur gekleefd en afgewerkt met een dampopen pleisterlaag (Figuur 19).

Het werkingsprincipe van dit capillair actief materiaal werd reeds grondig bestudeerd in het syntheserapport D3-3 'Innovatie voor gevelrenovatie' van dit project en in ander wetenschappelijk onderzoek. Hun prestaties in combinatie met houten vloerbalken is echter nog onzeker.

De luchtdichtheid rond de houten balken wordt voorzien door PUR-schuim.



Figuur 19: Binnenisolatiesysteem op basis van het capillair actief calciumsilicaat, afgewerkt met een dampopen pleisterlaag.

2.1.3 TEST CELL 2

In de tweede Test Cell worden in totaal zeven verschillende wanden getest met houten balken, die onderverdeeld kunnen worden in drie groepen: innovatieve isolatiematerialen, preventieve maatregelen en bijzondere situaties.

Tabel 5: Binnenisolatiesystemen gebruikt in Test Cell 2

	Isolatie				Afwerking	Opmerking
	Materiaal	Dikte	λ (W/m.K)	Bevestiging		
1	Aerogel	4 cm	0.016	Gelijmd (vol)	Pleister	-
2	Geëxpandeerd perliet	10 cm	0.045	Gelijmd (vol)	Pleister	-
3	Cellenbeton	10 cm	0.045	Gelijmd (vol)	Pleister	Hennepstrook rond balk
4	EPS	8 cm	0.032	Gelijmd (doppen)	Gipsplaat	Balk bevestigd met muuranker
5	EPS	8 cm	0.032	Gelijmd (doppen)	Gipsplaat	Waterwerende behandeling
6	EPS	8 cm	0.032	Gelijmd (doppen)	Gipsplaat	Geen isolatie tussen balken
7	EPS	8 cm	0.032	Gelijmd (doppen)	Gipsplaat	Dunnere isolatie tussen balken

2.1.3.1 INNOVATIEVE ISOLATIEMATERIALEN

Als innovatieve materialen wordt enerzijds een superisolerend en anderzijds twee capillair actieve materialen onderzocht.

AEROGEL (AERO)

Aerogel is een nanoporeus materiaal, waardoor de λ -waarde lager is dan de meeste materialen. Voor eenzelfde warmteweerstand, wordt er slechts de helft van de dikte van de EPS-isolatie gebruikt. Het verlies aan binnenruimte voor dit superisolerend materiaal is dus kleiner.

Het materiaal is dampopen, maar niet capillair actief. Via diffusie kan vocht dus doorheen het materiaal stromen. De lijmortel, die gebruikt wordt om het materiaal tegen de muur te kleven, is ontworpen om dit vocht op te nemen en terug af te geven als de binnenruimte droger is. De pleisterlaag van het isolatiesysteem is dampopen.

Een dampdichte tape en band met een gesloten cellenstructuur verzekeren de luchtdichte aansluiting en de ont koppeling tussen het isolatiemateriaal en de houten balk (Figuur 21).



Figuur 20: Binnenisolatiesysteem op basis van aerogel. Door de zeer gunstige λ -waarde kan er zelfs met een zeer dunne plaat een goede warmteweerstand bereikt worden.

GEËXPANDEERD PERLIET (PERL)

Geëxpandeerd perliet is een mineraal en capillair actief isolatiemateriaal. De muur zal naar binnen toe kunnen uitdrogen, terwijl inwendige condensatie vermeden wordt doordat vocht in de poriën van het materiaal geabsorbeerd wordt. Het materiaal wordt volvlakkig met een lijmortel op de muur gekleefd en afgewerkt met een dampopen pleisterlaag (Figuur 22).

Een dampdichte tape en band met een gesloten cellenstructuur verzekeren de luchtdichte aansluiting en de ont koppeling tussen het isolatiemateriaal en de houten balk (Figuur 21).



Figuur 21: Luchtdichte uitvoering via tape en band



Figuur 22: Binnenisolatiesysteem op basis van geëxpandeerd perliet

CELLENBETON (CEL)

Cellenbeton is een materiaal dat reeds lange tijd gekend is als isolerende bouwblok. Door het hoger aantal poriën is de λ -waarde veel lager dan de traditionele bouwblokken en kan het als volwaardig isolatiemateriaal gebruikt worden. Het is bovendien capillair actief, waardoor de muur kan uitdrogen en inwendige condensatie vermeden wordt. De isolatie wordt volvlakig tegen de muur gelijmd en afgewerkt met een dampopen pleisterlaag.

Rond de houten balk wordt een hennepstrook geplaatst. Dit dampopen materiaal zorgt voor een ontkoppeling en een luchtdichte afwerking (Figuur 23).



Figuur 23: Cellenbeton als binnenisolatie, met hennepstrook rond de balk

2.1.3.2 PREVENTIEVE MAATREGELEN

De tweede groep muren wordt voorzien van een preventieve maatregel met als doel om het vochtgehalte van de balk te doen dalen. Hierbij wordt telkens geïsoleerd met EPS. Omdat dit isolatiemateriaal ook werd getest in Test Cell 1, kan de specifieke invloed van de maatregel onderzocht worden.

WATERWERENDE OPPERVLAKTEBEHANDELING

Een waterwerende oppervlaktebehandeling aan de buitenkant van het metselwerk vermindert aanzienlijk de wateropname van het metselwerk [16]. Deze oplossing wordt vaak als gunstig alternatief gezien om binnenisolatie toe te passen in combinatie met vloerbalken, zeker indien deze gevels onderworpen zijn aan hevige regen [4, 5, 17, 18].

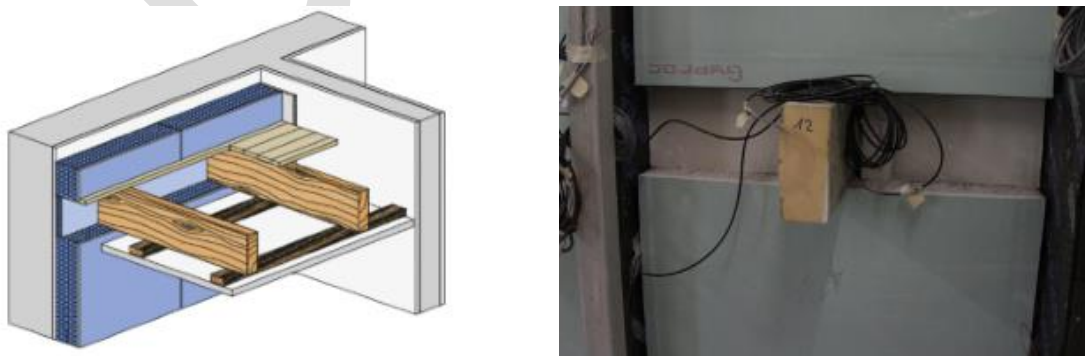


Figuur 24: Aanbrengen van waterwerende oppervlaktebehandeling (links) zorgt dat de waterabsorptie daalt (druppelvorming op het oppervlak, rechts)

LAGERE ISOLATIEDIKTE TER NAAST DE HOUTEN BALKEN

Een lagere isolatiedikte ter plaatse van de houten balken zal de temperatuur ter plaatse van het balkuiteinde verhogen, waardoor deze plaats sneller kan uitdrogen. De precieze invloed is echter nog onvoldoende bestudeerd.

In de testopstelling wordt naast de houten balk een isolatieplaat uit XPS met een dikte van 2 cm geplaatst (Figuur 25).



Figuur 25: Door de dunnere isolatie naast de balken is de balk plaatselijk warmer

2.1.3.3 BIJZONDERE UITVOERINGEN

De laatste groep wordt voorzien van twee bijzondere uitvoeringen. Ook deze wanden zijn geïsoleerd met EPS.

MUURANKER

De tot nu toe onderzochte balken ontlenen hun draagvermogen doordat ze voldoende diep ingemetseld zijn in het metselwerk. De balk kan ook met een muuranker verankerd worden (Figuur 26). Via de penetratie van het anker doorheen de muur, kan het vocht mogelijk makkelijker in de wand penetreren. Daarnaast zal het metalen anker ook een koudebrug vormen.



Figuur 26: Muuranker in oude woning

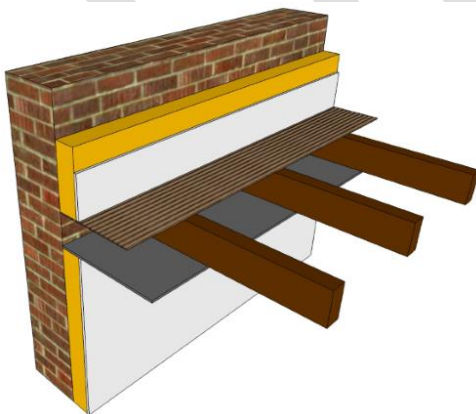


Figuur 27: Uitvoering van de muurankers in de testopstelling



GEEN ISOLATIE NAAST DE HOUTEN BALKEN

In sommige gevallen is het niet gewenst of mogelijk om de vloer en het plafond open te breken om er isolatie te plaatsen. In dergelijk geval zal er geen isolatie naast de balk kunnen worden voorzien en zal de luchtdichtheid niet verzekerd kunnen worden (Figuur 28).



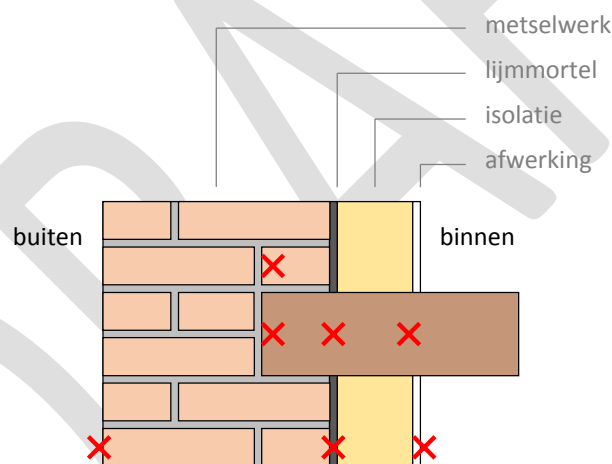
Figuur 28: Geen isolatie naast de balken, als men het plafond en de vloer niet wil of kan openbreken

2.1.4 SENSOREN

Een monitoringsysteem met verschillende sensoren wordt geïnstalleerd om een analyse uit te kunnen voeren op de testopstelling. Er worden drie grootheden gemeten: temperatuur, relatieve vochtigheid en vochtgehalte.

De temperatuur wordt met een thermokoppel (type T) gemeten, de relatieve vochtigheid met een capacitieve sensor. Het vochtgehalte in het hout wordt met *moisture pins* gemeten (twee naalden op een gekende afstand waarbij de elektrische weerstand wordt gemeten; deze weerstand is afhankelijk van het houtvochtgehalte), *moisture plugs* meten het vochtgehalte in het metselwerk (houten plugs waar opnieuw een elektrische weerstand wordt gemeten, die via de juiste conversies omgezet kan worden in het gezochte vochtgehalte).

Deze metingen worden aangevuld met een monitoring van het binnen- en buitenklimaat. In beide kamers wordt de temperatuur en de relatieve vochtigheid gemeten. Buiten wordt de regen- en zonintensiteit op de gevel gemeten. Andere meteorologische gegevens worden verkregen door middel van reeds lopende metingen op de site.



Figuur 29: Testopstelling met meetposities

2.2 METINGEN

In dit hoofdstuk worden alle meetresultaten weergegeven. Er wordt gekeken naar de invloed van de afwerking van de houten balken, het isolatiemateriaal, de preventieve maatregelen en de bijzondere situaties.

Het initieel vochtgehalte van sommige wanden is nog zeer hoog. Door dit vochtiger metselwerk zijn sommige balken vochtiger dan andere. Om te vermijden dat verkeerde conclusies getrokken zouden worden, zijn deze wanden uit de huidige versie van dit document weerhouden.

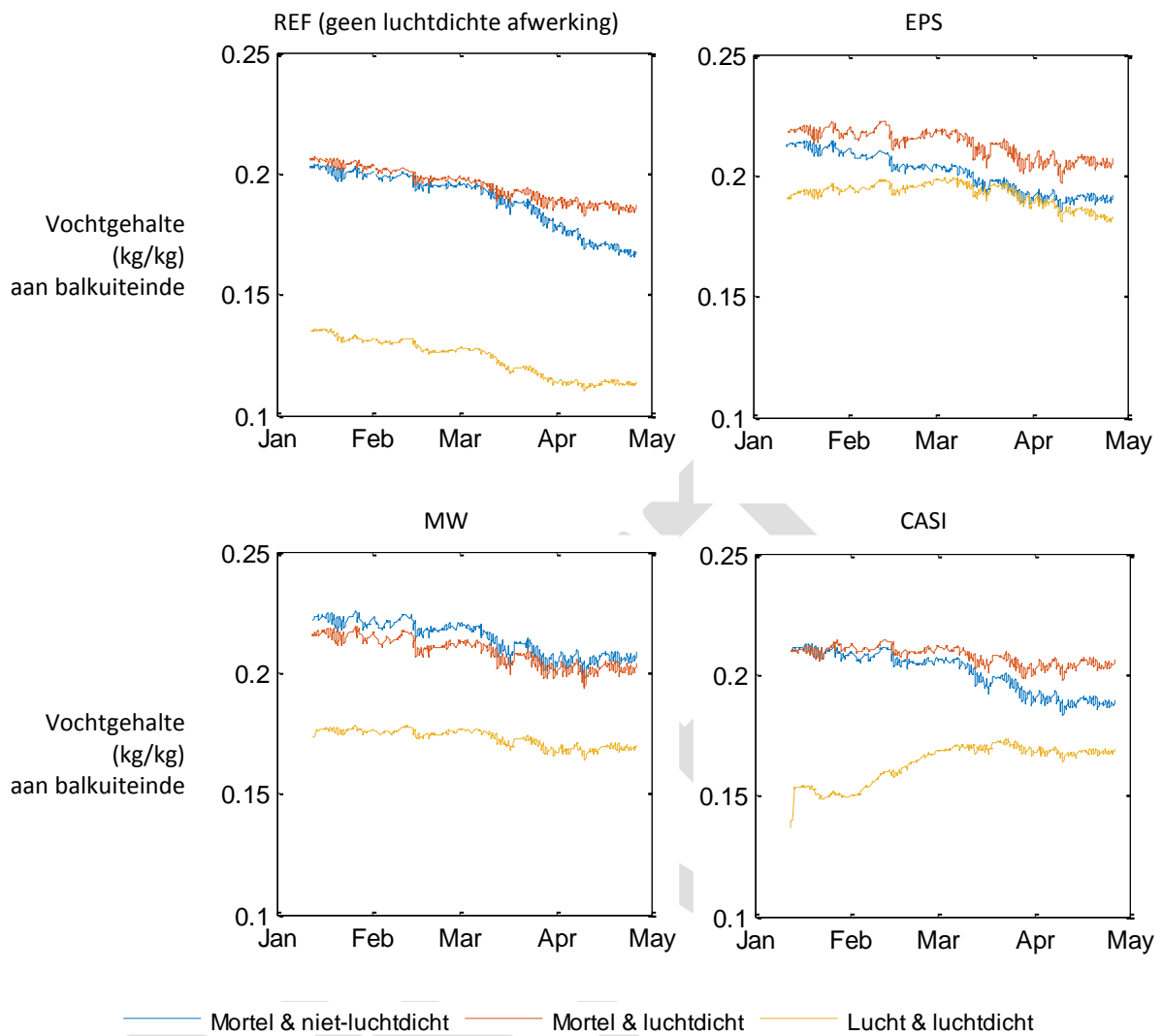
2.2.1 TYPE AFWERKING

Het al dan niet luchtdicht afwerken van de isolatie rond de houten balk heeft volgens de metingen slechts een beperkte invloed (Figuur 30). In de meeste gevallen is de balk van de luchtdichte afwerking zelfs iets vochtiger. De bovenste rij balken (niet-luchtdicht) zijn door de aanwezigheid van de dakgoot vermoedelijk iets minder onderworpen aan slagregen. Voor niet-geïsoleerde wand zijn de twee mortelvoegen namelijk niet-luchtdicht afgewerkt en ook hier is een gelijkaardig verloop terug te vinden.

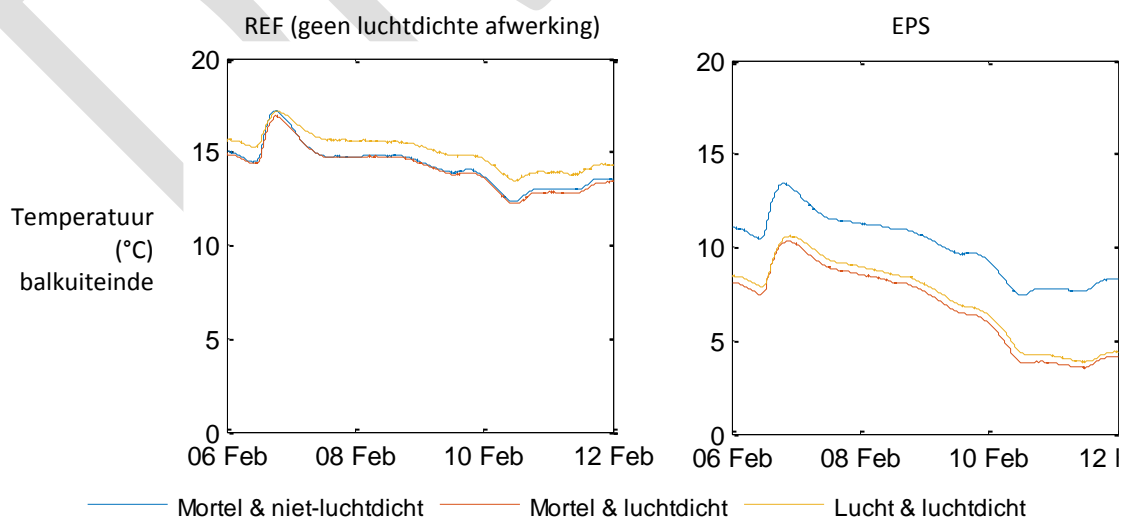
Het is echter belangrijk om telkens een luchtdichte aansluiting te voorzien. Doordat de voegen gevuld zijn met mortel, kan er in dit geval geen convectie ontstaan rond het balkuiteinde en moet vochtige lucht dus via diffusie het balkuiteinde bereiken, wat veel trager verloopt. In werkelijkheid is het echter zeker mogelijk dat de voeg niet volledig gevuld is met mortel, waarbij de optredende convectiestroom weldegelijk een ongunstige impact heeft (zie onderzoek KU Leuven binnen dit rapport). Bovendien is de luchtdichtheid eveneens vereist om ongewenste convectiestromen achter de isolatielaag te vermijden.

De balk is duidelijk droger indien de voeg tussen balk en metselwerk niet opgevuld is met mortel. Dit is te verwachten, aangezien de lucht voor een capillaire onderbreking zorgt.

Het balkuiteinde wordt duidelijk veel kouder indien binnenisolatie wordt toegepast (Figuur 31). Voor de niet-geïsoleerde balk werd geen enkele balk luchtdicht afgewerkt, wat de hogere temperatuur voor de niet-ge vulde voeg verklaart. Voor de geïsoleerde wand resulteert een niet-luchtdichte afwerking in een duidelijk hogere temperatuur aan het balkuiteinde, ondanks dat de voeg opgevuld werd met mortel en er dus geen convectiestroom mogelijk is.



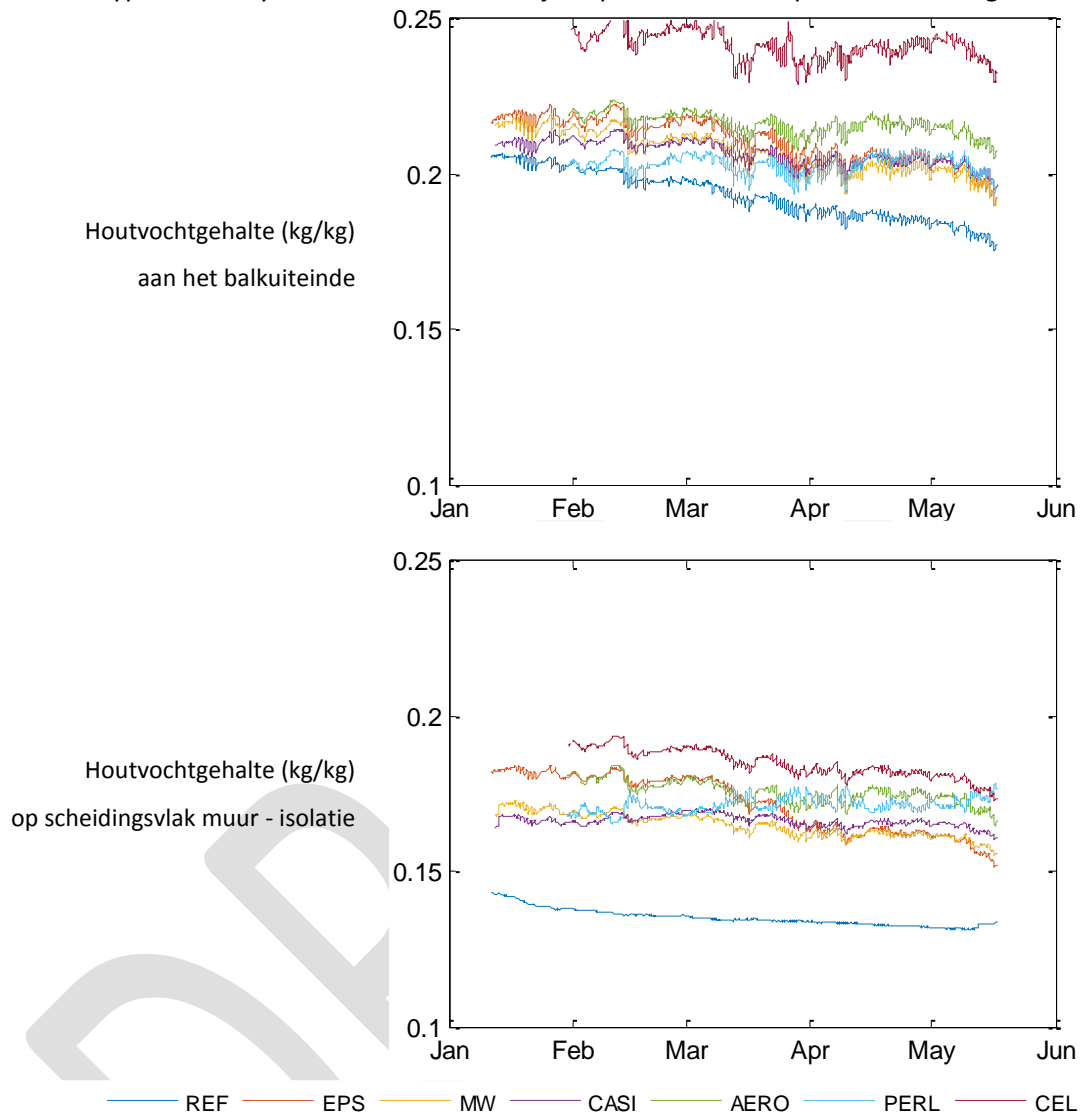
Figuur 30: Houtvochtgehalte aan het balkuiteinde voor de verschillende types afwerking. De balk is duidelijk droger indien de voeg tussen balk en metselwerk niet opgevuld is ("Lucht").



Figuur 31: Temperatuur aan balkuiteinde

2.2.2 ISOLATIESYSTEEM

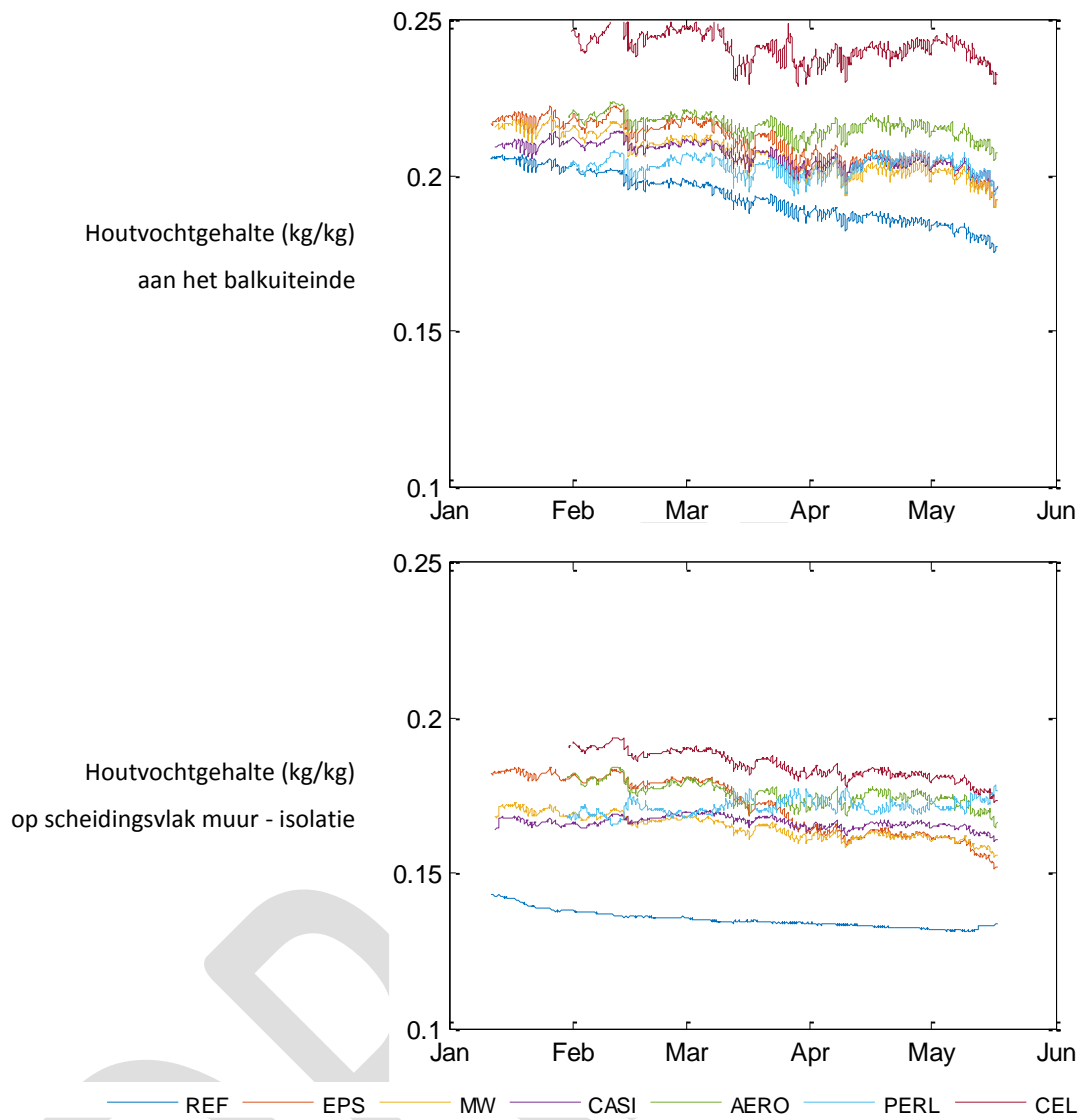
Het type isolatiesysteem heeft een redelijk beperkte invloed op het houtvochtgehalte (



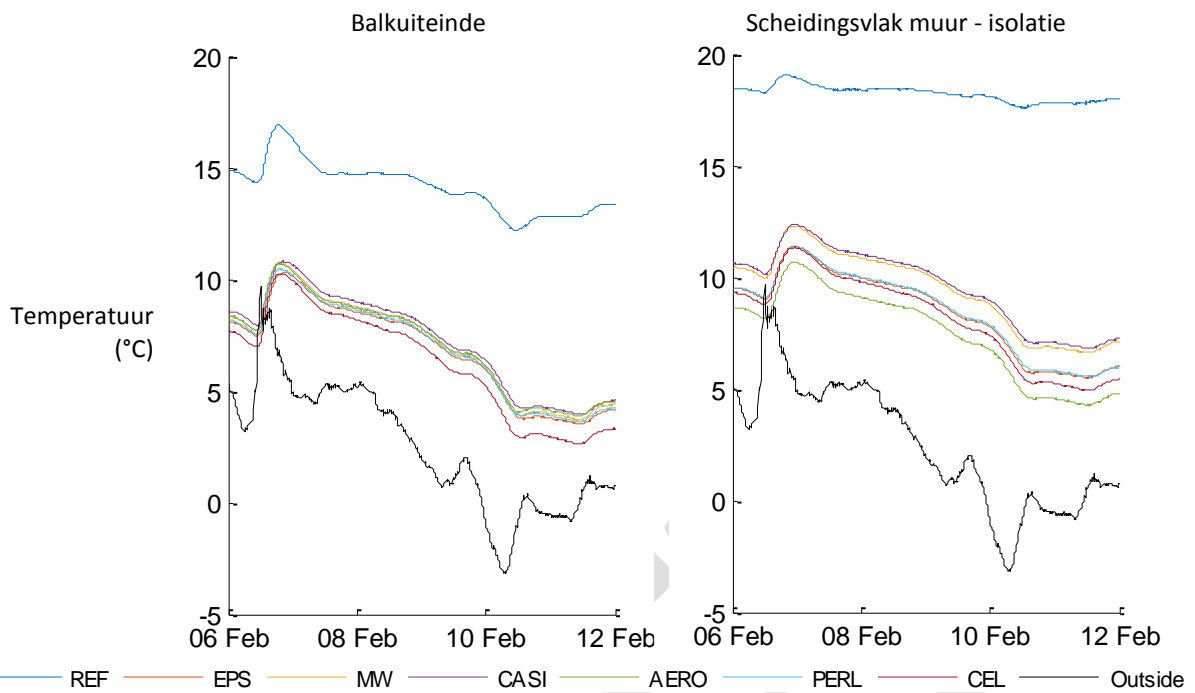
Figuur 32). De houten balk van de niet-geïsoleerde wand is duidelijk droger, maar de geïsoleerde wanden resulteren allen in min of meer hetzelfde vochtgehalte.

De houten balk in de wand met cellenbeton is vochtiger. Andere testen op dit materiaal toonden nochtans gunstige resultaten. De hogere waarden kunnen te verklaren worden door een hoog initieel vochtgehalte of een beperkte luchtdichtheid door de hennepstrook. De hogere waarden kunnen mogelijks te verklaren worden door een hoger initieel vochtgehalte, aangezien de droging op het einde van de meetperiode groter is dan die van de andere materialen.

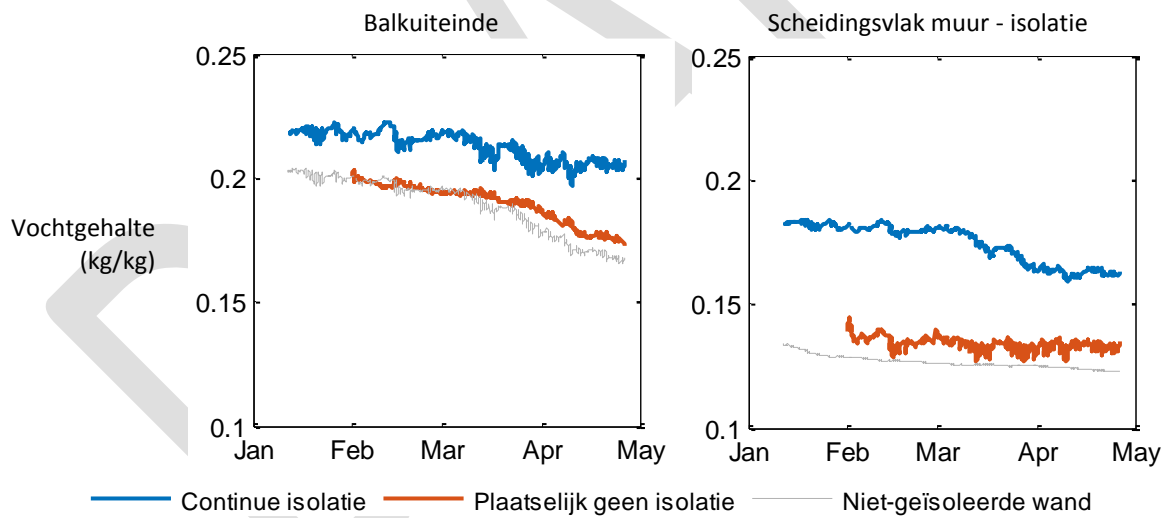
Het plaatsen van binnenisolatie heeft een grote invloed op de temperaturen rond de balk (Figuur 33). Ondanks redelijk koude buitentemperaturen tot onder het vriespunt, blijft de temperatuur aan het niet-geïsoleerde balkuiteinde ongeveer 15°C. Eens geïsoleerd zakt deze temperatuur sterk.



Figuur 32: Houtvochtgehalte voor verschillende isolatiematerialen, met een mortelvoeg en luchtdicht afgewerkt



Figuur 33: Temperatuur voor verschillende isolatiematerialen, met mortelvoeg en luchtdicht afgewerkt



Figuur 34: Houtvochtgehalte van de vloerbalken geïsoleerd met EPS, met een plaatselijke onderbreking van de isolatie

2.2.3 GEEN ISOLATIE NAAST BALK

Indien er geen isolatie naast de balk wordt geplaatst, is de houten balk duidelijk droger dan wanneer de isolatie continu doorloopt. Het vochtgehalte van het hout volgt hetzelfde verloop als de niet-geïsoleerde wand (Figuur 34).

Ondanks deze uitvoering niet-luchtdicht werd afgewerkt, is het ten stelligste aangeraden om de aansluiting telkens luchtdicht uit te voeren. Zoals reeds vermeld in paragraaf 2.2.1 is de invloed van de luchtdichte afwerking voor dit onderzocht geval beperkt, aangezien waterdamp enkel via het trage diffusieproces het balkuiteinde kan bereiken. In werkelijkheid kan deze voeg deels of niet gevuld zijn, waardoor convectiestroming mogelijk is het vochtgehalte zal stijgen.

Eerder wetenschappelijk onderzoek heeft reeds vermeld dat het plaatselijk weglaten van isolatie een gunstig effect kan hebben [3, 19, 20]. Deze observaties waren echter enkel gebaseerd op numerieke simulaties, zonder dit te koppelen aan metingen. Een meetcampagne [14] merkte zelfs geen significant verschil op tussen continue of discontinue isolatie. Deze meetcampagne kan duidelijk de observaties uit de numerieke simulaties bevestigen.

2.3 CONCLUSIE

Ingemetsde houten vloerbalken zijn over het algemeen vochtiger na het plaatsen van binnenisolatie. Tussen de verschillende isolatiematerialen is er een klein verschil. Bepaalde maatregelen hebben een gunstig effect op het houtvochtgehalte, bijvoorbeeld indien plaatselijk naast de balken niet wordt geïsoleerd.

Indien de voeg tussen de balkkop en het metselwerk niet gevuld is met mortel, dan is het vochtgehalte duidelijk lager dan wanneer deze voeg volledig gevuld is.

Het blijkt weinig invloed te hebben of de balk al dan niet luchtdicht wordt aangesloten op de isolatie, dit in tegenstelling tot het onderzoek uit hoofdstuk 1. De mortelvoeg zorgt er echter voor dat er geen convectiestroom kan optreden. In de werkelijke situatie is het te verwachten dat er toch (kleine) luchtholtes zijn. Het is dus aangewezen om de luchtdichte aansluiting te voorzien.

Bepaalde situaties zijn nog niet meegenomen in de huidige bespreking omdat de resultaten nog sterk beïnvloed zijn door het initieel vochtgehalte en deze aanleiding zouden kunnen geven tot foutieve conclusies. Een langere meetperiode is aangewezen.

3 GEZAMENLIJKE CONCLUSIE

Binnenisolatie heeft een invloed op het hygrothermisch gedrag van de uiteindes van houten vloerbalken. De metingen hebben aangetoond dat een vloerbalk voor isolatie risicovrij is, terwijl er na binnenisolatie een risico op houtrot is.

Luchtconvectorie rond de houten balk heeft een nadelig effect op het houtvochtgehalte. Daarom is het aangewezen om de houten balken luchtdicht aan te sluiten op (de luchtdichte laag van) de isolatie.

Het type isolatiemateriaal had een duidelijke invloed bij de metingen onder labo-omstandigheden (zonder regen). Deze invloed was veel kleiner bij de metingen onder werkelijke omstandigheden. Bij een hoge regenbelasting lijkt het type isolatiemateriaal een kleinere invloed te hebben, zoals ook teruggevonden werd in Deliverable D3-3 van dit project.

Bepaalde maatregelen hebben een gunstige invloed op het houtvochtgehalte, zoals het plaatselijk niet isoleren rond de vloerbalk. Andere maatregelen en situaties worden verder onderzocht.

REFERENTIELIJST

- [1] M. Bianchi Janetti, F. Ochs, and W. Feist, 'Assessment of the moisture risk in constructions including convection inside air cavities', presented at the 10th Nordic Symposium on Building Physics, Lund, Sweden, 2014, pp. 1037–1044.
- [2] G. A. Scheffler, 'Moisture problems at wooden beam ends after building renovation', presented at the Konference om strategi for lavenergirenovering, Hørsholm, Denmark, 2009.
- [3] M. Harrestrup and S. Svendsen, 'Full-scale test of an old heritage multi-storey building undergoing energy retrofitting with focus on internal insulation and moisture', *Building and Environment*, vol. 85, pp. 123–133, 2015.
- [4] D. Kehl, U. Ruisinger, R. Plagge, and J. Ruisinger, 'Wooden Beam Ends in Masonry with Interior Insulation - A Literature Review and Simulation on Causes and Assessment of Decay', presented at the 2nd Central European Symposium on Building Physics, Vienna, Austria, 2013.
- [5] Grenelle Environnement, *Evaluation des risques de pathologies liées à l'humidité au niveau des poutres encastées dans un mur extérieur isolé par l'intérieur*. 2013.
- [6] P. Steskens, X. Loncour, A. Acke, J. Wijnants, S. Roels, and E. Vereecken, *Binnenisolatie van buitenmuren*. Vlaams Energieagentschap, 2012.
- [7] E. Vereecken and S. Roels, 'Wooden beam ends in combination with interior insulation: the importance of an airtight sealing.', presented at the 11th Nordic Symposium on Building Physics, Trondheim, Norway, 2017.
- [8] J. Langmans, R. Klein, and S. Roels, 'Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation', *Building and Environment*, vol. 56, pp. 192–202, 2012.
- [9] P. Dietsch, S. Franke, B. Franke, A. Gamper, and S. Winter, 'Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts', *Civil Structural Health Monitoring*, vol. 5, no. 2, pp. 115–127, 2015.
- [10] K. Sedlbauer, 'PhD Thesis: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen'. Universität Stuttgart, 2001.
- [11] C. G. Carll and T. L. Highley, 'Decay of wood and wood-based products above ground in buildings', *Journal of Testing and Evaluation*, vol. 27, no. 2, pp. 150–158, 1999.
- [12] 'WTA Merkblatt 6-5: Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren'. 2014.
- [13] T. De Mets, 'Thesis: Kan binnenisolatie veilig worden toegepast indien houten vloerbalken zijn opgelegd in de wand?', KU Leuven, Leuven, Belgium, 2015.
- [14] K. Ueno and J. W. Lstiburek, 'Field Monitoring of Embedded Wood Members in Insulated Masonry Walls in a Cold Climate', in *Proceedings of the BEST4 Conference*, Kansas City, Missouri, 2015.
- [15] C. B. Cestari and A. Di Lucchio, 'Interventions on historical building timber floors: Retractable - visible? Invasive - not visible? A case study', presented at the 3rd International Seminar on Historical Constructions, Guimarães, Portugal, 2001, pp. 837–846.
- [16] Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, *TV 224: Waterwerende behandelingen*. Brussels, Belgium: WTCB, 2002.
- [17] H. M. Künzel, Ed., 'Effect of interior and exterior insulation on the hygrothermal behavior of exposed walls', *Materials and Structures*, vol. 31, pp. 99–103, 1998.
- [18] E. Vereecken and S. Roels, 'Capillary active interior insulation: do the advantages really offset potential disadvantages?', *Materials and Structures*, vol. 48, no. 9, pp. 3009–3021, 2015.
- [19] M. Morelli and S. Svendsen, 'Investigation of interior post-insulated masonry walls with wooden beam ends', *Journal of Building Physics*, vol. 36, no. 3, pp. 265–293, 2013.

- [20] M. Morelli, G. A. Scheffler, T. R. Nielsen, and S. Svendsen, 'Internal insulation of masonry walls with wooden floor beams in northern humid climate', *Thermal performance of the exterior envelopes of whole buildings XI*, 2010.

DRAFT