



Vlaanderen
is erfgoed

Onderzoeksrapport

Broeikasgasreducties realiseren in erfgoedgebouwen

Resultaten van het Vlaams Klimaatfondsproject “Gespecialiseerde energieconsulenten voor Onroerend Erfgoed” (2015-2021)

Agentschap
Onroerend
Erfgoed

COLOFON

TITEL

Broeikasgasreducties realiseren in erfgoedgebouwen
Resultaten van het Vlaams Klimaatfondsproject “Gespecialiseerde energieconsulenten voor Onroerend Erfgoed” (2015-2021)

REEKS

Onderzoeksrapporten agentschap Onroerend Erfgoed nr. 258

AUTEURS

Michael De Bouw, Roel Hendrickx, Yves Vanhellemont,
Nathalie Vernimme

JAAR VAN UITGAVE

2023

Een uitgave van agentschap Onroerend Erfgoed Wetenschappelijke
instelling van de Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Omgeving
Published by the Flanders Heritage Agency Scientific Institution of the
Flemish Government, policy area Environment

VERANTWOORDELIJKE UITGEVER

Peter De Wilde

OMSLAGILLUSTRATIE

Voorgevel Huis Billiet na restauratie
Copyright WTCB

agentschap Onroerend Erfgoed
Havenlaan 88 bus 5
1000 Brussel
T +32 2 553 16 50
info@onroerenderfgoed.be
www.onroerenderfgoed.be

Dit werk is beschikbaar onder de Modellicentie Gratis Hergebruik v1.0.
This work is licensed under the Free Open Data Licence v.1.0.

Dit werk is beschikbaar onder een Creative Commons Naamsvermelding
4.0 Internationaal-licentie. Bezoek
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> om een kopie te zien van
de licentie.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution
4.0 International License. To view a copy of this license, visit
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

<https://doi.org/10.55465/MTOD9107>
ISSN 1371-4678
D/2023/3241/099



////////////////////////////////////

BROEIKASGAS- REDUCTIES REALISEREN IN ERFGOEDGEBOUWEN

Resultaten van het Vlaams
Klimaatfondsproject “Gespecialiseerde
energieconsulenten voor Onroerend
Erfgoed” (2015-2021)

////////////////////////////////////

MICHAEL DE BOUW , ROEL HENDRICKX , YVES VANHELLEMONT,
NATHALIE VERNIMME

3.7.4	VERWERKING VAN DE GEGEVENS: BEREKENING VAN U-WAARDES	172
3.7.5	VAN U-WAARDES NAAR ENERGIEBESPARING EN VERMINDERING VAN CO2-UITSTOOT	175
3.8	BESLUIT: VERGELIJKING GEREALISEERDE VERMINDERDE CO2-UITSTOOT MET DE DOELSTELLING UIT DE PROJECTAANVRAAG	178
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN M.B.T. MAATREGELEN VOOR CO2-REDUCTIE TOEGEPAST IN CASES EN PREMIEDOSSIER.....	179
4.1	DAKISOLATIE	179
4.2	ACHTERZET- OF VOORZETRAMEN	180
4.3	VERVANGING (OF HERSTEL) VAN RAMEN	180
4.4	VERVANGING VAN BEGLAZING.....	181
4.5	BINNENISOLATIE VAN MUREN.....	181
4.6	VLOERISOLATIE	182
4.7	LUCHTDICHTHEID EN VENTILATIE.....	183
4.8	HERNIEUWBARE ENERGIE	183
4.9	TOTALE CO2-UITSTOOT VAN EEN GERENOVEERDE ERFGOEDWONING	184



VOORWOORD

In 2013 kreeg het Agentschap Onroerend Erfgoed de vraag om -in het kader van het Vlaams klimaatfonds 2013-2014- projectvoorstellen in te dienen met het oog op broeikasgasreductie binnen het beleidsveld.

Een door het Agentschap voorgestelde en door de Vlaamse Regering gehonoreerde maatregel betrof het project “Gespecialiseerde energieconsulenten voor Onroerend Erfgoed”. Het project (afgekort weergegeven als “ErfgoedEnergieLoket”) beoogde bouwprofessionals uit de erfgoedsector op te leiden en te ondersteunen bij het verbeteren van de energieprestaties van erfgoedgebouwen. De basisfilosofie vertrok van een holistische benadering waarbij erfgoedwaarden, energetische efficiëntie en bouwfysische aspecten elkaar onderling beïnvloedden.

Het project ErfgoedEnergieLoket liep 82 maanden, van 2014 tot 2021. De uitvoering was in handen van het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB) – het huidige Buildwise - dat hiervoor een subsidie kreeg van 363.750 euro uit het Vlaams Klimaatfonds. Het Agentschap Erfgoed Vlaanderen was verantwoordelijk voor de inhoudelijke opvolging van de maatregel.

Onderhavig rapport bevat naast de te behalen indicatoren, ook de onderzoeksresultaten verbonden aan dit project. In het kader van het project werden immers 10 concrete cases van gebouwen waar energiebesparende maatregelen zijn toegepast, voor en na de ingrepen gemonitord. De maatregelen die in de opgevolgde cases werden toegepast, werden beoordeeld op bouwtechnische compatibiliteit, behoud van de erfgoedwaarden, potentieel voor energetische verbetering en comfortverbetering. Er werden op basis hiervan aanbevelingen voor de toekomst gegenereerd.

Daarnaast is ook de impactmeting opgenomen, uitgevoerd op basis van de cases, een enquête bij architecten renovatie en de analyse van gerealiseerde dossiers in het kader van een premie voor isolatie van daken en verbeteringswerken aan ramen in beschermde gebouwen. Op basis hiervan werden de potentiële besparingen aan primaire energie voor verwarming over alle erfgoedwoningen in het Vlaams Gewest geraamd.

Nathalie Vernimme
Adviseur Onderzoeksprogrammatie
Onroerend Erfgoed



1 BROEIKASGASREDUCTIES REALISEREN VIA HET VLAAMS KLIMAATFONDS (VKF)

1.1 OPRICHTING VLAAMS KLIMAATFONDS

Op 27 april 2012 besliste de Vlaamse Regering om het Vlaams Klimaatfonds (VKF) op te richten, een organiek begrotingsfonds met decretale basis in het decreet van 13 juli 2012 houdende bepalingen tot begeleiding van de tweede aanpassing van de begroting 2012.¹

Het VKF wordt voor de overgrote meerderheid gevoed met de veilingopbrengsten van emissierechten uit het EU ETS die naar Vlaanderen vloeien. EU ETS, oftewel het *European Union Emissions Trading System* is van kracht in 28 EU lidstaten. Het is het grootste systeem (driekwart van de totale emissiehandel) dat op dit moment in werking is om CO₂ emissies terug te dringen en van toepassing op grote installaties, o.a. actief in de industrie, de elektriciteitsproductie en de luchtvaart. Bij emissiehandel wordt een jaarlijks emissieplafond vastgelegd met emissierechten. Deze emissierechten kunnen verhandeld worden en zorgen er voor dat emissiereducties gerealiseerd worden met zo laag mogelijke kosten voor het bedrijfsleven (want gerealiseerd waar deze het goedkoopst zijn). Een deel van de emissierechten wordt toegewezen aan de operatoren van installaties en een deel wordt geveild. De opbrengst hiervan kan dus deels aangewend worden voor het voeren van Vlaams klimaatbeleid, het betalen van compensaties voor indirecte emissiekosten, bijdragen aan internationale klimaatfinanciering en de aankoop van flexibiliteit voor het realiseren van de broeikasgasreductiedoelstellingen.²

De eerste inkomsten van het Vlaams Klimaatfonds waren de eenmalige inkomsten in 2013 uit de verkoop van het restant van de nieuwkomersreserve. Het betrof 36,415 miljoen euro. Hiervan was - na de aankoop van emissierechten voor het dichtens van de reductiekloof in de periode 2008-2012 en het aanleggen van een buffer voor de periode 2013-2020 - nog 20 miljoen euro beschikbaar. Dit bedrag werd integraal ingezet voor de financiering van een eerste set prioritaire en kosteneffectieve interne maatregelen op korte termijn (2013-2014).

De verschillende entiteiten van de Vlaamse overheid werden in 2013 gevraagd om maatregelen voor te stellen die konden bijdragen aan broeikasgasreductie in hun sector. In de beslissing van de Vlaamse Regering van 28 juni 2013, waarmee het Vlaams Klimaatplan 2013-2020 werd goedgekeurd (VR2013 2806 DOC.0670/1), werd een selectie gemaakt van de eerste set te financieren interne maatregelen en de verdeling van het beschikbare budget van 20 miljoen euro over deze maatregelen. Deze beslissing werd genomen op basis van een grondige beoordeling van al de kandidaat-klimaatfondsmaatregelen op de criteria kostenefficiëntie, additionaliteit of toegevoegde waarde t.o.v. bestaand beleid, duurzaamheid (neveneffecten op milieu, economie en inkomensverdeling), implementatietraject (hoe snel levert het reducties op) en kostenefficiëntie of de verhouding kost maatregel/impact op emissiereductie of euro's per ton CO₂-reductie.

De verantwoordelijkheid voor de uitvoering van de geselecteerde maatregelen was verspreid over de verschillende entiteiten van de Vlaamse overheid. Deze entiteiten ontvingen het geld uit het VKF en moesten rapporteren aan het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie over de voortgang van deze individuele maatregelen.

¹ artikel 14 van het decreet van 13 juli 2012 houdende bepalingen tot begeleiding van de tweede aanpassing van de begroting 2012 (VR2012 1307 DEC.0089).

² <https://klimaat.be/klimaatbeleid/europees/emissiehandel-ets> geraadpleegd op 5 september 2022.



De verschillende entiteiten binnen de Vlaamse overheid dienden samen 33 mitigatie-maatregelen voor mogelijk cofinanciering vanuit het VKF in. Veertien voorstellen werden als prioritair te financieren maatregel beoordeeld. De reductiekloof zou met deze maatregelen tot ongeveer 9 Mton CO₂-eq worden teruggebracht.

Een groot deel van de middelen ging naar de energiebesparingen in residentiële en tertiaire gebouwen. Zo werd 7,9 miljoen euro geïnvesteerd in grondige energierenovatie van sociale woningen. Daarnaast ging 3,8 miljoen euro naar hogere premies voor energierenovaties in woningen en gebouwen, en werd een subsidie gegeven voor telemetriesystemen in scholengroepen om sluimerverbruik tegen te gaan en afwijkingen in verbruikspatronen sneller op te sporen.

Daarnaast werd een pilootproject om laagwaardige restwarmte te gebruiken in de glastuinbouw ondersteund en waren er middelen voor het stimuleren van kleinschalige vergisters op landbouwbedrijven.

Er werd in de sector mobiliteit cofinanciering voorzien worden voor een proefproject biogas rijden voor minibussen van De Lijn en voor investering in meer elektrische laadpalen op carpoolparkings. Ook was er budget voor extra walstrooinfrastructuur voor de binnenvaart.

Tenslotte mikte de Vlaamse Regering op professioneel advies en bewustmaking. Met het Klimaatfonds werd de uitbouw van consultants of energie-adviseurs mogelijk gemaakt in een aantal sectoren: landbouw, KMO's, logistiek en toerisme en dus ook onroerend erfgoed.

1.2 VKF MAATREGEL INGEDIEND DOOR ONROEREND ERFGOED

Onroerend Erfgoed had 2 voorstellen voor maatregelen ingediend. Een eerste voorstel betrof een project "Gespecialiseerde energieconsulenten voor Onroerend Erfgoed", een tweede voorstel handelde over een "Premie voor energiebesparende maatregelen aan (wettelijk beschermd) erfgoed". Het tweede voorstel werd bij de evaluatie als minder prioritair beoordeeld in vergelijking met de andere voorstellen en wordt hier niet verder besproken.

De maatregel "Gespecialiseerde energieconsulenten voor Onroerend Erfgoed" werd voorgesteld met het oog op het leveren van een dienst aan de doelgroep van eigenaars van monumenten en woningen met erfgoedwaarde. Eigenaars/bewoners van erfgoed zouden een beroep moeten kunnen doen op gespecialiseerde energieconsulenten die naast een evaluatie van de energiezuinigheid van hun pand ook op maat gemaakte realistische en haalbare maatregelen konden formuleren om de energiezuinigheid te optimaliseren. Dit alles met een minimale impact op de aanwezige erfgoedwaarden. De overheid wenste initiatief te nemen op 3 vlakken:

- de uitwerking van een certificeringssysteem voor gespecialiseerde energieconsulenten voor erfgoedgebouwen.
- de organisatie van een opleidingstraject tot gespecialiseerd energieconsulent voor de doelgroep restauratie-architecten. De restauratie-architect kan, door een grotere kennis van "energie-efficiënte maatregelen" bij het opstellen van een restauratiedossier verschillende mogelijkheden aanreiken voor het reduceren van de energieverpilling.
- de oprichting van een energieloket voor erfgoedgebouwen, met als taken aan de ene kant het geven van beperkt (gratis) energie-advies aan eigenaars van erfgoedgebouwen, het geven van vorming en het toekennen van certificaten voor gespecialiseerde energieconsulenten; Daarnaast werd ook voorgesteld dat het loket zou zorgen voor de



promotie van deze volledig nieuwe beleidsmaatregel om monumenten en andere gebouwen met erfgoedwaarde energiezuiniger te maken bij de eigenaars.

Het voorstel werd gehonoreerd ³, vooral omwille van de hoge beleids- en doelgroepadditionaliteit en ook omwille van de maatschappelijke kostenefficiëntie op lange termijn. Tot dusver was weinig stimulans gegeven aan eigenaars van onroerend erfgoed om hun gebouw energiezuiniger te maken. Beschermd of geïnventariseerde gebouwen zijn grotendeels vrijgesteld van EPB-eisen en kunnen meestal niet voldoen aan de eisen om op REG-premies beroep te kunnen doen. Hierdoor, door de ouderdom en de “lekke” staat van veel gebouwen met erfgoedwaarde was er nog een groot reductiepotentieel. De maatregel zelf is voornamelijk sensibiliserend en kan daardoor zijn vruchten pas op langere termijn afwerpen. Maar voor een relatief beperkte bijdrage uit het Vlaams klimaatfonds zou een relatief groot reductiepotentieel (geraamd op 8.242 ton CO₂-eq in de periode 13-20, maar meer dan 288.000 ton CO₂-eq over de levensduur van de door deze maatregel geïnduceerde investeringen) gerealiseerd kunnen worden, wat tot een zeer gunstige fondskostenefficiëntie leidt (ingeschat op 2,2 euro per ton CO₂-eq over de levensduur).

Het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB- nu Buildwise) leek zeer goed geplaatst om de kennis bij restauratiearchitecten te verhogen. Het WTCB vroeg een subsidie aan om dit project (inclusief opleiding, loket, monitoring en verankering van de kennis binnen het reguliere opleidingstraject van architecten) uit te voeren. Ze hadden als een van de weinige actoren op de markt ook ervaring met betrekking tot accreditatie of erkenningstrajecten en konden het volledige traject dus volmaken. Er werd geoordeeld dat het WTCB de enige instelling in Vlaanderen was die dit project op alle vlakken kon uitvoeren.

Op 16 mei 2014 keurde de Vlaamse regering een eenmalige subsidie van 363.750 euro (aan te rekenen op het Vlaams Klimaatfonds in 2014) toe aan het Wetenschappelijk en Technische Centrum voor het Bouwbedrijf voor het opzetten van een structurele werking van gespecialiseerde energieconsulenten voor onroerend erfgoed.⁴ Met deze financiering moest een gespecialiseerde werking uitgebouwd kunnen worden voor onroerend erfgoed. Daarbij werden volgende zaken voorzien: de organisatie van een intern energieloket voor erfgoedgebouwen, de uitwerking van een vorming- en certificeringssysteem en de monitoring van de bereikte resultaten.

³ Het voorstel is opgenomen in het Vlaams Mitigatieplan 2013-2020 (VR2013 2806 DOC.0670/1) op pg. 162.

⁴ VR/2014/16.05/0763/1 : Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de toekenning vanuit het Vlaams Klimaatfonds van een eenmalige subsidie aan het Wetenschappelijk en Technische Centrum voor het Bouwbedrijf voor het opzetten van een structurele werking van gespecialiseerde energieconsulenten voor onroerend erfgoed.



2 PROJECTVOORSTEL GESPECIALISEERDE ENERGIECONSULENTEN VOOR ONROEREND ERFGOEDS

2.1 HOLISTISCHE BENADERING VOOR HET ENERGETISCH OPTIMALISEREN VAN ERFGOEDGEBOUWEN

Het WTCB ging voor de aanpak van het project uit van een holistische benadering voor het energetisch optimaliseren van erfgoedgebouwen. Bestaande gebouwen vertonen immers een - al dan niet gezond - evenwicht tussen (natuurlijke) ventilatie, warmte- en vochthuishouding. Ingrepen die als doel hebben de energie-efficiëntie te verhogen kunnen dit evenwicht grondig verstoren, indien ze op een ondoordachte manier worden uitgevoerd. In erfgoedgebouwen kan dit verstreckende gevolgen hebben op het behoud van de erfgoedwaarden.

In erfgoedgebouwen moet daarom steeds een compromis worden uitgewerkt tussen energie-optimalisatie en behoud van erfgoedwaarden. Vertrekken vanuit een vooropgesteld E-peil is in dit specifieke geval geen correcte benadering. In plaats hiervan kan door een cumulatief aantal ingrepen op verschillende fronten, gestreefd worden naar een zo groot mogelijke verbetering op energievlak, binnen de limieten gesteld door het behoud van de erfgoedwaarden.

In een holistische benadering wordt bij elke ingreep nagedacht over de mogelijke impact op bovenvermeld evenwicht en worden waar nodig complementaire ingrepen voorzien. Het energievraagstuk wordt hierbij op verschillende fronten aangepakt:

- Klassieke energie-optimalisatie: hierbij wordt gestreefd naar een maximale reductie van energieverliezen, door verbetering van de luchtdichtheid, aanbrenging van thermische isolatie, isolerende beglazing, ...
- Verhoging van het comfort zonder onmiddellijke verlaging van de energieconsumptie: hierbij wordt gedacht aan de toepassing van warmte reflecterende coatings, het binnen de perken houden van luchtvochtschommelingen, de keuze van een ventilatieschema waarbij luchtlekken geen hinderlijke tocht veroorzaken, ... De beperking van de energieconsumptie volgt daar als een tweede-orde effect uit, bijvoorbeeld als een reductie van de nood aan verwarming.
- Toepassing van energie die minder aanleiding geeft tot CO₂-uitstoot: beschermde gebouwen kunnen zelden, binnen de randvoorwaarden van erfgoedbehoud, omgevormd worden tot lage-energie of zelfs passiefgebouwen. Er dient dus onvermijdelijk gewerkt te worden aan een meer ecologische energieopwekking voor het gebouw.
- Bijsturing van het gedrag van bewoners/gebruikers: door een rationeel gebruik van verlichting, verwarming en andere installaties en een maximale benutting van bestaande bescherming (zoals luiken die zowel als zonnewering dienen als warmteverliezen kunnen beperken) kan een belangrijke bijdrage geleverd worden aan de energiebesparing.

Individuele energie-ingrepen kunnen (zonder dat ze daarom noodzakelijkerwijs toegepast kunnen of zullen worden) betrekking hebben op:

- Isolatie (daken, gevels, beglazing, vloeren)

⁵ Dit hoofdstuk bevat de onderdelen en inhoud van het projectvoorstel ingediend door WTCB in het kader van de oproep Vlaams Klimaatfonds 2014.



- Straling (zonnepijnen, NIR en FIR)
- Thermische inertie (lichte constructies)
- Ventilatie
- Klimaatregeling (vochtgehalte!)
- Zonwering (luiken, coatings, ...)
- Energie- en warmteopwekking en -verspreiding
- Enz.

In een holistische aanpak kunnen energetische ingrepen niet los gezien worden van klassieke restauratie-ingrepen:

- Ten eerste zal een gebouw in goede staat ook op energetisch vlak vanzelf beter scoren. Een goede restauratie van het gebouw, met geschikte materialen en technieken uitgevoerd, vormt een noodzakelijke voorwaarde voor het behalen van een comfortabel en goed energetisch presterend gebouw.
- Ten tweede hebben energetische ingrepen zoals boven gezegd een impact op het bestaande evenwicht in het gebouw, en kunnen ze neveneffecten veroorzaken die het behoud ervan beïnvloeden. Hierbij kunnen ze bestaande pathologieën versterken of net elimineren. Verhoogde verwarming en ventilatie van een kelderruimte kan bijvoorbeeld leiden tot verhoogde schade aan metselwerk of afwerkingen door zoutkristallisatie. De installatie van isolerende beglazing kan dan weer leiden tot een verhoogd condensatierisico op muren, met eventuele schimmelvorming en aantasting van de materialen tot gevolg.

Het traject voor het doorvoeren van energetische ingrepen in erfgoedgebouwen omvat daarom ook de klassieke vooronderzoeken die steeds aan een restauratie dienen vooraf te gaan, alsook de klassieke restauratie-ingrepen:

1. Vastleggen van de erfgoedwaarden van het gebouw: redenen van de beschermde status van het gebouw, en hieruit voortvloeiend de mate waarin ingrepen uitgevoerd mogen worden. Deze analyse wordt individueel per ruimte of element uitgevoerd, zodat duidelijk wordt welke ingrepen op welke plaatsen in het gebouw mogelijk zijn of niet (bijv. buitenisolatie mogelijk op achtergevel maar niet op voorgevel).
2. Diagnose van de bestaande toestand van het gebouw: materiaal-technisch, structureel en energetisch. Ook eventuele herbestemming van gebouwen of ruimtes speelt hierin een rol: de functie van een ruimte zal immers bepalend zijn voor het binnenklimaat dat er heerst of dient gerealiseerd te worden.
3. Analyse van de bestaande toestand, en aansluitend het definiëren van de nodige restauratieve en energetische ingrepen. Deze staan in wisselwerking met elkaar. Een klassiek voorbeeld is het behandelen van vochtproblemen in gevels. Dit is bijvoorbeeld van het grootste belang indien men gevelisolatie langs de binnenkant toepast. Niet alleen zorgt binnen-isolatie voor het koud worden van de gevels, waardoor het risico op inwendige condensatie en vorst toeneemt. Bovendien wordt een drogingsmogelijkheid van de gevel geblokkeerd, wat bestaande pathologie kan versterken.
4. Restauratie-interventies: indien mogelijk, het wegnemen van alle mogelijke schade-oorzaken. Dat is in alle gevallen raadzaam bij restauraties, maar in het bijzonder indien men energetische ingrepen doet. Deze kunnen de bestaande pathologie immers accentueren. De



huidige kennis laat toe om heel wat van deze problemen te remediëren, maar uiteindelijk is niet alles mogelijk. Zo is het meestal perfect mogelijk om een afdoende behandeling tegen opstijgend grondvocht te voorzien. Anderzijds behoort het vorstbestendig maken van een bestaand metselwerk bijvoorbeeld nog niet tot de mogelijkheden.

5. Energetische interventies: Dit gebeurt parallel met punt 4. Energetische ingrepen kunnen immers een middel zijn om de pathologie op te lossen, te verminderen, of minstens beheersbaar te maken. Een klimaatregeling bijvoorbeeld, die ervoor zorgt dat het luchtvochtgehalte enkel nog binnen bepaalde grenzen schommelt, kan in veel gevallen een oplossing zijn voor een zoutprobleem. Op die manier is het zoutprobleem niet weg, maar richten de zouten geen schade meer aan.
6. Opvolging van de toestand na restauratie: van het grootste belang in het algemeen (het geeft aan waar onderhoud dient te gebeuren), maar in het bijzonder als men energetische ingrepen toepast: er dient immers nagegaan te worden dat het binnenklimaat enkel ten goede is veranderd, dat het vochtgehalte van het gebouwohmsel niet noemenswaardig stijgt, dat schade niet exponentieel toeneemt, ...

2.2 Globale Aanpak Projectuitvoering

Het WTCB stelde een 5-stappen plan voor dat integraal tegemoet komt aan de doelstellingen zoals verwoord in de maatregel:

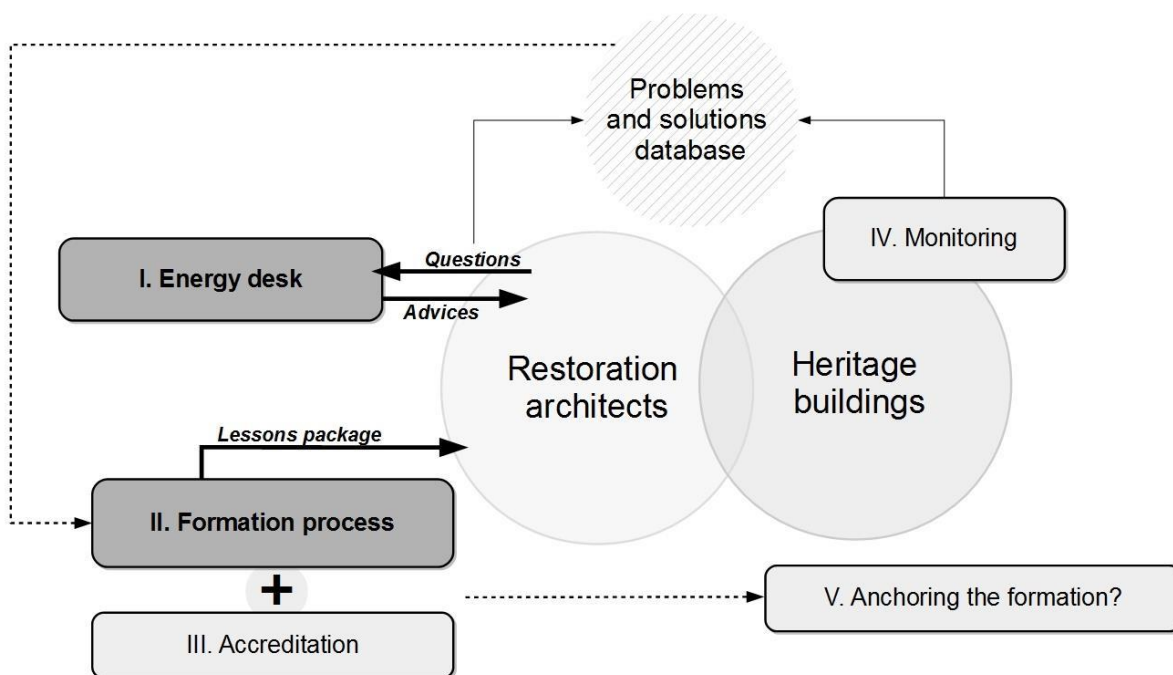
1. In eerste instantie zal een **energieloket** georganiseerd worden. Dit loket – in de vorm van een website – moet bijstand verlenen aan de geselecteerde (restauratie-)architecten van de doelgroep die geconfronteerd worden met de energetische verbetering van (geïnterviewde of beschermde) erfgoedgebouwen.
 - ➔ RESULTAAT: Het systematisch bijhouden van de verleende adviezen zal resulteren in een databank met het voorwerp van de vraag (identificatiegegevens erfgoedgebouw), de administratieve gegevens van de vraagsteller, de probleemstelling en het verleende advies
 - ➔ DOEL: Door deze systematische aanpak kunnen de vaak voorkomende knelpunten m.b.t. energie-ingrepen bij erfgoedgebouwen, inclusief adviezen rond innovatieve technieken voor energieverbetering in erfgoedgebouwen, duidelijk in kaart gebracht worden.
2. Parallel met het energieloket, zal een **opleidings-/vormingstraject** tot erfgoedenergieconsulent voor restauratie-architecten uitgewerkt worden. In eerste instantie zal hierbij de nodige documentatie en kennis verzameld worden om een alomvattend lespakket uit te werken. Vervolgens zal een concrete opleiding a.d.h.v. het uitgewerkte lespakket aan de doelgroep aangeboden worden.
 - ➔ RESULTAAT: Vooreerst zal er een uitgebreide literatuurlijst en (samen met het energieloket) een databank van cases opgesteld worden. Tevens zullen een concreet plan van aanpak, specifieke aandachtspunten en potentiële lesgevers bepaald worden. De resultaten hiervan zullen vervolgens verwerkt worden tot concrete cursuspakketten en een coherent opleidingsprogramma.
 - ➔ DOEL: Eens deze zaken gerealiseerd zijn, zal een opleiding tot gespecialiseerde energieconsulenten voor onroerend erfgoed worden aangeboden aan de doelgroep om op deze manier de kennis van energiezuinige maatregelen bij restauratie-architecten te versterken.



3. In fase 3 zal een **erkenningssysteem/-procedure** uitgewerkt worden voor de restauratie-architecten die deelnemen aan de bovenvermelde opleiding en die willen optreden als gespecialiseerde energieconsulenten voor onroerend erfgoed.
 - ➔ RESULTAAT: in dit deel wordt de uitwerking beoogd van een erkenningsmethodiek en bijhorende randvoorwaarden tot een concrete procedure om erkend te worden als erfgoedenergieconsulent.
 - ➔ DOEL: Met het aanbieden van een duidelijk erkenningssysteem/-procedure zal Onroerend Erfgoed in de toekomst – indien gewenst – een aanpak/methodiek bezitten om toezicht te kunnen houden op de kwaliteit van de uitgevoerde ingrepen op erfgoedgebouwen door de gespecialiseerde erfgoedconsulenten.
4. Eens de doelgroep in fase 2 het vormingstraject en in fase 3 de erkenningsprocedure met succes heeft doorlopen, zal in de periode 2017-2020 een langdurige **monitoringsfase** plaatsgrijpen.
 - ➔ RESULTAAT: deze monitoringscampagne zal een databank opleveren met gedetailleerde beschrijvingen van gerealiseerde erfgoedingrepen ter verbetering van de energiezuinigheid, in combinatie met een gefundeerde inschatting/meetgegevens van de CO₂ uitstootwinst/energiewinst die hierdoor gerealiseerd/gegenereerd werd.
 - ➔ DOEL: Via deze monitoringcampagne zal inzicht verkregen worden in de efficiëntie van de energetische ingrepen en zullen de vooropgestelde en in werkelijkheid gerealiseerde doelstellingen grondig geëvalueerd (en indien nodig bijgestuurd) kunnen worden.
5. Naast de voornoemde fases, zal er in de loop van het project tevens een analyse/haalbaarheidsonderzoek plaatsvinden die/dat nagaat of een **structurele verankering** van het uitgewerkte opleidingsprogramma / de opgestelde cursuspakketten **in het reguliere opleidingsaanbod** voor restauratie-architecten mogelijk is.
 - ➔ RESULTAAT: Deze fase zal leiden tot een analysenota die de problemen, oplossingen en voorstellen tot verankering beschrijft. Bovendien zullen er ook verslagen van het overleg met de betrokken beslissingsnemers bij onderwijs en vorming opgesteld worden. Na afloop van de door het WTCB georganiseerde opleiding, worden de lessenspakketten inclusief al de ontwikkelde tools en hulpmiddelen (zoals de CO₂-simulatietool en de monitoringdatabank) gratis ter beschikking gesteld aan geïnteresseerde opleidingsinstellingen en aan de Vlaamse overheid.
 - ➔ DOEL: Deze fase zal dienen om na te gaan of en hoe de uitgewerkte opleidingsmodules op een structurele manier aan de restauratie-architecten kunnen aangeboden worden via de bestaande opleidingen en vormingen monumentenzorg. Dergelijke integratie biedt immers de mogelijkheid om hen van bij het prille begin van hun carrière attent te maken op de mogelijkheden, valkuilen, opportuniteiten en voordelen gerelateerd aan de energetische verbetering van (geïnterpreteerde of beschermd) erfgoedgebouwen.

Uiteindelijk moet dit 5-stappenplan ertoe leiden dat de erfgoedenergieconsulenten, die erkend worden, de bekwaamheid in handen krijgen om de doelgroepen (bouwprofessionals, gezinnen, KMO's) te sensibiliseren, te informeren en te begeleiden op het vlak van energiebesparing en milieuvriendelijke energieproductie in erfgoedgebouwen.





Figuur 1: Schematische weergave van de 5 inhoudelijke werkpakketten van het project ErfgoedEnergieLoket.

2.3 PROJECTPLAN EN SAMENVATTING REALISATIES

Dit deel omvat een samenvatting van de resultaten zoals gerapporteerd door het WTCB bij de afloop van het project.

WP 0: Projectmanagement

Ten behoeve van de opvolging en creatie van draagvlak voor het project werd een stuurgroep opgericht die voornamelijk in de eerste jaren van het project actief was bij de opvolging van de realisatie van output uit de werkpakketten 1, 2 en 3. De stuurgroep bestond uit vertegenwoordigers van:

- de overheden en het werkveld: Onroerend Erfgoed, het departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse Overheid (LNE), Monumentenwacht Vlaanderen, ICOMOS, Gorduna vzw, de Vlaamse Commissie Onroerend Erfgoed, VEKA, Pixii, de Orde van architecten, Netwerk Architecten Vlaanderen (NAV), Architects council of Europe (ACE)
- de opleidingsinstellingen: UGent, KULeuven-RLICC, Vives Hogeschool-Erfgoedacademie, Howest, Universiteit Antwerpen (departement Erfgoed), VUB-Arch en UHasselt.

In de periode 2014-2019 vond ook regelmatig intern overleg plaats over de vorderingen en de uitwerking van het project tussen de laboratoria Renovatie en Erfgoed, Energie, de dienst Technisch Advies en de dienst Normalisatie van het WTCB. Daarnaast was er overleg in het kader van de realisatie van werkpakket 5, structurele verankering, met het NAV.

Deliverable 0.1 – Jaarlijkse rapportage

Er werd regelmatig gerapporteerd volgens de structuur die het Vlaams Klimaatfonds vooropstelt.⁶

⁶ Compilatie van de gedetailleerde rapportering over de door het Vlaams Klimaatfonds gefinancierde Vlaamse klimaatmaatregelen per sector Realisaties tot eind 2020, VEKA, 2021.

Deliverable 0.2 – Eindrapport

Een document met de samenvatting van de realisaties (dit hoofdstuk) en alle bijhorende projectdocumenten werd ingediend bij het agentschap Onroerend Erfgoed in oktober 2021.

WP 1: Erfgoedenergieloket

OMSCHRIJVING: In eerste instantie diende een energieloket georganiseerd te worden. Dit loket – in de vorm van een website – moest bijstand verlenen aan de geselecteerde (restauratie-)architecten van de doelgroep die geconfronteerd worden met de energetische verbetering van (geïnterpreteerde of beschermde) erfgoedgebouwen.

BEOOGD RESULTAAT: Het systematisch bijhouden van de verleende adviezen zou resulteren in een databank met het voorwerp van de vraag (identificatiegegevens erfgoedgebouw), de administratieve gegevens van de vraagsteller, de probleemstelling en het verleende advies.

RESULTAAT: De website van het project is sinds augustus 2015 in werking. De onderdelen van de website ⁷ zijn:

- Homepagina projectwebsite: <https://www.erfgoedenergieloket.be/>
- Toelichting en beschrijving van het project: <https://www.erfgoedenergieloket.be/het-project/>
- Vragenportaal. Via het loket kunnen er gemakkelijk vragen aan de medewerkers van het WTCB worden gesteld: <https://www.erfgoedenergieloket.be/vragenportaal/>
- Links naar voorbeeldcases: <https://www.erfgoedenergieloket.be/databank/cases/> en <https://www.erfgoedenergieloket.be/databank/eindrapport/>
- Links naar een overzicht van interessante documenten omtrent het spanningsveld energie, comfort en erfgoed worden nog steeds stelselmatig aangevuld: <https://www.erfgoedenergieloket.be/databank/links/>
- In navolging van het uitgevoerde opleidingstraject (zie WP2) werden de opleidingsmodules in 2018 ontsloten: <https://www.erfgoedenergieloket.be/databank/downloadformulier/>

Concreet werd de loketfunctie formeel vervuld door een samenwerking tussen de dienst Technisch Advies van het WTCB en het labo Renovatie en Erfgoed. In totaal werd tijdens de loop van het project in een zestigtal gevallen ondersteuning gegeven aan architecten of bouwheren. Ongeveer een derde van de adviezen ging over isolatiemaatregelen, een derde over schadepatronen (al dan niet gerelateerd aan isolatiemaatregelen) en een derde betrof vragen voor analyses (mortel-, vocht-, zoutanalyses) of monitoring.

Deliverable 1.1 – operationele website erfgoedenergieloket

Gerealiseerd in de beginfase van het project (<https://www.erfgoedenergieloket.be>)

Deliverable 1.2 – lijst deelnemende restauratie-architecten

De lijst van architecten die beroep deden op het loket werd bewaard in een CRM-systeem (Customer Relationship Management) maar wordt om privacy redenen niet gedeeld.

Deliverable 1.3 – operationeel vragenportaal voor de cases van de restauratie-architecten die tijdens het project gemonitord worden.

https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/Gedetailleerde_rapportering_klimaatmaatregelen_VKF_tem_2020%20%28002%29.pdf , geconsulteerd op 24-09-2021

⁷ De projectpagina en alle andere pagina's op de projectwebsite werden geconsulteerd op 5 september 2022.



Het vragenportaal was actief vanaf de beginfase van het project (<https://www.erfgoedenergieloket.be/vragenportaal/>)

WP 2: Opleidingspakketten en vormingstraject

OMSCHRIJVING: Parallel met het energieloket, moest een opleidings-/vormingstraject tot erfgoedenergieconsulent voor restauratie-architecten uitgewerkt worden. In eerste instantie moest hierbij de nodige documentatie en kennis verzameld worden om een alomvattend lespakket uit te werken. Vervolgens zou een concrete opleiding a.d.h.v. het uitgewerkte lespakket aan de doelgroep aangeboden worden.

BEOOGD RESULTAAT: Vooreerst moest er een uitgebreide literatuurlijst en (samen met het energieloket) een databank van cases opgesteld worden. Tevens diende een concreet plan van aanpak, specifieke aandachtspunten en potentiële lesgevers bepaald te worden. De resultaten hiervan moesten vervolgens verwerkt worden tot concrete cursuspakketten en een coherent opleidingsprogramma.

RESULTAAT: De 5-daagse cursus werd gegeven in het voorjaar van 2018. Voor zover de timing van de uitvoering van werken dit toeliet, werden de cases ook opgenomen in de opleiding, bijvoorbeeld in het deel over diagnose. De gegeven presentaties met bijhorende toelichtingen en extra uitleg zijn conform de overeenkomst allemaal te downloaden in pdf-vorm via de projectwebsite (zie WP1).

Hoewel in de aanvraag uitgegaan werd van een éénmalige opleiding voor maximaal 50 restauratie-architecten, waren er zoveel geïnteresseerde architecten (> 100) dat het uiteindelijke aantal opgetrokken werd. Op de officiële registratielijst staan in totaal 65 deelnemers . Uit de ondertekende aanwezigheidslijsten bleek dat er bij de sessies gemiddeld 80 personen aanwezig waren, waarvan een viertal van het WTCB zelf. Na elke dag opleiding werd ook een tevredenheids-enquête bij de deelnemers afgenomen. Hieruit bleek duidelijk de algemene tevredenheid en hoge mate van appreciatie.

Bijkomend werd op 19 juni 2018 op vraag van het Agentschap Onroerend Erfgoed een verkorte versie van deze opleiding gegeven aan een groep van erfgoedconsulenten en monumentenwachters die door het Agentschap Onroerend Erfgoed geselecteerd werden. In totaal waren er 83 deelnemers. Aangezien de personen van deze doelgroep vaak een aanspreekpunt zijn voor bouwheren en eigenaars, verhoogt dit aanzienlijk de indirecte impact volgens een *teach the teacher* principe.

In 2021 en 2022 werd de inhoud van de opleidingen in herwerkte versie verder verspreid in de context van andere projecten, vooral het EU Life-project BEreel! Dit gebeurde in de vorm van vijf half-daagse online opleidingsmomenten waarvan de opnames ook ter beschikking gesteld zullen worden op een leerplatform. Het overweldigend aantal registraties (meer dan 1500) voor de online opleiding toont de blijvende interesse van bouwprofessionals en zorgt voor een groot uitdijend effect van de inspanningen voor Erfgoedenergieloket (zie ook link met WP5).

Deliverable 2.1 – reeks van didactische instrumenten

Voorziene didactische instrumenten: Er werden 13 modules (uitgebreide powerpoint-presentaties) ontwikkeld in het kader van de 5-daagse opleiding energetische renovatie van erfgoedgebouwen voor erfgoedprofessionals.



Opleidingsmodules 5-daagse opleiding energetische renovatie erfgoedgebouwen:
Module 1: Inleiding erfgoed en energie
Module 2: Opleiding bouwfysica
Module 3: Performantie en comfort
Module 4: Diagnose gebouwschil
Module 5: Opleiding vocht
Module 6: Daken
Module 7a: Na-isolatie spouwconstructies
Module 7b: Na-isolatie binnen buiten
Module 8a: Schrijnwerk
Module 8b: Zonwering
Module 9a: Kelders
Module 9b: Vloeren
Module 10: Ventilatie
Module 11: Verwarming
Module 12a: Verlichting
Module 12b: Glasvezelverlichting
Module 13: Cases en besluiten

Tabel 1. Overzicht van de opleidingsmodules ontwikkeld in het kader van de 5-daagse opleiding energetische renovatie van erfgoedgebouwen voor erfgoedprofessionals.

Bijkomend gerealiseerd:

- bijkomende studiedag voor de erfgoedconsulenten met verkorte modules (19-06-2018)
- extra online opleidingen (o.a. ondersteund vanuit het Life-project BEreel!) én bijgevolg ook een update van de didactisch materiaal

Deliverable 2.2 – afgeronde cursussenreeks

De vooropgestelde 5-daagse opleiding werd gegeven met bovendien enkele bijkomende opleidingen

WP 3: Erkenningsstelsel

OMSCHRIJVING: Een erkenningsstelsel/-procedure diende uitgewerkt te worden voor de restauratie-architecten die deel zouden nemen aan de bovenvermelde opleiding en willen optreden als gespecialiseerde energieconsulenten voor onroerend erfgoed.

BEOOGD RESULTAAT: De uitwerking werd beoogd van een erkenningsmethodiek en bijhorende randvoorwaarden tot een concrete procedure om erkend te worden als erfgoedenergieconsulent.

RESULTAAT: Er werd een verkennende en vergelijkende studie uitgevoerd omtrent erkennings-/certificatiesystemen in de buurlanden voor professionals actief binnen het spanningsveld energie, comfort en erfgoed. Het resultaat werd voorgesteld aan de stuurgroep begin 2016 (18/01/2016). Ook werd in de loop van 2016 een haalbaarheidsstudie opgemaakt voor de erkenning in Vlaanderen van restauratie-architecten die bijzonder gekwalificeerd zijn voor energetische ingrepen bij erfgoedgebouwen. Dit omvatte scenario's gaande van een label tot volledige erkenning en zelfs certificatie. Een uitvoerig rapport hiervan werd overgemaakt aan het Agentschap Onroerend Erfgoed. Het Agentschap OE is momenteel nog niet overgegaan tot een implementatie in de praktijk van één van de voorgestelde trajecten. De inspanningen die geleverd zouden moeten worden om elk van de scenario's te realiseren staan niet in verhouding met de meerwaarde van een implementatie



Deliverable 3.1 – Uitgewerkte erkenningsprocedure

De mogelijke procedures voor de erkenning werden zoals voorzien uitgewerkt en gerapporteerd.

WP 4: Impactmeting- en monitoring

OMSCHRIJVING: Na in fase 2 het vormingstraject en in fase 3 de erkenningsprocedure, zou in de periode 2017-2020 een langdurige monitoringsfase plaatsgrijpen.

BEOOGD RESULTAAT: de monitoringscampagne moest een databank opleveren met gedetailleerde beschrijvingen van gerealiseerde erfgoedingrepen ter verbetering van de energiezuinigheid, in combinatie met een gefundeerde inschatting/meetgegevens van de CO₂ uitstootwinst/energiewinst die hierdoor gerealiseerd/gegenereerd werd.

RESULTAAT: Een tiental cases werden uitgebreid geanalyseerd en gemonitord vanaf de winter van 2016/2017. Naargelang de case en de geplande werken werd een selectie van volgende metingen uitgevoerd:

- Meting van de U-waarden van schildelen
- IR-thermografie
- Blowerdoortests voor de meting van luchtdichtheid
- Comfortmeting
- Meting van binnenklimaat
- Zout- en vochtanalyses ...

De renovatie van enkele cases was bij het einde van het project nog in uitvoering, zodat het nog niet mogelijk was om de beoogde eindtoestand in de praktijk te beoordelen. Andere projecten werden dan weer geannuleerd in de loop van het project, zodat nieuwe cases geselecteerd moesten worden.

Naast die beperkte set van 10 cases, werd in 2020 een online survey opgesteld om te verspreiden onder alle betrokken architecten, met als doel om een globaler beeld te krijgen van gangbare ingrepen die in erfgoedgebouwen worden uitgevoerd. Helaas was de respons te laag (slechts 5 antwoorden, ondanks uitgebreide promotie via meerdere kanalen en herhaaldelijk persoonlijk contacteren van het doelpubliek). Er moest dus elders gezocht worden om meer kwantitatieve resultaten te bekomen.

In overleg en samenwerking met het Agentschap Onroerend Erfgoed werd daarom een analyse uitgevoerd op een dataset met gegevens betreffende een speciale premie voor isolatie van (vooral) daken en verbeteringswerken aan ramen in beschermde gebouwen. 54 van de 74 ingediende dossiers werden weerhouden voor verdere analyse en doorgerekend op vlak van theoretische energiebesparing en vermindering van CO₂-uitstoot.

Over het geheel van het project kun je stellen dat:

$$IMPACT = \text{aantal bereikte personen} \times \text{effectiviteit van hun acties}$$

Met deze kwantitatieve analyse, hier opgenomen in hoofdstuk 3, werd de tweede factor geschat.

Deliverable 4.1 – monitoringsdatabank

Tijdens het project werd de databank van klimaatgegevens, gemeten met een draadloos netwerk van sensoren, bijgehouden in het online systeem van de fabrikant en op de server van het WTCB. De



uiteindelijke resultaten zijn opgenomen in de projectfiches (hoofdstuk 3.2) en zijn ook op die website gepubliceerd.⁸

Tabel 2 geeft het overzicht van de 12 cases, die besproken zijn in 10 verschillende projectfiches: de woningen die zich bevinden in hetzelfde ensemble worden samen besproken. Daarnaast bevat de fiche over het begijnhof van Sint-Amandsberg nog een uitgebreide analyse van een convent dat niet in deze lijst is opgenomen en werd ook een fiche opgesteld van een andere woning in het begijnhof van Diest (Heilige Geeststraat 4-6), waar enkel gefocust werd op het dunne sarkingdak. De bestudeerde woning in de wijk Klein Rusland is ook een apart geval omdat er uiteindelijk geen concreet renovatieproject was. Voor die woning werden de verslagen van de verschillende uitgevoerde deelonderzoeken op zichzelf toegevoegd en is er dus geen fiche over een renovatie.

Projectnaam	Verkorte naam	Gemeente	Type	Bruikbaar vloer-oppervlak (m ²)
Huis Boisschot	ZavBoi	Zaventem	gesloten	354
Begijnhofhuis	DieBeg	Diest	gesloten	160
Dak begijnhofhuis	DieDak	Diest	gesloten	Niet bepaald
La nouvelle maison	TerLan	Tervuren	vrijstaand	525
Herenhuis	DieHer	Diest	gesloten	573
Blondeswinning (nr. 3)	BilBlo	Bilzen	hoekwoning	106
Blondeswinning (nr. 4)	BilBlo	Bilzen	gesloten	116
Huis Billiet	BruBil	Brugge	halfopen	401
Begijnhofhuis (nr. 11)	SamBeg	Sint-Amandsberg	halfopen	184
Begijnhofhuis (nr. 82)	SamBeg	Sint-Amandsberg	halfopen	189
Begijnhofhuis (nr. 84)	SamBeg	Sint-Amandsberg	halfopen	187
Residentie Duinpark	KokDui	Koksijde	appartement	73
Klein Rusland	ZelRus	Zelzate	halfopen	100

Tabel 2. Overzicht van de projectfiches die opgenomen zijn in de monitoringsdatabank.

Deliverable 4.2 – CO₂-simulatietool

Voor de berekening van de impact op vlak van vermindering van de equivalente CO₂-uitstoot werd uitgegaan van gangbare verbanden tussen energieverbruik en het vrijkomen van broeikasgassen.

Voorgestelde getalwaarden voor emissiefactoren:

- Aardgas: 0,200952 ton CO₂/MWh
- Stookolie: 0,26136 ton CO₂/MWh
- Elektriciteit: 0,32 ton CO₂/MWh verbruikte stroom (dit is een raming van de gemiddelde directe uitstoot van het Vlaamse productiepark). Opgelet: bij de berekening van de CO₂-

⁸ Zie <https://www.erfgoedenergieloket.be/databank/cases/> en <https://www.erfgoedenergieloket.be/databank/eindrapport/> geraadpleegd op 5 september 2022.

reductie wordt de reductie door elektriciteitsbesparing niet meegerekend (omdat dit niet onder de reductiedoelstelling van de niet-ETS sectoren valt).

Deze waarden zijn eind 2021 nog actueel, in die zin dat ze nog gehanteerd worden in de berekening voor EPB en EPC. De vermindering van de warmtevraag door renovatie vertaalt zich in een verminderd verbruik van primaire energie, dat vervolgens met die emissiefactoren omgezet is in een daling van de uitstoot van CO₂. De resultaten zijn verwerkt in het verslag van de kwantitatieve analyse (zie hoofdstuk 3).

Deliverable 4.3 – eindresultaten van de indicatoren

Inhoudelijk

Aantal geïnteresseerde restauratie-architecten:

- 107 geïnteresseerden bij de oorspronkelijke oproep voor de opleidingen
- via multiplicatoreffect en met de ondersteuning van het Life BEreel! project >1340

Aantal restauratie-architecten dat de opleiding volgt:

- 76 via de voorziene opleidingen (+ 50% t.o.v. het oorspronkelijk voorziene aantal)
- 83 erfgoedconsulenten & monumentenwachters
- > 1340 bouwprofessionelen via de latere opleidingen met de ondersteuning van het Life BEreel! project, gebaseerd op de oorspronkelijke opleiding van Erfgoedenergieloket

Aantal gegeven opleidingen:

- 1 binnen het kader van het project zelf in 13 modules gespreid over 5 dagen
- 1 extra gecondenseerde opleiding van een halve dag voor een selectie van erfgoedconsulenten en monumentenwachters)
- 5 opleidingsdagen in het kader van BEreel!

Aantal adviezen / consultaties / begeleidingen van restauratie-architecten / werven door WTCB

Naar schatting 60 adviezen in totaal

Aantal voorgestelde maatregelen door de opgeleide consulenten van de doelgroep

Het aantal concreet voorgestelde maatregelen is moeilijk te schatten, tenzij indirect via het aantal bereikte personen.⁹

Aantal uitgevoerde maatregelen door de opgeleide consulenten van de doelgroep

Idem (zie voetnoot 9). In hoofdstuk 3.6 zijn cijfers opgenomen van het aantal uitgevoerde maatregelen op schrijnwerk. Die aantallen werden verzameld in het kader van een evaluatie van de effectiviteit van het afwegingskader. Een extrapolatie leert dat jaarlijks voor ongeveer 12% van de beschermde gebouwen een toelating wordt gevraagd voor werken aan schrijnwerk.

Aantal erfgoedgebouwen waarop maatregelen toegepast zijn door de opgeleide consulenten van de doelgroep

Idem (zie voetnoot 9). Dezelfde opmerking als hierboven is geldig (zie hoofdstuk 3).

⁹ Gezien de lage respons van het doelpubliek op de bevraging kon geen berekening gemaakt worden.



Logistiek

Aantal infosessies

Er werden vooral in de beginfase van het project heel wat infosessies georganiseerd. In totaal waren er 11:

- 11 februari 2015: Voorstelling van het project tijdens een vergadering van Koninklijke Commissie Monumenten en Landschappen Brussel en Directie Monumenten en Landschappen Brussel over isolerende bepleistering. Op deze vergadering uitte beide instanties ook hun sterke interesse in de aanpak en resultaten van het project.
- 19 februari 2015: Kick-off vergadering (intern WTCB met de verschillende laboratoria).
- 26 februari 2015: Voorstelling van het project bij het restauratiebureau Erfgoed en Visie.
- 01 april 2015: Voorstelling van het project bij de Waalse monumentendienst SPW-DG04. Op deze vergadering werd de interesse van de DG04 in deze aanpak en resultaten geuit.
- 15 april 2015: Voorstelling van het project bij de vereniging van restauratiearchitecten Gorduna. Hierbij werd ook een oproep gelanceerd naar interessante cases en werd polshoogte genomen omtrent een eventueel erkennings-/certificatiesysteem voor gespecialiseerde erfgoedenergiedeskundigen.
- 24 april 2015: Voorstelling van het project tijdens een gastles aan de Hogeschool Pxl bij de opleiding Post-Graduaat Energy Efficiency Services. De evaluaties door de deelnemers (via schriftelijke bevraging) was uitermate positief.
- 29 mei 2015: Voorstelling van het project bij het restauratiebureau Studio Roma.
- 19 augustus 2015: Voorstelling van het project bij het restauratiebureau Team Van Meer.
- 16 september 2015: Voorstelling van het project op een workshop van de Vlaamse proeftuin "De Schipjes in Brugge" omtrent het spanningsveld tussen energetische renovatie en erfgoed.
- 19 februari 2016: Voorstelling van het project bij restauratiebureau Origin.
- 15 september 2016: Voorstelling van het project tijdens een vergadering met restauratiebureau Arsis.

Aankondigingen

Er werden 2 aankondigingen gedaan:

- o 8 augustus 2016: Om het project, de website en het vragenportaal extra in de verf te zetten, en relevante cases voor de monitoringscampagne te vinden, werd een mail uitgestuurd naar een zeer brede groep stakeholders van restauratie-architecten, erfgoeddeskundigen en –instanties.
- o 18 mei 2016: Het project en vragenportaal werden in de verf gezet via de nieuwsbrief uitgezonden door *Architectura*

Aantal publicaties

- In totaal 8 (zie WP 6 disseminatie)

WP 5: Structurele verankering

OMSCHRIJVING: Naast de voornoemde fases, ging er in de loop van het project tevens een analyse/haalbaarheidsonderzoek plaatsvinden die/dat nagaat of een structurele verankering van het uitgewerkte opleidingsprogramma / de opgestelde cursuspakketten in het reguliere opleidingsaanbod voor restauratie-architecten mogelijk is.

BEOOGD RESULTAAT: Deze fase moest leiden tot een analyse die de problemen, oplossingen en voorstellen tot verankering beschrijft en bevat ook verslagen van het overleg met de betrokken beslissingsnemers bij onderwijs en vorming. Na afloop van de door het WTCB georganiseerde opleiding, dienden de lessenspakketten inclusief al de ontwikkelde tools en hulpmiddelen (zoals de



CO2-simulatietool en de monitoringdatabank) gratis ter beschikking gesteld te worden aan geïnteresseerde opleidingsinstellingen en aan de Vlaamse overheid.

RESULTAAT: Doorheen het project is er op regelmatige basis overleg geweest met de bestaande opleidingsinstellingen, doch voor een structurele verankering van de uitgewerkte opleidingsmodules werden toen er een aantal moeilijke punten gedetecteerd:

- De bestaande gespecialiseerde opleidingen (bijv. bij KULeuven en UAntwerpen) boden op korte termijn geen ruimte om de ontwikkelde modules te valideren in hun al lopende opleidingen. De beperking ging op voor zowel de beschikbare tijd als ook de budgettaire beperkingen om lesgevers te engageren om de lessen te geven.
- Er bestond weerstand om dit bijzonder gespecialiseerde lesmateriaal in te bedden in bestaande algemenere architectuuropleidingen, ook omwille van de bovenstaande twee redenen.

De meest waarschijnlijke piste leek om de opleiding op regelmatige wijze (bijvoorbeeld om de 5 jaar) te organiseren in het kader van de werking van een erkende organisatie die (bij-)scholing geeft aan architecten (sic permanente vorming). Dit zou worden geconcretiseerd in samenwerking met de Erfgoedacademie en/of NAV (Netwerk Architecten Vlaanderen). Toen dit uiteindelijk concreet vormgegeven zou worden, werd de actieve werking van de Erfgoedacademie gestopt en besliste ook NAV deze bijscholing om economische redenen niet structureel in te richten.

Gezien bovenstaande situatie is WTCB op eigen initiatief proactief beginnen werken aan een alternatieve oplossing. In de loop van 2020 en 2021 werden de opleidingsmodules digitaal ter beschikking gesteld in de vorm van een nieuwe reeks van live online opleidingen (5 halve dagen). Deze aanpak werd gekozen omwille van de COVID -situatie. Er werd met de live online opleidingen een nog veel groter aantal bouwprofessionelen bereikt (op moment van rapportage waren er reeds meer dan 1500 ingeschreven bouwprofessionelen). De inhoud is ter beschikking gesteld van het grote publiek.¹⁰

WP 6: Disseminatie

Infosessies en aankondigingen

(zie WP4 Impactmeting en monitoring/ logistiek)

Lezingen

Er werden 12 lezingen en 2 opleidingenreeksen gegeven :

2014

- o 29-30 september 2014: presentatie van het project (EN) op het internationale congres "Energy Efficiency in Historic Buildings" (Madrid, Spanje) (150 personen; internationaal wetenschappelijk publiek)
- o 11 december 2014: presentatie van het project (NL+FR) op de studiedag "Énergie & patrimoine" door de *Directie Monumenten en Landschappen Brussel* (Koninklijke bibliotheek, Brussel) (250 personen; Belgisch publiek, vooral uit de praktijk).

2015

- o 24 april 2015: presentatie van het project tijdens een gastles aan de Hogeschool Pxl bij de opleiding *Post-Graduaat Energy Efficiency Services*.

¹⁰ Zie het leerplatform van de website <https://www.be-reel.be/course/wtcb-renovatieacademie> geraadpleegd op 5 september 2022



- o 16 september 2015: presentatie van het project op een workshop van de Vlaamse proeftuin “De Schipjes in Brugge” omtrent het spanningsveld tussen energetische renovatie en erfgoed.

2016

- o 19-22 oktober 2016: Organisator van de internationale wetenschappelijke conferentie “Energy Efficiency and Comfort in Historic Buildings 2016” te Brussel, ondersteund door het Agentschap Onroerend Erfgoed, Urban.brussels en AWaP (zie <https://www.eechb.eu>). Tijdens deze conferentie werd ook het project en de inspanningen van de 3 gewesten duidelijk internationaal op de kaart gezet. Alle bijdragen van het congres werden in *congres proceedings* opgenomen.

2017

- o 02 februari 2017: presentatie van het project tijdens een gastles aan de Hogeschool Pxl bij de opleiding *Post-Graduaat Energy Efficiency Services*. De evaluaties door de deelnemers (via schriftelijke bevraging) was uitermate positief.
- o 17 november 2017: inleidende lezing door op de WTA-studiedag “Energetische ingrepen in monumenten: een duurzaam verhaal?!” , onder de titel “Innovatieve materialen, technieken en modellen voor de verduurzaming van erfgoedgebouwen.
- o 14 december 2017: lezing door Yves Vanhellemont met als titel “Wanneer is wat (on)aanvaardbaar? Opleidingen en afwegingskaders” tijdens de PIXII-expertdag “Energie-efficiënt erfgoed” (zie <https://pixii.be/agenda/expert-day-energie-effici%C3%ABnt-erfgoed>)

2018

- o 26-27 september 2018 : Lezing S. Dubois, M. de Bouw, Y. Vanhellemont, D. Stiernon, S. Trachte *Combining multi-view photogrammetry and wireless sensor networks when modelling the hygrothermal behaviour of heritage Buildings*, 26/9/2018, Conferentie Energy Efficiency in Historic buildings, Visby, 26-27/9/2018
- o M. de Bouw, Y. Vanhellemont, S. Dubois e.a., *Opleidingstraject: Aandachtspunten inzake energie en comfortverbetering in erfgoed, opleidingenreeks in 13 modules*, 2018

2019

- o 5 april 2019: lezing S. Dubois, *Contribution of photogrammetry and sensor networks to the energy diagnosis of occupied historical buildings*, tijdens WTA- centrum Lemaire Studiedag ‘Preventieve conservatie – van klimaat- en schademonitoring naar een geïntegreerde systeembenadering’, Leuven.

2022

- o 2-5 mei 2022: lezing M. de Bouw, Y. Vanhellemont, N. Vernimme, R. Hendrickx, *Action within the Flemish climate fund to reduce CO2 emission of protected buildings in Flanders*, ingediend voor het internationale wetenschappelijke congress *Energy Efficiency in Historic Buildings 2022*, Benediktbeuern, 2-5 mei 2022
- o M. de Bouw, Y. Vanhellemont, S. Dubois e.a., *Vijfdaagse opleidingenreeks: Energetische renovatie van erfgoed*, (voorzien online als presentaties en filmopnames)

Publicaties

2014

De Bouw M., Dubois S., Herinckx S., Vanhellemont Y. 2014. *Specialized Energy Consultants for architectural heritage* In : *Proceedings International Conference in Energy Efficiency in Historic Buildings*, 29th-30th September 2014, Madrid, Spain.



2016

De Bouw M., Dubois S., Dekeyser L., Vanhellemont Y. 2016. *Proceedings EECHB-2016 Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings*, 19-21 oct 2016, ed. BBRI, published by Flanders Heritage Agency, Brussels. ¹¹

2017

De Bouw M., Vanhellemont Y., Dubois S. 2017. Innovatieve materialen, technieken en modellen voor verduurzaming van erfgoedgebouwen. In: *Energetische ingrepen in monumenten: een duurzaam verhaal?! syllabus van de gelijknamige WTA-studiedag van 17 november 2017 in Antwerpen*. Van Bommel B., Vanhellemont Y., Vernimme N. (eds.), WTA NL-VL. ¹²

2018

Dubois S., de Bouw M., Vanhellemont Y., Stiennon D., Trachte S. 2018: Combining multi-view photogrammetry and wireless sensor networks when modelling the hygrothermal behaviour of heritage Buildings. in: *Conference Proceedings Energy Efficiency in Historic buildings*, 26-27/9/2018, Visby.

De Bouw M., Dubois S., Vanhellemont Y. 2018. *Journal of Architectural Conservation*, Volume 24, 2018 - Issue 1: Energy efficiency and comfort of historic buildings, 61 pp.

2019

Dubois S. 2019. Contribution of photogrammetry and sensor networks to the energy diagnosis of occupied historical buildings, in : *Preventieve conservatie – van klimaat- en schademonitoring naar een geïntegreerde systeembenadering*, Syllabus van de gelijknamige studiedag, Leuven, 5 april 2019, pp. 145-152.

2022

De Bouw M., Vanhellemont Y., Vernimme N., Hendrickx R., 2022. Action within the Flemish climate fund to reduce CO2 emission of protected buildings in Flanders, ingediend voor het internationale wetenschappelijke congress *Energy Efficiency in Historic Buildings 2022*, Benediktbeuern, 2-5 mei 2022.

De Bouw M., Vanhellemont Y., Dubois S. e.a. 2022. Opleidingenreeks: Energetische renovatie van erfgoed, gepubliceerd online in de vorm van filmopnames en pdf-presentaties.¹³

Uit het project zijn nog heel wat andere acties voortgevloeid, die zorgen voor bijkomende validatie:

- Ondersteuning van EU-project **RIBuild** (<https://www.ribuild.eu/about> - expert)
- Ondersteuning van IEA Task 59 (inhoudelijk + externe expert) (o.a. voor databank van cases)
- metingen aan de abdij van Benediktbeuern (op vraag van Fraunhofer Gesellschaft IBP, ter voorbereiding van een workshop op EEHB 2020). (en een workshop over deze metingen) Project 'EPC + erfgoed' – Deel 1 (Daidalos Peutz met WTCB en Callebaut Architecten als onderaannemers).
- Project 'EPC + erfgoed' - Deel 2 (Daidalos Peutz met WTCB als onderaannemer)
- De opleidingen in het kader van het EU Life-project BReel! die lopen in oktober 2021

¹¹ zie <https://www.eechb.eu> geraadpleegd op 5 september 2022.

¹² zie <http://wta-international.org/gruppen/wta-nederland-vlaanderen/studiedagen-en-syllabi> geraadpleegd op 5 september 2022.

¹³ zie <https://www.be-reel.be/course/wtcb-renovatieacademie> geraadpleegd op 5 september 2022



3 SCHATTING VAN GEREALISEERDE EN POTENTIËLE ENERGIEBESPARING

3.1 SITUERING BINNEN HET PROJECT

Als deeltaak van het project Erfgoedenergieloket was voorzien om een kwantitatieve analyse te maken van de energetische verbeteringen die tijdens de looptijd van het project (van 2014 tot 2021) in het Vlaams Gewest in erfgoedgebouwen gerealiseerd zijn. De twee grote onderzoeksvragen waren:

1. Hoeveel besparingen werden gerealiseerd in de bestudeerde dossiers en cases?
2. Hoe verhoudt dit zich tot het totale bestand van erfgoedgebouwen in Vlaanderen en welke besparingen kan men redelijkerwijs nog realiseren in de toekomst?

Het resultaat met betrekking tot de besparingen gerealiseerd in de bestudeerde cases wordt kort besproken (zie 3.2 en 3.3). De oorspronkelijke bedoeling was om de gegevens uit de cases aan te vullen met gegevens uit een online bevraging (zie 3.4) van de architecten die deelnamen aan de in het kader van het project georganiseerde opleidingen en mensen die gebruik maken van de adviesverlening. De respons bleek onvoldoende om zelfs maar een begin van kwantitatieve analyse te doen: op ruim 100 aangeschreven personen kwamen – zelfs na meermalige herinneringen – slechts vijf ingevulde formulieren binnen.

Vervolgens (zie 3.5) wordt ingegaan op de omvang van het bestand aan Vlaamse erfgoedgebouwen, de gemiddelde energieprestaties van deze gebouwen en de regelgeving betreffende energieprestaties. De bevinding is dat momenteel weinig kwantitatieve gegevens beschikbaar aangezien zowel voor geïnventariseerde panden als voor beschermde panden uitzonderingen gelden op de EPB-regelgeving. Er werd aanvullend ook een klein intern onderzoek uitgevoerd over het aantal dossiers waarin werken aan schrijnwerk voorzien waren (zie 3.6).

Een alternatieve bron van informatie (zie 3.7) werd gevonden bij het Agentschap Onroerend Erfgoed, dat van 2017 tot 2020 een speciale premie in het leven geroepen had om specifieke energiebesparende werken aan beschermde gebouwen te ondersteunen binnen het kader van de erfgoedpremie. Na het opstellen en ondertekenen van een verwerkingsovereenkomst die de privacy van de eigenaars/aanvragers garandeert, kon het WTCB met de hulp van het Agentschap de relevante gegevens uit die dossiers verwerken. Voor drie kwart van de dossiers konden U-waardes bepaald worden en ruwe schattingen van de gerealiseerde energiebesparing en vermindering van CO₂-uitstoot gemaakt worden.

De resultaten uit al de analyses worden tenslotte vergeleken met de doelstelling uit de projectaanvraag (zie 3.8).

En om af te ronden (zie 4) worden conclusies en aanbevelingen geformuleerd met betrekking tot maatregelen voor CO₂-reductie toegepast in cases en premiedossiers.



3.2 DE BESTUDEERDE CASES IN HET PROJECT ERFGOEDENERGIELOKET

3.2.1 Projectfiche 1: Huis van Boisschot, Zaventem

1. Gegevens

Gebouwtype	gesloten bebouwing
Functie vóór renovatie	woning
Functie na renovatie	woning
Bescherming	Beschermd als monument sinds 01-07-1987 (besluit ID 2302, aanduidingsobject ID 1841) Beschermd als onderdeel van een dorpsgezicht sinds 01-07-1987 (besluit ID 2302, aanduidingsobject ID 404) Vastgesteld bouwkundig erfgoed sinds 28-11-2014 (besluit ID 14867, aanduidingsobject ID 114693)
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	354 m ²
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	120 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	niet bekend
EPC-kengetal ná renovatie	niet bekend



Figuur 2. Vogelperspectief op een rendering uit het BIM-model: het project gaat om het ingekleurde huis in het midden. De twee volumes onder zadeldak zijn goed zichtbaar. (©WTCB)



Figuur 3. Achtergevel van de woning vanuit de tuin. De verhoging van het dakvlak is zichtbaar. (foto: WTCB)



Figuur 4. Zicht op de voorgevel vanuit de lage kant van de straat. (Foto uit de uit 2007 uit de Inventaris van het Bouwkundig Erfgoed)



Figuur 5. Zicht op de voorgevel vanaf het Kerkplein. (Foto: WTCB)

2. Beknopte beschrijving

Het oorspronkelijke Huis van Boisschot (of *Hôtel de Boisschot*) werd gebouwd aan het begin van de 17e eeuw. Tijdens de tweede helft van de 19e eeuw werd het opgesplitst in drie eenheden. Dit verslag bespreekt het middenste van de drie volumes, dat op zich bestaat uit twee aaneengesloten bouwvolumes met een zadeldak, parallel aan de straatgevel. Het gebouw werd vanaf de 18e eeuw tot (mogelijkerwijs) begin 19e eeuw grondig verbouwd. Een ‘neo-traditionele restauratie’ van na WOII was een poging om het vroeg 17e eeuwse uitzicht terug te brengen. Uit die tijd dateren een aantal opvallende kenmerken van de voorgevel: de erker en het natuurstenen parament met historiserend eiken schrijnwerk. Restanten van openingen in wat nu gemene muren zijn met de buurwoningen getuigen nog van de vroegere verbindingen. De muren en de dakspanten en gordingen dateren vermoedelijk van de originele bouwfase.

Het bouwvolume tegen de straat is gedeeltelijk onderkelderd met bakstenen tongewelf over (links 1.30 m van de gemene muur). Het bouwvolume aan de tuinzijde daarentegen heeft een lage kruipruimte, vlak onder de houten plankenvloer (de gang ligt op volle grond).

Rond 1960 voerde de vorige eigenaar een eerste renovatie door, onder andere aan de voorgevel, de plafonds en de keuken. De huidige eigenaars kochten het pand aan in 2003. De bouwheren zijn tevens de architect. In 2008 vervingen ze de oude stookolieketel door een nieuwe gasketel met een vermogen van 35kW. In datzelfde jaar werd ook een zonneboiler geplaatst. In februari 2020 werd de historische dakstructuur hersteld en kort daarop, in maart 2020, werd een sarkingdak geplaatst. In oktober 2020 werden de balken boven het gelijkvloers hersteld. Eveneens in 2020 werden aanpassingen gedaan aan de binnentrappen en de volumes binnen. In de loop van 2021 is gewerkt aan het herstel van de ramen van de achtergevel en is een nieuwe vloer geplaatst onder het achterste gedeelte.

3. Energiebesparende maatregelen

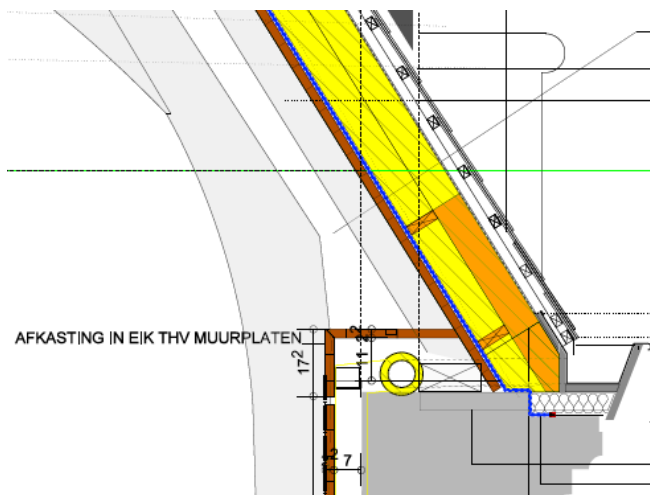
Zowel het ontwerp als de uitvoering van het restauratie/renovatieproject werden/worden gespreid over meerdere jaren. Deze beschrijving is dus een momentopname gemaakt tijdens de laatste maanden van het project. Enkele zaken zijn dan nog ter discussie, zoals bijvoorbeeld de vraag of het haalbaar en wenselijk zou zijn om een glazen vliesgevel op een bepaalde afstand van de achtergevel te plaatsen.



Uitgevoerd of gepland

Dak

Het oorspronkelijk niet-geïsoleerde dak werd in 2019-2020 voorzien van een sarkingdak na de restauratie van spanten, gordingen en balkkoppen. Doordat dit nieuwe dak bovenop het oorspronkelijke dakvlak ligt, blijft de historische dakstructuur aan de binnenzijde zichtbaar. De isolatie bestaat uit twee lagen PUR-platen van 8 en 10 cm dik. Aan de dakvoet zijn zogenaamde springkepers geplaatst die voorkomen dat het nieuwe dak naar beneden kan schuiven. Door een verspringing tussen beide lagen, wordt voorkomen dat er een doorlopende koudebrug ontstaat.



Figuur 6. Detail van het sarkingdak met de springkepers in oranje. (©WTCB)

Een moeilijkheid van het gekozen systeem, is dat de aansluiting met dakkapellen niet altijd evident is: de basis van de dakkapel verzinkt als het ware een beetje in de toegevoegde dakdikte. In dit geval is ervoor gekozen om de bestaande dakdikte van de dakkapel te behouden, aangezien de trapgevel een verhoging moeilijk maakte. Op deze plaats is geïsoleerd tussen de kepers met minerale wol.

Muren

Er is buitenisolatie voorzien op de wanden van de tipgevels, die net als de schuine dakvlakken met natuurleien bekleed zijn. Hier is 12 cm PUR isolatie geplaatst.

Ramen

De ramen in de achtergevel dateren van vóór 1910, zo blijkt uit de analyse van historische foto's. Volgens de eigenaar en de schrijnwerker zijn de profielen gemaakt uit pitch pine. De verdeelroedes zijn uit metaal en het enkel glas is in de sponningen geplaatst met stopverf. De opengaande vleugels sluiten met pompspanjoletten. Op het gelijkvloers (en in de badkamer op de verdieping) is de onderste zone van deze ramen voorzien van houten klapluikjes aan de binnenkant.

Het is voorzien om het glas te vervangen door gelaagd glas, waarvan het buitenste blad daarvan is getrokken glas is (of het uitzicht daarvan heeft) en het binnenste is voorzien van een lage-emissie pyrolitische coating aan de binnenkant. Volgens de fabrikant heeft dit type beglazing een U-waarde van 3.4 tot 3.6 W/m²K. Indien er een ruimte zou zijn voor een dikker pakket met een spouw gevuld met Krypton, zou dat terug te brengen zijn tot 1.4, maar die dikte zou te groot zijn voor de sponning. Na de uitvoering van één venster, wordt nu ook overwogen om voor de andere ramen over te schakelen op vacuümbeglazing: die zou toelaten om met een kleinere dikte toch zeer goede



thermische prestaties te halen. Er wordt bij het herstel van de raamprofielen ook nagekeken of aan de onder- en bovenkant een dichtingsstrip kan geplaatst worden.



Figuur 7. Binnenzicht op een raam van de achtergevel.
(Foto: WTCB)



Figuur 8. Zonnecollector en dakvlakvensters in het zuid gerichte vlak van het dak van het voorste bouwvolume.(Foto: WTCB)

In het oorspronkelijke ontwerp voor de renovatie was een lichtstraat voorzien in de 2 centrale dakvlakken. Die is echter vervangen door 6 dakvlakvensters met bijhorend gootstuk, isolatieframe, kraag met damp scherm. Twee van de dakvlakvenster (waaronder dat van de achtergevel) zijn uitgerust met een regelbare ventilatie-unit. Dat dakvlakvenster aan de kant van de achtergevel is vervangt een ouder dakvlakvenster; het is verdoken geplaatst zodat het glas in hetzelfde vlak ligt als de natuurleien. Door de nodige passtukken (speciaal isolatiekader) heeft die specifieke dakvlakvenster ook betere thermische prestaties. De keuze voor dit systeem was onderwerp van bespreking met de erfgoedconsulent. De U-waarde van deze vensters is $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$; die van de beglazing $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. De zuid georiënteerde dakvlakvensters zijn voorzien van een buitenzonwering.

Vloeren

Er is lang gezocht naar de beste oplossing voor de vloer van de leefruimte op het gelijkvloers achteraan. Dit was een houten plankenvloer op een balklaag die steunt op de zijmuren en via stutten op de ondergrond van een ondiepe kruipkelder. Het probleem van isolatie is hier verbonden met de moeilijkheid om de houten vloer langs onder te inspecteren, wat hier moeilijk is door de beperkte hoogte. Het is een algemene regel dat houten vloeren boven een grondmassief geventileerd moeten worden om vochtproblemen te vermijden. Men mag de lucht waarmee de kruipkelder wordt verlucht niet gebruiken voor hygiënische ventilatie van de leefruimte. De facto is dat wel wat in de huidige situatie gebeurt: door thermische trek voelen de bewoners een continue luchtstroom doorheen de spleten. Een gedwongen luchtstroom doorheen de vloer naar beneden zou ook grote nadelen hebben: grote energieverliezen en (weliswaar beperkt) risico op condensatie als de binnenlucht vochtig is.



Een oplossing werd dus aanvankelijk gezocht in een scenario waarbij geïsoleerd zou worden tussen de balken met toevoeging van een zekere luchtdichtheid en dampscherm aan de bovenzijde, en ontkoppelde voorzieningen voor ventilatie van de kruipruimte en de leefruimte.

Omwille van de praktische uitvoerbaarheid (er was ook asbest aanwezig in de kruipruimte) is uiteindelijk toch gekozen om de houten plankenvloer op te offeren en te vervangen door een nieuwe vloer op volle grond. De draagvloer bestaat uit 20 cm gewapend beton op een PE-folie. Daarboven wordt 15 cm isolatie geplaatst (ofwel harde platen, ofwel een soort isolerende dekvloer met EPS-bolletjes) en daarop de vloerverwarming, ingebed in een gewapende dekvloer van 7 cm dik. De tegels (die 1 cm dik zijn) worden daarop dubbel verlijmd, al dan niet op ontkoppelmatten om eventuele scheuren veroorzaakt door krimp van de dekvloer te vermijden. die voorzien zou worden van vloerisolatie en vloerverwarming.



Figuur 9. Zone met drie types vloer tussen gang en leefruimte waar een muur is afgebroken. De keramische tegels zijn wellicht het oudst; de stenen vloer in dambordpatroon en de houten plankenvloer vermoedelijk eind 19^{de}-eeuws of vroeg 20^{ste}-eeuws.(Foto: WTCB)



Figuur 10. De plankenvloer wordt gesteund door kleine stutjes die rusten op verdeelbalken op volle grond (of een uitvullaag).(Foto: WTCB)

Verwarming en zonneboiler

De woning wordt verwarmd door een condenserende aardgasketel die in de kelder van het voorste bouwvolume geplaatst is.

Er was reeds in 2008 een zonneboiler geplaatst op het niet-zichtbare dakvlak dat naar het zuiden gericht is. Het gaat om zonnecollector met buffervat type met een inhoud van 400 liter. Op termijn zou ervoor geopteerd worden om de huidige ketel uit te breiden met een warmtekrachtkoppeling die warmte in elektriciteit kan omzetten op een efficiënte manier en zo zowel de verwarming als de elektriciteit zou kunnen leveren. Nieuwe systemen op de markt werken zouden toelaten om restwarmte van aardgasverbranding te gebruiken voor de productie van waterstofgas, dat kan gebruikt worden voor levering van elektriciteit en warmte.



PV-panelen

Voor hetzelfde dakvlak als waar de zonnecollector op staat, werd destijds door het Agentschap Onroerend Erfgoed toegestaan om zonnepanelen te plaatsen. Zoals blijkt op Figuur 8 is de ruimte echter beperkt, zodat maximaal 5 panelen met elk 300W piekvermogen zouden geplaatst kunnen worden. Aangezien dat te weinig was om de investering in een omvormer te verantwoorden, is uiteindelijk beslist om dat niet te doen.

Ventilatie en luchtdichtheid

Ventilatie is voorzien met een systeem gelijkaardig aan C+, maar waarbij voor aanvoer van verse lucht ook op infiltratie wordt gerekend. In principe betekent C+ dat aanvoer gebeurt door regelbare toevoeropeningen in de leef- en slaapruidten en afvoer mechanisch gebeurt in de natte ruimten. De *plus* betekent dat de afvoer vraag gestuurd gebeurt, op basis van sensoren die ofwel de CO₂-concentratie of de RV van de afgevoerde lucht meten. Doordat het systeem slechts op minimaal debiet draait als het niet nodig is, is er minder warmteverlies dan bij een gewoon systeem C. In praktijk wordt daar een geïntegreerd apparaat voor gebruikt en zorgen ‘zelfregulerende’ toevoerroosters in de nieuwe dakvlakvensters voor een deel van de aanvoer van verse lucht. Maar wellicht zal infiltrerende lucht die via kieren op het gelijkvloers en de verdieping binnenkomt, ook een deel van het debiet leveren. In de keuken is ook een dampkap voorzien met afvoer naar buiten. Voor nachtcooling tijdens de zomer worden de (ventilatie)roosters van de (dakvlak)vensters bijkomend gemotoriseerd gestuurd door een eenvoudig domotica-systeem dat zorgt voor een verhoogde dwarse ventilatie. De domotica is in uitvoering op het moment van schrijven. Deze methode is het resultaat van een samenwerking tussen de producenten van de dakvlakvensters, de ventilatie/roosters en de bediening/regeltechniek. Het project zit nog in een pioniersfase waarbij de verschillende partijen van elkaar leren op het vlak van optimale regeling en uitvoering: de woning is dus een testcase.

Niet uitgevoerd of gepland

Ramen

Het bestaande schrijfwerk in de voorgevel, dat vermoedelijk dateert uit de jaren 1960, is in goede staat en wordt niet vervangen. Toen de eigenaars het pand aankochten, was er aan de binnenkant een dunne plaat ‘oplegbeleglazing’ geplaatst die met schroeven op zijn plaats gehouden werd. Aangezien achter dit glas regelmatig condens ontstond, is het overal verwijderd. Als er binnen tamelijk veel vocht in de lucht zit en de aansluiting tussen de oplegbeleglazing en het originele profiel niet luchtdicht is, is dit risico zeer reëel.

Muren

Er is geen binnenisolatie van muren voorzien. Met rekent op de warmteweerstand door de aanzienlijke dikte van het metselwerk in Diegemse zandsteen en baksteen. Een ander argument was dat met de thermische capaciteit van die dikke muren niet wou verliezen. Om een maximale conservatie van de zuidgevel te garanderen, wordt gedacht aan het toevoegen van een nieuwe beglaasde schil, waarbij diverse problemen tegelijkertijd aangepakt kunnen worden (waaronder conservering gevelmaterialen, behoud oorspronkelijk schrijfwerk en beglazing). Het staat nog niet vast of en hoe dit precies ingevuld zal worden.



Vloeren

Het voorste bouwvolume heeft een overwelfde kelder: het is niet mogelijk om daarop te isoleren zonder dat de vloerplas substantieel hoger zou komen te liggen. Om die reden wordt daar geen vloerisolatie voorzien. Breken in de gewelven is in het algemeen niet wenselijk.

4. Metingen

Geometrie

In 2017 werd een beknopte 3D-scan gemaakt van de voorgevel. Figuur 11 en Figuur 12 geven een voorbeeld van 2D shots van de drie-dimensionale puntenwolk. Behalve de plaats van een punt, is het met laserscanners ook mogelijk om de kleur van een oppervlak te registreren als RGB-waarde. Dit duurt uiteraard iets langer.

Het al dan niet opnemen van kleur en de gewenste dichtheid van de punten zijn dus de belangrijkste parameters, die gekozen worden op basis van een compromis tussen scantijd en gewenste kwaliteit.



Figuur 11. Weergave van een 3D-scan van de voorgevel – zicht van rechts. (Afbeelding: WTCB)

Het resultaat kan zowel gebruikt worden voor analyse van de conditie en de geometrie in drie dimensies, als verwerkt worden tot 2D-weergaven zoals plannen en ortho-foto's. Voor het ontwerp en de opvolging van de renovatie van het interieur, werd door de architect een BIM-model opgesteld met BIMx-software (zie Figuur 2). De puntenwolk van de gescande voorgevel had daarbij bijvoorbeeld kunnen dienen als onderlegger voor de tekening van vlakken en volumes.



Figuur 12. Weergave van een 3D-scan van de voorgevel – zicht van links. (Afbeelding: WTCB)

IR-thermografie

Er zijn 2 series metingen uitgevoerd:

- op 22-12-2017 (buiten: 7-8°C, binnen 23-25°C)
- op 26-03-2021 (buiten: 5-10°C, binnen: ongeveer 23°C op het gelijkvloers en iets minder op de verdiepingen aangezien enkel radiatoren op het gelijkvloers in gebruik waren)

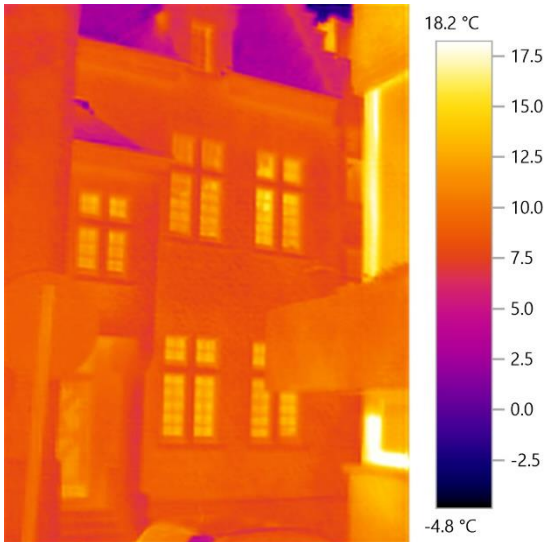
Figuur 13 tot 15 tonen enkele bijzonderheden van de voorgevel. Door de plaatsing van de dakisolatie heeft het dak een koudere oppervlaktetemperatuur dan de gevel en vermoedelijk ook de ramen. Een lokale koudebrug werd gevonden in de onderkant van de erker op de plaats waar een verwarmingsleiding loopt. De ramen in de voorgevel hebben al een zeker leeftijd en hebben helaas geen dubbel glas, maar ze vertonen geen gebreken.

In Figuur 16 is mooi te zien hoe een semi-transparant rolgordijn leidt tot een grote comfortverbetering doordat het veel minder koud is dan het oppervlak van het glas. Enerzijds verliest een bewoner daardoor minder stralingswarmte door uitwisseling met het glas, en anderzijds remt zo'n gordijnen de koude luchtstroom.

Het sarkingdak isoleert zeer goed in het vlak, maar er zijn wel wat koudebruggen zichtbaar bij de aansluitingen, zowel bij de dakvoet als bij de aansluiting met de puntgevel (Figuur 17).

De prestaties van de achtergevel, en dan vooral van de ramen, zijn zichtbaar gemaakt in Figuur 18. Wat echter ook zichtbaar is, is de onderstructuur in verschillende soorten steen. Door de verschillende warmtegeleiding en warmtecapaciteit van die materialen, heeft het buitenoppervlak niet overal dezelfde temperatuur. In Figuur 19 zijn zowel de binnenkant als de buitenkant van een raam weergegeven, wat toelaat om het warmteprofiel bij benadering in te schatten.

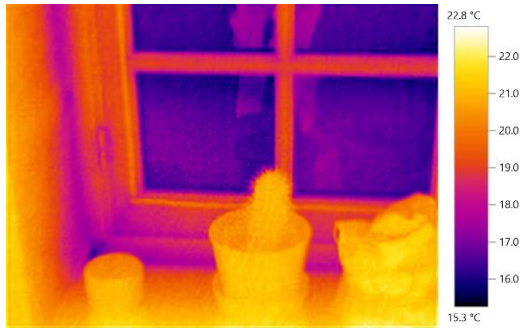
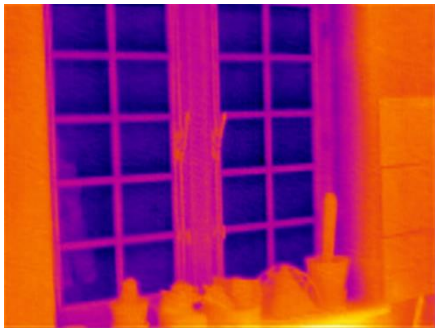
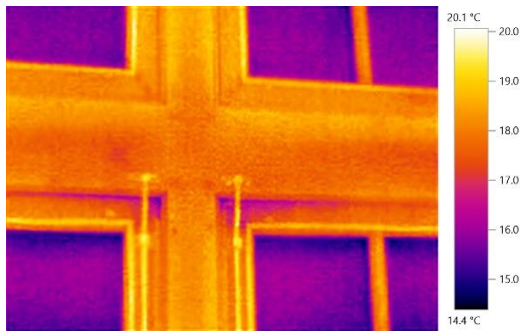
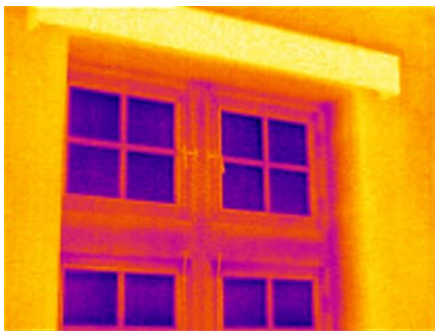




Figuur 13. Voorgevel in 2021: het geïsoleerde dak is kouder dan de niet-geïsoleerde gevels. (©WTCB)

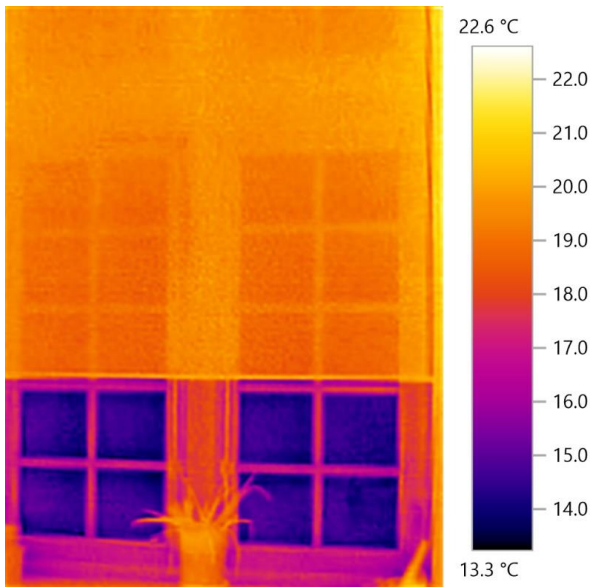


Figuur 14. Detail van de onderkant van de erker in 2021: de warme plek komt overeen met een plaats waar een niet-geïsoleerde verwarmingsleiding ligt. (©WTCB)

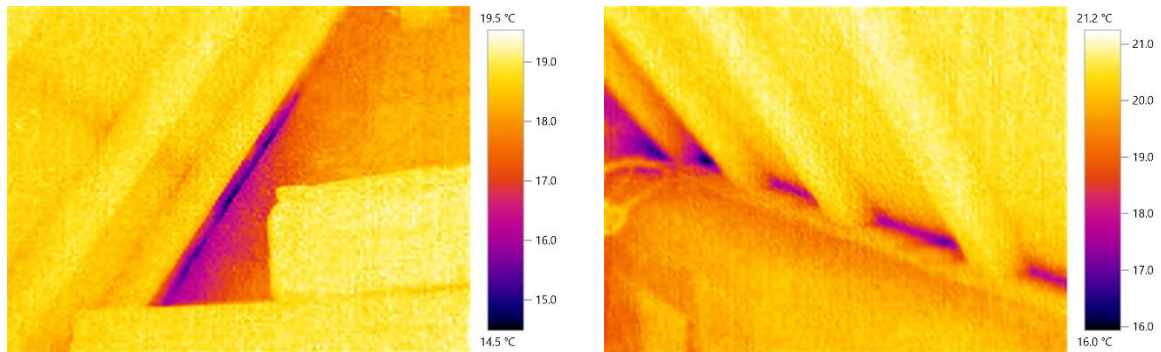


Figuur 15. Vier details van de eiken ramen in de voorgevel: ondanks hun leeftijd en 'historiserende' sluiting met spanjolet, zijn er geen mankementen, lekken of koudebruggen zichtbaar. (©WTCB)

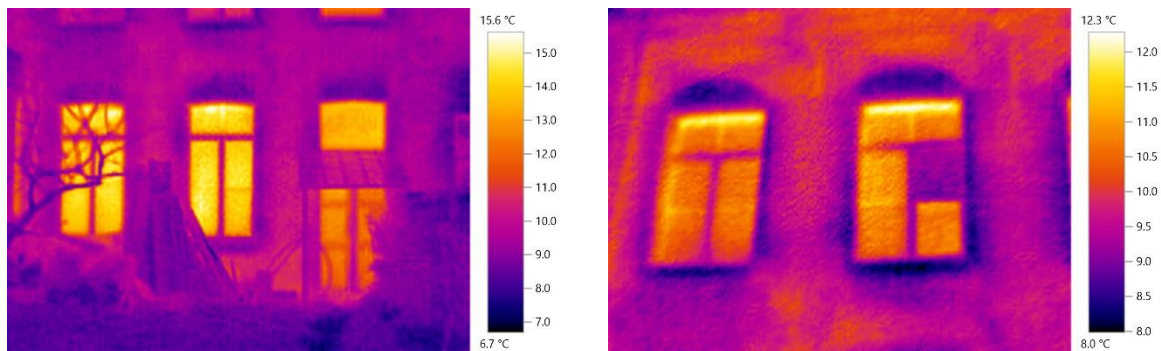




Figuur 16. Dit beeld van een raam in de voorgevel is een mooie illustratie van het effect van gordijnen: op de plaats waar het rolgordijn naar beneden is, stijgt de stralingstemperatuur van ongeveer 14 naar 19°C.

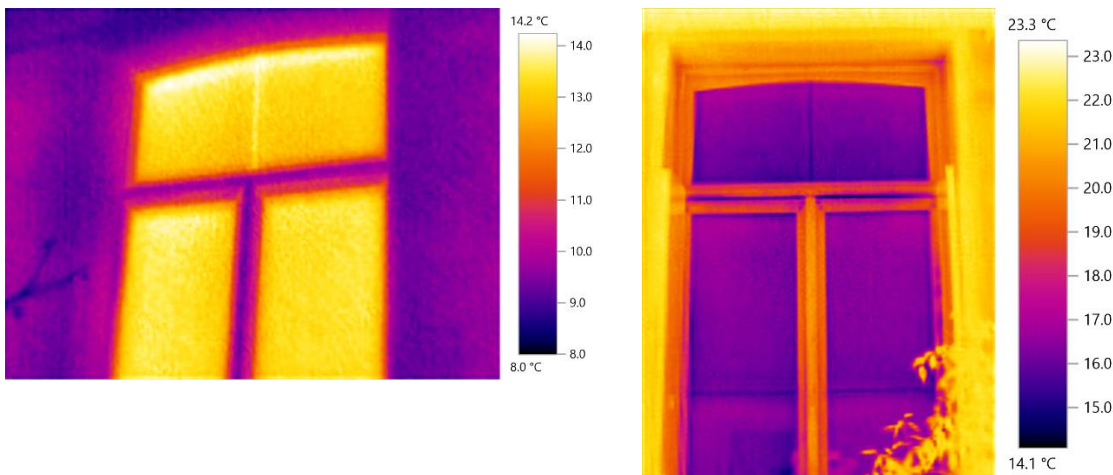


Figuur 17. Twee details van aansluitingen van het dak: een noordboom en een dakaanzet. Ondanks inspanningen kon een koudebrug toch niet helemaal vermeden worden. De oorzaak van de koude zones op de linker foto bleek een luchtplek ter hoogte van de goot van de buur te zijn. Dit is inmiddels opgelost. (©WTCB)



Figuur 18. Twee beelden (2021) van de achtergevel: in het linkse beeld zijn de verwachte slechte prestaties van het enkel glas goed zichtbaar; in het rechtse beeld is het interessant om te zien hoe de heterogene opbouw van de gevel aanleiding geeft tot een vlekkerig beeld. Je ziet de aftekening van oude lateien in Diegemse zandsteen boven de boogjes van de ramen. (©WTCB)





Figuur 19. Details van een raam in de achtergevel in 2017. Aan de binnenkant is een aanzienlijk lek zichtbaar tussen de dwarsregel en de twee opengaande vleugels. We kunnen hier benaderend het temperatuurprofiel over het glas mee inschatten: buitenlucht 7-8°C, buitenglasoppervlak 13-14 °C, binnenglasoppervlak 16-17 °C, binnenlucht 22-23°C. (©WTCB)

Luchtdichtheidsmetingen

Het was weinig relevant om een luchtdichtheidsmeting te doen aangezien er nog werken gepland zijn aan het buitenschrijnwerk, die daarop een belangrijke invloed kunnen hebben. Het valt te verwachten dat de vervanging van de vloer op het gelijkvloers achteraan zal leiden tot een aanzienlijke verbetering van de luchtdichtheid.

Comfortmetingen

Op 21 december 2017 werden zeer summiere comfortmetingen uitgevoerd in 5 ruimtes: de keuken, de leefruimte, de kelder, de oudersslaapkamer en de zolder. Op dat moment was de woning bewoond door het gezin, maar was de zolderruimte nog niet in gebruik (renovatie dak in 2019). De keuken was nog gelegen op het gelijkvloers aan de voorgevel (vanaf einde 2021 is voorzien dat die verplaatst wordt naar de ruimte aan de achtergevel en dat de living vooraan komt).

De momentopnames voor keuken en living gaven, bij een normale activiteit en een normale kledij ('clo-waarde') dat de ruimtes behaaglijk waren: de PMV ('*predicted mean vote*') lag tussen -1 en 1. De CO₂-concentratie lag rond de 600 ppm in de keuken en rond de 650 ppm in de living, wat goed is.

Binnenklimaat

Vanaf januari 2018 tot 2021 zijn de temperatuur en relatieve vochtigheid gemeten in vijf kamers en buiten. De gelogde ruimtes zijn de huidige leefruimte (achteraan op het gelijkvloers dus, wordt de leefkeuken), de keuken (vooraan op het gelijkvloers, wordt living), de vroegere slaapkamer van de ouders (1^{ste} verdieping vooraan), de vroegere slaapkamer van de kinderen (1^{ste} verdieping achteraan, wordt oudersslaapkamer) en de zolder. Tijdens die periode was de woning bewoond door een gezin van 5 personen (en een hond). Door de omstandigheden zijn loggers soms verplaatst:

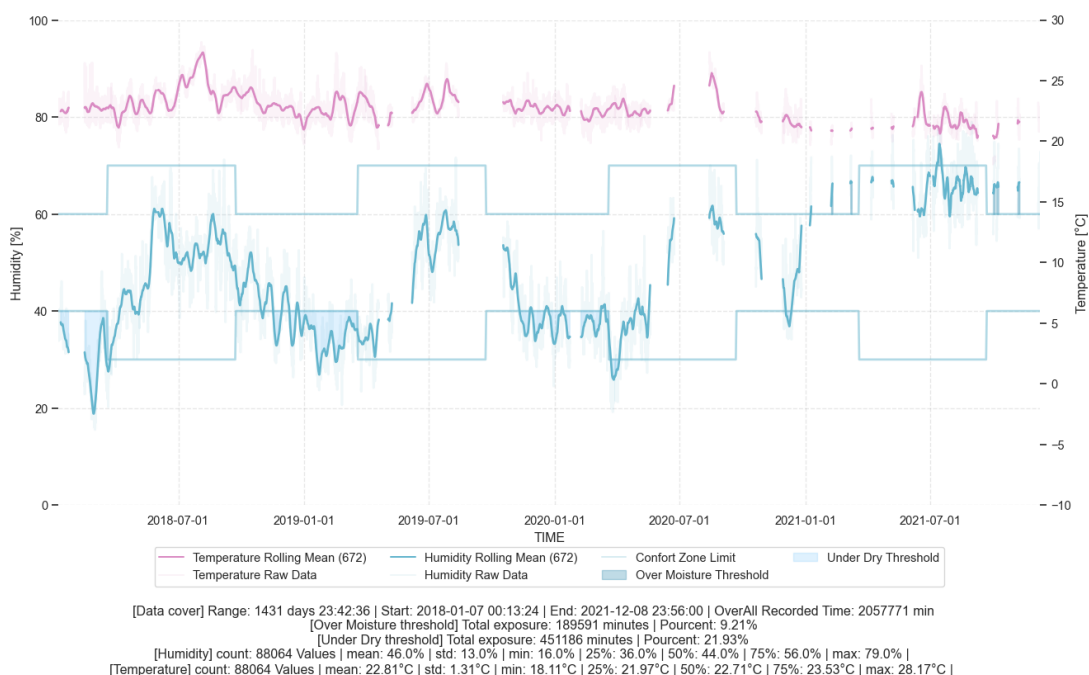
- op 1 mei 2019 is de logger van de zolder verplaatst naar de hal op het gelijkvloers omdat de afbraakwerken boven begonnen
- op 2 mei 2019 zijn de loggers uitgevallen, daarna zijn ze weer gereset
- van de zomer tot december 2020 zijn loggers van de verdiepingen tijdelijk in keuken geplaatst o.w.v. werken; daarna zijn ze nog een tijdje inactief geweest door een panne van de router
- op 4 juni 2021 werden de loggers na een panne van de router weer geactiveerd



- in de zomer van 2021 is de datalogger van de living even verplaatst naar de voorgevel gezien de vloerwerken, vanaf 15-09-2021 werd de logger terug geplaatst in de (nieuwe) leefkeuken
- in oktober 2021 wordt de meting in de kinderkamer mogelijk verstoord door het tijdelijk plaatsen van de droogkast in die kamer

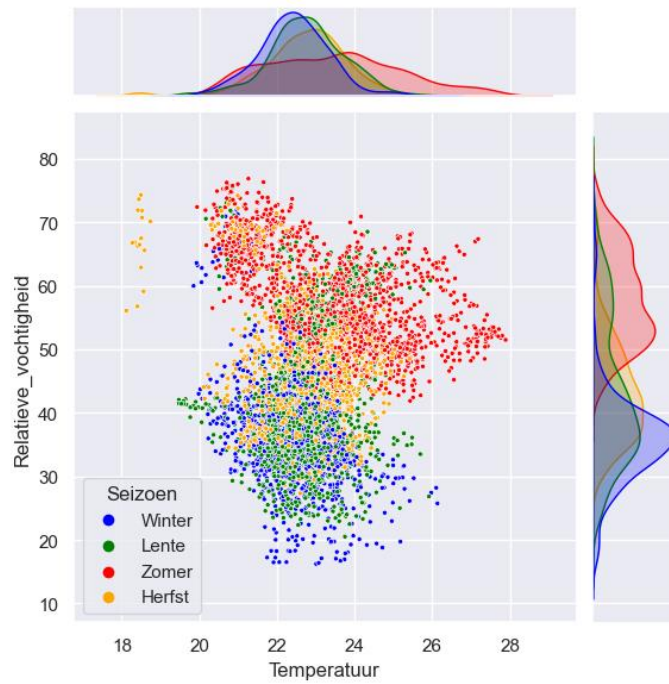
De resultaten zijn weergegeven in Figuur 20 tot Figuur 29. Het thermisch comfort is overal goed, zowel vóór als na de isolatiewerken aan het dak, met uitzondering van oververhitting in de zolder op warme zomerdagen vóór de werken. Dit is vooral duidelijk als we kijken naar de zomer van 2018. Om de dag-nachtschommelingen in zo'n warme periode zichtbaar te maken, is een detailplot gemaakt waarbij alle kamers zijn weergegeven en ook de buitentemperatuur (Figuur 30). Daaruit blijkt een typisch verloop waarbij de temperatuur naargelang de verdieping van gelijkvloers tot zolder toeneemt en de temperatuur binnen heel wat hoger kan worden dan buiten, door de grote invloed van zonnestraling. Het verschil tussen de kinderkamer en de slaapkamer van de ouders is te wijten aan de oriëntatie: de eerste is zuid georiënteerd. De ramen aan de slaapkamer van de ouders zijn van recentere datum, maar hebben net als die van de kinderkamer enkel glas op het moment van de metingen.

De grenswaarden voor RV die in Figuur 20 en volgende als twee getrapte lijnen zijn weergegeven, zijn gebaseerd op gangbare grenzen voor comfort. De richtwaarde wordt in de winter regelmatig onderschreden. Dat duidt op een ietwat lage RV, wat het gevolg is van infiltratie van buitenlucht. We kunnen dit voor de living linken aan de belangrijke trek doorheen de plankenvloer.

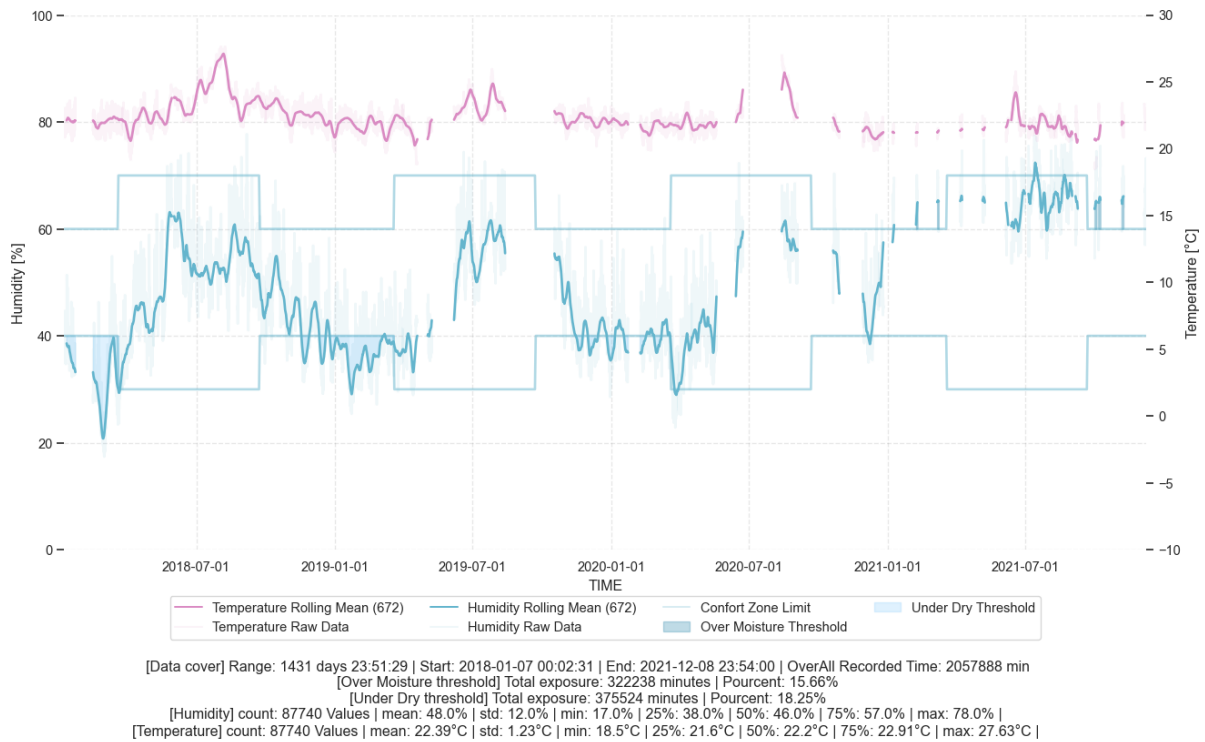


Figuur 20. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de (huidige) living. (©WTCB)



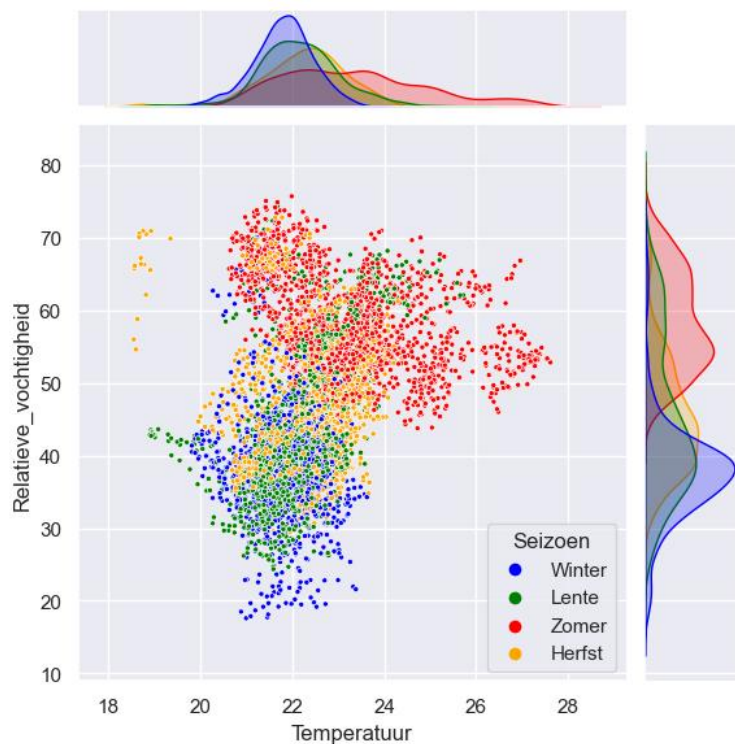


Figuur 21. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de (huidige) living, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



Figuur 22. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de (huidige) keuken. (©WTCB)



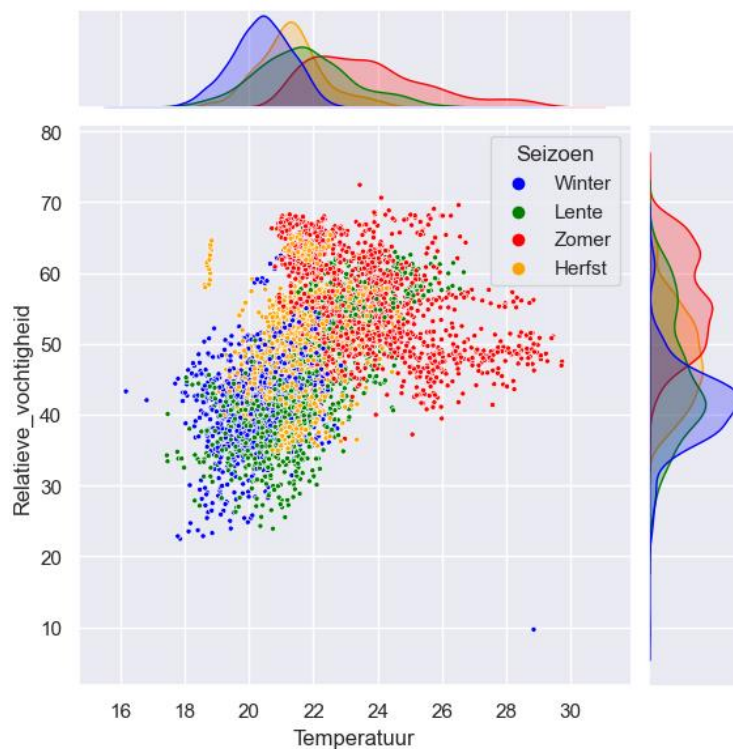


Figuur 23. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de (huidige) keuken, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)

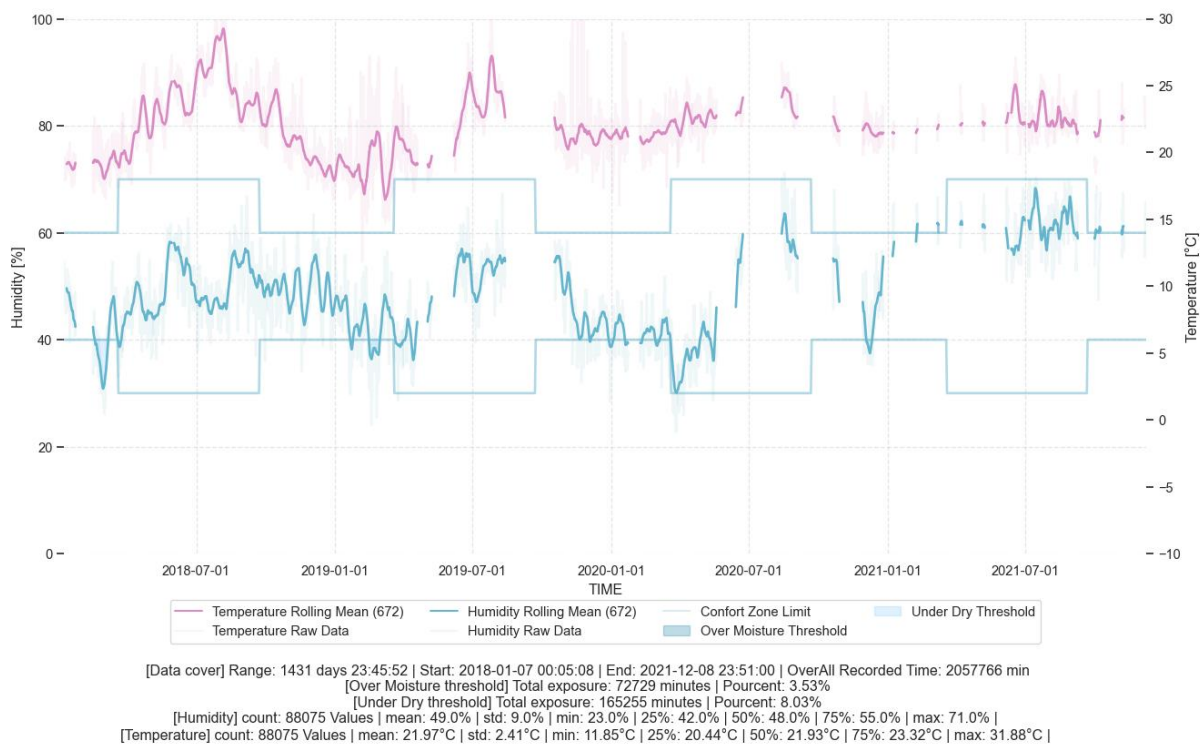


[Data cover] Range: 1431 days 23:50:54 | Start: 2018-01-07 00:08:06 | End: 2021-12-08 23:59:00 | OverAll Recorded Time: 2057697 min
 [Over Moisture threshold] Total exposure: 74835 minutes | Pourcent: 3.64%
 [Under Dry threshold] Total exposure: 196755 minutes | Pourcent: 9.56%
 [Humidity] count: 88109 Values | mean: 49.0% | std: 9.0% | min: -100.0% | 25%: 42.0% | 50%: 48.0% | 75%: 56.0% | max: 100.0% |
 [Temperature] count: 88109 Values | mean: 21.85°C | std: 1.92°C | min: 0.0°C | 25%: 20.61°C | 50%: 21.55°C | 75%: 22.75°C | max: 125.0°C |

Figuur 24. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de (vroegere) oudersslaapkamer. (©WTCB)

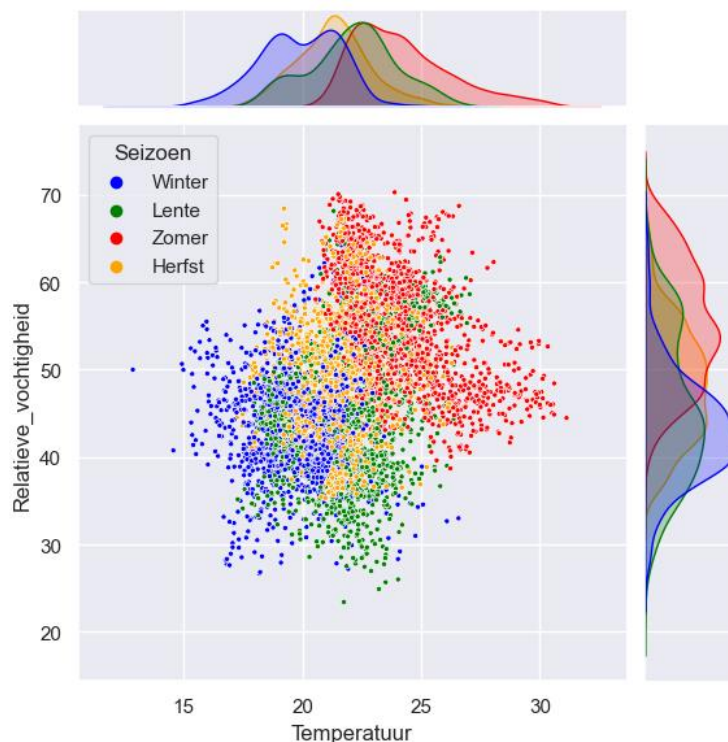


Figuur 25. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de (vroegere) ouderslaapkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)

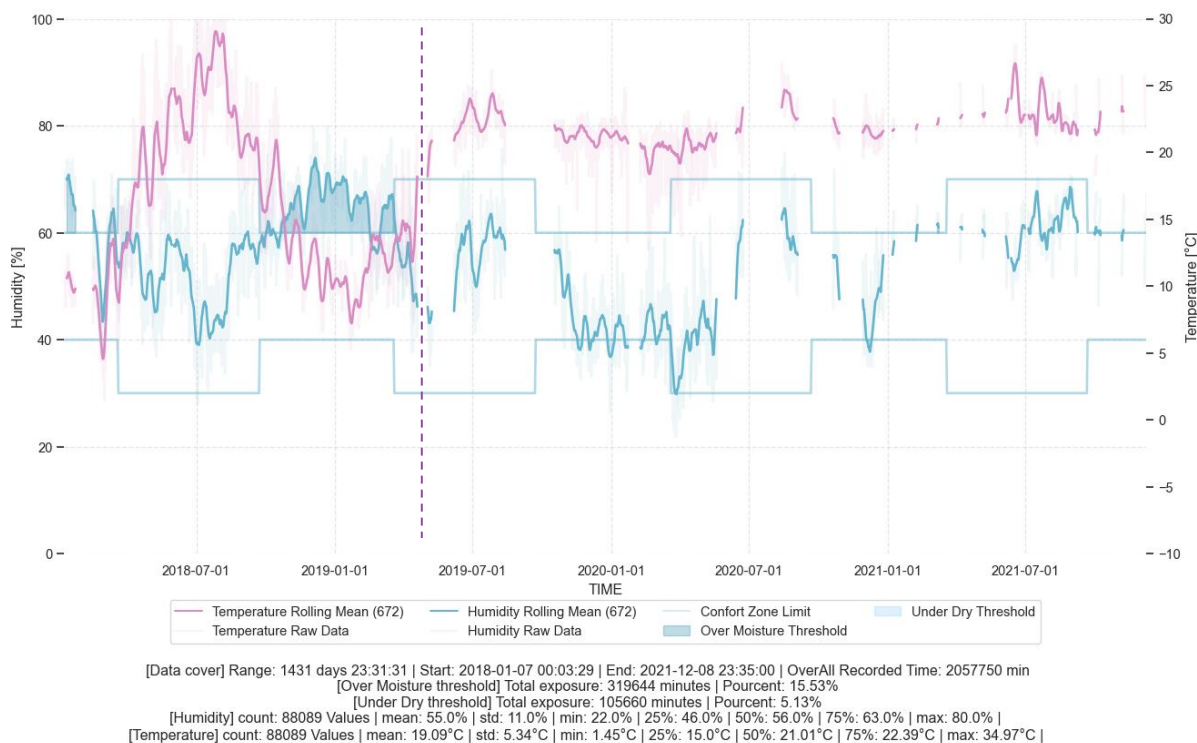


Figuur 26. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de (vroegere) kinderslaapkamer. (©WTCB)



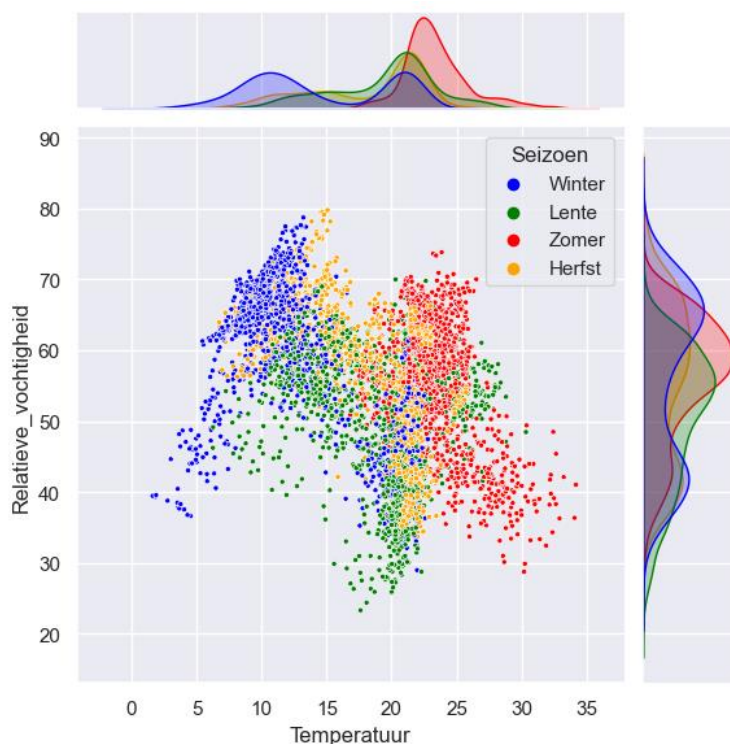


Figuur 27. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de (vroegere) kinderslaapkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)

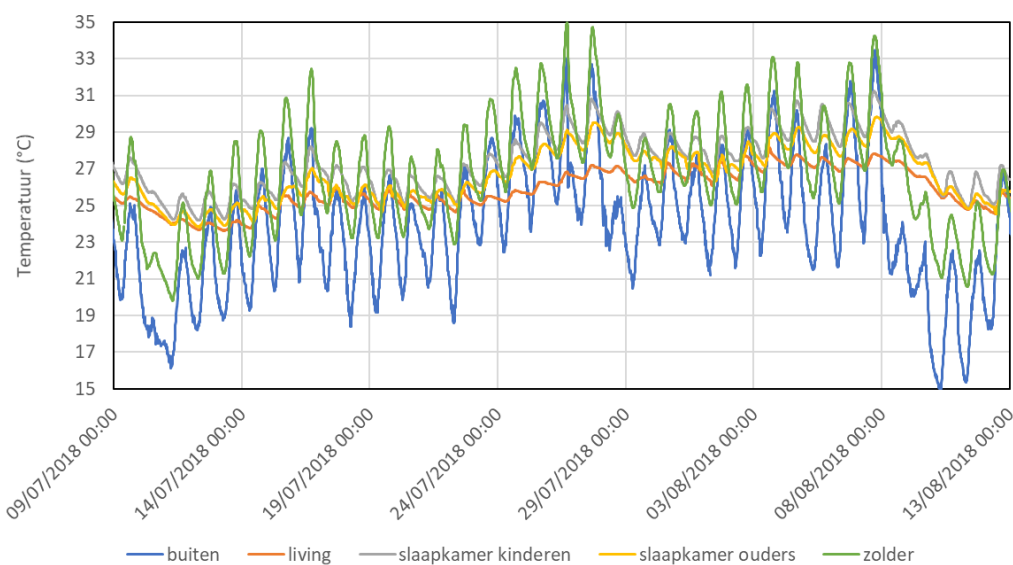


Figuur 28. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de zolder. De streepjeslijn markeert het moment waarop de sensor verplaatst werd naar de keuken omwille van afbraakwerken van het dak. (©WTCB)





Figuur 29. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de zolder, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



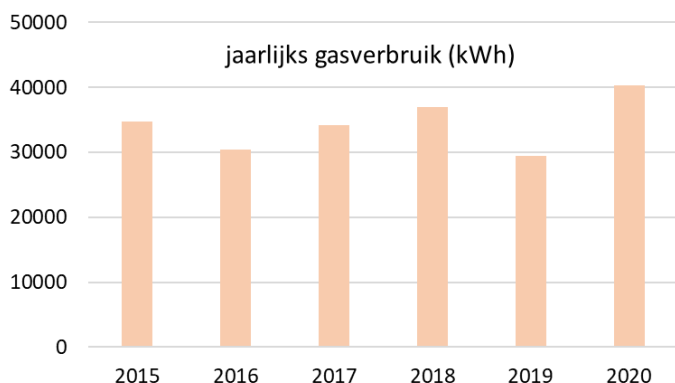
Figuur 30. Temperatuursverloop buiten en in verschillende kamers van de woning tijdens een warme periode in de zomer van 2018, vóór de isolatie van het dak. (©WTCB)

5. Verbruiksgegevens

De recente verbruiksgegevens zijn moeilijk te interpreteren door alle veranderingen van de laatste vier jaar. Vóór de werken werd de zolder niet op dezelfde manier gebruikt als na de werken. En tijdens de werken was het huis soms niet goed afgesloten, zodat er extra kosten waren voor verwarming. Figuur 31 geeft de waarden weer vanaf 2015. De verbetering van de gebouwschil zette zich in 2020 dus nog niet om in een lager verbruik. De verklaring kan liggen in: vergroting van de gebruikte ruimte (de zolder), verbetering van het comfort en tijdelijk grotere warmteverliezen door de werken. In het theoretische geval dat het huis het ganse jaar verwarmd zou worden en dat het



gebruik voor en na de werken identiek zou zijn, werd een vermindering van 120 MWh per jaar verwacht.



Figuur 31. Jaarlijks gasverbruik in kWh, gebaseerd op de afrekening van de leverancier, genormaliseerd aan de hand van de graaddagenmethode. (©WTCTB)

6. Schatting impact en besluit

Dit project wordt gekenmerkt door een stapsgewijze uitvoering gespreid over meerdere jaren, waarbij gaandeweg een aantal zaken worden bijgesteld op basis van ervaringen, omstandigheden en financiële overwegingen. Door in het huis te wonen, kunnen de gebruikers hun wensen ook steeds beter definiëren. Tijdens de werken komen ook regelmatig nieuwe zaken aan het licht, zoals bijvoorbeeld bouwsporen in muren of vloeren. Het feit dat de eigenaars ook tegelijk bewoners en architect zijn, laat zo'n organisch en flexibel renovatie-proces ook toe.

Veel keuzes komen voort uit de waardering van elementen met erfgoedwaarde. Een goed voorbeeld is de beslissing om de bestaande ramen in de achtergevel te herstellen en te voorzien van beter glas, in plaats van te gaan voor achterzetramen. De eigenaars vinden de visuele impact daarvan te groot. Andere keuzes, zoals die voor een 'oneigenlijk' ventilatiesysteem C+, zijn vooral pragmatisch. Aangezien de woning een beschermd monument is en er dus geen EPB-verplichting was, hebben we geen zicht op de globale theoretische energieprestaties. Er werd in een beperkt rapport uit 2015 wel een controle gedaan van de U-waarde van toegevoegde nieuwe elementen: voor het nieuwe dak werd 0.15 W/m²K becijferd en voor de geïsoleerde tipgevels 0.16 tot 0.23 W/m²K (12 cm).

De werkelijke verbruiksgegevens zijn tegenvallend, maar niet geheel onverwacht door de verhoging van de gebruikte ruimte en de verbetering van het comfort. Dit neemt niet weg dat de isolatiewerken aan het dak een grote energiebesparing opleveren, net als de isolatie van de vernieuwde vloer.

Referenties

- EPB-rapport, Lore Vande Cauter, 2B Safe, 2016
- Email-correspondentie met de eigenaar-bewoner-architect
- BIM-model <https://bimx.graphisoft.com/model/76270142-e616-44d2-8c53-a728f0cb3314>



3.2.2 Projectfiche 2: begijnhofhuisje, Diest

1. Gegevens

Gebouwtype	gesloten bebouwing
Functie vóór renovatie	woning
Functie na renovatie	woning
Bescherming	Het begijnhof is in zijn geheel beschermd als monument sinds 1938 (besluit ID 27, aanduidingsobject ID 859), als cultuurhistorisch landschap sinds 1939 (besluit ID 33, aanduidingsobject ID 877) en als Unesco werelderfgoed kernzone sinds 1998 (aanduidingsobject ID 14992)
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	160 m ² (inbegrepen de zolder)
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	34 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	onbekend
EPC-kengetal ná renovatie	onbekend

2. Beknopte beschrijving

Het hoofdvolume van de woning in het begijnhof van Diest bestaat uit twee bouwlagen onder een leien zadeldak met aan de straat- en aan de tuinzijde telkens een dakkapel. De woning werd in 1624 vermeld in het huisboek van het begijnhof als *H. Thecla*. Volgens de telling in 1665 was het toen een huis met lemen muren en een dak van stro. Het huis in bakstenen muren met leiendak, zoals we het vandaag kennen, dateert dus vermoedelijk van het einde van de 17^{de} eeuw of het begin van de 18^{de} eeuw.

Er zijn tijdens latere bouwfases twee volumes aan het hoofdvolume aangebouwd. Het eerste daarvan is behouden in het huidige renovatieproject. Het tweede was echter een laat-20^{ste}-eeuwse toevoeging en is gesloopt om vervangen te worden door een hedendaags volume met een zadeldak.

Achter in de tuin staat nog een tuinhuis, dat hier verder buiten beschouwing gelaten is. Het begijnhof is grotendeels eigendom van het OCMW, dat echter tijdens de laatste decennia een aantal woningen heeft verkocht of in erfpacht gegeven. Het beschouwde huisje wordt sinds 2018 gepacht door de huidige bewoonster, die zelf instaat voor de renovatie. Ze rekent daarvoor deels op een restauratiepremie van de Vlaamse Overheid. In 2017 werd het eerste toelatings- en premiedossier goedgekeurd voor de dakwerken aan het hoofddak, die werden uitgevoerd in begin 2019. Van 2018 tot 2021 volgden nog enkele dossiers interieur en exterieur. In 2021 werd het voorlopig laatste dossier ingediend met daarin een combinatie van interieur- en exterieurwerken. Het hoofdvolume is grotendeels gestript en de aanwezige vloer op volle grond werd daarbij verwijderd en vervangen door een nieuwe betonnen vloer. Op het moment van het schrijven van deze fiche zijn de ruwbouwwerken grotendeels klaar en moet een deel van de afwerking binnen nog deels gebeuren, net als de buitenbekleding van de nieuwe aanbouw.

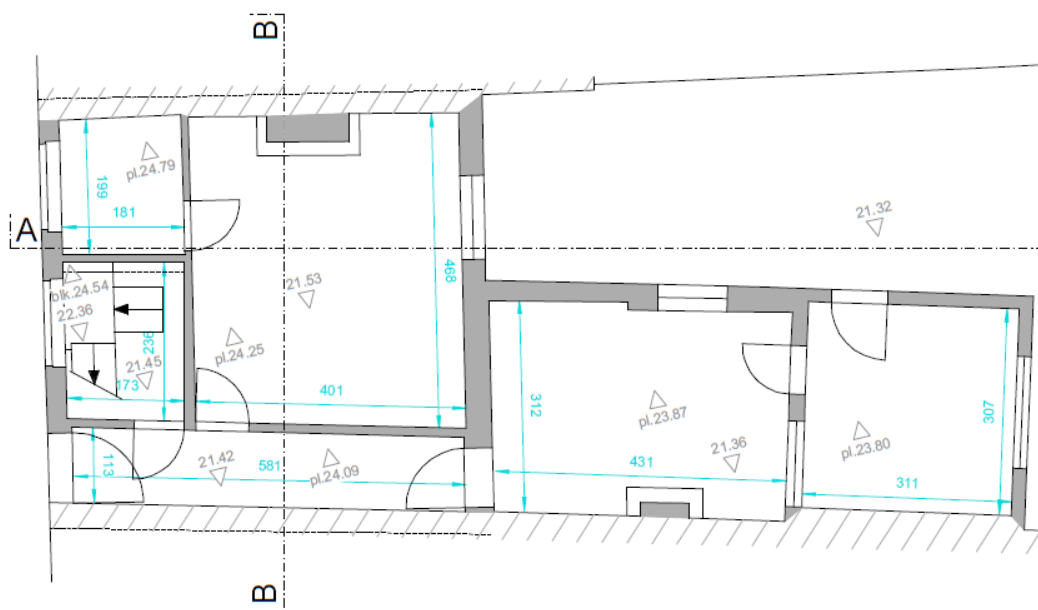




Figuur 32. Voorgevel (februari 2021).(Foto: WTCB)



Figuur 33. Achtergevel met nieuwe aanbouw; het volume tegen het huis is behouden (februari 2021).(Foto: WTCB)



Figuur 34. Grondplan van het gelijkvloers vóór renovatie (bron: CHE-rapport TeamvanMeer!).

2. Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Dak

Het hoofddak is een gordingendak, waarbij de gordingen rusten op één centrale spant en beide zijmuren. Het is geïsoleerd volgens het sarkingprincipe: het isolatiemateriaal (10 cm PIR) en de nieuwe bedekking zijn aangebracht bovenop de historische bebording, zodat de dakdikte is toegenomen. Onder de isolatie zit een zwarte folie die dienst doet als dampscherm. De zoldervloer is beperkt geïsoleerd met ongeveer 3 cm rotswol tussen een regelwerk dat de oneffenheden van de balklaag voor een deel opvangt. Daarop zijn nieuwe populieren planken aangebracht.

Muren

De voor- en achtergevel zijn anderhalve steen dik (ongeveer 29 cm) en zijn aan de buitenkant wit gekaleid en geschilderd. Op de voorgevel (west georiënteerd) is binnenisolatie aangebracht in de vorm van een NHL-kurkpleister: 4 cm op het gelijkvloers en 2 cm op 1ste verdieping. De aanwezige pleister werd eerst verwijderd. Het gebruikte product is bevat naast kurk en hydraulische kalk NHL5 als bindmiddel ook poreuze minerale aggregaten. De gedeclareerde lambda-waarde is 0.037 W/m²K, maar deze opvallend lage waarde moet misschien met een korrel zout genomen worden: een gelijkaardig product van dezelfde fabrikant bleek in ons labo een veel hogere lambda-waarde te hebben dan de gedeclareerde waarde (deels te wijten aan de aanmaakmethode van de proefstukken). Alle binnenmuren en ook het balkenplafond boven het gelijkvloers zijn afgewerkt met ongeschilderde kalkpleister. Beide zijmuren (gemene muren) steken boven de buurhuizen uit en zijn op die plaats niet geïsoleerd. Wel is het metselwerk hersteld in de winter van 2021. Doordat de zoldervloer slechts beperkt geïsoleerd is, vormen deze koude muren wel een zwakke schakel in het isolatie-concept.

Ramen en deuren

Behalve de voordeur en het raampje erboven, is al het schrijnwerk integraal vervangen door nieuw eiken schrijnwerk naar een historiserend ontwerp (niet naar model van de bestaande) (Figuur 35). De opengaande vleugels hebben een dubbele slag, waarvan één voorzien is van een tochtstrip. De beglazing is dubbel *monumentenglas* waarvan de buitenste laag bestaat uit getrokken glas en de binnenkant uit floatglas (de U-waarde hangt af van de aard van het gas tussen de panelen en de aanwezigheid van coatings en ligt vermoedelijk tussen 1.3 en 1.5 W/m²K). De verdeelroedes tussen de glaspanelen zijn uit aluminium. De glaspanelen zijn vastgezet met een stopverf op basis van lijnolie, die met de profielen mee geschilderd wordt aan de straatkant maar op andere plaatsen ongeschilderd blijft (Figuur 36). De bovenlichten van de deurramen en van de voordeur zijn uitgevoerd in enkel glas (Figuur 37). Aan de straatzijde zijn de ramen en de voordeur donkergroen geschilderd. Binnen en aan de achtergevel zijn ze naturel: het eikenhout is kunstmatig verouderd door uitlogen met een alkalische product en is niet geolied of gebeitst. Op twee plaatsen is enkel glas geplaatst: in het bovenlicht van de deurramen in de achtergevel en de zijgevel van de eerste aanbouw, en in het bovenlicht van de voordeur.





Figuur 35. Binnenzicht van het raam naast de voordeur.(Foto: WTCB)



Figuur 36. Detail van hetzelfde raam met open vleugel.(Foto: WTCB)

Ondanks de grote verbetering ten opzichte van de voorgaande of een vroegere historische toestand, blijven de prestaties van deze ramen relatief bescheiden. Eén compromis is dat de metalen verdeelroeden koudebruggen zijn en dus aanleiding geven tot condens aan de binnenkant. Bij onze bezoekdag in februari 2021 was er bijvoorbeeld condens in de ochtend. Uit de monitoringgegevens weten we dat het toen in de slaapkamer tussen 10 en 11°C was met een relatieve vochtigheid tussen 59 en 60%. Bij dat vochtgehalte van de lucht is het dauwpunt ongeveer 3°C, terwijl we ook weten dat de buitentemperatuur tussen -7°C en -5°C was. Dit toont dus aan dat de metalen regel op die specifieke momenten aanleiding geeft tot zeer plaatselijke condens, terwijl op het glas of op de dagkanten van de ramen geen condens verschijnt.



Figuur 37. Deurraam met driedelig bovenlicht in de achtergevel.(Foto: WTCB)



Vloeren

Zowel het hoofdvolume als de tweeledige aanbouw hebben een vloer op volle grond. De aanwezige vloer is verwijderd en uitgegraven. De nieuwe betonnen vloerplaat is geïsoleerd met een combinatie van rotswol (gemiddeld 3cm) en daarop 6 cm harde PUR-platen. De onderste laag is niet overal even dik en dient in feite als uitvulling, aangezien de betonplaat niet vlak was. Er is vloerverwarming gelegd in de dekvloer. De vloer zal afgewerkt worden met tegels in Belgische blauwe steen op vraag van de erfgoedconsulent (het toegelaten alternatief, rode keramische tegels, werd ervaren als visueel te dominant).

Verwarming

De verwarmingsinstallatie is volledig nieuw en werkt met een hoogrendements-gasketel die tevens het sanitair warm water verwarmt. Het gelijkvloers wordt verwarmd met een hydronische vloerverwarming die ingewerkt is in de dekvloer. Op de verdieping is geen verwarming voorzien, behalve een elektrische bijverwarming in de badkamer.

Ventilatie en luchtdichtheid

De luchtdichtheid van de gevels is aanzienlijk verbeterd door de vervanging van het schrijnwerk door nieuw schrijnwerk met enkelvoudige tochtichting. De nieuwe deurramen worden onderaan voorzien van een tochtborstel (bij de voordeur is dit niet voorzien). Omwille van mogelijke problemen met inwendige condensatie ter plaatse van binnenisolatie, is speciale zorg besteed aan de luchtdichte inkleding van de balkoppen in de voorgevel. Dat is gedaan door middel van een tweetraps dichting met luchtdichte tape waarover dan gepleisterd is. De werkwijze daarvoor is gebaseerd op richtlijnen opgesteld in het kader van het project Renofase.

Niet uitgevoerd of gepland

Muren

De muren van de zolder die deels uitsteken boven de flankerende daken zijn niet geïsoleerd.

Ventilatie en luchtdichtheid

Er is geen ventilatiesysteem voorzien. Plaatselijk (in het toilet beneden) is een mechanische afzuiging voorzien die door de lichtschakelaar aangezet wordt.

3. Metingen

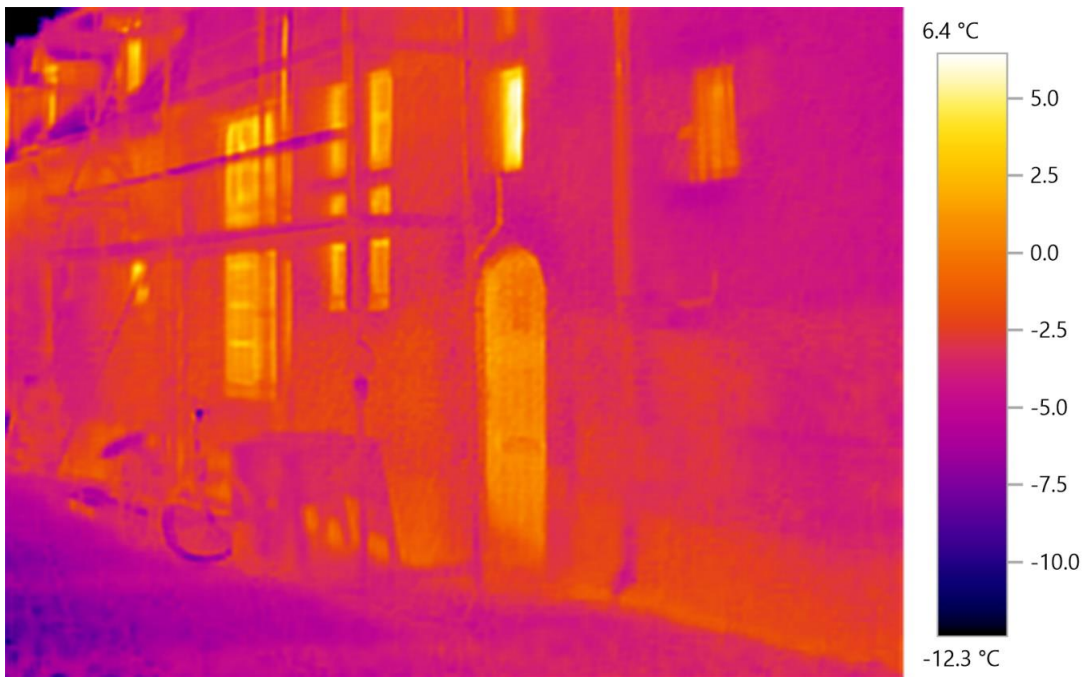
IR-thermografie

Op 11 februari 2021 werd een reeks IR-opnames gemaakt tijdens de voormiddag, zowel binnen als buiten. De resultaten laten toe om plaatselijke warmteverliezen en eventueel risico op condens in te schatten. Op het moment van de opnames was het buiten tussen -7°C en -5°C. De binnentemperatuur op het gelijkvloers varieerde van 20,9 tot 21,2 °C (woonkamer).

Uit de beelden van de voorgevel blijkt dat het venster boven de voordeur (met enkel glas) en een spleet onder de voordeur voor warmteverliezen zorgen. Het dak is koud (Figuur 40), wat erop wijst dat de isolatie (volgens sarking-principe) goed zijn werk doet. De aansluiting bij de nok lijkt echter niet optimaal. Volgens de bewoonster zijn er ook zichtbare luchtlekken aan de nok. Mogelijk vervormt het andere materiaalgebruik van de nok wel enigszins het beeld: hij is uitgevoerd in



geglazuurde pannen tegenover natuurleien voor de rest van het dak. Ter controle is een 3D-drone-thermografie uitgevoerd op een latere datum (21 februari 2021). Daarop is geen uitgesproken groot warmteverlies aan de nok merkbaar. Op dat moment was het ook wel heel wat minder koud (8 tot 13°C). Waarschijnlijk ontsnapt er wel wat lucht bij de aansluiting van de nok, maar is de temperatuur van de nokpannen niet zoveel lager dan die van de leien.

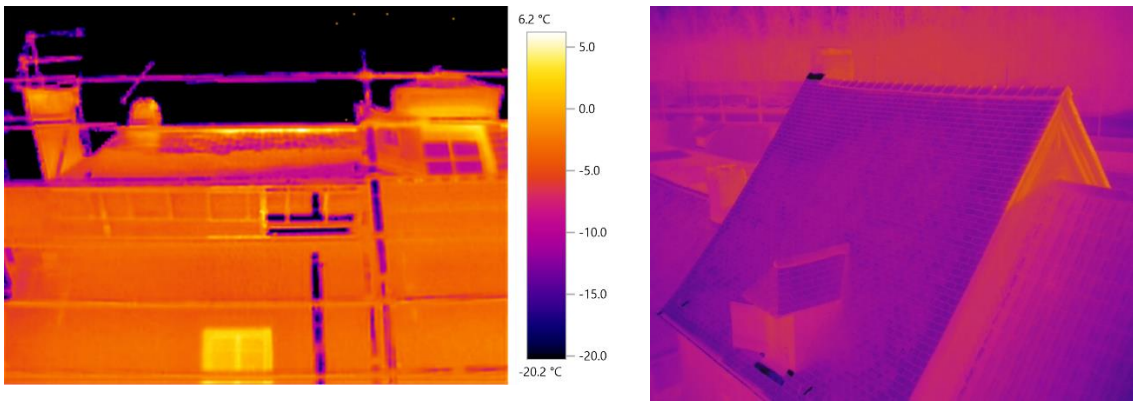


Figuur 38. IR-beeld van de voorgevel: de nieuwe ramen presteren behoorlijk, behalve het raampje boven de voordeur. Dat heeft enkel glas, maar is wel voorzien van houten klapluikjes aan de binnenkant. (©WTCB)



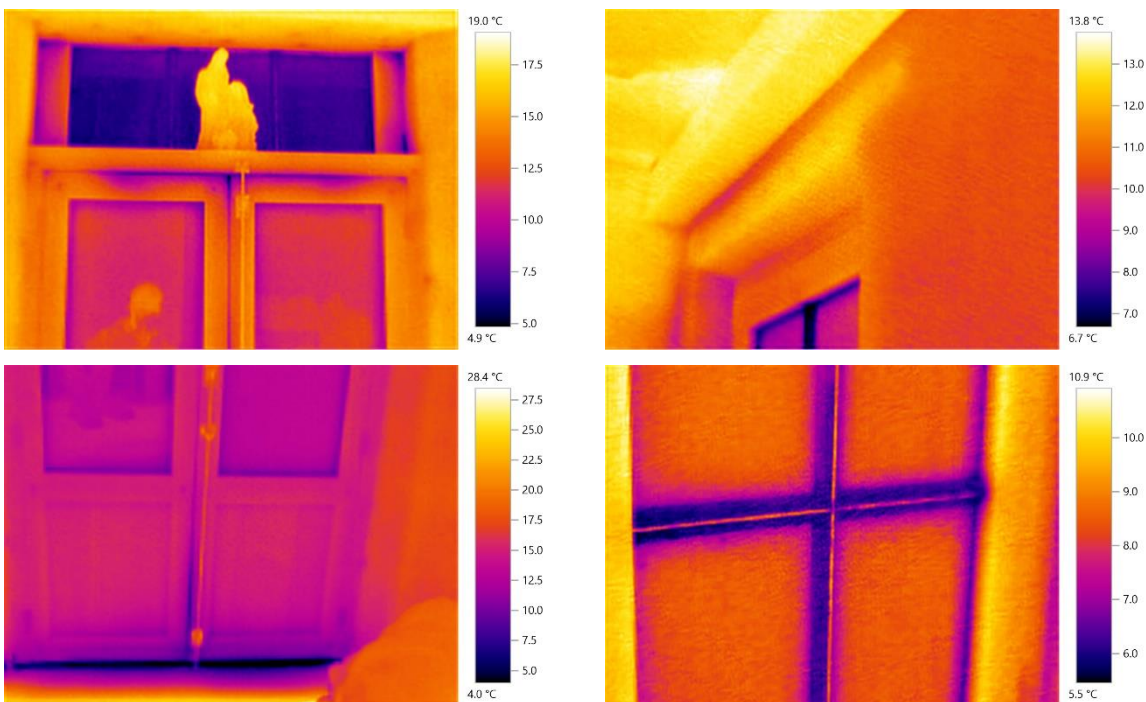
Figuur 39. Bij de voordeur tekenen de achterliggende stijlen zich af. Door het breken en verzakken van het linkerdeel van de dorpel is een spleet ontstaan. Blijkbaar trekt langs die spleet koude lucht naar binnen, zodat de linkeronderhoek van de deur een stuk kouder is dan de rest. Het kijkgaatje boven in de deur is dan weer een warm element. (©WTCB)





Figuur 40. Links: gewone IR-opname van de voorgevel met zicht op het dak. Hoewel de scherpe hoek niet ideaal is voor de meting, lijkt het alsof het de isolatie in het dakvlak zeer effectief is, maar dat er bij de aansluiting aan de nok een koudebrug is. De onderste zone van het dak is bedekt met sneeuw. Rechts: 3D-drone-thermografie van het dak vanuit de lucht op een andere datum. (©WTCB)

De onderstaand beelden tonen enkele bijzonderheden van de ramen (Figuur 41). Hoewel de sluiting van de deurramen in de tuingevels nieuw is en goed functioneert, is toch een suboptimale dichting vast te stellen. Ondanks de tochtborstel onderaan, is ook daar wel een koude strook zichtbaar, met een sterke gradiënt van ruim 25°C naar 5°C op die plaats in de dekvloer. De houten lateien van de ramen, die met het blote ook niet zichtbaar zijn aangezien ze ingepleisterd zijn, verschijnen wel in de IR-beelden als zones die thermisch beter presteren door de lagere warmtegeleiding van het hout.



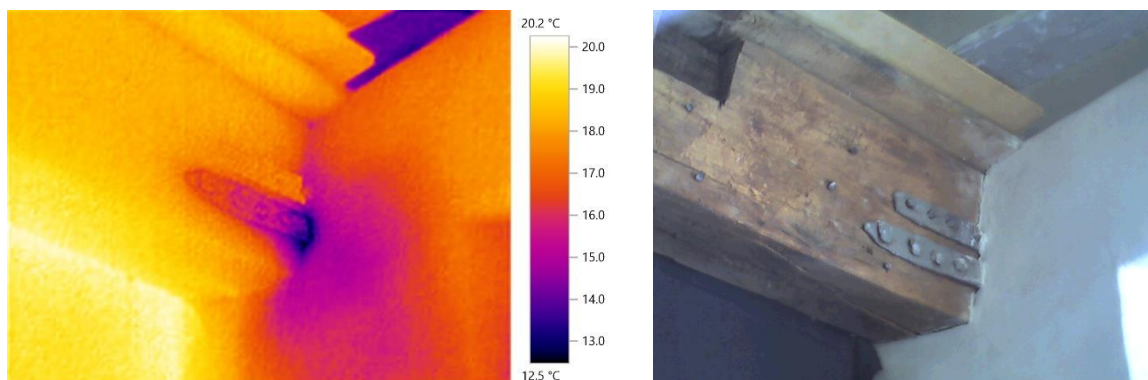
Figuur 41. Details van de ramen in IR. (opmerking: de spanjolet zit onderaan nog niet vast) (©WTCB)

Als we in detail kijken naar de metalen verdeelroeden, dan zien we dat het metaal aan de binnenkant eigenlijk minder koud lijkt dan de stopverf. Waarschijnlijk heeft het metaal echter een lagere emissiviteit, dus we kunnen uit dat verschil geen conclusies trekken en fysisch is het logisch dat beide materialen quasi op dezelfde temperatuur staan. Condens op de stopverf kan theoretisch leiden tot schimmelvorming, maar hoogstwaarschijnlijk droogt ze voldoende snel op, zodat dit risico niet acuut wordt.

Het is evident dat de aanwezigheid van muurankers leidt tot koudebruggen. Dit bemoeilijkt nog de aansluiting van de balkoplegging in een buitenmuur, die sowieso al complex is. In Figuur 42 is het

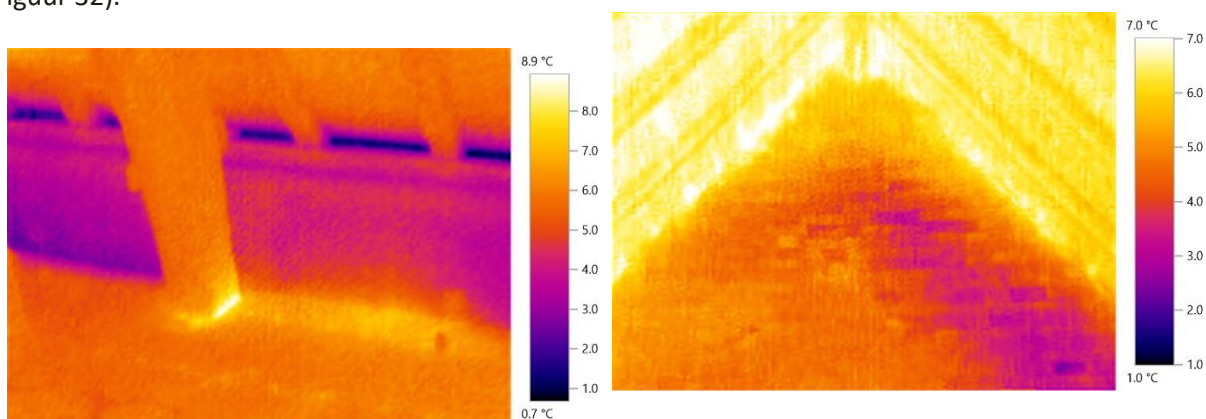


koudste punt ongeveer 13°C. Op dat moment was de binnentemperatuur ongeveer 18°C en de relatieve vochtigheid ongeveer 35%. Er is valt dus niet te vrezen voor condens (het dauwpunt bedraagt 3°C). Moest er langsheen dat anker een luchtstroom naar buiten plaatsvinden, dan kan er inwendig in de muur wel eventueel condens ontstaan.



Figuur 42. IR-opname van een balkkop met muuranker in de aanbouw tegen de achtergevel. (©WTCB)

Op onderstaande beelden van de zolder (Figuur 43) is te zien dat de plaats waar het spantbeen de zondervloer doorboort aanleiding geeft tot een koudebrug, vermoedelijk veroorzaakt door een luchtlek waarlangs warmere lucht van de verdieping naar boven stroomt. De zijmuren van de zolder zijn behoorlijk koud, aangezien ze niet geïsoleerd zijn en boven de naburige huizen uitsteken (zie ook Figuur 32).

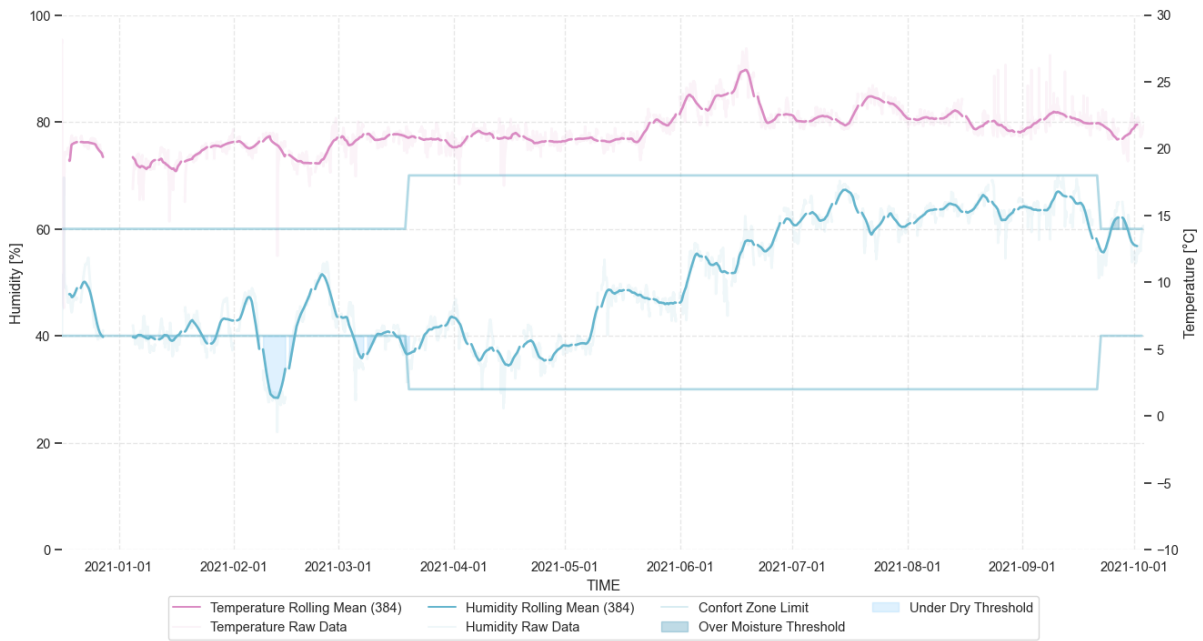


Figuur 43. IR-opnames van de zolder: links de achtermuur ter plaatse van het centrale spantbeen; rechts de uitstekende puntgevel. (©WTCB)

Binnenklimaat

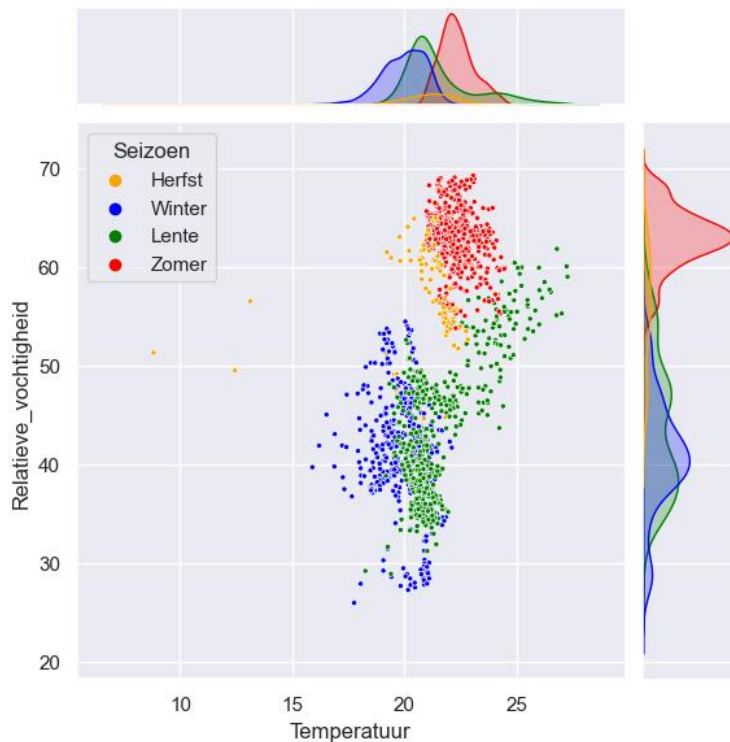
In vier kamers zijn loggers geplaatst: in de leefruimte en de keuken beneden, en in de slaapkamer en de badkamer boven (Figuur 44 tot Figuur 51). In de slaapkamer werd bovendien een CO₂-meter geplaatst (Figuur 52). De gegevens zijn om de 15 minuten geregistreerd vanaf 17 december 2020. De vloerverwarming zorgt voor een comfortabele temperatuur in de leefruimte, zelfs tijdens de koudegolf rond 10 februari 2021 die in de grafieken zichtbaar is. De waarden voor relatieve vochtigheid op het gelijkvloers zijn mogelijk enigszins vertekend door het uitdrogen van de dekvloer en de pleister, maar de sterke val tijdens de koudegolf is duidelijk zichtbaar. Globaal schommelt de RV tussen 35 en 45 % in de living en tussen 40 en 50 % in de keuken. De waarde ligt in de slaapkamer doorgaans wel wat hoger: dat verklaart waarom daar soms condens kan optreden op de verdeelroedes in het venster. We observeren dat hier een verandering zichtbaar is na de koudegolf: de globale temperatuur wordt iets hoger, en in overeenstemming daarmee daalt de RV. Dit komt overeen met een iets hogere afstelling van de verwarming.





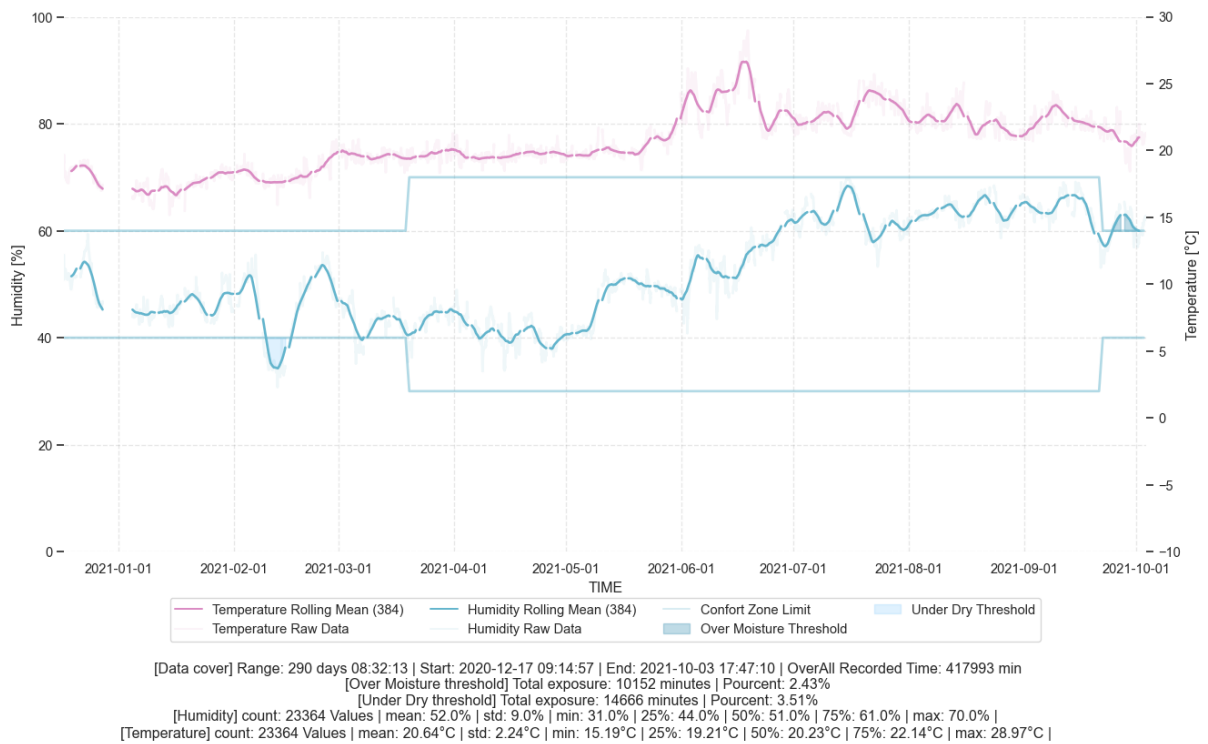
[Data cover] Range: 291 days 00:31:53 | Start: 2020-12-16 17:27:55 | End: 2021-10-03 17:59:48 | OverAll Recorded Time: 418951 min
 [Over Moisture threshold] Total exposure: 8516 minutes | Pourcent: 2.03%
 [Under Dry threshold] Total exposure: 48288 minutes | Pourcent: 11.53%
 [Humidity] count: 23428 Values | mean: 50.0% | std: 11.0% | min: 22.0% | 25%: 40.0% | 50%: 48.0% | 75%: 61.0% | max: 70.0% |
 [Temperature] count: 23428 Values | mean: 21.3°C | std: 1.59°C | min: 8.09°C | 25%: 20.37°C | 50%: 21.18°C | 75%: 22.2°C | max: 28.15°C |

Figuur 44. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de living: : ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

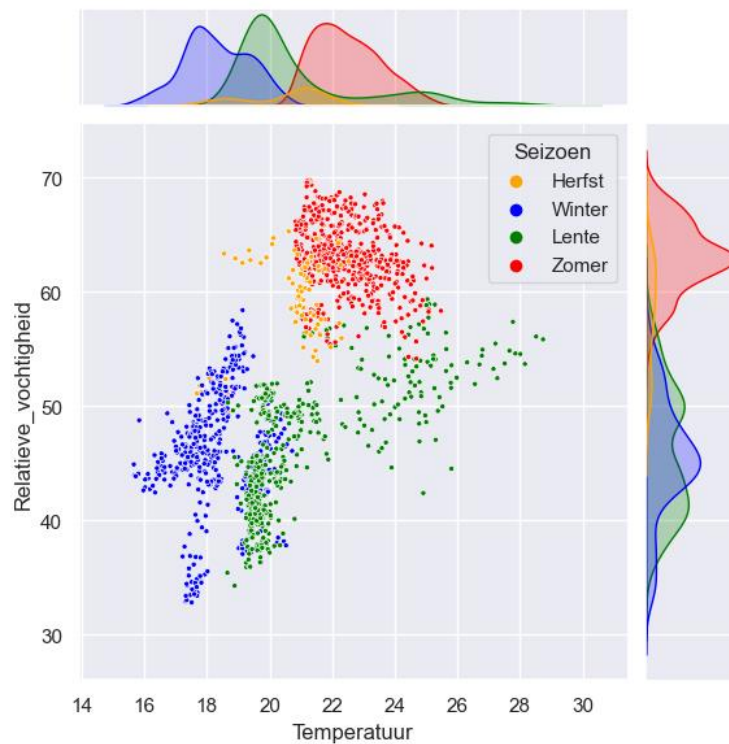


Figuur 45. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de living, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstip van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



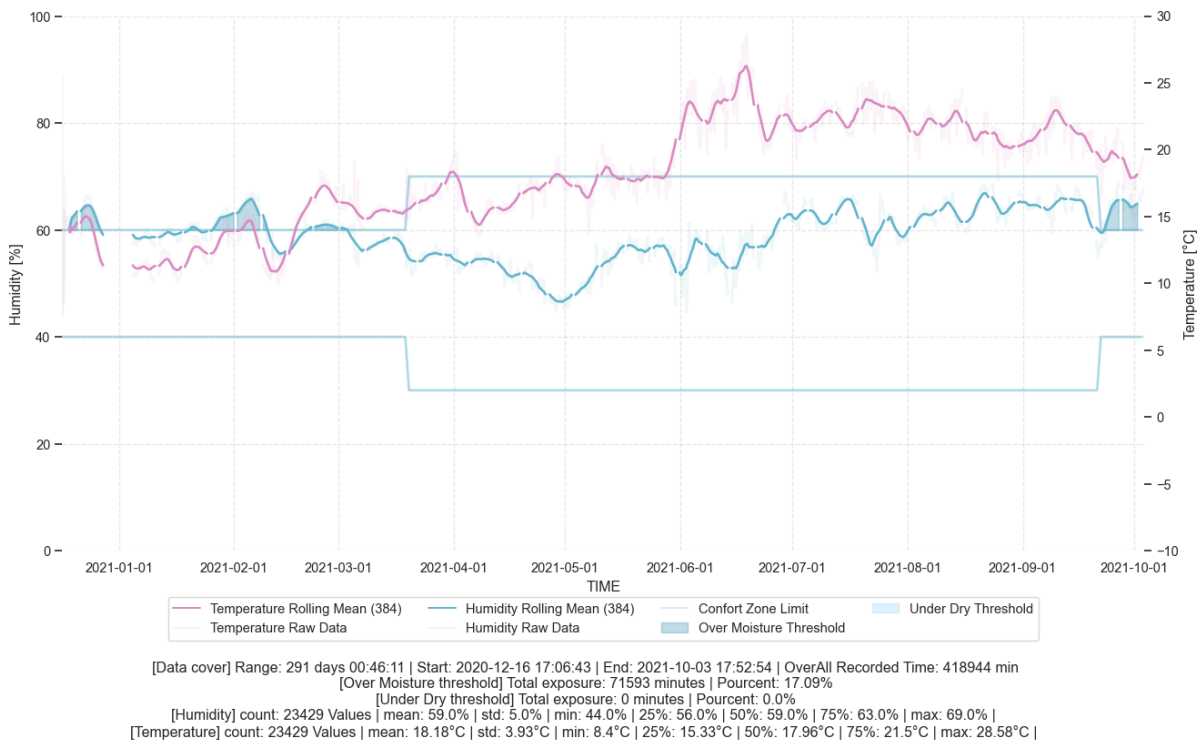


Figuur 46. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

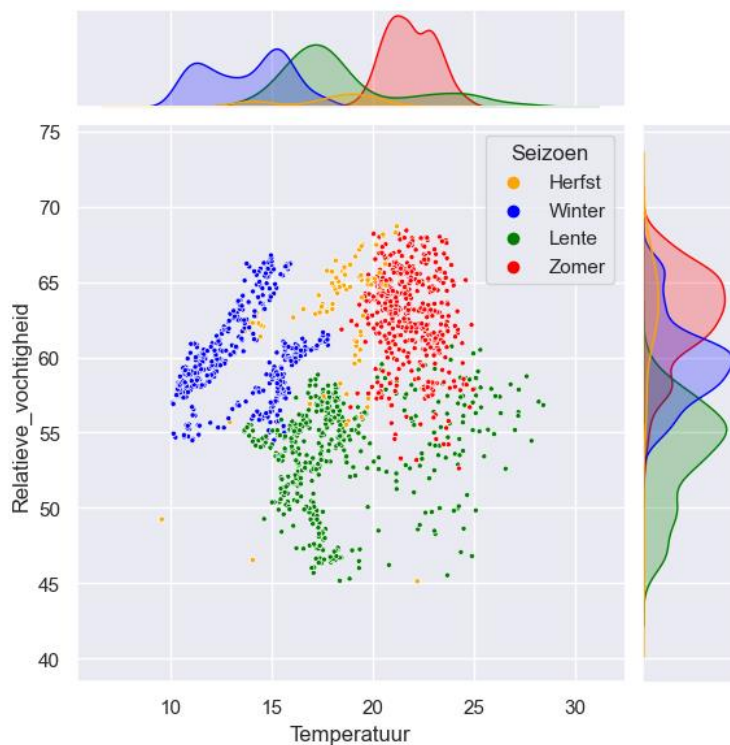


Figuur 47. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



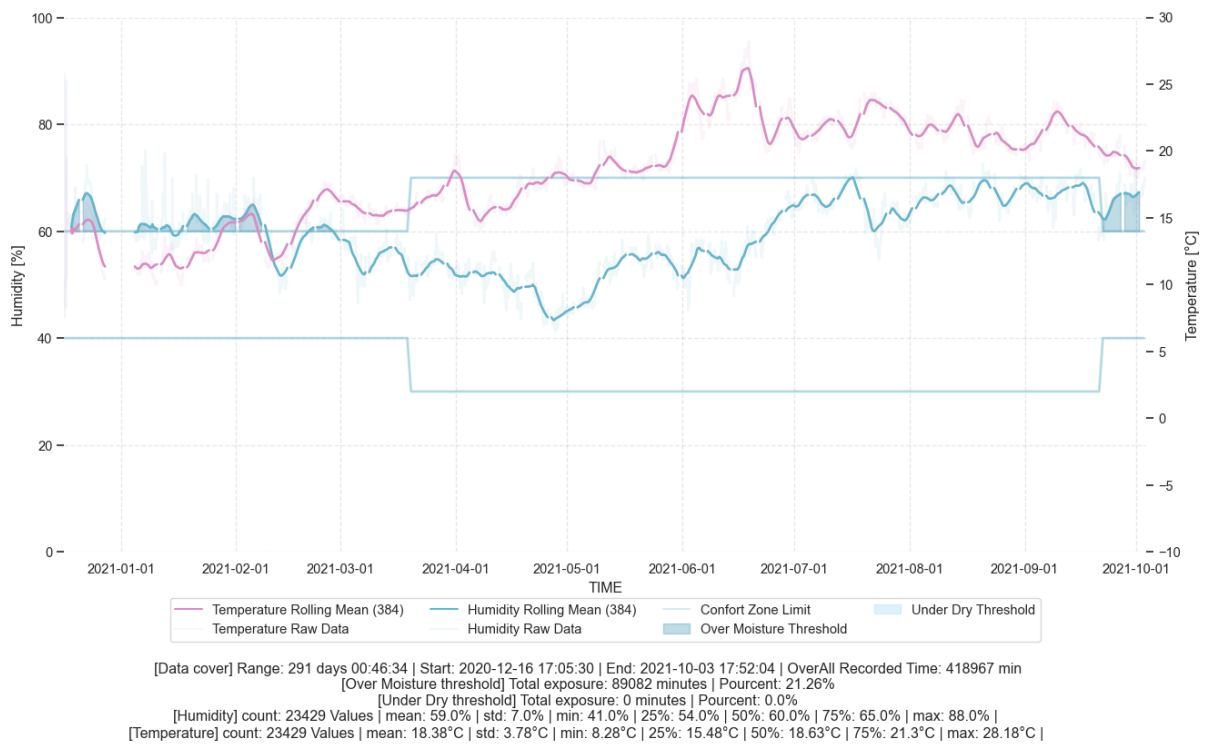


Figuur 48. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

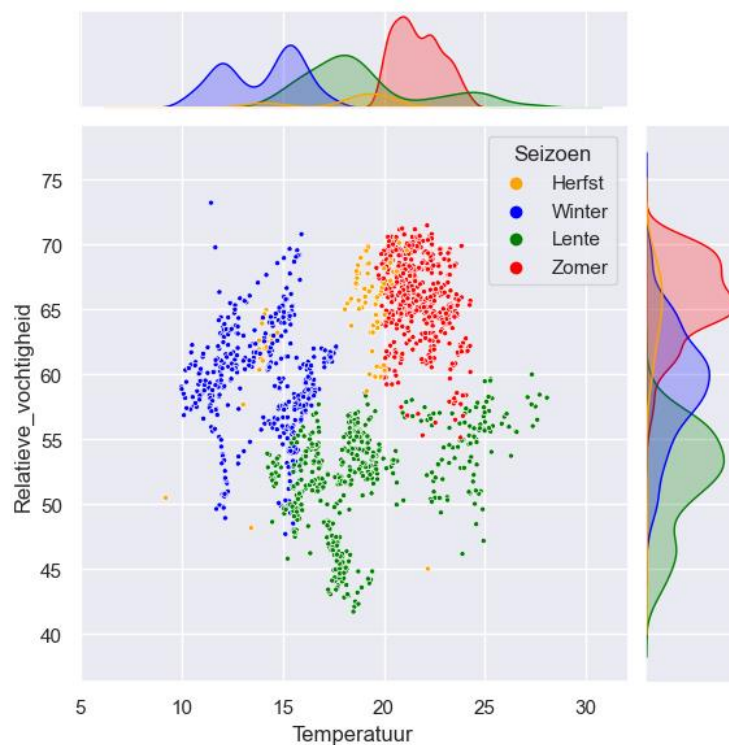


Figuur 49. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstip van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)





Figuur 50. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de badkamer: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



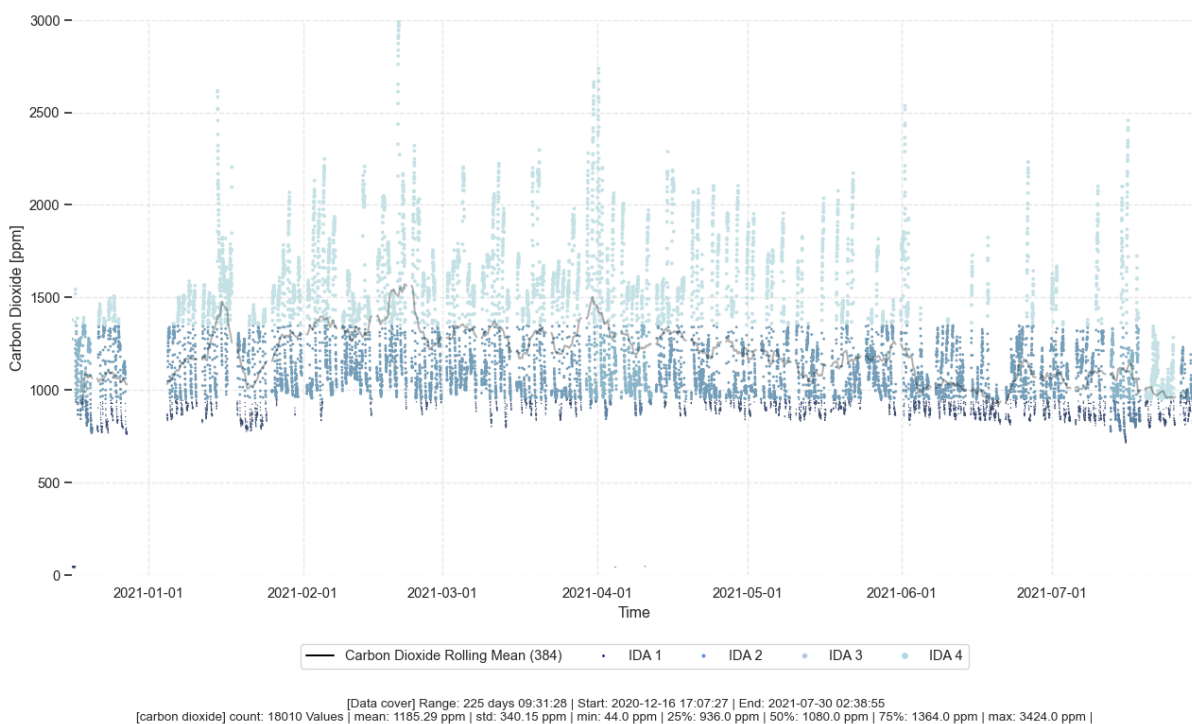
Figuur 51. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de badkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



De CO₂-concentratie is een goede indicator voor de concentratie van bio-effluenten en geeft ook een idee van de effectiviteit van de ventilatie in het algemeen. Net als de RV vertoont het verloop van deze waarde in de slaapkamer een zaagtandprofiel dat de leefgewoontes van de bewoner(s) reflecteert. De grafiek van een willekeurige week in maart 2021 illustreert zo'n verloop (Figuur 53).

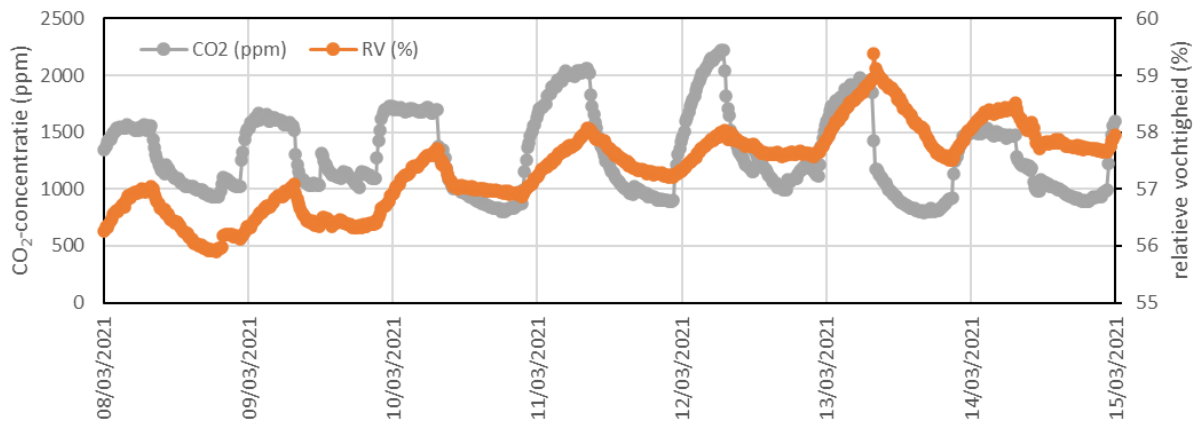
Vanaf het moment van slapengaan neemt de concentratie toe om uiteindelijk een maximum te bereiken tegen de ochtend. Als dan 's morgens verlucht wordt (of de bewoner verplaatst zich gewoon naar de dagraumtes), daalt de concentratie terug naar het basisoniveau. Als richtlijn voor niet-residentiële gebouwen geldt 800 tot 1000 ppm voor goede luchtkwaliteit en 1100 tot 1500 voor aanvaardbare luchtkwaliteit (gebaseerd op NBN EN 13779:2004, tabel 9). Specifiek voor slaapkamers vermeldt de norm NBN EN 16798-1:2019 richtwaarden van 950 en 1350 ppm voor respectievelijk goed en aanvaardbaar. We moeten daarbij wel vermelden dat het meettoestel vlak naast het bed gepositioneerd was.

Nadat er in mei 2021 een tussentijdse bespreking is geweest van deze meetresultaten, heeft de bewoner beslist om tijdens de daaropvolgende warme maanden vaker te slapen met het raam op een kier en om 's morgens meer te verluchten. Kijken we naar het verloop van metingen over alle gegevens (Figuur 52), dan merken we daar effectief een daling van de gemiddelde concentratie vanaf de maand juni 2021. Eén van de gevolgen van het gebruiken van deze historiserende nieuwe houten ramen, is dat je ze niet in een kipstand kunt zetten.



Figuur 52. CO₂-concentratie in de slaapkamer. (©WTCB)





Figuur 53. Verloop van de CO₂-concentratie en de relatieve vochtigheid (RV) tijdens een willekeurige week in maart 2021. (©WTCB)

4. Verbruiksgegevens

Er waren in de voorgaande toestand twee gaskachels aanwezig in het huis: één in de woonkamer en één in keuken. In de badkamer was er een elektrische bijverwarming. De huidige bewoonster heeft van die oude installatie nooit gebruik gemaakt, zodat een vergelijking met het vroegere energiegebruik moeilijk is.

De enige informatie waar we over beschikken, is een afrekening van het aardgas van de winter 2020-2021. In dat stookseizoen werd 18 587 kWh aan gas verstoekt. Gecorrigeerd naar een standaardjaar aan de hand van de graaddagenmethode, betekent dat 18 749 kWh per jaar. Per eenheid van nuttig vloeroppervlak komt dat neer op 116 kWh/m²jaar indien we de zolder bij het nuttig oppervlak mee rekenen. Doen we dat niet, wat volgens de EPB-regels niet correct is maar wel meer realistisch, dan ligt het verbruik op 156 kWh/jaar.

De theoretische berekende energiebesparing door beter isolatie, bedraagt 34 MWh/jaar. Dat is een zeer grote besparing ten opzichte van het werkelijke verbruik. Het is dan ook wellicht een overschatting, omwille van het zogenaamde *energy savings deficit*.

5. Schatting impact en besluit

Ondanks het feit dat het gaat om een zware renovatie (quasi volledige vervanging van vloeren, schrijnwerk en dak), heeft de woning zijn authentiek karakter niet verloren. Deze uitstraling is deels te danken aan de gevoelige keuze voor materialen en de detaillering, die een compromis vormen tussen de wensen van de bewoner en de richtlijnen van de overheid en die gebaseerd is op voorafgaandelijk wetenschappelijk onderzoek. De toegepaste maatregelen zijn oordeelkundig gekozen. De verhoging van het dakvlak door het aanbrengen van isolatie stoort visueel niet erg en is op bouwfysisch vlak positief. De keuze voor historiserende nieuwe raamprofielen en glas maakt wel dat de prestaties onder die van hedendaagse nieuwbouw-ramen liggen wat betreft luchtdichtheid en thermische prestaties in het algemeen. We konden een aantal koudebruggen lokaliseren, maar behalve ter plaatse van de metalen verdeelroedes wordt daarbij geen risico op condens verwacht.

De warmteverliezen naar boven toe zouden nog kunnen verminderen als de zoldervloer meer geïsoleerd zou worden of als de muren van de zolder aan de binnenzijde geïsoleerd zouden worden. Bij dat laatste is wel voorzichtigheid geboden voor de zuidelijke muur, die sterk blootgesteld is aan regen en dus aan risico op vorstschade.

De ventilatie van de slaapkamer 's nachts is niet optimaal. Een gestuurde aanvoer van verse lucht doorheen de gebouwschil is hier niet evident. Misschien is het mogelijk om door mechanische afvoer



in de badkamer in combinatie met het controleren van luchtlekken te komen tot een verhoogd ventilatievoud van de slaapkamer en daardoor een betere luchtkwaliteit. De afvoer zou vraaggestuurd kunnen zijn en bv. werken met een CO₂-sensor in de slaapkamer of een RV-sensor in de badkamer of de keuken. Voor aanvoer kan gerekend worden op lucht die in de hal toegevoerd wordt en via de spleet onder de deur de slaapkamer binnenkomt.

Referenties

CHE STUDIE Heilige Geesstraat 12 - Begijnhof Diest, Team van Meer, 2018
 Premiedossier interieur, ingediend bij het Agentschap Onroerend Erfgoed in 2019
 Filip Dobbels, RenoFase WP4: Coördinatie van doorgedreven stapsgewijze renovatie, Deliverable D4-2, Detaillering van binnenisolatie, praktijkgids (p. 60 en pp. 131-186), WTCB, 2017

3.2.3 Projectfiche 2b: dak begijnhofhuisje, Diest

1. Gegevens

Gebouwtype	gesloten bebouwing
Functie vóór renovatie	woning
Functie na renovatie	woning
Bescherming	Het begijnhof is in zijn geheel beschermd als monument sinds 1938 (besluit ID 27, aanduidingsobject ID 859), als cultuurhistorisch landschap sinds 1939 (besluit ID 33, aanduidingsobject ID 877) en als Unesco werelderfgoed kernzone sinds 1998 (aanduidingsobject ID 14992)



Figuur 54. Voorgevel: twee woningen zijn ondergebracht in één bouwvolume en zijn samen gerenoveerd.(Foto: WTCB)





Figuur 55. Achtergevel van de beide woningen.(Foto: WTCB)



Figuur 56. Binnenaanzicht van het dak in de linkse woning, met zichtbare spant, gordingen, kepers en bebording. (Foto: WTCB)

2. Beknopte beschrijving

Twee wooneenheden zijn ondergebracht in hetzelfde volume van één bouwlaag in metselwerk met daarboven een dakverdieping onder een zadeldak. Vooraan zijn er twee dakkapellen (Figuur 54), achteraan zijn er vier: twee grote en twee kleine (Figuur 55). Tegen het hoofdvolume is op het gelijkvloers een aanbouw van één bouwlaag onder een lessenaardak gebouwd in een latere fase. Het huis maakte geen deel uit van de oorspronkelijke reeks cases. Aangezien het echter een goed voorbeeld is van de toepassing van aerogelmatten voor een dun sarkingsdak, is het toch opgenomen in onze studie. Deze projectfiche bespreekt daarom beknopt enkele aspecten van dit dak. De enige metingen die zijn uitgevoerd, zijn opnamen met de IR-camera na de renovatie.

3. Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Dak

Het hoofddak is geïsoleerd volgens het sarkingprincipe, d.w.z. dat de nieuwe isolatie bovenop de bestaande bebording is geplaatst. Daarbij werd hier geen gebruik gemaakt van harde platen in synthetische isolatie of minerale wol, maar wel van sterk isolerende aerogelmatten of -dekens. Het gaat om een vrij recent materiaal, dat oorspronkelijk vooral zijn toepassing kende in de ruimtevaart. Het wordt gebruikt in de vorm van tamelijk flexibele, oprolbare dekens. Het is uiteraard geen gel: de naam verwijst naar het productieproces. Vaste silicium-deeltjes in een vloeibaar medium vormen daarbij eerst een gel (d.w.z. dat er een aaneengesloten skelet van vaste deeltjes wordt gevormd dat stevigheid geeft) waaruit dan vervolgens het solvent verwijderd wordt op een zodanige manier dat er geen sterke capillaire krachten kunnen ontstaan die het materiaal doen ineensklappen. De zogenaamde *gel* kan gemaakt worden in de vorm van vaste blokjes of kleinere korrels. De dekens die in de bouw courant zijn, worden verkregen door de gel-deeltjes te laten ontstaan in een substraat van glaswol. Wat we dus eigenlijk zien is een glaswolmat gevuld met aerogeldeeltjes. Het specifieke proces voor verwijdering van het solvent is technisch niet eenvoudig en vraagt veel energie. Om die reden is het materiaal niet goedkoop.



Door het uitzonderlijk fijne vastestof-skelet en de uitzonderlijk grote porositeit heeft de aerogel in de vorm van dekens een uitstekende lambda-waarde van $0.015 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dat is maar half zoveel als PUR of XPS en het hoort daarom samen met vacuüm-isolatie thuis in het rijtje van de ultra-performante isolatiematerialen.

De dakopbouw is als volgt:

1. De gordingen rusten op de zijmuren en op één centraal spant;
2. Keper van 7.5 cm hoog x 8.5 cm breed
3. Bebording in eiken planken van 2 tot 3 cm dik, met smalle spleten tussen de planken
4. Zwarte dampremmende folie
5. 2 aerogeldekens van elk 1 cm dikte, geschrinkt gelegd
6. Winddichte zwarte folie
7. Panlatten op tengellatten
8. Natuurleien

Door deze ingreep daalt de U-waarde van het dak van ongeveer $6.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ naar $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Daarmee haalt men met nog niet de U_{max} -waarde van $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$ die de EPB-regelgeving vooropstelt voor daken.

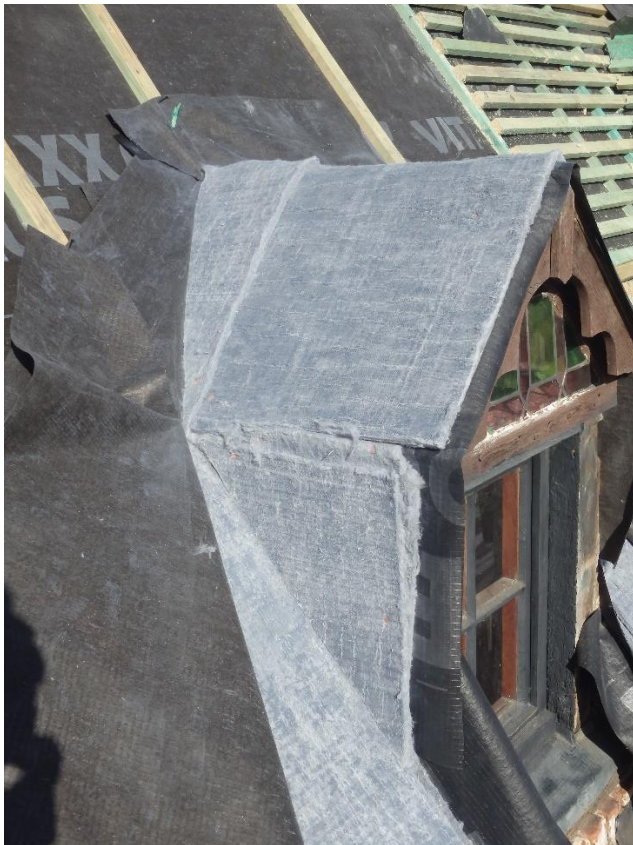


Figuur 57. Het afrollen en plaatsen van de twee lagen aerogeldekens in het vlak van het dak. Aan de randen zijn de dekens minimaal bevestigd met spijkers met brede koppen. Daarna worden ze geklemd onder de tengels en panlatten, die geschroefd worden in de onderliggende kepers. (foto: Dakwerken Gebroeders Van Loy)





Figuur 58. Links de onderdakfolie, rechts de leibedekking op panlatten. (foto: Dakwerken Gebroeders Van Loy)



Figuur 59. Detail van de bekleding van een dakkapel. Ook hier worden spijkers met brede platte kop gebruikt als voorlopige bevestiging. (foto: Dakwerken Gebroeders Van Loy)

Behalve de sterke vermindering van de thermische weerstand, heeft deze oplossing enkele belangrijke voordelen:

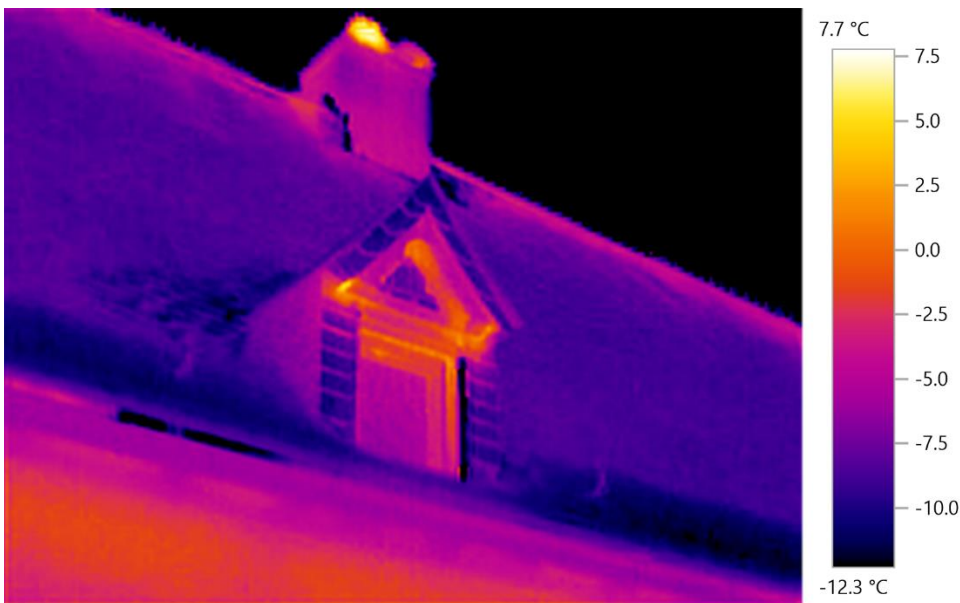


1. Het uitzicht van het dak wordt qua maatvoering nauwelijks aangetast omwille van de geringe dikte.
2. Door de buigbaarheid van de deken kan de golfing in het dak mooi bewaard blijven. Dat is een grote meerwaarde ten opzichte van stijve platen, die leiden tot een visuele vervlakking en dus een groot verlies van charme (Figuur 54 en Figuur 55). Daarbij komt nog dat stijve platen mogelijk vereisen dat er eerst nog een uitvlakkend latwerk getimmerd moet worden alvorens men de platen kan plaatsen.
3. Door de relatief eenvoudige verwerking en de buigbaarheid kunnen kleinere en complexere structuren zoals dakkapellen makkelijk en relatief elegant ingepakt worden (Figuur 59).

3. Metingen

IR-thermografie

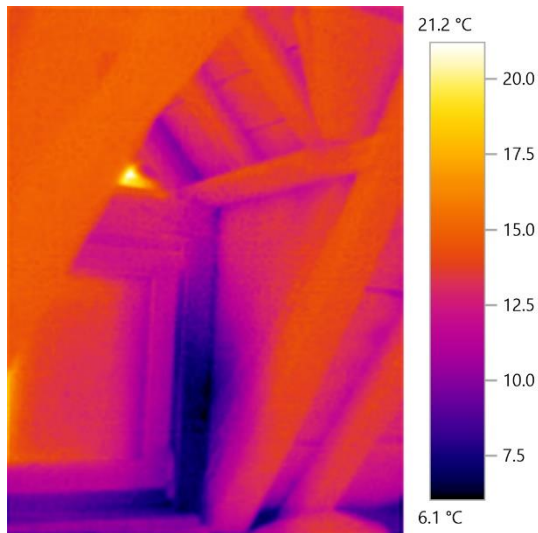
Op 11 februari 2021 werd een reeks IR-opnames gemaakt tijdens de ochtend, zowel binnen als buiten. Op het moment van de opnames was het buiten tussen -7°C en -5°C . De binnentemperatuur op het gelijkvloers was ongeveer 21°C (woonkamer). Aangezien IR-opnames van het hellend dak onder relatief scherpe hoeken een vertekend beeld geeft, is op zondag 21 februari 2021 tijdens de ochtend ook een opname vanuit de lucht gemaakt met drones. De beelden van deze opnames werden bovendien met fotogrammetrische software omgezet tot een 3D-beeld. Op die dag bedroeg de buitentemperatuur (in de ochtend) 8 tot 13°C en was het zwaar bewolkt (in tegenstelling tot 11 februari) zodat de opnames niet sterk verstoord werden door directe zonnestraling. Een beeld van de voorkant van het dak toont een vrij egaal beeld over het dakvlak en het zijvlak van de dakkapel, maar wel enkele duidelijke warmteverliezen in de voorkant van de dakkapel en een enigszins hogere temperatuur aan de nok (Figuur 60).



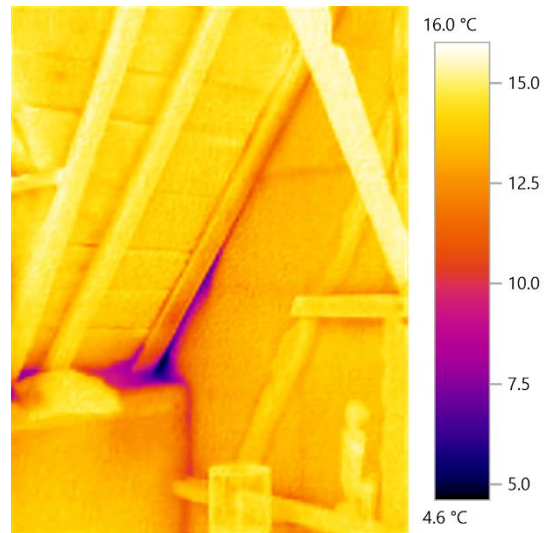
Figuur 60. Het dak met aansluiting op de voorgevel en centraal de dakkapel. (©WTCB)

Een opname van de binnenkant van dezelfde dakkapel bevestigt de lokale problemen, die vooral te wijten zijn aan luchtlekken. Luchtlekken en koudebruggen nemen we ook waar bij de aansluiting van het dak tegen het opgaand metselwerk van de gemene muur en de aansluiting tussen het dak en de voor- en achtergevel (Figuur 62).





Figuur 61. Binnenkant van de dakkapel aan de voorgevel. (©WTCB)



Figuur 62. Aansluiting van het dak met de voorgevel en de gemene muur. (©WTCB)

De luchtopnames vullen deze grondopnames aan (Figuur 63 en Figuur 64). Op dit ogenblik is deze werkwijze nog experimenteel en is het nog mogelijk om absolute waarden van de temperatuur te tonen in de vorm van een kleuren-schaalbalk. De beelden zijn dus als kwalitatieve en comparatieve data te beschouwen.

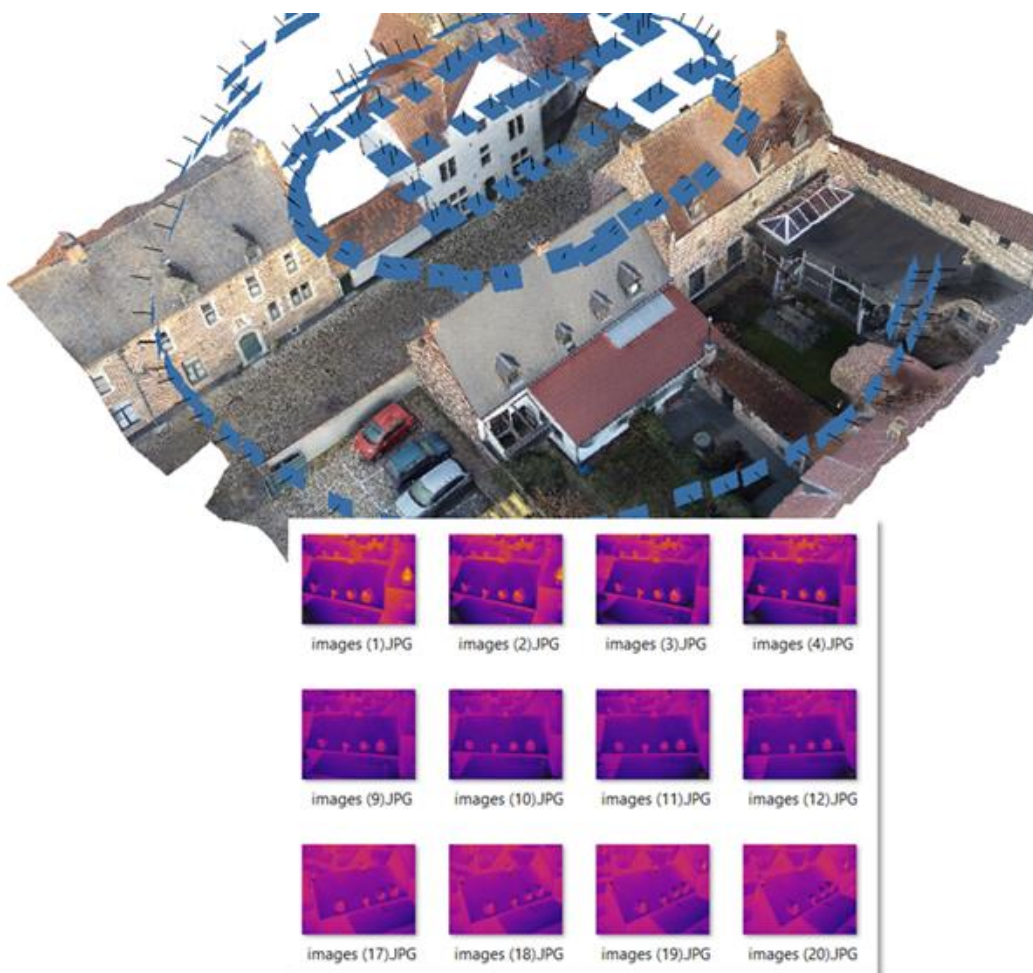
Ze tonen eveneens een egale lage temperatuur van het buitenoppervlak van het dak in het dakvlak. De hogere temperatuur van de voorkanten van de dakkapellen wordt echter ook duidelijk waargenomen. De aansluiting met de kopgevel is ook iets warmer. Hetzelfde geldt voor de zone rond de nok.

4. Verbruiksgegevens

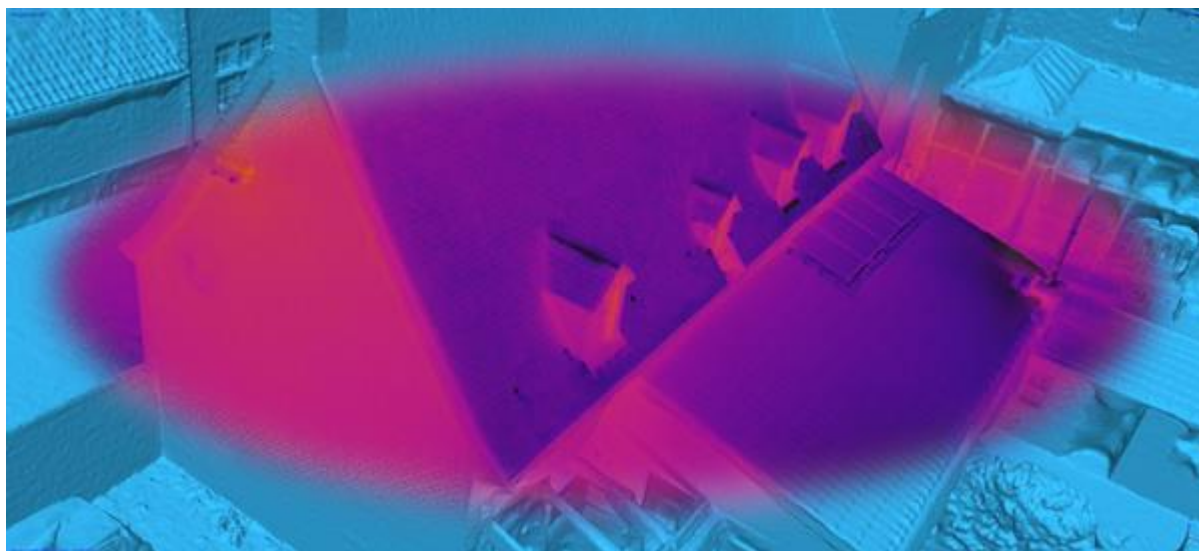
De rechter woning (gezien vanaf de straat) wordt slecht zelden gebruikt, vooral tijdens het weekend, en is dus moeilijk te evalueren op vlak van verbruik. De linker woning wordt gestookt met één gaskachel die op het gelijkvloers staat en die via de open trap ook zorgt voor een comfortabele temperatuur boven, waar het slaapgedeelte zich bevindt. We hebben van de bewoner geen gasfacturen gekregen, maar volgens haar getuigenis is er een groot verschil in verbruik.

Vóór de werken was het op koude winterdagen vaak te koud om comfortabel te zijn, zelfs als de kachel op de hoogste stand werkte. Sinds de isolatiewerken is het nog maar zelden nodig om de kachel op volle kracht te laten werken, en is het nooit meer voorgevallen dat de temperatuur onbehaaglijk laag was. Behalve van deze belangrijke vermindering in verbruik, getuigt de bewoner ook over een grote toename van het comfort, omdat het dak niet meer zo koud aanvoelt.





Figuur 63. Fotogrammetrisch reconstructie van de woning, gezien vanuit de lucht, met weergave van de standpunten van de drone bij het nemen van de reeks foto's. De inzet onderaan toont de IR-opnames die tezamen met de gewone kleurenfoto's werden genomen. (©WTCB)



Figuur 64. De reconstructie van het IR-beeld in 3D verloopt door dezelfde transformaties toe te passen op de ruwe IR-foto's als op de visuele beelden. (©WTCB)



5. Schatting impact en besluit

Binnen de context van een UNESCO werelderfgoed-site is het niet evident om grote energiebesparingen te realiseren. Aan de meeste authentieke elementen wordt een grote waarde toegekend, die grondige aanpassingen in de weg staat. Maar tegelijkertijd zijn er ook heel wat elementen, zoals vloeren, beglazing, dakbedekking, ... die in een recenter verleden vervangen zijn. Die hebben vaak minder erfgoedwaarde en kunnen dan weer wel aangepast worden. De dakbedekking van dit huis is daarvan een voorbeeld. Door die te vervangen en een dunne maar zeer performante isolatielaag in te voegen, werd de erfgoedwaarde niet aangetast.

Het resultaat is een significante vermindering van het verbruik en een grote verbetering van het comfort, echter zonder hedendaagse normen te halen. De toegepaste methode is vernieuwend en interessant voor veel gelijkaardige projecten.

Het feit dat het dak van deze twee aaneensluitende woningen door beide eigenaren (of pachters) in onderlinge overeenkomst gezamenlijk gerenoveerd werd, is ook positief. Niet alleen bij begijnhoven, maar ook bij heel wat andere ensembles van beschermde of geïnventariseerde woningen, kan het interessant zijn om dergelijke werken gezamenlijk uit te laten voeren.

Referenties

CHE STUDIE Heilige Geesstraat 4 - Begijnhof Diest, Team van Meer, 2018
CHE STUDIE Heilige Geesstraat 6 - Begijnhof Diest, Team van Meer, 2018



3.2.4 Projectfiche 3: la nouvelle maison, Tervuren

1. Gegevens

Gebouwtype	open bebouwing
Functie vóór renovatie	woning
Functie na renovatie	woning
Bescherming	Beschermd monument sinds 1994 (09-11-1994 aanduidingsobject ID: 206, besluit ID 2772)
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	525 m ² (inbegrepen de kelder)
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	13 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	niet bekend
EPC-kengetal ná renovatie	niet bekend



Figuur 65. Zuidwestgevel tijdens de werken (februari 2021). (Foto: WTCB)

Figuur 66. Noordoostgevel tijdens de werken (februari 2021). (Foto: WTCB)

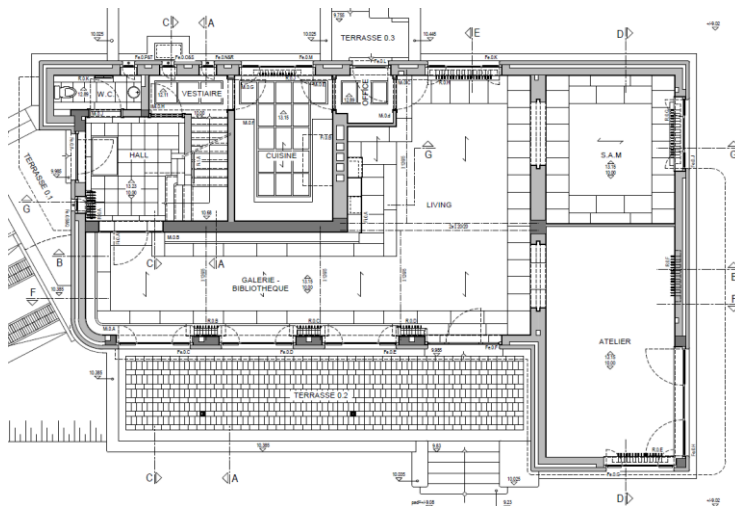
2. Beknopte beschrijving

La nouvelle maison is in 1927 door Henry Van de Velde gebouwd. Het is de laatste van drie woningen die hij voor zichzelf en zijn familie ontwierp. De woning bestaat uit een kelderniveau en twee bovengrondse bouwlagen onder plat dak: de utilitaire ruimtes in de kelder, het daggedeelte op het gelijkvloers en het nachtgedeelte op de verdieping.

Het kelderniveau is opgetrokken in beton; de bovengrondse constructie is gemaakt in metselwerk. De metselwerkmuren hebben een smalle spouw van ongeveer 5 cm breed. De vloeren zijn deels in gewapend beton en deels in houten balklagen. Het plat dak heeft een structuur in gewapend betonnen T-elementen en heeft rondom een brede kroonlijst. Ook de balkons zijn uitgewerkt in beton. De garage is half ondergronds. Het originele schrijnwerk is in staal (gevat in houten kaders); enkele van de ramen waren bij een vroegere renovatie vervangen in aluminium.

Het huis was bewoond tot eind 2015, het jaar waarin het verkocht werd aan de huidige eigenaars. Zij hebben een restauratieproject opgestart dat uitgewerkt werd door architectenbureau Arsis en dat oorspronkelijk voorzien was om uitgevoerd te worden in 2017 tot 2018, maar dat uiteindelijk gestart is in 2020. Het interieur werd ontdaan van storende toevoegingen, beton en metselwerk werden hersteld. De laatste fase van de ruwbouw, in 2021, bestond/bestaat hoofdzakelijk uit het herstel van schrijnwerk en van de originele rolluiken. Daarna is nog een belangrijk luik interieurwerken voorzien, waarbij de originele afwerkingstechnieken grotendeels opnieuw toegepast zullen worden. Het einde van de werken is voorzien eind 2021 of begin 2022.





Figuur 67. Opmetingsplan gelijkvloers (Afbeelding: ARSIS)

3. Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Dak

Het plat dak was reeds geïsoleerd vóór de start van het project: volgens een bewaard plan is er ruim 10 cm isolatiemateriaal op het beton geplaatst. De precieze samenstelling is niet bekend. Het dak is opgebouwd uit T-vormige ribben in ter plaatse gegoten beton. Daaronder is een vlak plafond in bepleisterd lattenwerk aangebracht. Doordat de T's doorlopen tot tegen de randbalk, zijn er structurele koudebruggen. Die zijn geïsoleerd door ter hoogte van de T-caissons een gat in het plafond te maken met een klokboor en doorheen dat gat PUR-schuim te spuiten tot tegen de betonnen randbalk en de T's.

Muren

De binnenkant van de buitenmuren wordt achter de radiatoren plaatselijk geïsoleerd met een dunne opgekleefde plaat en een reflecterende folie of verf. Waar mogelijk worden verticale leidingkokers, die ingewerkt zijn in het binnenspouwblad, geïsoleerd (Figuur 68 en Figuur 67 (plan)).





Figuur 68. Vrijgemaakte leidingkoker in bibliotheek die aan de binnenkant geïsoleerd wordt. (Foto: WTCB)



Figuur 69. Detail van condensgootje onderaan een raam dat hersteld en opnieuw geplaatst is. Centraal in de opengaande vleugel is een afvoergaatje voorzien. (Foto: WTCB)

Ramen en deuren

De originele ramen en deuren worden behouden. De recentere aluminium ramen zijn verwijderd en vervangen door nieuwe stalen ramen naar historisch model. Het gaat om de vier ramen op de verdieping in de zuidwestgevel. Het glas wordt overal vervangen (behalve in de kelder en de traphal) door ofwel gelaagd glas ofwel dun dubbel glas waarvan één blad getrokken is. De U-waarde van dat nieuwe glas is $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ volgens de architect. Aangezien daardoor het risico op condens aanzienlijk blijft, is veel aandacht besteed aan het uitboren van de afloopgaatjes onderaan de ramen, die het water evacueren naar een druiplijst buiten.

De ramen van het gelijkvloers hebben ingewerkte houten rolluiken die behouden blijven en hersteld worden om volledig functioneel te zijn.

De thermische prestaties van de ramen worden verder nog verbeterd door het herplaatsen van gordijnen naar een nieuw ontwerp uitgewerkt in een ontwerpwedstrijd van studenten textielontwerp van het KASK in Gent. De originele plaats waar gordijnstokken bevestigd waren, is nog aanwezig. De keuze van het type textiel wordt afgestemd op de thermische functie. De samengepakte geopende gordijnen gaan uiteraard wel licht wegnemen en de raamopening visueel verkleinen, aangezien ze tussen de beide dagkanten zitten. De gordijnen zijn gepositioneerd boven de raamtablet en niet ervóór, wat uit het oogpunt van convectie goed is.

Verwarming

Het oorspronkelijke systeem was een hydronisch open systeem met thermosyphon, gestookt met steenkool (kolenkelder naast de stookplaats). Bij zo'n systeem gebeurde de circulatie door natuurlijke convectie in het buizensysteem. Om dat te doen werken, moeten variabele buizendiameters worden gebruikt en moeten er kleine hoogteverschillen zijn tussen inlaat en uitlaat van de gietijzeren radiatoren. Er was dus geen pomp aanwezig (niet courant voor WOII) maar wel een open expansievat om de uitzettingen op te vangen. Zo'n open expansievat kon helaas wel aanleiding geven tot veel zuurstof in de leidingen en dus corrosie. In dit geval zijn de leidingen zeer goed bewaard en worden ze behouden; de ketel is vervangen door een HR-gasketel en het systeem wordt deze keer gesloten uitgewerkt, met een pomp, die echter zal werken aan lage snelheid. De keteltemperatuur blijft dus relatief hoog in vergelijking met hedendaagse systemen.



Ventilatie en luchtdichtheid

Waar spleten en kieren zichtbaar en bereikbaar zijn, worden ze gedicht, maar er blijven veel kritische punten. De ramen sluiten koud metaal op metaal, dus zonder flexibele afdichting. Bij de originele ramen is de sluiting in het algemeen zeer goed, maar bij de nieuwe vervangramen naar origineel model waren er te brede kieren (2 mm). Op het moment van ons laatste werkbezoek was nog niet duidelijk of deze ramen opnieuw gemaakt zouden worden, dan wel toch met rubber zouden worden afgedicht.

Er zitten ook spleten tussen de houten kaders en de stalen ramen. Ook hier was nog discussie of ze zouden open blijven of opgespoten met siliconenkit.

Niet uitgevoerd of gepland

Dak

Er wordt geen extra isolatie op de bestaande isolatie geplaatst o.w.v. de dikte: op dit moment blijft slechts een minimale opstand van minder dan 10 cm over.

Muren

De muren hebben een open luchtsponw van ongeveer 5 cm tussen een steens binnenblad en een halfsteens buitenblad. Aan raam- en deuropeningen is de spouw gesloten, zodat er rondom de ramen en deuren eigenlijk overal structurele koudebruggen zijn. Er is overwogen om de spouw op te vullen met isolatie, maar uiteindelijk is ervoor gekozen om dit niet te doen. Het risico op vochtdoorslag wordt te hoog ingeschat en de mogelijke winst te laag om dit risico te verantwoorden. Het droog blijven van het binnensponwblad wordt prioritair beschouwd.

Vloeren

De vloeren van de kelder zijn originele voeren op volle grond en worden niet geïsoleerd. De betonnen vloer tussen gelijkvloers en kelder wordt eveneens niet geïsoleerd.

Ventilatie en luchtdichtheid

Er wordt geen algemeen ventilatiesysteem voorzien.

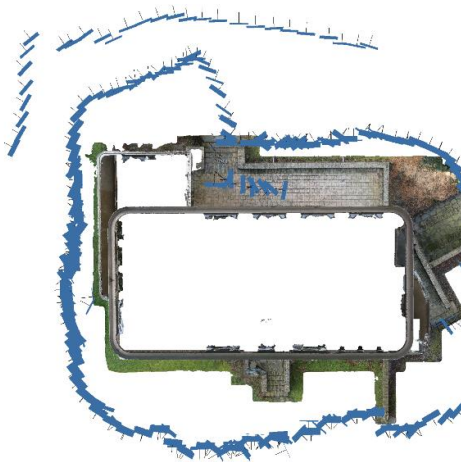
4. Metingen

Geometrie¹⁴

De buitengevels van de villa werden gefotografeerd in januari 2018. Op basis van 342 foto's werd d.m.v. het softwareprogramma Agisoft Photoscan een model van de buitengevels opgemaakt in de vorm van een driedimensionale hoge-resolutie-puntenwolk (Figuur 70, Figuur 71 en Figuur 72). De puntenwolk werd geheroriënteerd en verschaald aan de hand van referentiepunten die opgemeten werden met een Leica s910 distometer.

¹⁴ Voor de uitgebreide beschrijving van de procedure: zie Dubois, De Bouw & Vanhellemont, La Nouvelle Maison, Tervuren, Proefverslag, WTCB, 2018.





Figuur 70. Locaties van de opnames om het 3D model van de buitenzijde van het gebouw op te maken (342 foto's) (©WTCB)



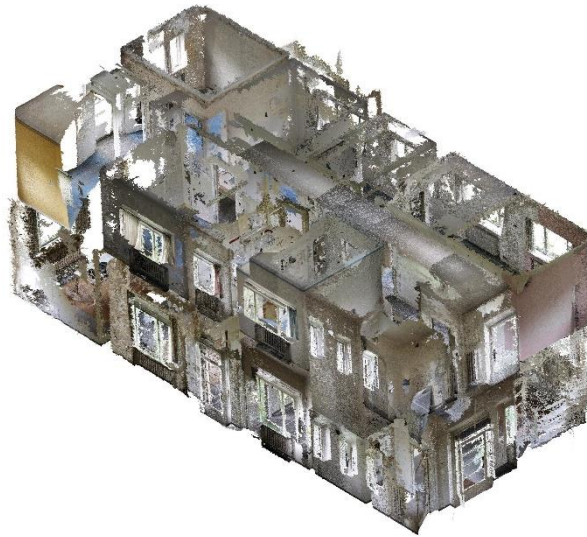
Figuur 71. Hoge-resolutie-puntenwolk van de eerste opmeting (©WTCB)



Figuur 72. Detail van de puntenwolk: zicht op de inkom en het terras. (©WTCB)

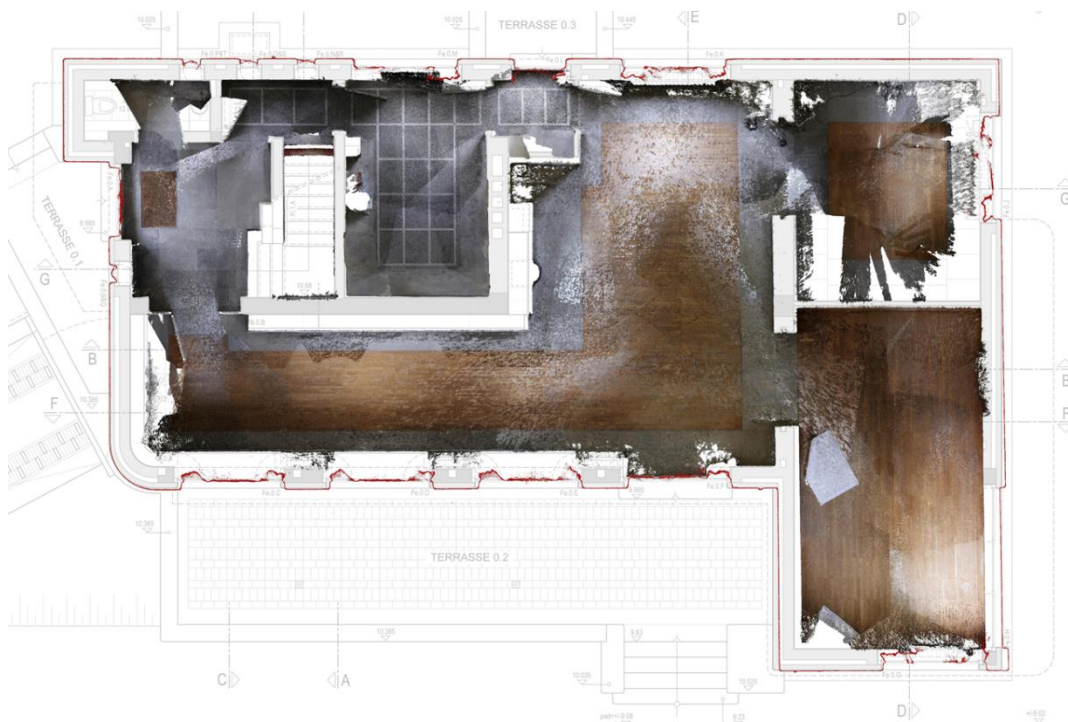
Tijdens het tweede bezoek werden de binnenruimten van het gelijkvloers en de eerste verdieping gedetailleerd gefotografeerd. Aan de hand van 644 foto's kon een gedetailleerd 3D-model van de binnenruimtes opgemaakt worden (eveneens in de vorm van een puntenwolk) (Figuur 73). Er dient rekening mee gehouden te worden dat een multiview-fotogrammetrie niet ideaal is voor het interieur, hetgeen verklaart dat dit tweede model een lagere kwaliteit heeft dan het model van de eerste opmeting. Desalniettemin kan ook uit dit model interessante informatie gehaald worden.





Figuur 73. Puntenwolk op basis van opmeting nr.2 (©WTCB)

De twee puntenwolken werden samengevoegd op basis van homologe punten die in beide modellen geïdentificeerd konden worden. De bekomen puntenwolk laat toe om sneden en plannen te maken en in detail alle muur- en vloerdiktes te bepalen. Een gedetailleerde opmetingen was hier reeds gemaakt door het architectenbureau, maar het model laat enerzijds toe om afwijkingen en eventuele scheefstanden te identificeren, en anderzijds blijft het een waardevolle documentatie met veel bijkomende informatie over kleuruitzicht en textuur.



Figuur 74. Plan van het gelijkvloers met een overgelegde laat op basis van de puntenwolk. Ter hoogte van het atelier (rechts op de figuur) is er een afwijking tussen de scans en de plannen. (©WTCB)



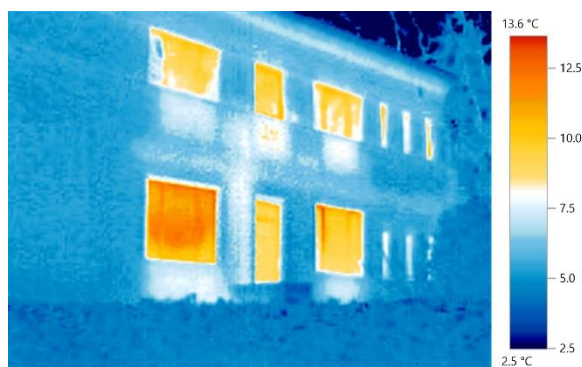
IR-thermografie

Er zijn 3 series metingen uitgevoerd die samen een goed beeld geven van de structurele en geometrische koudebruggen:

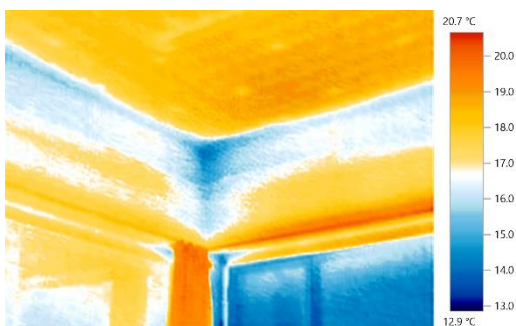
- bij de blowerdoortest in mei 2016 door een externe firma (zie lager)
- op 30-01-2018, vóór de werken (buiten: 3°C, binnen 20°C)
- op 16-02-2021, tijdens de werken (buiten: 3-6°C, binnen 20°C)



Figuur 75. Gevel van de bibliotheek: koudebruggen ter hoogte van de leidingenkokers en betonnen lateien boven de ramen (30-01-2018) (©WTCB)



Figuur 76. NO-gevel toont horizontale structurele koudebruggen t.h.v. de vloeren en het plat dak, de vlakken waarachter radiatoren aanstaan en verticaal de locatie van stijgleidingen (30-01-2018) (©WTCB)



Figuur 77. Oostelijke hoek van het atelier: combinatie van structurele en geometrische koudebrug t.p.v. betonnen latei die boven de rolluikkasten zit (30-01-2018) (©WTCB)



Figuur 78. Rolluikkasten tijdens de restauratie (16-02-2021) (©WTCB)

Luchtdichtheidsmetingen

Een meting werd uitgevoerd in 2016 door BlowerTechnic. De blaasdeur was geplaatst in de achterdeur (noordoostgevel). De buitentemperatuur bedroeg 3°C, de binnentemperatuur 11°C. De dampkap werd uitgezet en de open haard afgesloten. Resultaat: $n_{50} = 3.91$ l/h; $v_{50} = 6.94$ m³/m²h. De belangrijkste lekken werden geïdentificeerd aan de hand van rookmetingen en IR-opnames: de randen van de ramen, de onderkant van de deuren, de openingen van de rolluiklinten.

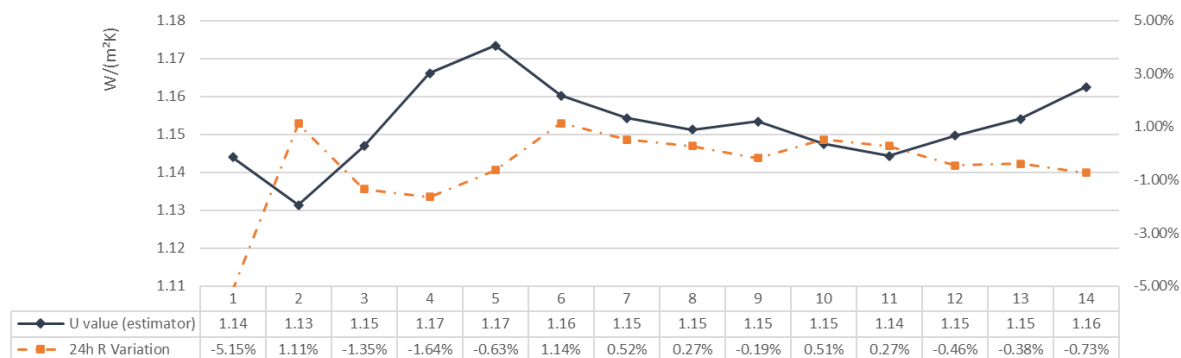
Een nieuwe proef van de gerenoveerde toestand is voorzien op het moment dat de werken aan de gebouwschil voltooid zijn. Dit zal vermoedelijk eind 2021 gebeuren.

U-waardemetingen

Aangezien de warmteverliezen door een ongeïsoleerde spouwmuur moeilijk in te schatten zijn, o.a. door het effect van luchtverplaatsingen en onregelmatige dikte in de spouw, werd beslist om een

////////////////////////////////////

meting te doen op de noordoostelijke buitenmuur van de eetkamer in het midden van de muur op ongeveer 1m hoogte. De procedure volgt de Europese norm EN ISO 9869-1. De meetperiode duurde van 10 tot 25 februari 2018. Zoals te zien is in de figuur, is de U-waarde ongeveer 1.15 W/m²K. Ter vergelijking: theoretisch zou je van een massieve muur van 30 cm baksteen een waarde van ongeveer 1.7 W/m²K verwachten, wat heel wat slechter is. Als je volgens dezelfde methode (zoals in EPB-berekeningen) een luchtsponw inrekenet, kom je uit rond 1.2 W/m²K, wat dicht aanleunt bij de gemeten waarde. Stel dat men zou kiezen voor het navullen van de spouw met een isolatiemateriaal met lambda-waarde 0.6 W/mK, dan zou de U-waarden kunnen dalen tot 0.7 W/m²K. Dat is uiteraard veel beter, maar nog steeds hoger dan de richtwaarde 0.55 W/m²K voor renovatie die we terugvinden in de EPB-regelgeving (maximale U-waarden volgens EPB-besluit vanaf 2018).



Figuur 79. Resultaat van de metingen van de U-waarde op de on-geïsoleerde spouwmuur van de eetkamer. (©WTCB)

Binnenklimaat

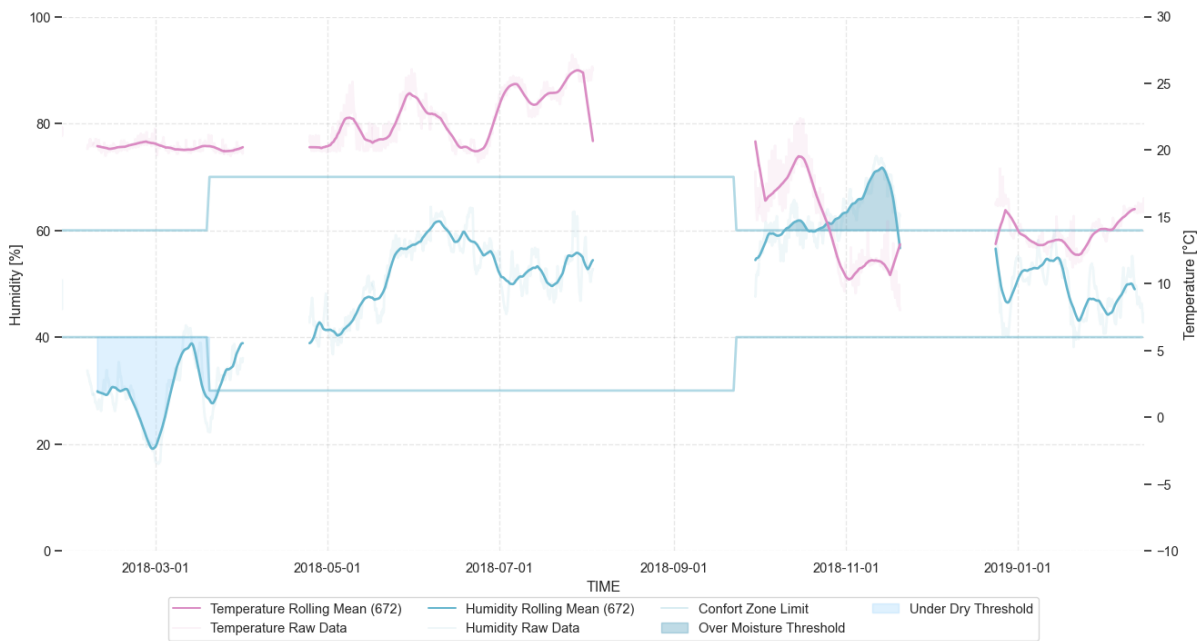
Vanaf februari 2018 tot februari 2019 stonden klimaatloggers opgesteld op volgende plaatsen:

- de inkomhal (T)
- de woonkamer en de keuken op het gelijkvloers (T, RV) (Figuur tot Figuur 83)
- twee slaapkamers op de verdieping: de meest oostelijke en de meest westelijke die tevens de grootste is (T, RV) (Figuur 84 tot Figuur 87)
- buiten aan het terras van de NO-gevel (T en RV)

Tijdens die hele periode was de huis niet bewoond maar wel verwarmd tot een bepaald niveau om eventuele vochtproblemen te vermijden. Uit deze data kunnen we onder meer opmaken dat met het toegepaste regime tijdens de winter 2017-2018 een vrij constante temperatuur bereikt werd van ongeveer 20°C in de leefruimten en 16-18°C in de slaapkamers. Tijdens de daaropvolgende winter werd de lat wat lager gelegd: de leefruimtes stonden toen op 14-18°C en de kamers op 9-14°C. Voor zover gekend was de keteltemperatuur 65°C en uit de IR-foto's blijkt dat de gietijzeren radiatoren tijdens die eerste winter op de verdieping een oppervlaktetemperatuur hadden tussen 40 en 45°C en op het gelijkvloers tussen 43 en 47°C.

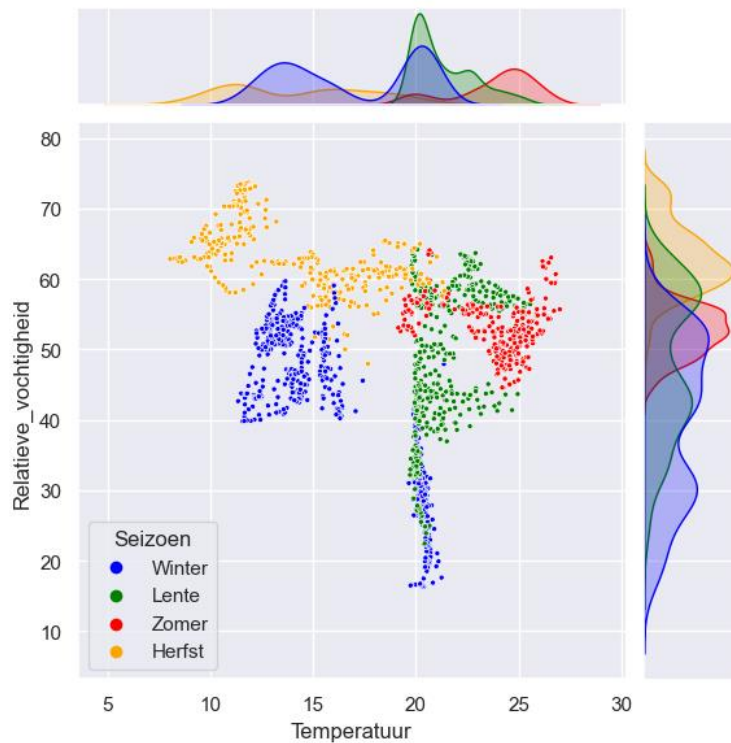
In de winter is er duidelijk een risico is op zeer lage waarden van de RV doordat de ruimte verwarmd wordt en de luchtdichtheid niet zo goed is. De situatie is enigszins vertekend, omdat er bij normaal gebruik wel vochtproductie is door de bewoners, maar het is zeker een relevant gegeven voor de conservering van het interieur.





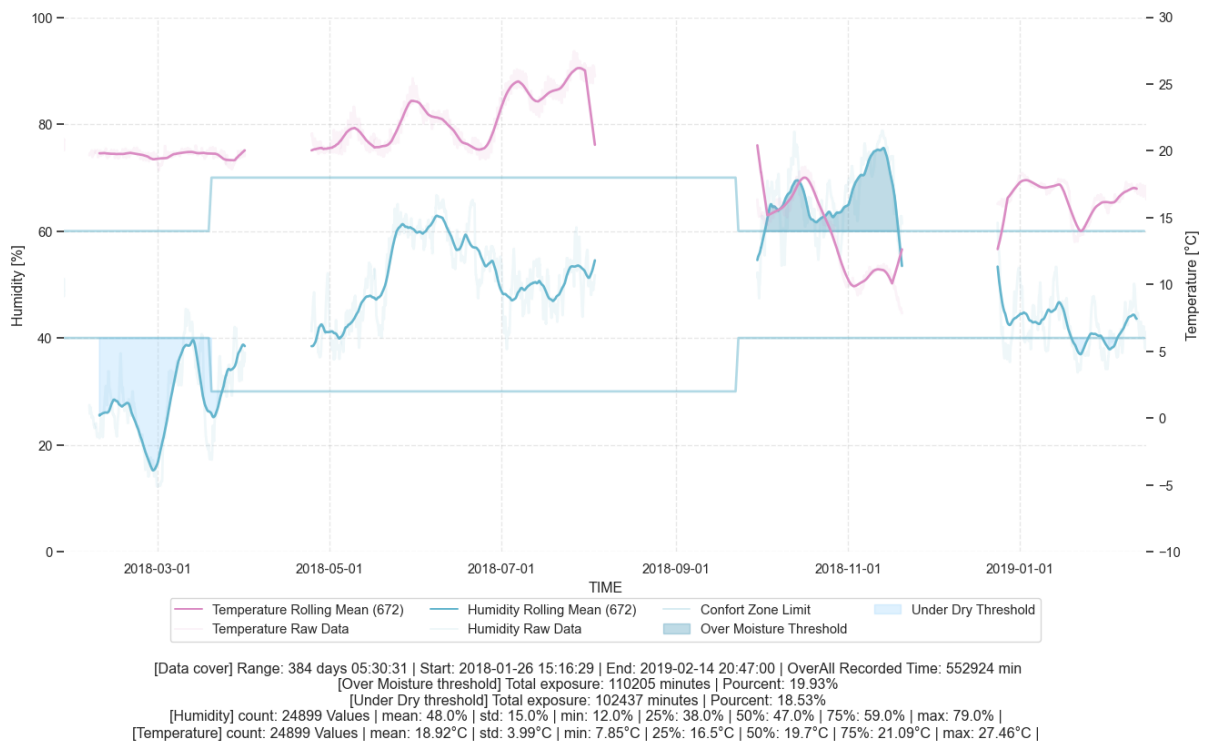
[Data cover] Range: 384 days 05:27:11 | Start: 2018-01-26 15:16:49 | End: 2019-02-14 20:44:00 | OverAll Recorded Time: 552929 min
 [Over Moisture threshold] Total exposure: 53535 minutes | Pourcent: 9.68%
 [Under Dry threshold] Total exposure: 75781 minutes | Pourcent: 13.71%
 [Humidity] count: 24904 Values | mean: 49.0% | std: 12.0% | min: 16.0% | 25%: 41.0% | 50%: 51.0% | 75%: 58.0% | max: 74.0% |
 [Temperature] count: 24904 Values | mean: 18.68°C | std: 4.35°C | min: 8.03°C | 25%: 14.73°C | 50%: 20.03°C | 75%: 21.31°C | max: 27.14°C |

Figuur 80. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de living: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

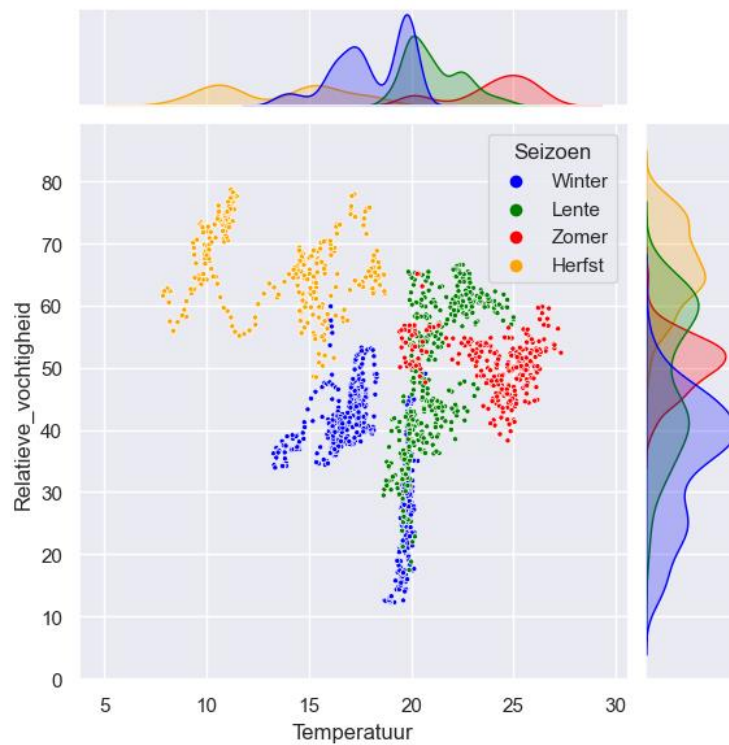


Figuur 81. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de living, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstip van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



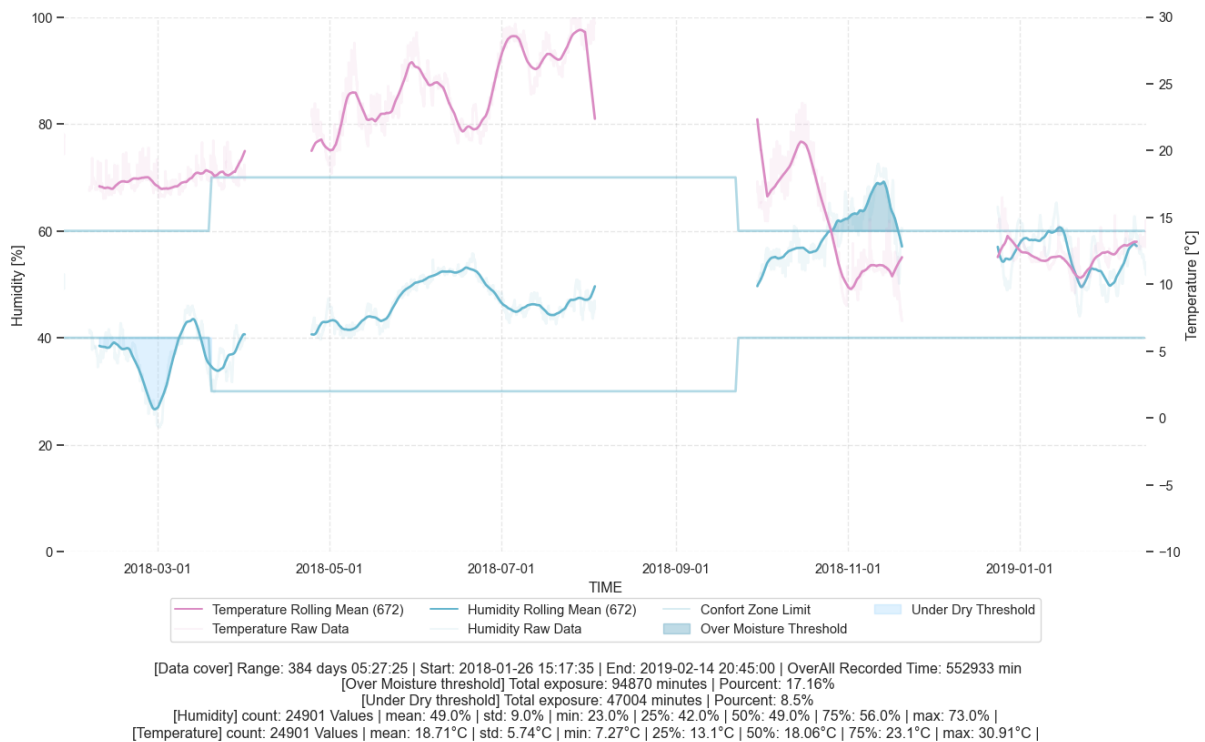


Figuur 82. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCTB)

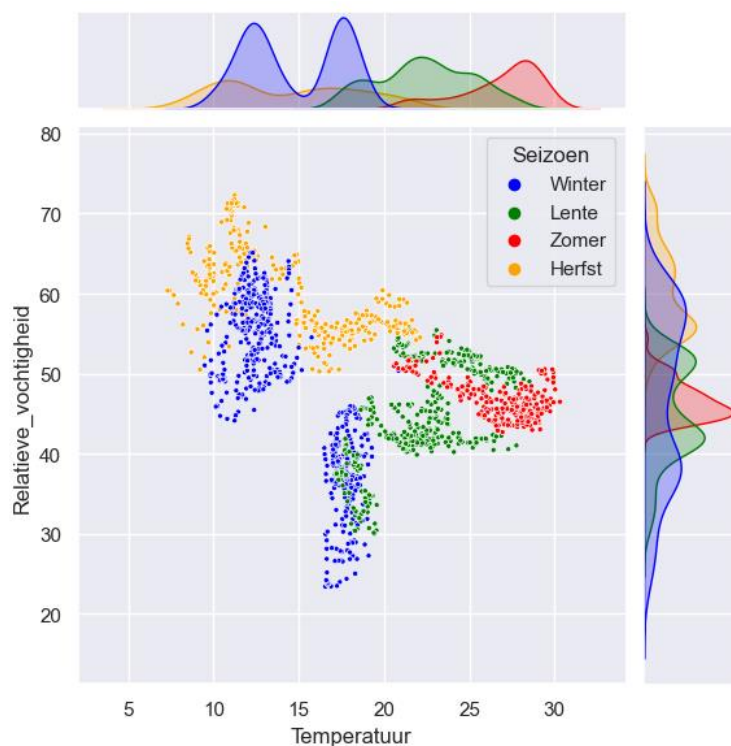


Figuur 83. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCTB)



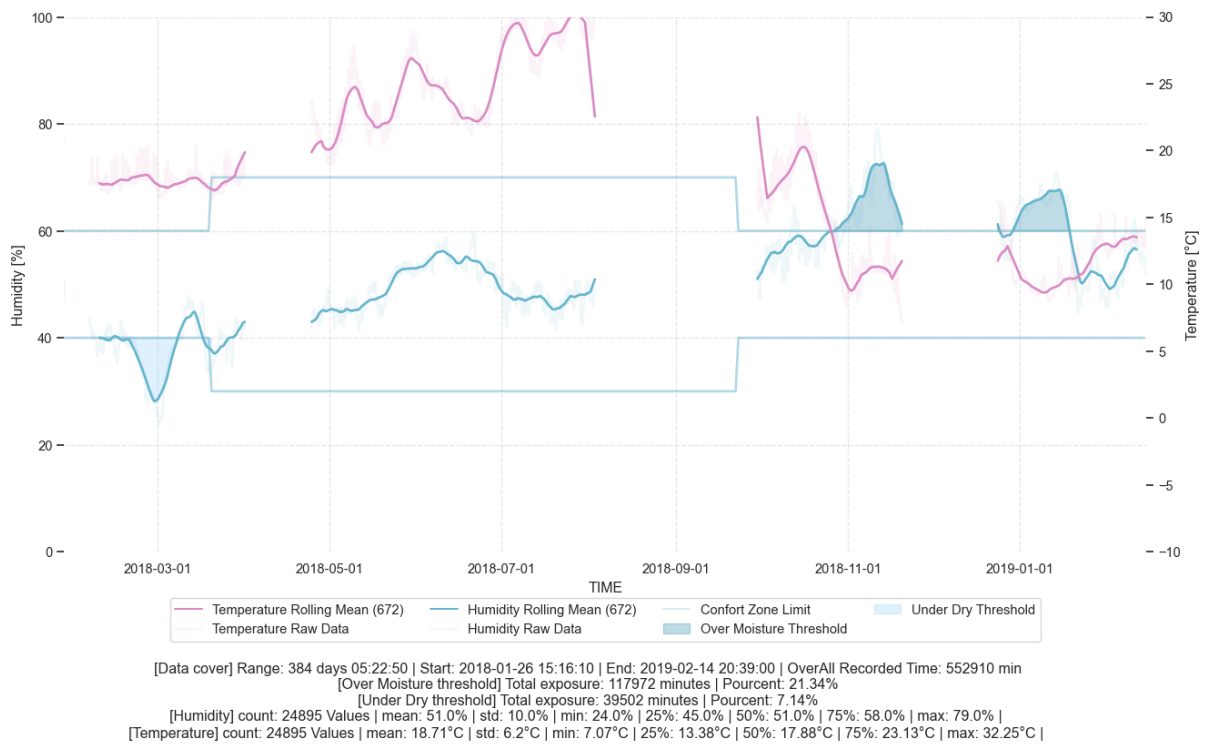


Figuur 84. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de kamer aan de noordwestkant: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

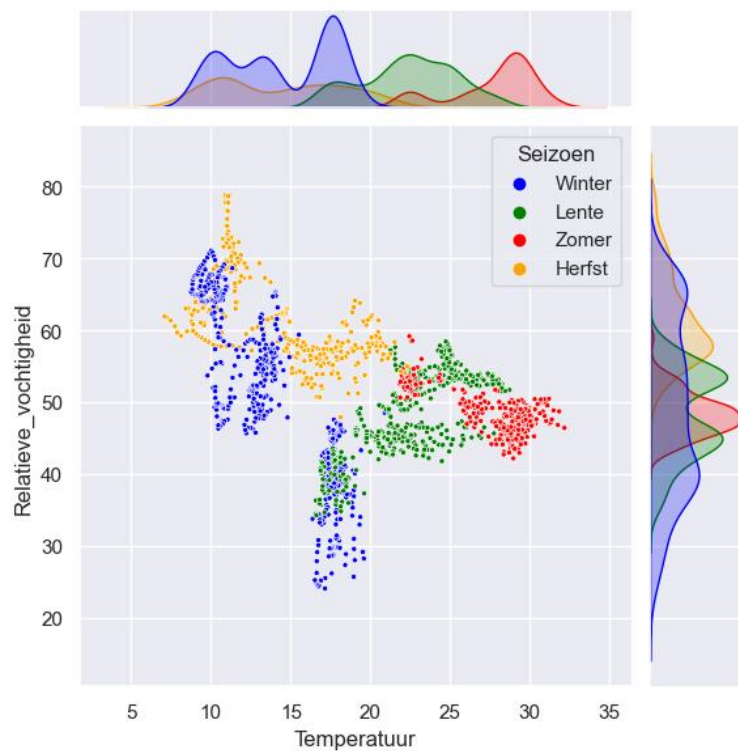


Figuur 85. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de kamer aan de noordwestkant, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)





Figuur 86. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de kamer aan de zuidoostkant: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



Figuur 87. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de kamer aan de zuidoostkant, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



5. Verbruiksgegevens

Het architectenbureau stelde verbruiksgegevens voor van het aardgas voor verwarming tijdens de periode 2011-2017, op basis van oude energiefacturen en opname van tellerstanden. Het verbruik schommelde in die periode van 0 (onverwarmd jaar) tot 213 kWh/m²j met een gemiddelde van 53.8 kWh/m²j voor een standaardverwarmingsjaar met 2300 graaddagen. De hogere waarden deden zich voor nadat het huis een tijdje niet verwarmd was.

De berekende verwachte vermindering door de betere beglazing en de isolatie van leidingkokers en achter radiatoren, bedraagt 13 MWh/jaar.

Het is verwonderlijk dat in de periode van 2011 tot 2015, waarin het huis bewoond werd, het verbruik niet boven de 83 kWh/m²j steeg: een zeer lage waarde naar hedendaagse normen. Maar we hebben geen informatie over het bewonersgedrag in die periode en vermoedelijk stond de thermostaat behoorlijk laag. We brengen ook nog in herinnering dat het nuttig oppervlak berekend is inclusief het souterrain, terwijl dat in de praktijk mogelijk weinig verwarmd werd.

6. Schatting impact en besluit

Er is voor gekozen om geen zeer ingrijpende maatregelen te nemen, maar wel een hele reeks punctuele maatregelen, die een heel specifiek probleem oplossen of de impact ervan verminderen. Dat is een bewuste keuze van de architect en de opdrachtgever. Als voorbeeld noemen we de oplossing of verbetering van koudebruggen, het opnieuw operationeel maken van rolluiken en het optimaliseren van de verwarmingsinstallatie.

Door de plaats van dit huis in het oeuvre van Henry Van de Velde en de zeer goed bewaringstoestand is de erfgoedwaarde uitzonderlijk hoog en is deze benadering gerechtvaardigd. De grootste effectieve energiebesparing in absolute waarde valt te verwachten door de verbetering van het glas, de vervanging van de stookinstallatie (de ketel, pomp en expansievat) en de verbetering van de luchtdichtheid. Voorwerp van debat is de keuze om de spouwmuur niet na te isoleren. Een ander boeiend compromis is de keuze om de interactie tussen isolatie, luchtdichtheid en ventilatie grotendeels ongemoeid te laten. Ze berust grotendeels op inzicht in beproefde principes uit de 20^{ste}-eeuwse architectuur, meer dan op hedendaagse praktijk sinds de ontwikkeling van de EPBD-regelgeving.

Referenties

S. Dubois, M. de Bouw, Y. Vanhellemont, La Nouvelle Maison Tervuren, onuitgegeven proefverslag, WTCB, 2018

BlowerTechnic, Meting luchtdichtheid volgens STS-P 71-3, onuitgegeven proefverslag, 2016

////////////////////////////////////

3.2.5 Projectfiche 4: herenhuis, Diest

1. Gegevens

Gebouwtype	gesloten bebouwing
Functie vóór renovatie	woning
Functie na renovatie	woning
Bescherming	vastgesteld bouwkundig erfgoed sinds 14-09-2009, aanduidingsobject ID 115079, besluit ID 14867, ergoedobject ID 41750 gelegen in vastgestelde archeologische zone 'Historische Stadskern van Diest' (19-02-2016, aanduidingsobject ID 11884, besluit ID 5882)
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	573 m ²
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	108 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	niet gekend
EPC-kengetal ná renovatie	120 kWh/m ² jaar



Figuur 88. De voorgevel na renovatie (2021). (Foto: WTCB)



Figuur 89. De achtergevel na renovatie (2021). (Foto: WTCB)

2. Beknopte beschrijving

De woning werd in het begin van de 19e eeuw gebouwd als deel van een groter geheel, dat evenwel later werd opgesplitst. Ze omvat de vijf linkse traveeën (inclusief de onderdoorgang) van de in totaal zeven oorspronkelijke traveeën.

De woning heeft in de loop der tijden aanzienlijke aanpassingen ondergaan. De oorspronkelijke basisstructuur is grotendeels behouden, alhoewel het tijdens de huidige renovatie de noodzakelijk bleek om de vloerconstructies grotendeels te vervangen. De binnenmuren bleven wel in belangrijke mate behouden, net als de voorgevel. In de achtergevel werd een grote nieuwe beglaasde opening gemaakt (Figuur 89).

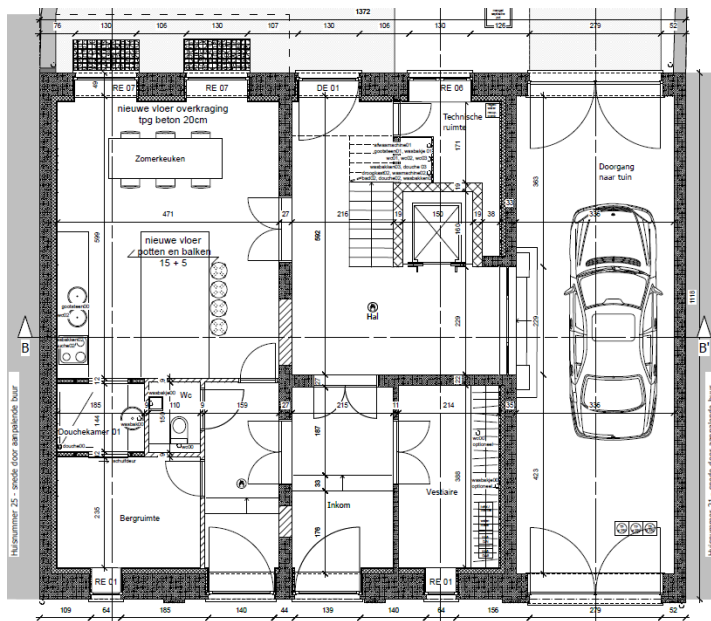
Sinds september 2010 stond het pand leeg. In 2012 werd het aangekocht door de huidige eigenaars. Zij namen het initiatief om het te verwarmen tot 10-11°C om vochtproblemen te vermijden, in afwachting van een grondige renovatie. In 2014 werden enkele storende toevoegingen afgebroken. De eigenlijke renovatiewerken startten in de lente van 2018. In dat jaar werden de ramen ook vervangen. De installaties en de binnenafwerking werden in 2019 aangepakt.



Figuur 90. Open originele dakstructuur waar bovenop een nieuw sarkingdak is aangebracht. (Foto: WTCB)



Figuur 91. De trap die toegang geeft tot de 2^{de} verdieping. (Foto: WTCB)



Figuur 92. Grondplan van het gelijkvloers in nieuwe toestand. De binnenisolatie zoals hier weergegeven is echter niet uitgevoerd. (Foto: WTCB)



Figuur 93. Wagendoorgang op het gelijkvloers: deze ruimte wordt niet verwarmd. (Foto: WTCB)

3. Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Dak

Behalve de spanten en gordingen is het dak volledig vervangen volgens het sarkingprincipe, d.w.z. bovenop het vlak van het vroegere dak. De nieuwe kepers en bebording zijn dus aan de binnenkant zichtbaar (Figuur 90). Er is 12 cm PIR-isolatie geplaatst op die bebording. In het dak is één nieuw dakvenster met dubbele hoogrendementsbeglazing aangebracht boven de trap. Dat dakvenster kan automatisch geopend of gesloten worden of ook in verluchtingsstand gezet.

Ramen en deuren

Het buitenschrijnwerk in hout is bijna integraal vervangen door nieuwe ramen met dezelfde indeling als de oorspronkelijke. Daarbij is gebruik gemaakt van thermisch verbeterd dubbel glas met een U-waarde van 1.0 W/m²K. De ramen hebben in hun geheel een berekende U-waarde van 1.5 W/m²K. Het grote nieuwe raam in de achtergevel is gevat in een aluminium profiel (Figuur 89). Het heeft een gelijkaardige U-waarde.



Figuur 94. Links: detail van de nieuwe ramen met wit geschilderde houten profielen: de verdeelroedes vormen dezelfde verdelingen als de oorspronkelijke ramen. Elk raam is opgebouwd met kleine glaspanelen. (Foto links: WTCB/ Foto rechts: foto uit 1978 uit de Inventaris van Bouwkundig Erfgoed waarop de oude ramen te zien zijn.)

Enkel de raampjes in de voordeur en het glas in de poort achteraan zijn voorlopig in enkel glas gebleven (Figuur 95). Ook de ramen van de dubbele deur naar de koetsdoorgang zijn in enkel glas (Figuur 96).



Figuur 95. Toegangsdeur in glas-in-lood (Foto: WTCB)



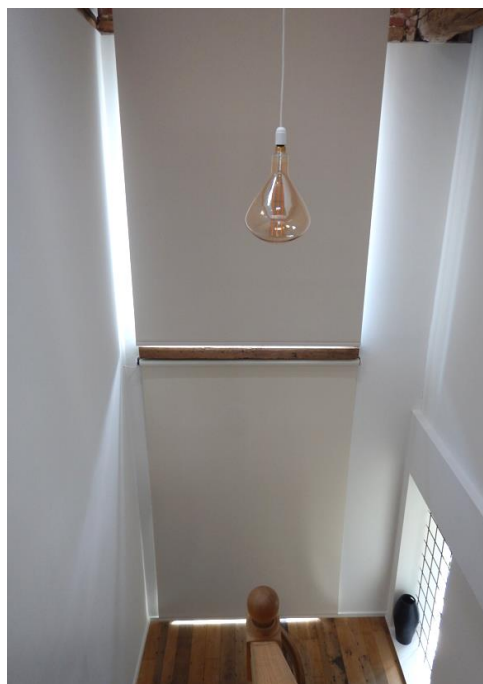
Figuur 96. Dubbele voordeur aan straatzijde die niet gebruikt wordt. (Foto: WTCB)

Het grote nieuwe raam in de achtergevel heeft een buitenzonwering in aluminium lamellen (Figuur 97). Op andere plaatsen zijn aan de binnenzijde rolgordijnen voorzien (Figuur 98.)





Figuur 97. Achtergevel tijdens blowerdoor-test met zicht op buitenzonwering aan het grote nieuwe raam. (Foto: WTCB)



Figuur 98. Waar geen buitenzonwering is, worden witte rolgordijnen gebruikt, die elektrisch aangestuurd worden. (Foto: WTCB)

Vloeren

Er is vloerisolatie geplaatst boven de kelder. Slechts een gedeelte van het huis is onderkelderd (ter hoogte van de keuken linksachter). Hier is 6 cm harde PIR-plaat geplaatst op gestabiliseerd zand dat de oneffenheden van het gewelf opvangt.

De vloer boven de garage is geïsoleerd met 12 cm minerale wol tussen de balken.

Verwarming

Het systeem voor warmteopwekking is integraal vervangen in 2019. De nieuwe ketel is een condensatieketel die werkt op aardgas (rendement 107% t.o.v. onderwaarde). De bestaande gietijzeren radiatoren zijn behouden, hersteld en opnieuw geschilderd. Aangezien je makkelijk door de radiatoren heen kunt kijken, is er geen isolatie of reflecterende folie of verf achter aangebracht. Zowel de verwarming als de verlichting worden bediend met een domotica-systeem van merk Loxone, tot wisselende tevredenheid van de bewoners. Het vraagt een zekere affiniteit om de bediening te doen: het systeem moet soms herstart worden bij uitval. Het stuurt de verlichting aan en de verwarming per zone.

PV-panelen

Op het dak achteraan is in totaal 65 m² PV-panelen geplaatst (Figuur 89). De panelen leveren elektriciteit met een piekvermogen van 11.6 kW.

Sinds april 2021 is een batterij van 12 kW geïnstalleerd in de kelder en aangesloten op het net. De eigenaar gebruikt een elektrische wagen. De energie voor de wagen wordt dankzij de bufferende capaciteit van de batterij bijna volledig geleverd door de PV-panelen.



Niet uitgevoerd of gepland

Muren

Er is geen isolatie van de muren voorzien. Op sommige plaatsen is ervoor gekozen om de muur ongepleisterd te laten. Dit is het geval voor de gemene muren en voor de muren van de zolder. Dat kan een invloed hebben op luchtdichtheid aangezien de pleisterlaag in het algemeen aanzien wordt als de meest luchtdichte laag van een muur.

De keuze om binnenisolatie weg te laten in het uiteindelijke uitvoeringsontwerp is ingegeven uit voorzichtigheid voor mogelijk negatieve gevolgen. Men had daarbij vooral de thermische en vochtcapaciteit van de muren in gedachten.

Wat betreft mogelijke vochtproblemen kan gesteld worden dat de voorgevel statistisch gezien niet sterk regenbelast is en dus maar aan beperkte risico's is blootgesteld. Maar de achtergevel is ZZO-georiënteerd en door de open tuin meer blootgesteld. De buitenmuren zijn twee-steens (ongeveer 40 cm) op het gelijkvloers en anderhalve baksteen dik op de verdiepingen (ongeveer 30 cm). Het argument van verlies van thermische capaciteit is alleszins valabel: oververhitting in de zomer is een probleem, vooral op de bovenste verdieping, en de warme pieken zouden erger kunnen worden door het wegvallen van een thermische buffer.

Vloeren

Behalve de vloeren boven de kelder, zijn de overige vloeren op het gelijkvloers niet geïsoleerd. Voor een deel is dat omdat men de authentieke stenen vloer niet wilde uitbreken. Een ander deel is wel uitgekomen, maar bleek op een betonplaat te liggen die te weinig hoogte vrij liet om op te isoleren.

Ventilatie

Er is bewust voor gekozen om geen ventilatie te installeren. Gezien het grote volume en de natuurlijke invloed van infiltratie en exfiltratie werd dit niet nodig geacht. Thermische trek wordt versterkt door de openingen tussen de verdiepingen, waardoor de lucht vrij van het gelijkvloers tot de dakruimte kan stromen. De bewoners ervaren de luchtkwaliteit als comfortabel.

4. Metingen

IR-thermografie

Er zijn twee series IR-opnamen uitgevoerd:

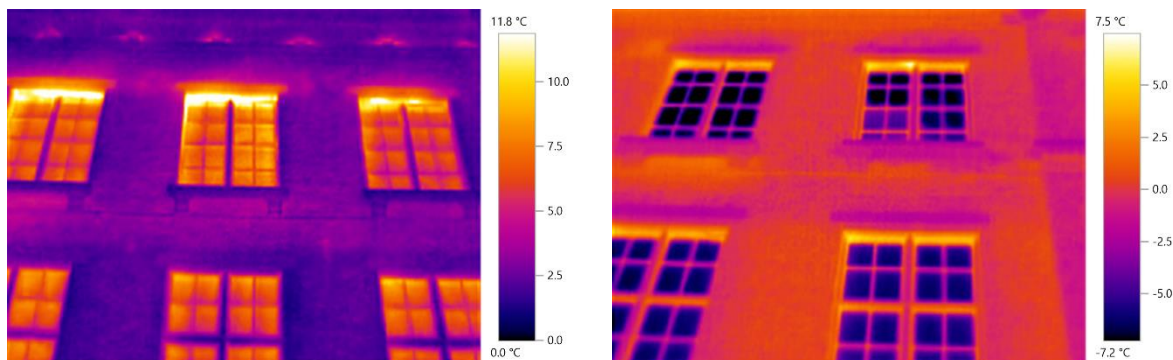
- Vóór de werken op 9 februari 2017 (buiten: 3 tot 5°C, binnen 12°C gelijkvloers, 18-19°C 1^{ste} verdieping, 20-21°C tussenverdieping tussen 1 en 2)
- Na de werken op 11 februari 2021 (buiten: -1 tot 0°C, binnen 17-18°C)

Bij de observatie van de voorgevel lijkt het op het eerste zicht wel dat de situatie na vervanging van de ramen het omgekeerde is als voordien. Maar dat klopt niet helemaal. Op het beeld uit 2017 merken we verschillende zaken. De temperatuur op de hoogste verdieping is hoger dan die op de eerste verdieping. Volgens de plannen is hier echter geen verjonging van de muur en gaat het dus om een verschil in binnentemperatuur, dat we inderdaad geregistreerd hebben. Verder zie je de hogere temperaturen onder de vensters: de plaats van de radiatoren. Terwijl de muur zelf op een



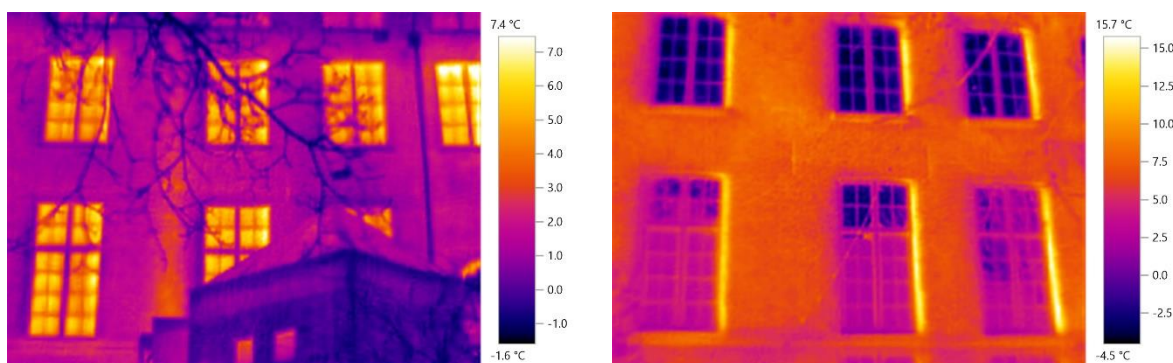
temperatuur tussen 2 en 4°C staat, staat het glas op een temperatuur van 7 tot 10°C. De stellinggaten bovenaan de gevel zijn duidelijk zichtbaar als koudebruggen.

Als we dan kijken naar de nieuwe toestand (2021), dan lijkt het of het glas veel kouder is dan de muur: -6 tot -5°C versus 0 tot 2.5°C. Dat is echter niet realistisch en in de eerste plaats te wijten aan de sterke reflectie van het nieuwe glas. Visueel merk je in Figuur 88 dat het glas sterk spiegelen is voor zichtbaar licht. Dit is waarschijnlijk het resultaat van een coating die een deel van het UV en van het zichtbaar licht weerkaatst. Die kan eventueel gecombineerd zijn met een IR-reflecterende laag om warmte-uitwisseling door straling te verminderen. In ieder geval is de reflectie in de rechter foto klaarblijkelijk zo sterk, dat we voornamelijk de koude stralingstemperatuur van de hemel gespiegeld zien, en dus geen uitspraak kunnen doen over de temperatuur van het glas.



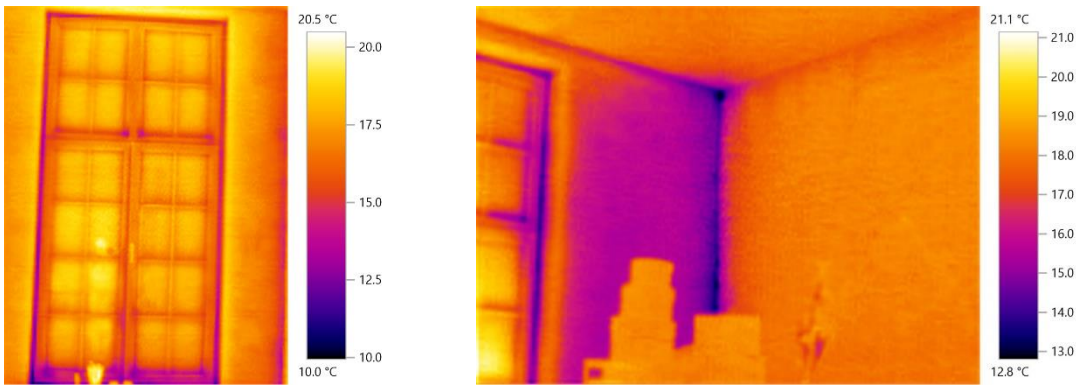
Figuur 99. IR-beeld van de voorgevel met zicht op enkele ramen van de 1^{ste} en 2^{de} verdieping: links vóór de vervanging van de ramen (2017) en rechts na de vervanging van de ramen (2021). (©WTCB)

Eenzelfde ogenschijnlijke tegenstelling zien we bij de achtergevel. In het rechterbeeld van Figuur 100 zie je duidelijk dat de kleur van het nieuwe vensterglas grotendeels bepaald wordt door de reflectie en dus niet door de temperatuur van dat glas zelf. Dat de ramen thermisch goed presteren is duidelijk, aangezien de oppervlaktetemperatuur binnen van zowel het glas als de profielen nauwelijks lager ligt dan die van de lucht (Figuur 101.). Ook hier is reflectie wellicht van een zeker belang: getuige de zichtbare fotograaf. De zones van de ramen zijn ook steeds voorzien van een gietijzeren radiator, waarvan het oppervlak ongeveer 45°C warm is. De muurvlakken tussen de ramen zijn kouder, aangezien ze niet geïsoleerd zijn (Figuur 101 rechts).



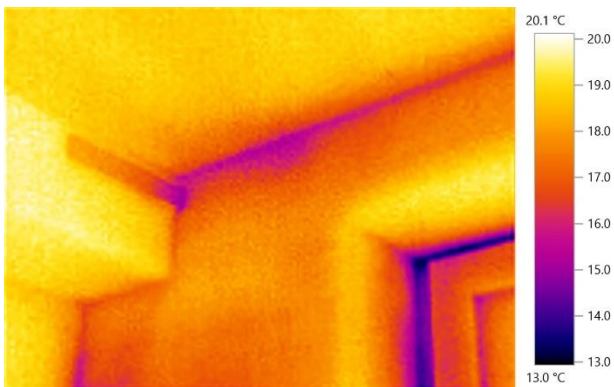
Figuur 100. IR-beeld van de achtergevel: links vóór de vervanging van de ramen (2017) en rechts na de vervanging van de ramen (2021). (©WTCB)





Figuur 101. IR-beelden na renovatie binnen op de 1^{ste} verdieping van een raam in de voorgevel en een hoek met een kopse muur. (©WTCB)

Net als bij andere projecten, merken we dat muurankers lokale koudebruggen zijn (Figuur 102). In de omstandigheden die we gemeten hebben, is er echter geen sprake van gevaar op condens.



Figuur 102. Muuranker op de 2^{de} verdieping in de voorgevel, toestand na renovatie. (©WTCB)

Luchtdichtheidsmetingen

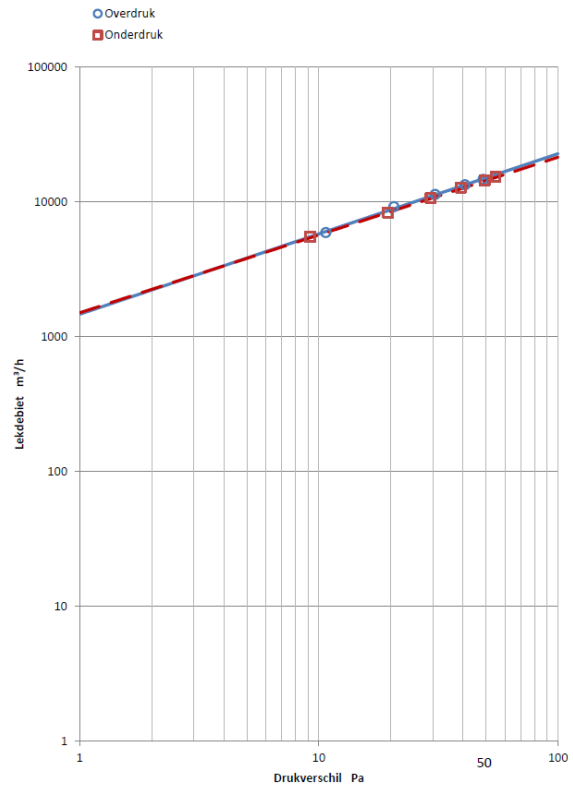
Er werd een luchtdichtheidsproef uitgevoerd op 20 juli 2021 om de luchtdichtheid van de schil na renovatie te kunnen inschatten. Daartoe werd een blowerdoor geplaatst in de deuropening van de achterdeur (Figuur 97). Achtereenvolgens werd het gebouw in overdruk en onderdruk gezet door twee gekalibreerde ventilatoren volgens de procedure beschreven in NBN EN 13829 en de bepalingen van de STS P-71-3. De garage/koetsdoorgang wordt niet als deel van het beschermd volume beschouwd. De dubbele deur die erop uitgeeft wordt dus gesloten. De deur naar de keldertrap werd gesloten: deze kelder (een oudere overwelfde kelder uit een vroegere bouwphase) maakt geen deel uit van het beschermd volume. Hij wordt verlucht door twee openingen. De stookruimte wordt wel in het volume meegenomen, hoewel te vermoeden valt dat er wel enkele luchtlekken zijn.

De resulterende meetpunten van het lekdebiet in zowel overdruk als onderdruk zijn weergegeven in Figuur 104. De twee gefitte lijnen liggen mooi op elkaar. Het gemiddelde lekdebiet bij 50 Pa drukverschil (q_{50}) bedraagt 14 730 m³/u. Rekening houdend met het grote binnenvolume van 1672 m³, betekent dit een ventilatievoud n_{50} van 8.81 1/u.





Figuur 103. Plaatsing van twee ventilatoren met gekoppelde regeling. (Foto: WTCB)



Figuur 104. Meetpunten van het lekdebiet in functie van het drukverschil in overdruk en onderdruk. (©WTCB)

Na de meting van deze debieten werd een reeks observaties van luchtlekken gedaan door middel van rooktests terwijl het bouwvolume onder 30 Pa overdruk geplaatst werd.

- De nieuwe houten raamprofielen presteren uitstekend, slechts hier en daar merken we een klein luchtlek in een hoek. Hetzelfde geldt voor de nieuwe aluminium ramen: ze zijn klaarblijkelijk met veel zorg gemonteerd.
- De stookruimte op het gelijkvloers heeft effectief een aantal aanzienlijke lekken ter plaatsen van aansluitingen of wachtleidingen (doorboringen van de muren en vloeren).
- Waar zichtbare spleten zijn, ontsnapt duidelijk veel lucht. Dat is het geval voor de deur naar de garage en voor de voordeur. De deur naar de garage zal in de toekomst nog hersteld worden, echter met behoud van de profielen en het glas-in-lood.
- Veel lucht lijkt verloren te gaan in aansluitingen op de dakverdieping (Figuur 105). Enerzijds bij de aansluitingen tussen de voor- en achtergevel en het hellende dak (lucht ontsnapt achter de boordplank) en anderzijds bij de aansluiting tussen het dakvlak en de kopse muren in naakt metselwerk. Verder zijn er ook gewoon lekken doorheen het metselwerk op plaatsen van barsten in de schouw.

Globaal valt te vermoeden dat deze lekken in het dak leiden tot een sterke schoorsteenwerking, waarbij er nogal wat lucht binnenkomt op het gelijkvloers of de eerst verdieping, via de trappen naar boven stroomt en ontsnapt in de dakverdieping.





Figuur 105. Drie typerende plaatsen van luchtlekken in de zolderverdieping: de aansluiting met de zijmuren, de aansluiting met de voor- en achtergevel en openingen in het metselwerk. (Foto's: WTCB)

Binnenklimaat

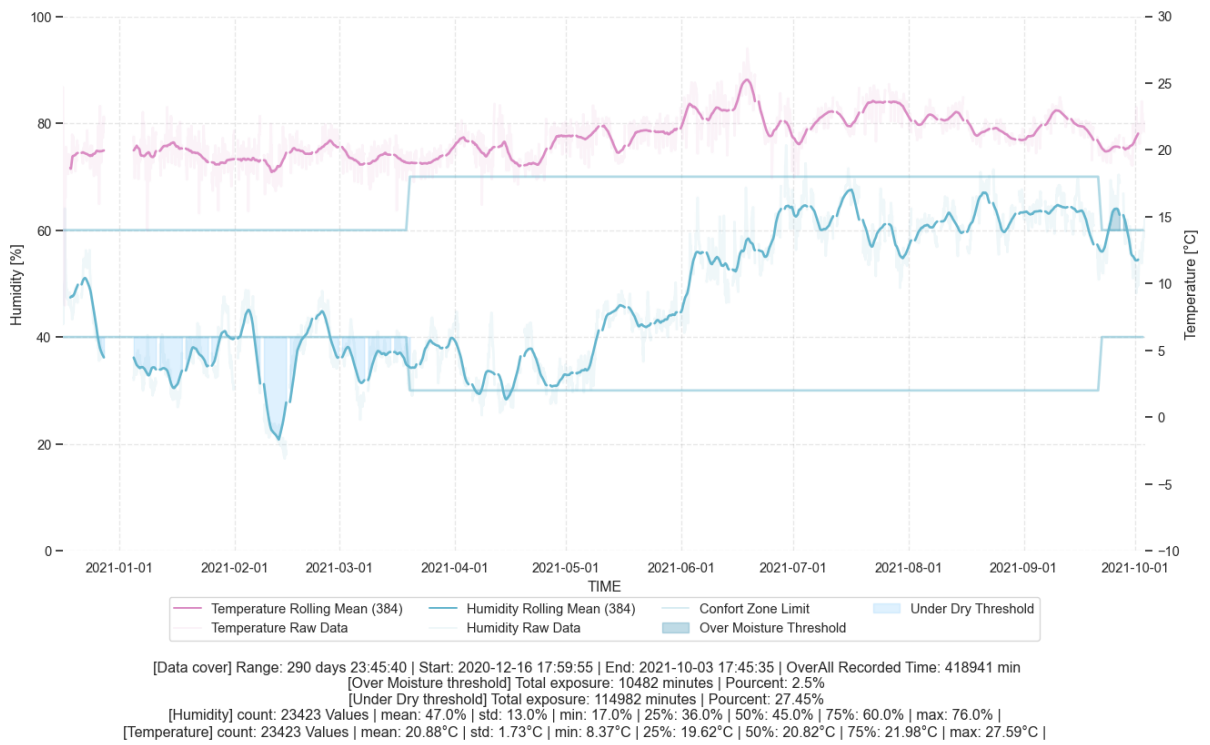
Vanaf 17 december 2020 tot september 2021 werd het binnenklimaat in de woning gemeten. De temperatuur en relatieve vochtigheid werden gemeten op het gelijkvloers in de keuken, op de 1^{ste} verdieping in de living (TV-hoek), op de 2^{de} verdieping in de kleine badkamer aan de linkerkant (vanaf de straat gezien), en op de bovenste verdieping in de grote open zolderruimte, die dienst doet als oudersslaapkamer en -badkamer. In die laatste ruimte werd ook de CO₂-concentratie gemeten. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 106 tot Figuur 114.

Globaal is het thermisch comfort overal goed. Het valt op dat het verloop van de verschillende ruimtes zeer gelijklopend is, door het feit dat de volumes sterk met elkaar verbonden zijn. Tijdens koude periodes is er wel sprake van een vrij lage relatieve vochtigheid in alle ruimtes: februari 2021 is daarvan het meest uitgesproken moment.

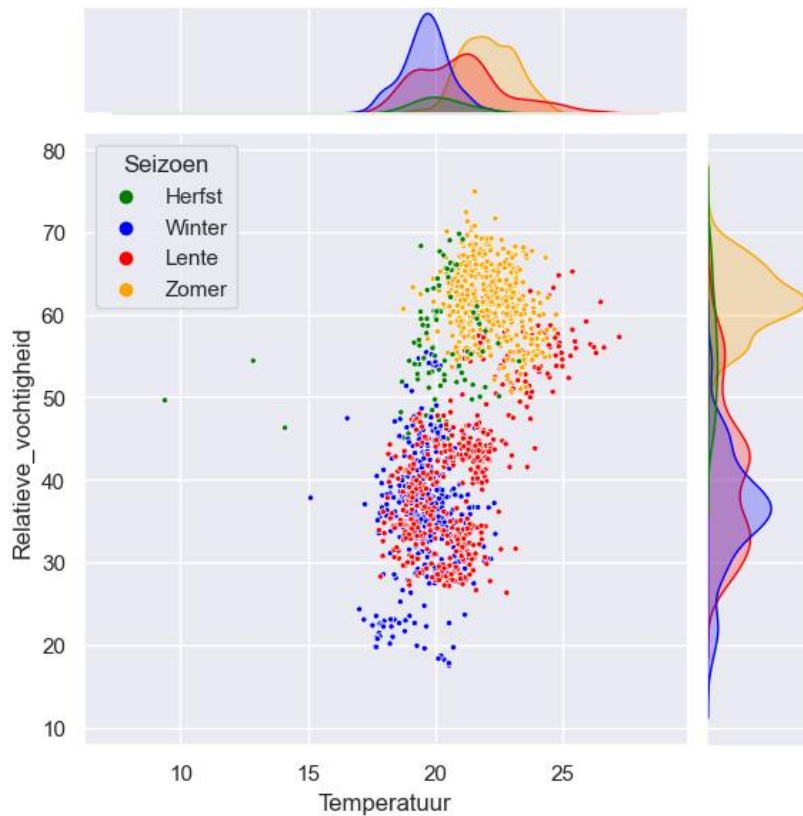
In de keuken kan de relatieve vochtigheid vrij hoog worden in de zomer. In de badkamer blijft de relatieve vochtigheid globaal gelijkaardig aan andere kamers. De schommelingen gelinkt aan het nemen van een douche of een bad, zijn uitgemiddeld en dus niet zichtbaar in de grafieken. Hoewel de bewoners wel melding maken van een iets te hoge temperatuur op de dakverdieping tijdens warme zomerdagen, lijkt het probleem nog relatief beperkt op basis van Figuur 112 en Figuur 113. De binnengordijnen en het reflecterende glas van de ramen in de achtergevel verminderen het risico. Bovendien kan men aan passieve nachtkoeling doen door het dakvenster in de zolderverdieping automatisch 's nachts te laten openen.

Wat betreft de luchtkwaliteit in de oudersslaapkamer, kunnen we stellen dat die goed is, afgaande op de meting van de CO₂-concentratie (Figuur 114). Ondanks de afwezigheid van een ventilatiesysteem, zorgen het grote luchtvolume, de ventilatie met het dakraam en de in- en exfiltratie door luchtlekken voor een afdoende verversing van de lucht.



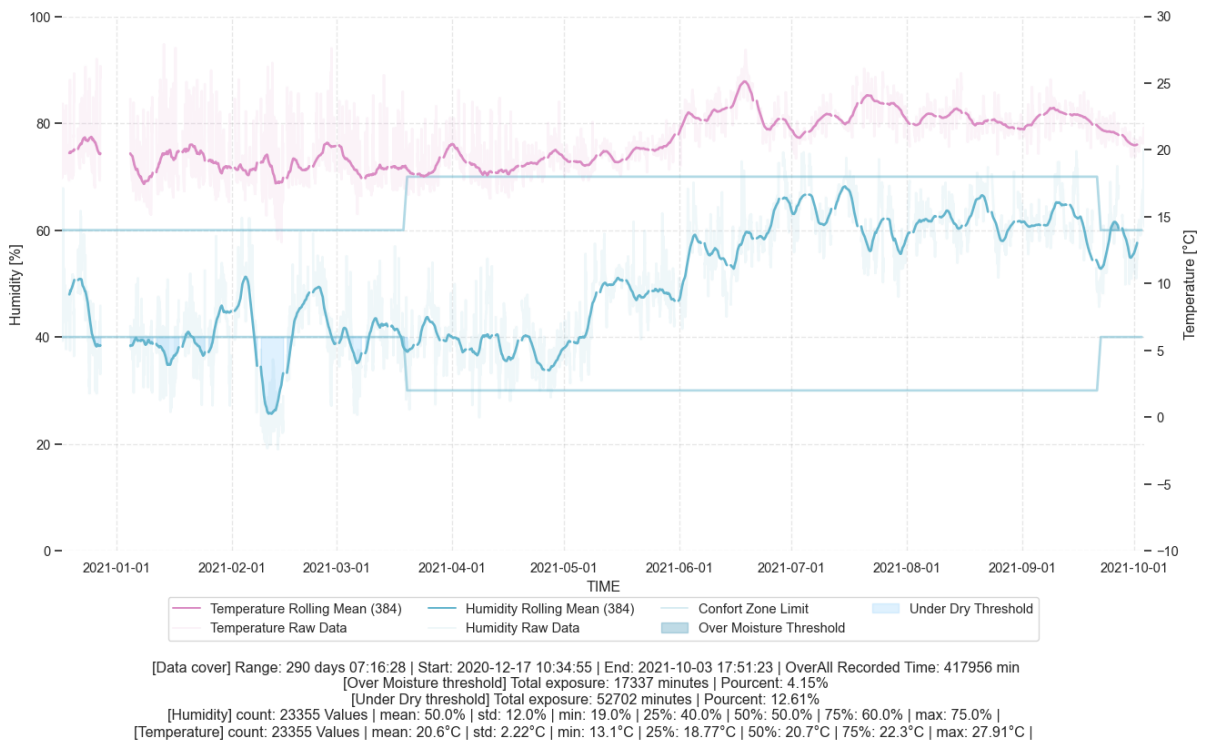


Figuur 106. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de living: : ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

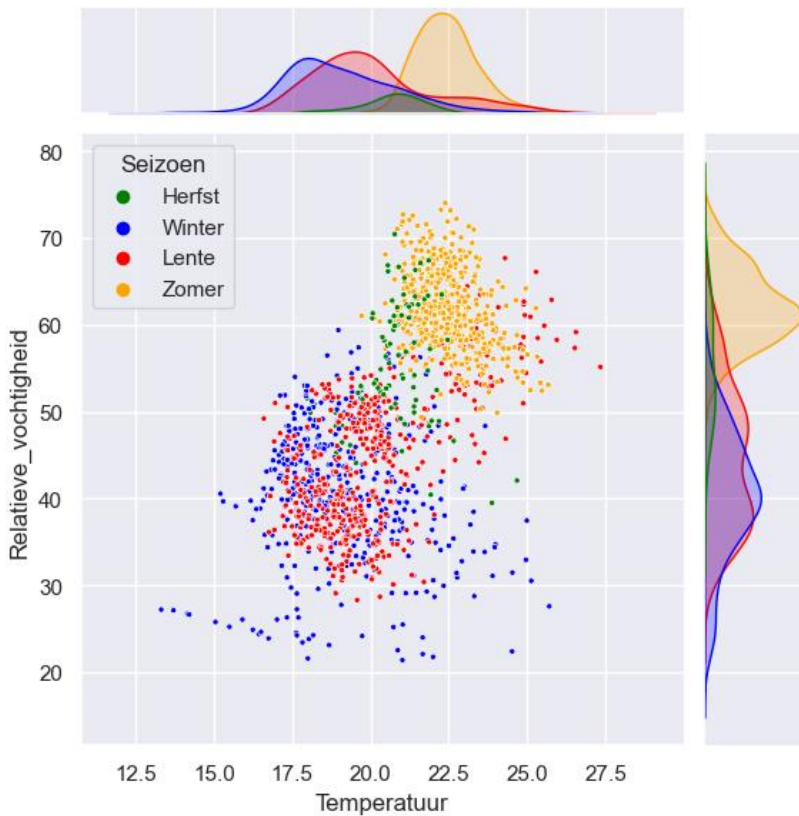


Figuur 107. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de living, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



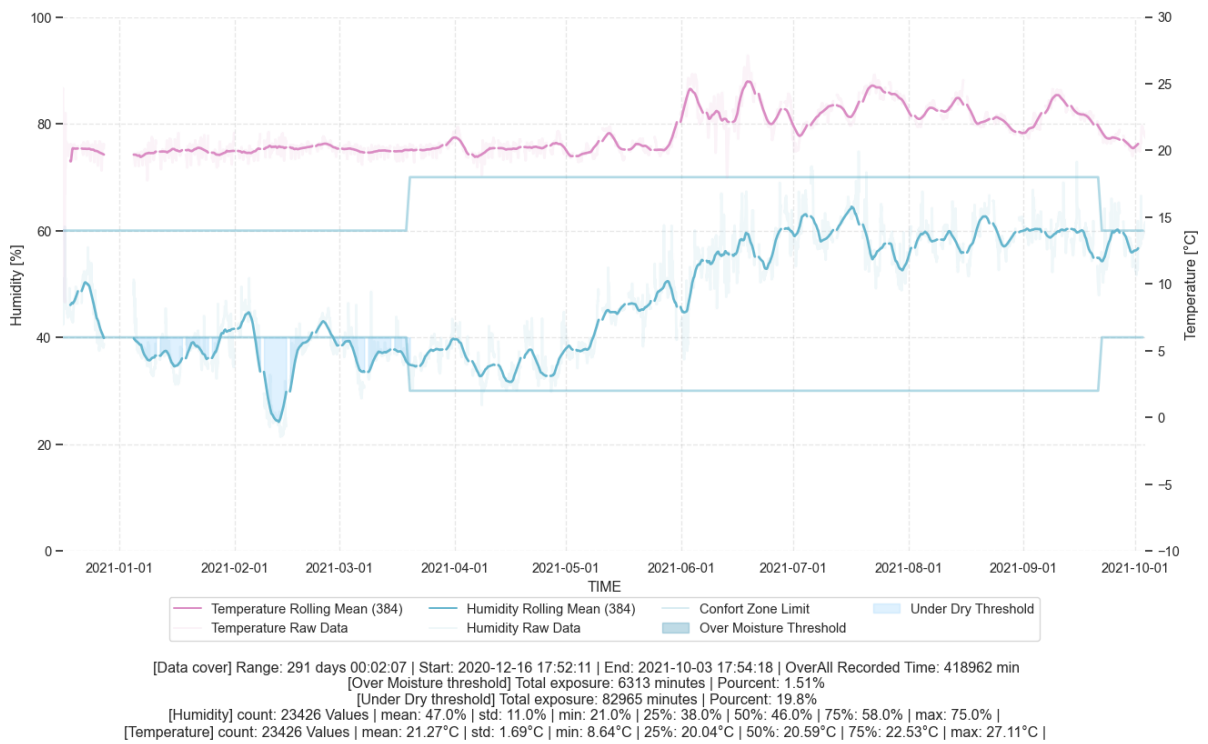


Figuur 108. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

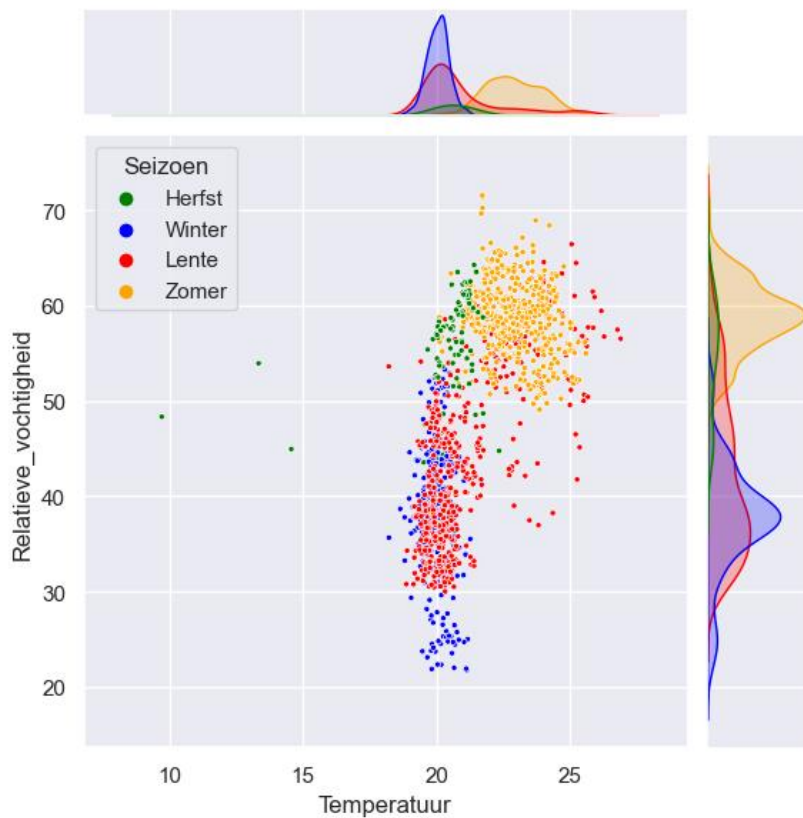


Figuur 109. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstip van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)





Figuur 110. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de badkamer: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

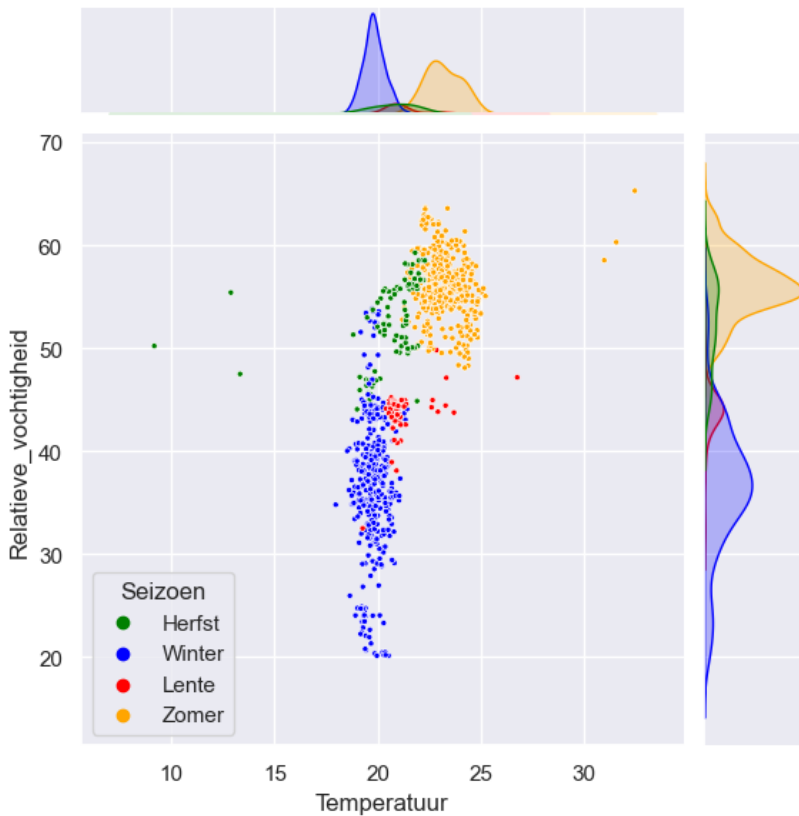


Figuur 111. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de badkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



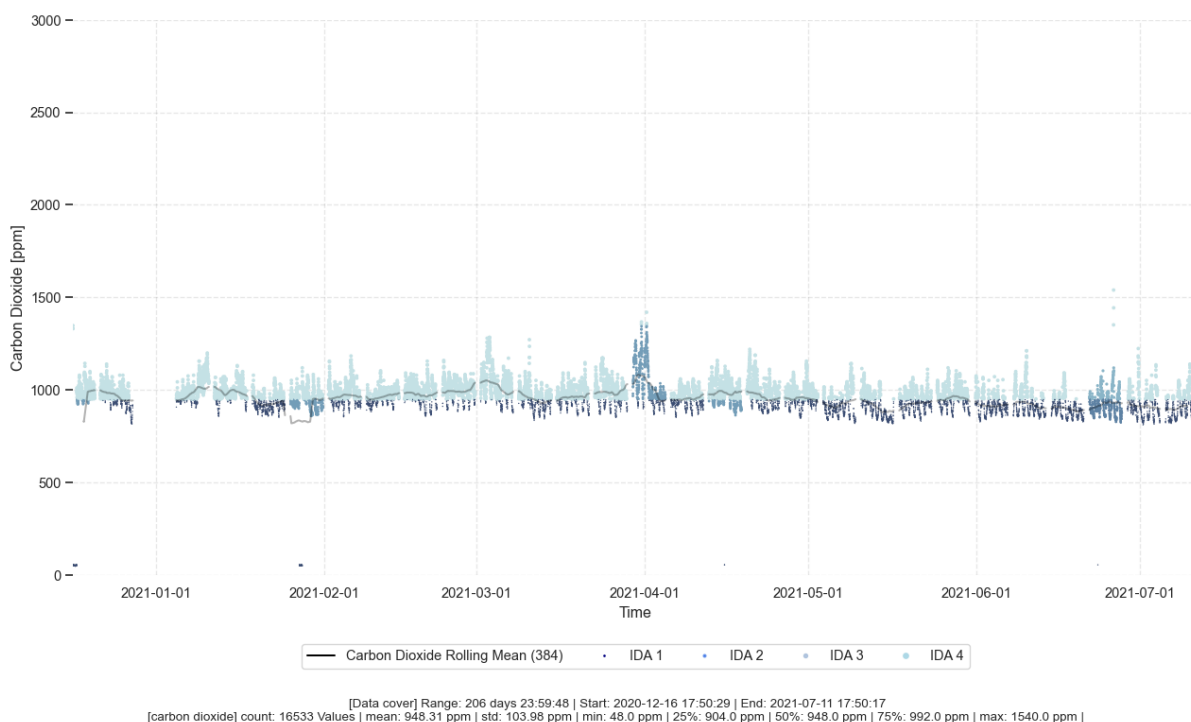


Figuur 112. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de oudersslaapkamer : ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



Figuur 113. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de oudersslaapkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstip van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)





Figuur 114. CO₂-concentratie in de ouderslaapkamer en -badkamer. (©WTCB)

5. Verbruiksgegevens

Er zijn gegevens beschikbaar van het aardgasverbruik voor één volledig jaar: van 1 december 2019 tot 1 december 2020. In die periode werd 48 307 kWh verbruikt voor verwarming en warm water. Dat komt neer op iets minder dan 100 kWh/m², wat een laag verbruik is. Het verbruik van elektriciteit wordt uiteraard sterk verminderd door de opbrengsten van de PV-panelen. Daarvan hebben we echter geen cijfers.

6. Schatting impact en besluit

Gezien de grote oppervlakte van de vernieuwde ramen en de goede isolatie van het dak, is dit het project dat op papier de op één na grootste besparing realiseert in transmissieverliezen: 108 MWh/jaar. Doordat de woning geen beschermd monument is, maar wel op de inventaris van bouwkundig erfgoed staat, ligt de lat ook iets minder hoog qua behoud van elementen. Het resultaat van de renovatie is een grote ruimtelijkheid met hoogwaardig afgewerkte elementen en een goed comfort.

De keuze om geen ventilatiesysteem te plaatsen, valt te verdedigen omdat het grote volume in het grote problemen van luchtkwaliteit zal voorkomen. Verdere verbeteringen van energieprestaties en comfort zouden te behalen zijn door toch ook de muren te voorzien van binnenisolatie, vooral aan de voorgevel aangezien daar de risico's op vochtproblemen beperkt zijn. Verbeteringen ter hoogte van de garage/wagendoorgang zijn nog voorzien voor de toekomst.

Referenties

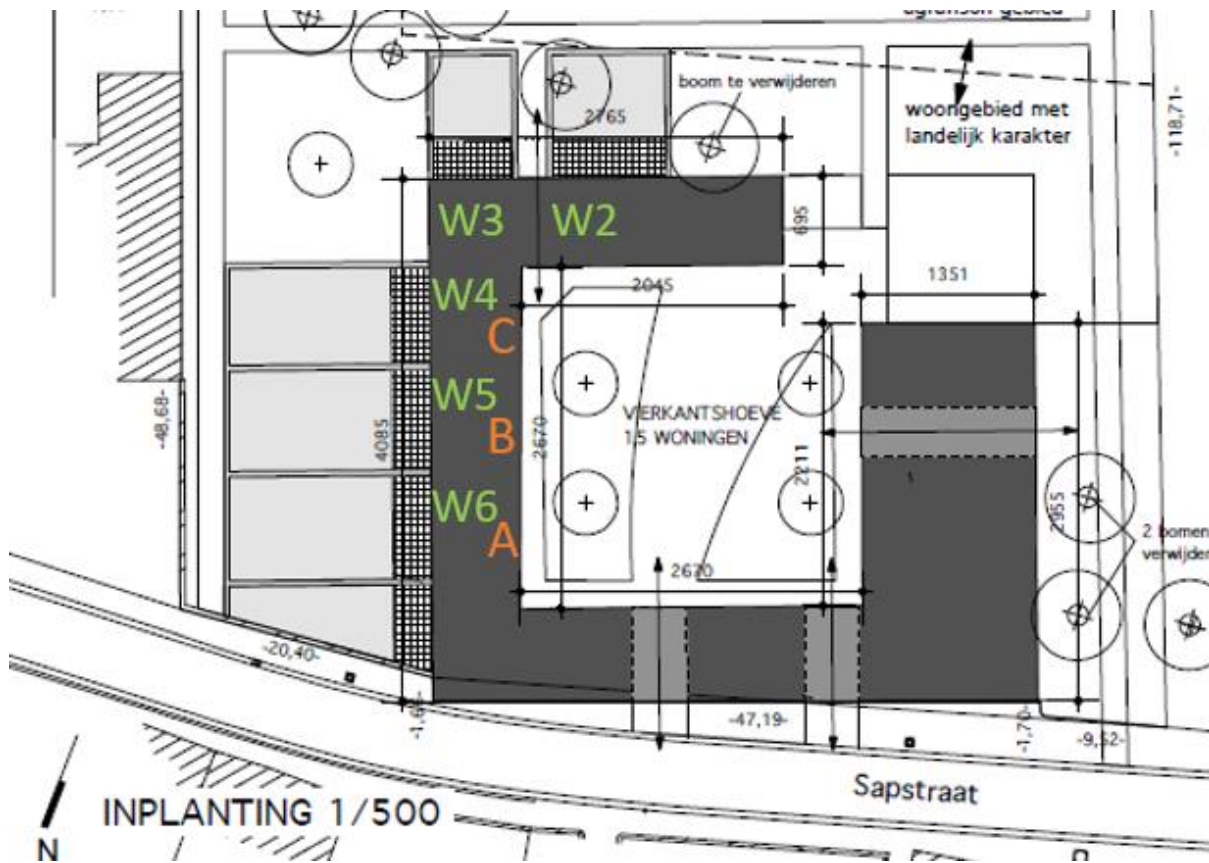
C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag: Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, WTCB, 2021



3.2.6 Projectfiche 5: Hoeve Blondeswinning, Bilzen

1. Gegevens

Gebouwtype	gesloten
Functie vóór renovatie	hoeve (leegstaand)
Functie na renovatie	woningen
Bescherming	Beschermd sinds 24-08-2011 (aanduidingsobject ID 2539, besluit ID 4852)
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	woning 3: 106 m ² woning 4: 116 m ²
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	woning 3: 26 MWh/jaar woning 4: 28 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	niet gekend
EPC-kengetal ná renovatie	niet gekend



Figuur 115. Inplanting met aanduiding van de woningen 2, 3, 4, 5 en 6. Er wordt ook naar woningen 4, 5 en 6 verwezen als zone C, B en A. (afbeelding : WTCB)



Figuur 116. Gevels van de beschouwde woningen aan de koerszijde. Van links naar rechts: woning 6, 5 en 4. In de rechtereuleug een deel van de gevel van woning 2 (woning 3 is in de hoek, toegankelijk via dezelfde deur). (Foto: WTCB)



Figuur 117. Gevels van de beschouwde woningen aan de tuinzijde. De hoekwoning is woning 3 (in het oorspronkelijke woonhuis); links daarvan woning 2; rechts woningen 4, 5 en 6 (in de oorspronkelijke stallingen). (Foto: WTCB)

2. Beknopte beschrijving

Blondeswinning is een gesloten hoeve met 17de-eeuwse kern en met belangrijke aanpassingen en toevoegingen uit de 18^{de} eeuw. Ze is opgetrokken in bak- en mergelstenen onder zadeldaken (Vlaamse pannen) rondom een vierkant, gekasseid erf, dat open is in de zuidelijke hoek. Het woonhuis ligt, in afwijking van de gebruikelijke schikking, achteraan het erf ten zuidoosten. Grotendeels mergelstenen gebouw, voorzien van rechthoekige muuropeningen in kalkstenen omlijsting uit eind 18de- begin 19de eeuw.

Het complex is gerenoveerd tussen 2015 en 2018 tot sociale woningen in combinatie met een polyvalente zaal. Op het moment van de aankoop in 2015 stonden de gebouwen leeg.

De metingen zijn uitgevoerd in de linkervleugel gezien vanaf de straat en in de hoek tussen de achterste vleugel en de linkervleugel. Deze linkervleugel was oorspronkelijk de plaats van de



stallingen; de achterste vleugel bevat het originele woonhuis (Figuur 115). De linkervleugel is aan de tuinzijde deels ingegraven. Aan die kant zijn nieuwe raam- en deuropeningen gemaakt met aluminium ramen. Aan de zijde van de binnenkoer zijn de ramen vernieuwd met houten profielen. Sinds 2018 zijn de woningen weer bewoond.

3. Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Daken, ramen en deuren, verwarming en ventilatie

Gezien de slechte staat van het gebouw voor aanvang van het project en de tamelijk strikte eisen die gesteld worden aan sociale huisvesting, is het gebouw zeer grondig gerenoveerd. Daken, schrijnwerk en installaties zijn in feite volledig vernieuwd. Aangezien die werken in wezen weinig verschillen van nieuwbouw, zijn ze niet in detail onderzocht. We concentreren onze analyse vooral op twee behandelingen van de muren: een warmte-reflecterende verf en een speciale soort binnenisolatie. In de uiteindelijke toestand is deze binnenisolatie toegepast in drie van de vijf woningen, en de speciale verf in twee andere en gedeeltelijk in een derde (Tabel 3). Om een vergelijking te kunnen maken, werd in 2017 een testfase gecreëerd waarbij drie morfologisch vergelijkbare woningen (zone A, B en C) respectievelijk gemeten konden worden zonder verbeterende ingrepen, mét de speciale coating en mét de binnenisolatie.

Woning nummer	Zone (bijlagen)	Afgewerkte toestand	Toestand 'testfase' tijdens onderzoek maart 2017
2		Alle buitenmuren gecoat met lage-emissiviteit-verf	Alle buitenmuren gecoat met lage-emissiviteit-verf
3		Alle buitenmuren gecoat met lage-emissiviteit-verf	Alle buitenmuren gecoat met lage-emissiviteit-verf
4	C	Buitenmuren geïsoleerd met binnenisolatie	Buitenmuren geïsoleerd met binnenisolatie
5	B	Buitenmuren slaapkamers gelijkvloers gecoat met lage-emissiviteit-verf en buitenmuren andere ruimten geïsoleerd met binnenisolatie	Buitenmuren slaapkamers gelijkvloers gecoat met lage-emissiviteit-verf
6	A	Buitenmuren geïsoleerd met binnenisolatie	Geen ingrepen: naakte muren

Tabel 3. Overzicht van de verschillende energiebesparende maatregelen die genomen zijn in de verschillende woningen. Tijdens de 'testfase' konden de twee types maatregelen in zones A, B en C vergeleken worden met elkaar en met de 'nultoestand'.

Muren: IR-reflecterende binnenverf

In woningen 2 en 3 en in de slaapkamers van woning 5 is ervoor gekozen om de buitenmuren niet te isoleren aan de binnenkant, maar om ze af te werken met een speciaal type verf, dat sterk reflecteert in het bereik van infraroodstraling. Infraroodstraling zorgt voor warmte-uitwisseling tussen de muur en de binnenomgeving. Hoeveel warmte de muur afstraalt naar andere vlakken en personen, hangt af van de emissiviteit e (of ϵ) van die muur. Bij een gewone matte muurverf ligt die tussen 0.9 en 0.95. Bij een sterk reflecterende verf kan die zakken tot 0.2 of zelfs iets lager (Flamant et al. 2015). De invloed daarvan op het globale warmteverlies van een muur, kan (vereenvoudigd) ingeschat worden door de verandering in U-waarde te berekenen. In de berekening van de U-waarde heeft de

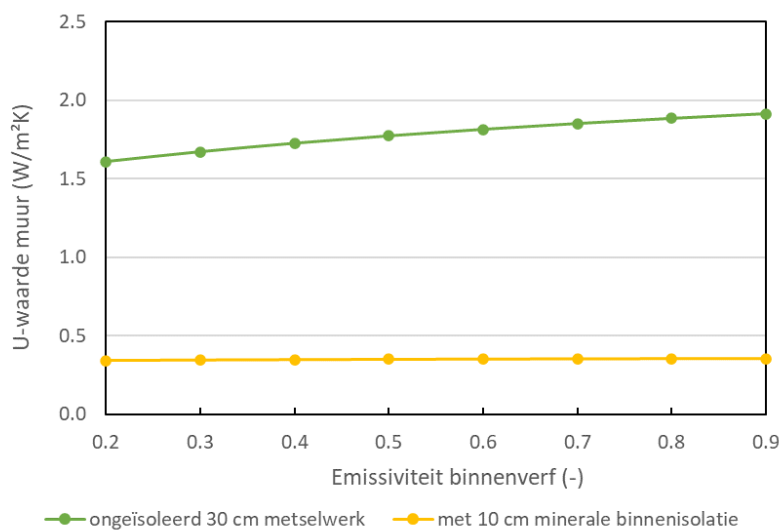
////////////////////////////////////

emissiviteit aan het binnenoppervlak een invloed op de overgangscoefficiënt voor straling h_{ri} . Volgens literatuur kan men een waarde van 7.7 of 8 aannemen voor verticale muren binnen. Voor afwijkende situaties kan h_{ri} als volgt berekend worden (Hens 2013):

$$h_{ri} = C_B e F_T$$

Met C_B de constante van Boltzmann en F_T de temperatuurfactor, die afhangt van zowel omgevingstemperatuur als de oppervlaktetemperatuur. Stel nu dat de emissiviteit daalt van 0.9 naar 0.2, dan daalt h_{ri} van 5.0 naar 1.2 W/m²K. Als je die optelt bij de overgangscoefficiënt voor convectie h_{ci} (die bij conventie gelijk genomen wordt aan 3.5 W/m²K voor verticale wanden), dan krijg je een globale daling van 8.5 naar 4.6 W/m²K.

Voor een ongeïsoleerde metselwerkmuur van 30 cm met 1.5 cm pleister, zou dit de U-waarde doen dalen van 1.91 naar 1.61 W/m²K, ofwel een daling van 16%, wat wel significant is (Figuur 4). Is diezelfde muur echter langs binnen geïsoleerd, bv. met 10cm capillair actieve isolatie, dan zou de U-waarde door toepassing van die lage-emissiviteitsverf dalen van 0.35 W/m²K naar 0.34 W/m²K, ofwel een daling van 3% (Figuur 118).



Figuur 118. Theoretisch berekende daling van de U-waarde van een muur van 30 cm baksteenmetselwerk door toepassing van een verf met lagere emissiviteit. (©WTCEB)

Deze berekeningen gaan er wel van uit dat de binnentemperatuur in alle gevallen 20°C is en de buitentemperatuur altijd 0°C, maar dat hoeft in werkelijkheid niet het geval te zijn: de lagere emissiviteit van de verf op de buitenmuur heeft namelijk ook een impact op de waargenomen **comforttemperatuur** binnen. Thermisch comfort wordt niet alleen bepaald door de luchttemperatuur, maar ook door de relatieve vochtigheid, de stralingstemperatuur (en emissiviteit) van de omringende oppervlakken, en de relatieve luchtsnelheid (tocht). Eenvoudig uitgelegd: als je een lage-emissieverf aanbrengt op het muurvlak van de buitenmuur, dat tijdens het stookseizoen kouder is dan de andere vlakken in de ruimte, gaat die koude muur nog iets kouder worden (omdat hij minder straling uitwisselt met de warmere binnenomgeving), maar je gaat dat als waarnemer in de kamer minder voelen, aangezien je zelf als persoon wegens die lage emissiviteit ook minder warmtestraling uitwisselt met dat koude vlak. Dus globaal kan je thermisch comfort verbeteren.

De norm NBN EN ISO 7730 bepaalt hoe de subjectieve ervaring van thermisch comfort kan uitgedrukt worden in een getalwaarde: de PMV of *predicted mean vote* op een schaal van -3 voor koud tot +3 voor heet. We kunnen aan de hand van die formules nu theoretisch becijferen hoeveel het comfortgevoel zal toenemen door het verlagen van de emissiviteit van de verf op de buitenmuur.

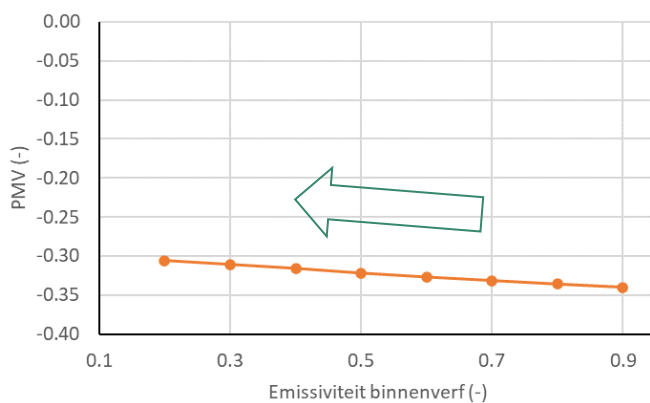
Daarvoor zijn enkele aannames nodig:

- De temperatuur van de lucht is 20°C en de relatieve vochtigheid is 50%.



- De persoon is gemiddeld gekleed ($clo=0.8$) en doet licht kantoorwerk (metabolisme 80 W/m^2); hij of zij levert geen mechanische arbeid.
- De relatieve luchtsnelheid is laag: 0.1 m/s (geen tocht).
- De gemiddelde stralingstemperatuur wordt berekend als gewogen gemiddelde van alle muren en vloeren. De buitenmuur staat op 17°C en alle andere vlakken op 20°C . De weging gebeurt aan de hand van benaderende hoekfactoren ($1/6$ voor de buitenmuur, $5/6$ voor de som van alle andere vlakken) rekening houdend met emissiviteit 0.9 voor alle andere vlakken en variabel van 0.2 tot 0.9 voor de buitenmuur.

Dat levert dan het resultaat in Figuur 119. De verbetering bij daling van de emissiviteit van 0.9 tot 0.2 is min of meer lineair. Maar de verschillen zijn klein en ze zijn zelfs nog licht overschat, aangezien de 'koude' buitenmuur aan zijn binnenoppervlak wellicht iets kouder zal zijn bij lage emissiviteit. Desalniettemin laat dit fysische effect toe om de kamer iets minder warm te stoken om eenzelfde comfortervaring te bereiken.



Figuur 119. Verbetering van thermisch comfort in een kamer in functie van de emissiviteit van een speciale verf, als enkel de buitenmuur is geverfd met die speciale verf en alle andere muren met normale verf. PMV staat voor Predicted Mean Vote: een genormeerd indicatie voor menselijk welbehagen. (©WTCB)

De technische fiche van de toegepaste verf laat echter heel wat verwarring bestaan over de eigenlijke emissiviteit in het langgolvlige IR-spectrum (golflengtes rond $10 \mu\text{m}$ zijn vooral relevant). Er zijn namelijk heel wat referenties naar hoge reflectie in het zichtbare en UV-bereik. We verwijzen naar onze evaluatie van de IR-thermografie (zie lager) voor verdere indicaties over de werkelijke eigenschappen van het gebruikte product.

Muren: binnenisolatie met geperforeerde PUR-platen

In woningen 4 en 6 en in een aantal ruimtes van woning 5 is 5 cm van een vrij nieuw type binnenisolatie toegepast. Het product bestaat uit een geperforeerde harde PUR-plaat waarvan de gaatjes gevuld zijn met een capillair poreus materiaal (een soort mortel). Het heeft de bedoeling om de goede thermische isolatie van PUR te combineren met de mogelijkheid om vocht door te laten door capillair transport en damptransport, wat theoretisch sneller gaat dan damptransport alleen. De impact van dit systeem op het hygrothermisch gedrag van de muren is behoorlijk complex.

Een gedetailleerde analyse hoort dan ook niet tot de ambities in dit project. We verwijzen daarvoor naar internationale publicaties, zoals die van Vereecken en Rode en de bevindingen van het Europese onderzoeksproject RiBuild (zie referenties).



Ventilatie en luchtdichtheid

Bij het plaatsen van de nieuwe ramen is ervoor gekozen om roosters toe te voegen in de droge ruimtes als regelbare toevoeropeningen voor een ventilatiesysteem van type C. Afvoer gebeurt mechanisch in de natte ruimten.

4. Metingen

IR-thermografie

Er zijn 2 series metingen uitgevoerd:

- Tijdens de renovatiewerken op 28 maart 2017. Waarnemingen in woningen 4, 5 en 6.
- Na de renovatiewerken op 10 maart 2021; waarnemingen in woningen 3 en 5 (temperatuur buiten: 4.9 tot 6.8°C; binnen 23°C in woning 3 en 21°C in woning 5)

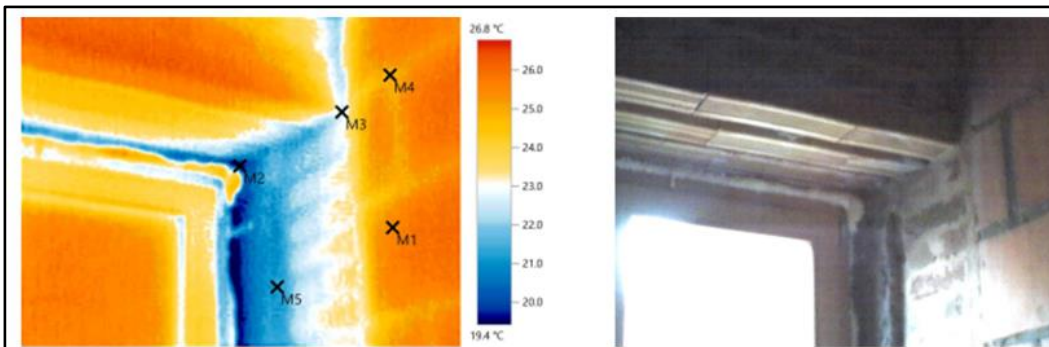
Tijdens de eerste reeks werden woningen 4, 5 en 6 met elkaar vergeleken om relevante verschillen tussen de geselecteerde ingrepen op de buitenmuren te identificeren. De resultaten van deze eerste reeks kunnen enkel gebruikt worden om lokale problemen te identificeren, aangezien een kunstmatig hoge binnentemperatuur gecreëerd was voor een beter thermisch contrast, en die temperatuur op alle plaatsen verschillend was.

In de woning waar geen binnenisolatie is toegepast, zijn er lokaal koudebruggen bij raam- en deuropeningen (Figuur 120). In woning 5 is de reflecterende verf aangebracht op de buitenmuur en op de dagkanten van het raam. De koudebrug is minder uitgesproken, maar we moeten in acht nemen dat hier ook pleister is aangebracht, en dat daardoor de luchtdichtheid van de aansluiting mogelijk verbeterd is: in het detail van Figuur 120 zou dat namelijk ook deels de slechte prestaties kunnen verklaren.

Een effect van de verf op zich is moeilijk waar te nemen (Figuur 121). In woning 4, waar binnenisolatie is aangebracht, is de koudebrug ook duidelijk aanwezig, maar wel meer geconcentreerd op het vaste kader van de deur (Figuur 122).

Ter plaatse van de oplegging van de balken in de buitenmuren lijkt de koudebrug minder uitgesproken in het geval waar binnenisolatie is toegepast (Figuur 123 versus Figuur 124). Ook hier geldt de opmerking dat verschillen in luchtdichtheid een invloed kunnen hebben.





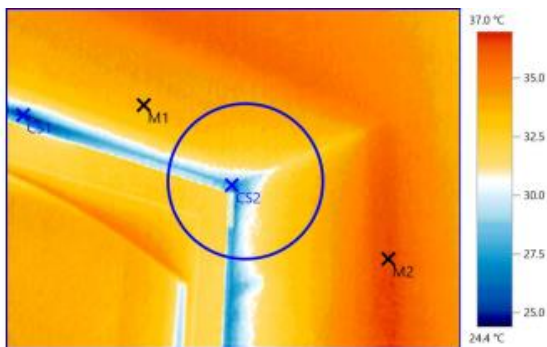
Beeldparameters:

Emissiegraad: 0.95
Refl. Temp. [°C]: 20.0

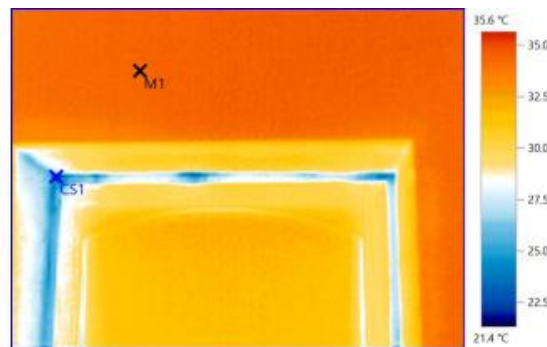
Beeldmarkeringen:

Meetobjecten	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. temp. [°C]	Opmerkingen
Meetpunt 1	25.6	0.95	20.0	-
Meetpunt 2	19.5	0.95	20.0	-
Meetpunt 3	22.7	0.95	20.0	-
Meetpunt 4	25.0	0.95	20.0	-
Meetpunt 5	21.3	0.95	20.0	-

Figuur 120. Lokale koudebrug aan aansluiting van een raam in zone A (woning 6), waar geen binnenisolatie is toegepast (©WTTCB)



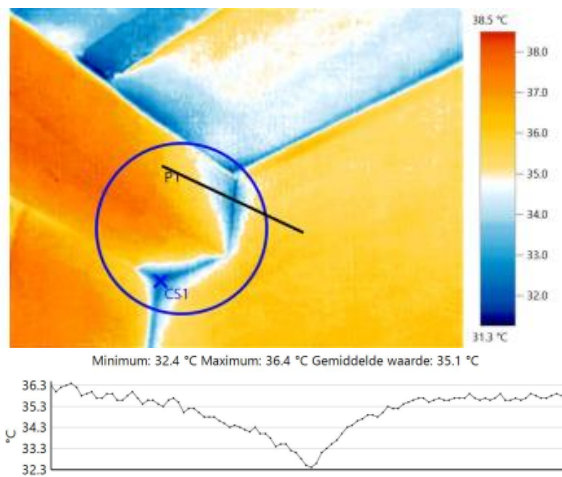
Figuur 121. Raamaansluiting in woning 5 (reflecterende verf) (©WTTCB)



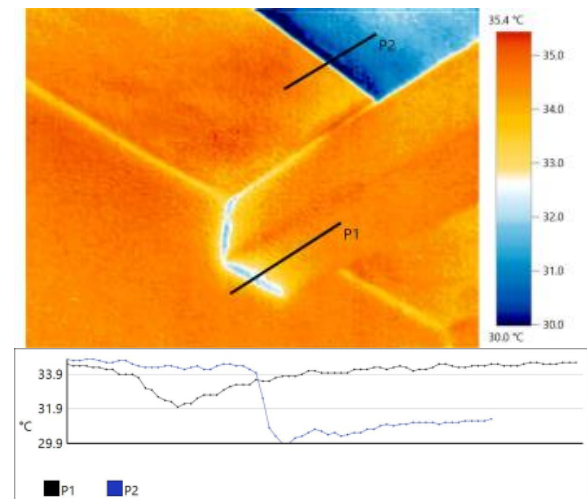
Figuur 122. Raamaansluiting in woning 4 (PUR binnenisolatie) (©WTTCB)

In de opnames van de buitenkant merken we op heel wat plaatsen het effect van de verschillende thermische eigenschappen van de materialen (Figuur 125). Het is evident dat de natuursteen een hogere warmtegeleiding en capaciteit heeft dan de baksteen en de mortel, en dat het hout een lagere geleiding en capaciteit heeft. Het contrast tussen baksteen en voeg heeft wellicht te maken met het feit dat de voeg dieper ligt en dus enerzijds iets dichterbij het warme binnenklimaat en anderzijds beschermt voor wind en dus ook minder sterk beïnvloed door het buitenklimaat (lagere lokale overgangscoefficiënt voor convectie).

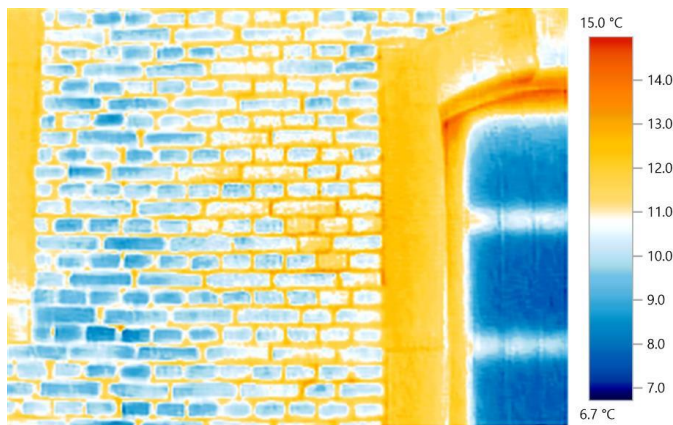




Figuur 123. Balkkop in woning 5. CS1 = 31.7°C; onderaan het warmteprofiel P1. Mogelijk speelt hier ook een probleem van luchtlekken mee. (©WTCB)



Figuur 124. Balkkop in woning 4 (met binnenisolatie), met warmteprofielen van de aansluiting met de muur en de rand van de retourisolatie. (©WTCB)



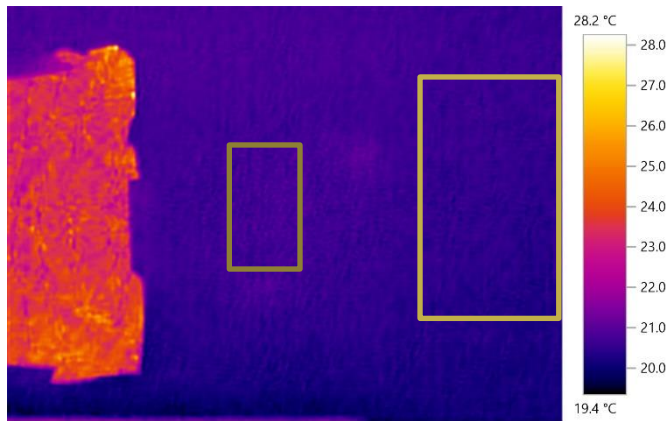
Figuur 125. Contrast tussen de verschillende materialen aan de buitenkant: baksteen, voeg, natuursteen, houten deur. (©WTCB)

De opnames geven ons ook een indicatie over de eigenschappen van de zogenaamde 'lage emissiviteit'-verf. Is die nu echt lager of berust die veronderstelling op een misverstand? Om dat te onderzoeken hebben we in 2021 een meting gedaan in woning 3 waarbij we enerzijds de muur zelf hebben gemeten en tegelijk ook aluminium folie, papiertape en gewoon papier die erop aangebracht waren (Figuur 126). Op dat moment gaf de thermostaat 23.0 °C aan en maten we een werkelijke oppervlaktetemperatuur van 19.1 °C. We kunnen aannemen dat de opgekleefde dunne materialen een gelijkaardige temperatuur als de muur aannemen, wellicht iets lager. Van het aluminium kunnen we veronderstellen dat het 100% reflecteert en dus emissiviteit 0 heeft. De gemeten waarde van het aluminium is dus de feitelijke gereflecteerde temperatuur, een gemiddelde van de oppervlaktetemperaturen in de kamer. Kijken we naar de tape en het matte papier, waarvan we kunnen veronderstellen dat de emissiviteit rond 0.95 ligt, dan zien we geen significant verschil met de muur. Dat wil zeggen, aangezien de temperatuur quasi gelijk is, dat de emissiviteit van de muurverf ook ongeveer 0.95 moet zijn.





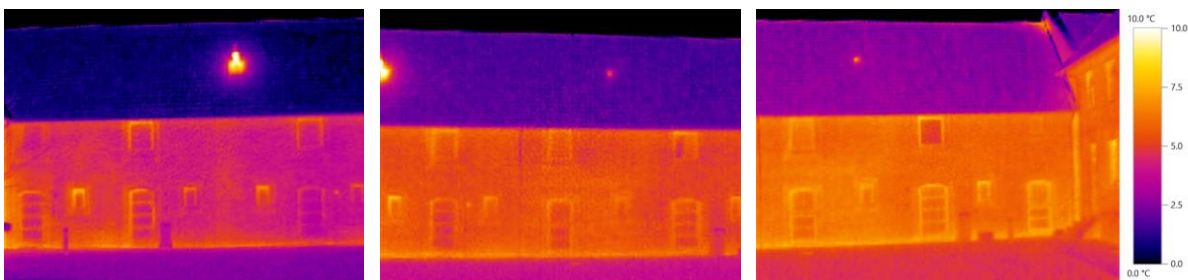
Figuur 126. Positie van aluminium folie, tape en papier tegen de muur van de keuken in woning 3. (Foto: WTCB)



Figuur 127. Thermisch beeld met links aluminium folie, in het midden papiertape en rechts een blad wit (gerecycleerd) papier. De tape en het papier geven geen merkbaar kleurverschil met de muurverf. Parameters: gereflecteerde temperatuur 21°C en emissiviteit 0.9. (©WTCB)

We hebben ook andere beelden geanalyseerd op zoek naar een duidelijke indicatie van de werking van de reflecterende verf en we hebben die helaas nergens gevonden. We moeten dus concluderen dat alle verven waarschijnlijk gelijkaardige eigenschappen hebben op dat vlak. Vermoedelijk heeft de toegepaste verf dus emissiviteit 0.91, een getal dat vermeld staat in de fiche, en dat in de lijn ligt van de waarden voor gewone matte muurverf (0.9 tot 0.95). We kunnen de mogelijkheid niet uitsluiten dat er tussen 2017 en 2021 bepaalde delen overschilderd zijn met standaard muurverf, maar daar hebben we geen indicaties over gekregen.

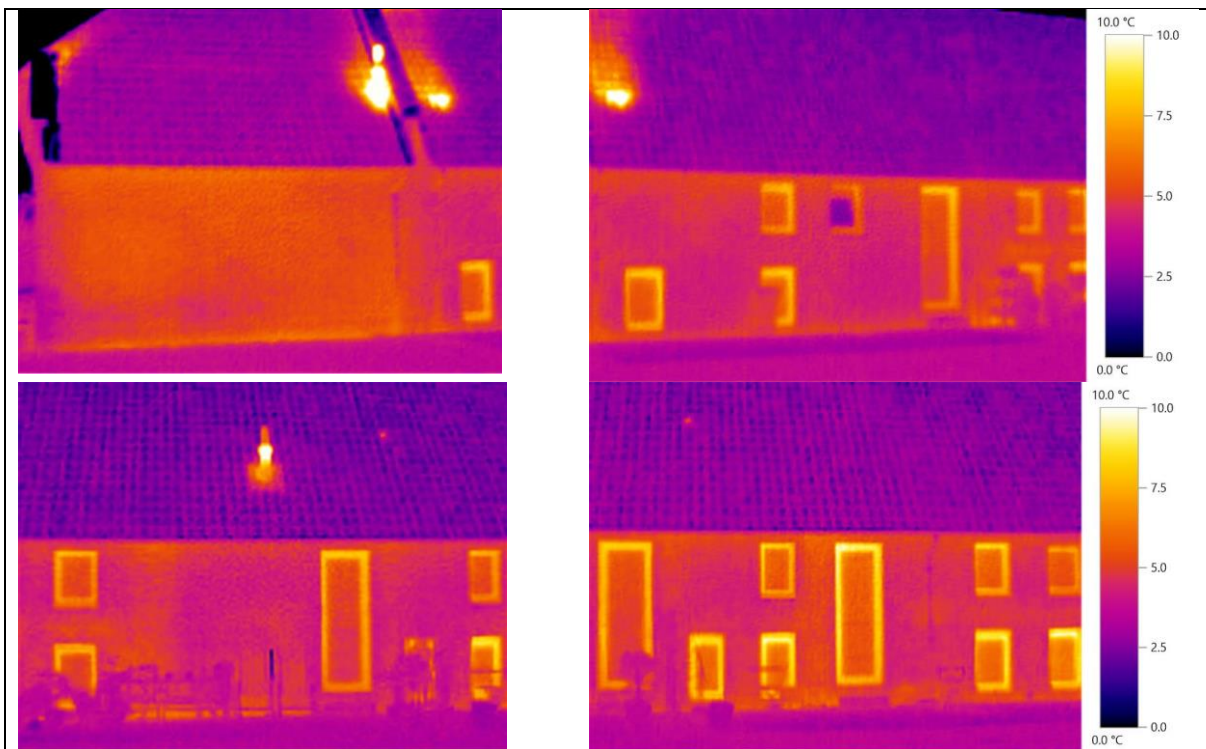
De tweede reeks metingen was vooral toegespitst op het identificeren van koudebruggen en lokale problemen op het moment dat de gebouwen al in gebruik zijn. In Figuur 128 en Figuur 129 zijn de gevels aan de koerzijde en de tuinzijde weergegeven. Aan de koerzijde zijn geen frappante koudebruggen te zien. Het is duidelijk dat de daken veel beter geïsoleerd zijn dan de muren, hoewel de temperatuur van het dak wellicht wat onderschat wordt door de te scherpe observatiehoek. De rookgasafvoer van de verwarming is duidelijk zichtbaar, net als de afvoeropening van de ventilatie. In het linkse beeld tekent zich een kopse muur af die een geometrische koudebrug vormt.



Figuur 128. Thermische beelden van de gevel aan de koer: van links naar rechts woning 6, 5 en 4. Aan de rechterkant, in de andere gevel twee traveeën van woning 2. (©WTCB)

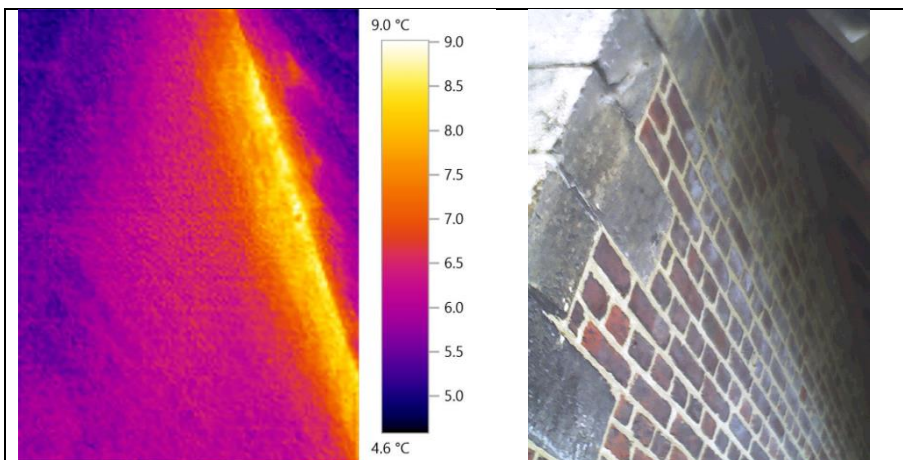
Aan de tuinzijde (Figuur 129) valt wel op dat woning 3 (links) duidelijk iets warmer is dan de andere: dat heeft te maken met de nogal hoge binnentemperatuur daar en het ontbreken van binnenisolatie. De noordboom van het dak aan het wolfseind vertoont een koudebrug. De aluminium raamprofielen hebben een afwijkende emissiviteit en kunnen dus moeilijk beoordeeld worden. Het glas overigens ook, aangezien het vrij sterk reflecteert. Schouwen en ventilatieopeningen tekenen zich af, maar er zijn geen uitgesproken koudebruggen.





Figuur 129. Van linksboven naar rechtsonder: thermische beelden van de tuingevel, met woningen 3, 4, 5 en 6. (©WTCB)

Koudebruggen vinden we wel terug bij de aansluiting van het dak op de muur. In Figuur 130 is duidelijk dat de lokale temperatuur daar 3 tot 4°C hoger is dan in het vlak van de muur.



Figuur 130. Warmteverlies bij de aansluiting tussen de dakoversteek en de muur. (©WTCB)

Luchtdichtheidsmetingen

Er zijn drie blowerdoortests uitgevoerd volgens de NBN EN ISO 9972:

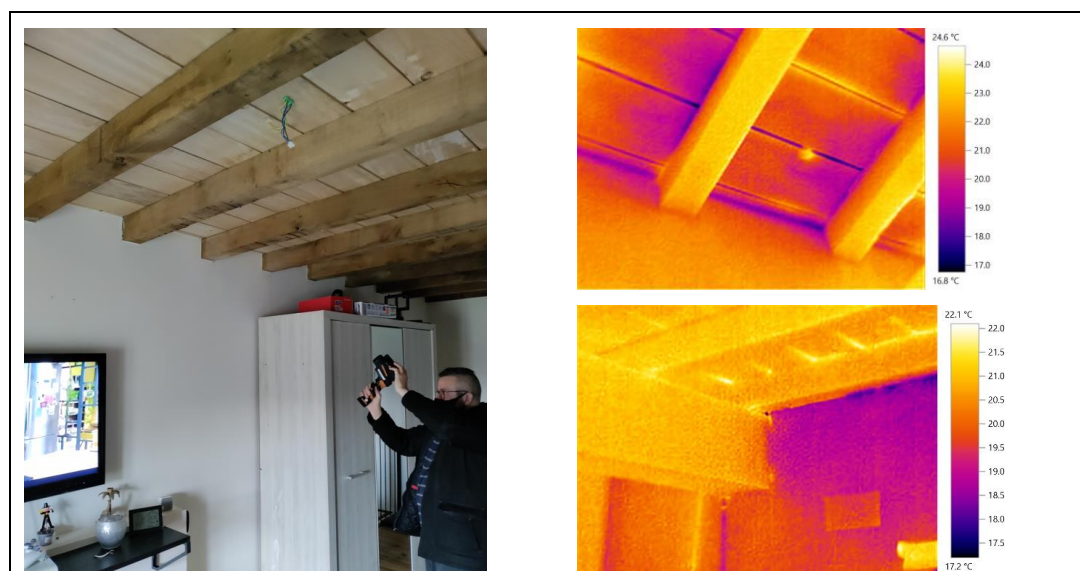
- Op 11-10-2018: woning 3 en woning 2
- Op 25-06-2019: woning 5

Het zijn dus alle drie metingen ná grondige renovatie en we verwachten dus in principe een waarde voor luchtdichtheid die niet ver ligt van die van nieuwbouwwoningen. De resultaten in Tabel tonen aan dat dat ook het geval is: nieuwe woningen gebouwd tussen 2007 en 2010 scoorden volgens onderzoek van de UGent gemiddeld een infiltratievoud van 6.4 (mediaan 5.5). Goed is het echter niet: indien extra inspanningen worden gedaan, is een waarde lager dan 3 makkelijk te bereiken en voor passiefhuizen geldt 0.6 als maximum.

//

Tabel 4. Overzicht van de resultaten van de luchtdichtheidsmetingen. Bij woningen 3 en 2 leidde de meting in overdruk niet tot een geldig resultaat: het gegeven resultaat is dus enkel gebaseerd om de meting in onderdruk.

	Woning 3	Woning 2	Woning 5
Binnenvolume (m ³)	193	283	193
Gemiddeld lekdebiet bij 50 Pa: q ₅₀ (m ³ /u)	1389	1117	1080
Infiltratievoud bij 50 Pa: n ₅₀ (1/u)	7.2	3.95	5.6
Geïdentificeerde lekken	Plankenvloer zolder	Plankenvloer zolder	Onder deur naar terras; verbinding dak en rookkanaal en luchtafvoer; afwerkingsplanken in het onderste deel van zolderkamers in de voor- en achtergevels; hoeken van ramen slaapkamers



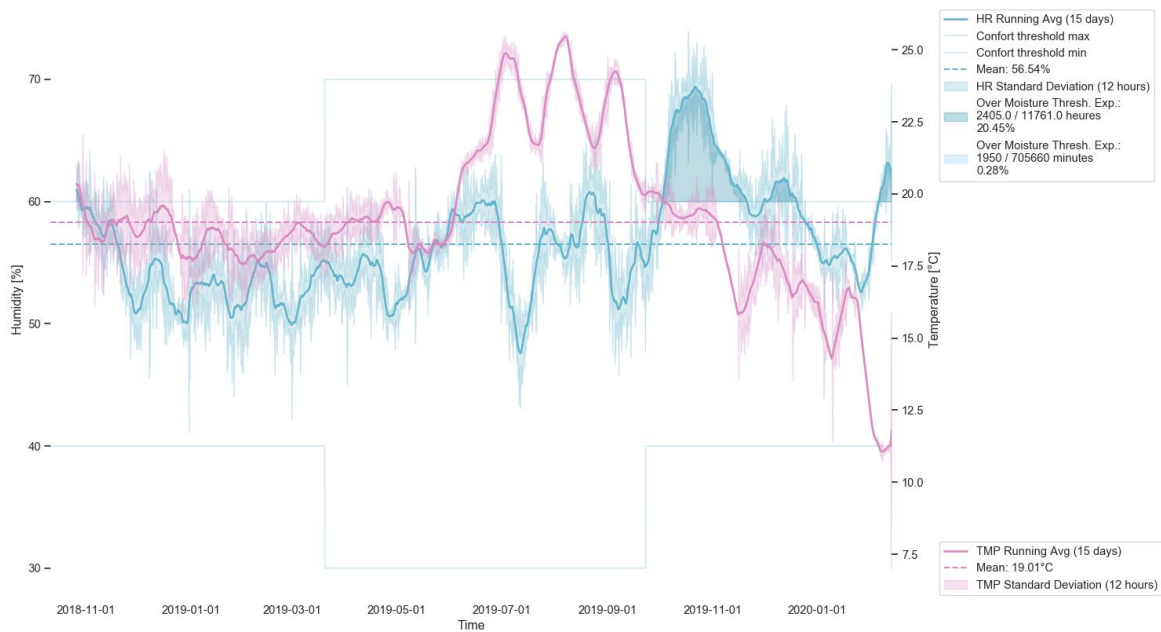
Figuur 131. Zicht op de planken zoldervloer op de 1^{ste} verdieping van woning 3 (links). IR-opname van de koude spleten tussen de planken (rechtsboven) en van een vermoedelijk luchtlek in de aansluiting tussen de zoldervloer en de muur (rechtsonder). (©WTCB)

De problemen bevonden zich in twee van de gevallen vooral ter plaatse van de plankenvloer van de zolder. De zolders zijn veelal niet gebruikt en beperkt toegankelijk. In Figuur 131 worden de problemen in beeld gebracht. Uit de combinatie met IR-beelden blijkt dat zich niet alleen tussen de planken, maar ook in de aansluiting met de muur warmteverliezen voordoen. Andere pijnpunten zijn onderkanten van deuren (de aansluiting met dorpels), lokaal ook de afwerking met planken en aansluitingen van ramen.

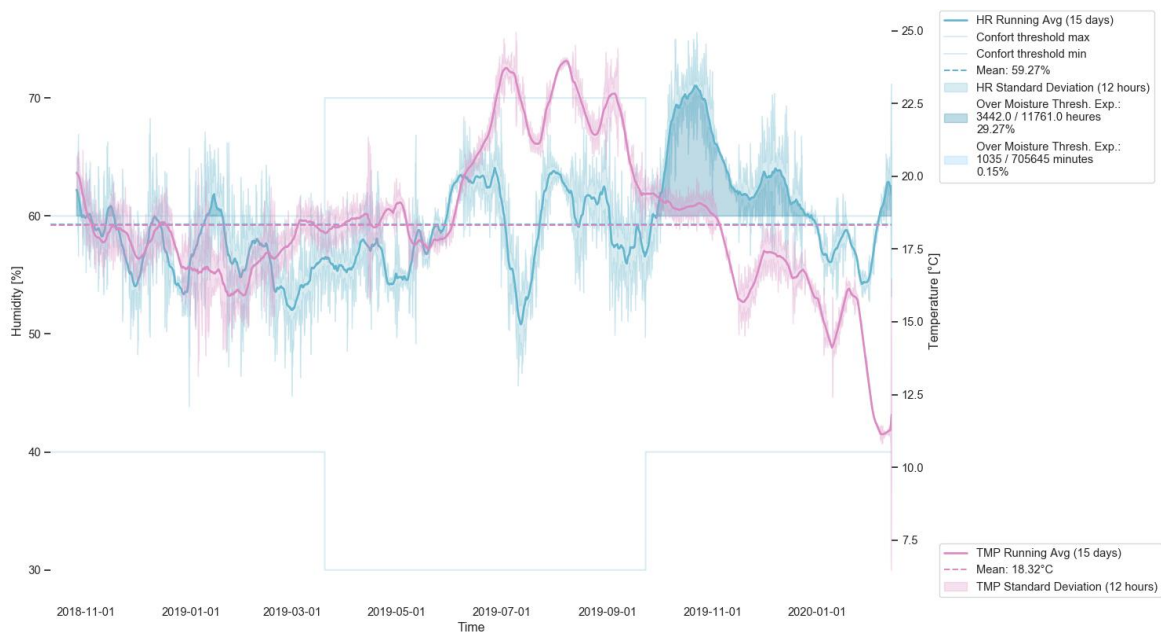
Binnenklimaat

Het binnenklimaat van woning 3 (de hoekwoning) van 11 oktober 2018 tot 13 februari 2020 in de woonkamer (1^{ste} verdieping), leefkeuken, slaapkamer en badkamer. Het binnenklimaat van woning 4 werd gelogd van 25 juni 2019 tot 17 oktober 2021 in de woonkamer en de slaapkamer.



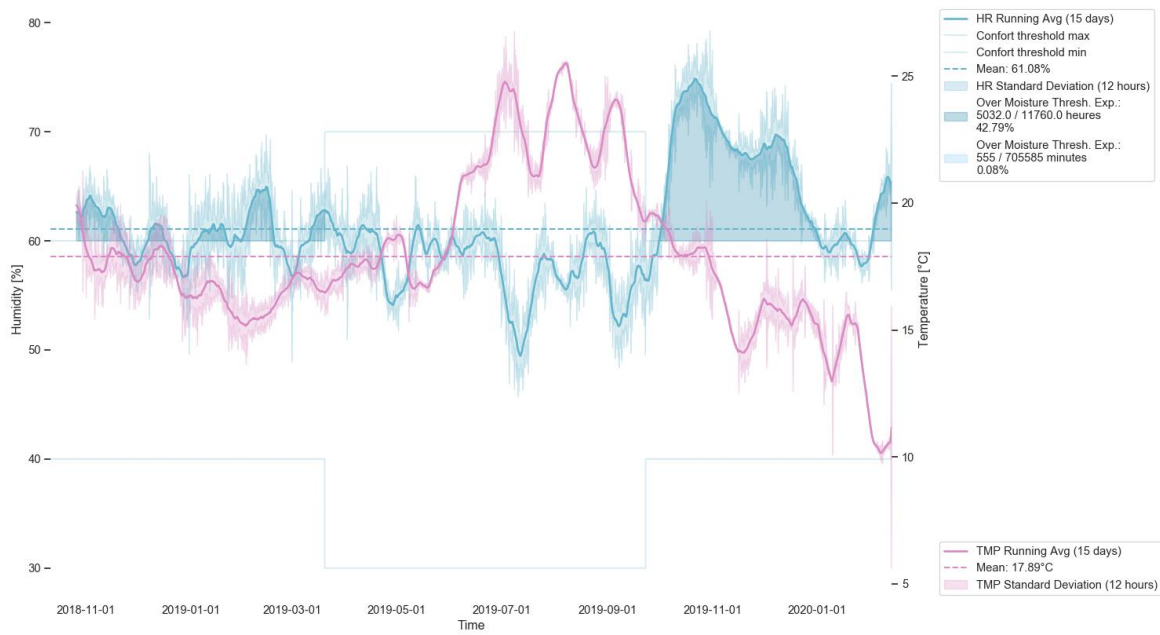


Figuur 132. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de woonkamer van woning 3: ogenblikkelijke waarde en voortschrijdend gemiddelde over 2 weken. (©WTCB)

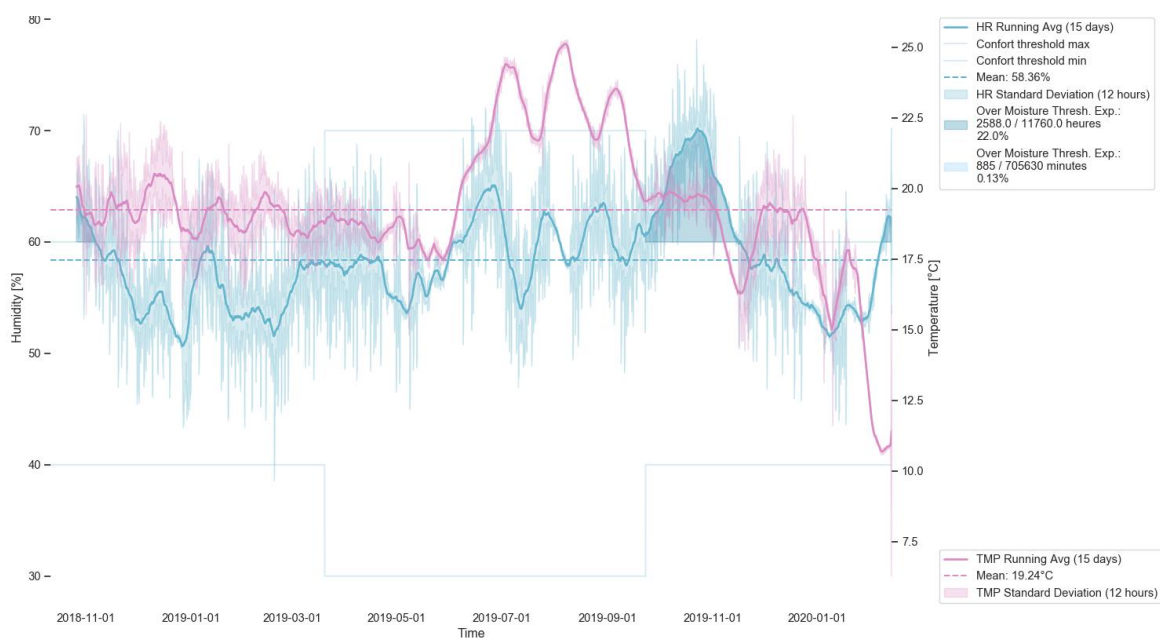


Figuur 133. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken van woning 3: ogenblikkelijke waarde en voortschrijdend gemiddelde over 2 weken. (©WTCB)





Figuur 134. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer van woning 3: ogenblikkelijke waarde en voortschrijdend gemiddelde over 2 weken. (©WTCB)

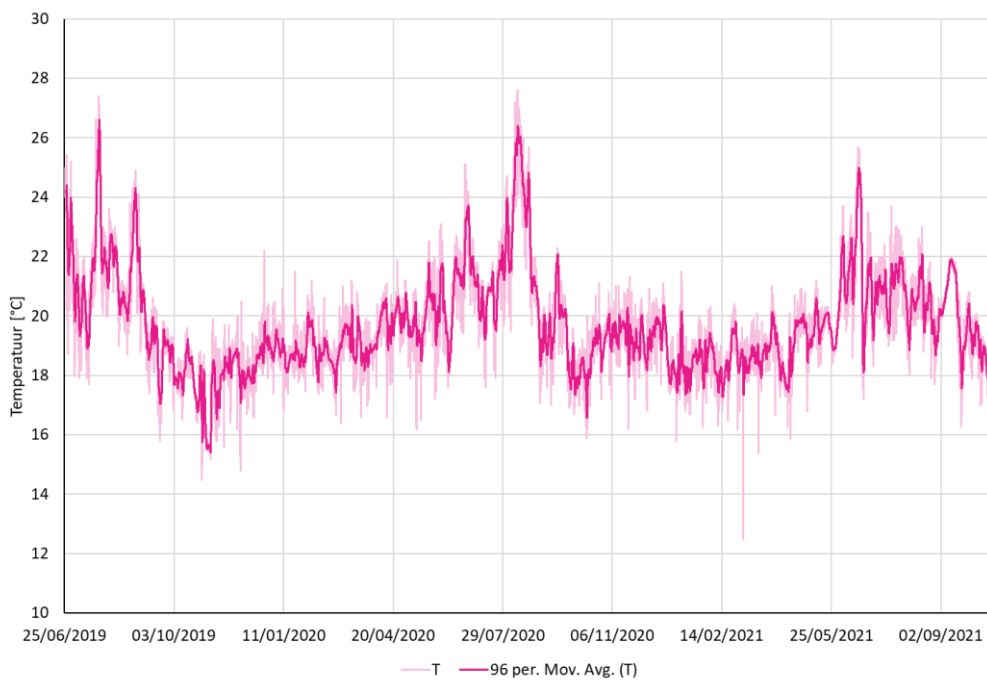


Figuur 135. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de badkamer van woning 3: ogenblikkelijke waarde en voortschrijdend gemiddelde over 2 weken. (©WTCB)





Figuur 136. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de living van woning 4: ogenblikkelijke waarde en daggemiddelde waarde. (©WTCB)



Figuur 137. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer van woning 4: ogenblikkelijke waarde en daggemiddelde waarde. (©WTCB)

5. Verbruiksgegevens

Gezien het gebruik als sociale huurwoningen, kan enkel informatie over het verbruik verkregen worden door opname van de tellerstanden bij een wissel van de huurder. Zo kregen we de informatie



over **woning 3**, de hoekwoning, waar van 1 juli 2018 tot 1 mei 2021 2051 m³ gas was verbruikt. Aardgas levert ongeveer 11 kWh bruikbare verbrandingsenergie per m³, dus 2051 m³ levert 22561 kWh. Aangezien die periode gemiddeld gezien kouder was dan normaal, kan met de graaddagenmethode berend worden dat dit overeenkomt met een verbruik van 24442 kWh over dezelfde periode maar dan genormaliseerd naar een standaardjaar.

De bruikbare vloeroppervlakte bedraagt 106 m². Het karakteristieke energieverbruik bedraagt dus ongeveer 71 kWh/m²jaar, wat zeer laag is. Op basis van de metingen van het binnenklimaat, is ook duidelijk geworden dat de bewoners weinig verwarmen: de 'set point' temperatuur van de thermostaat moet 18-19°C geweest zijn in de gemeten periode. Verder kan opgemerkt worden dat de dikke muren inbegrepen zitten in het 'bruikbaar woonoppervlak', dus dat vertekent het beeld ook enigszins in de positieve zin. Een andere belangrijke positieve factor is ook de hoekpositie: de woning heeft maar twee vrije gevels.

6. Schatting impact en besluit

Het gaat hier om een ingrijpende energetische renovatie waarbij heel wat elementen vervangen werden door nieuwe elementen. De nieuwe elementen beantwoorden aan de EPB-eisen voor maximale U-waarden. De berekende vermindering van transmissieverliezen ten opzichte van de niet-geïsoleerde toestand is dan ook groot: 26 en 28 MWh/jaar voor respectievelijk woningen 3 en 4. De bedoeling van de opvolging van deze case was om verschillende methodes voor energetische verbetering van de muren tegenover elkaar af te wegen in woningen 4, 5 en 6. Dat is echter niet eenvoudig gebleken om verschillende redenen:

- de werking van de toegepaste IR-reflecterende verf bleek twijfelachtig;
- we hebben geen datasets van verbruik en binnenklimaat om het verschillende gedrag grondig naast elkaar te evalueren.

Desalniettemin kunnen we op basis van onze theoretische analyse stellen dat het effect van binnenisolatie een veel betere kans geeft op significante besparingen. Reflecterende verf heeft alleen zin op plaatsen waar echt niet geïsoleerd kan worden (of waar het te riskant is bijvoorbeeld). Uit de metingen van luchtdichtheid blijkt dat de woningen normaal presteren voor wat verwacht wordt van nieuwbouw-woningen. We vermoeden dat dat een stuk beter had kunnen zijn als men meer aandacht had besteed aan bijvoorbeeld luchtdichtheid van de plankenvloer van de zolder en de aansluitingen tussen de hellende daken en de muren. Het enige gekende verbruik, dat van woning 3, ligt zeer laag. We vermoeden dat de andere woningen gelijkaardig presteren.

Referenties

- S. Dubois, R. Hendrickx, Proefverslag thermografie Hoeve Blondeswinning, WTCB 2017 (onuitgegeven verslag) met bijlages
- C. Delmez, C. Delmotte, Proefverslag Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, Sapstraat 2 Bilzen, WTCB, 2018
- C. Delmez, C. Delmotte, Proefverslag Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, Sapstraat 3 Bilzen, WTCB, 2018
- C. Delmez, C. Delmotte, Proefverslag Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, Sapstraat 5 Bilzen, WTCB, 2019



G. Flamant, A. Tilmans, N. Heijmans, E. Cailleux, Het effect van de verven op de energiebehoeften en het binnenklimaat van gebouwen, WTCB dossiers, 2015 4.11

Hens, Hugo, Bouwfysica: Warmte- en massatransport. Gebouwentechniek deel 1, Acco, Leuven, 2013

NBN EN ISO 7730: 2006 Ergonomie van de thermische omgeving - Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekening van de PMV- en PPD-waarden en door criteria voor de plaatselijke thermische behaaglijkheid (ISO 7730:2005)

RIBuild, Robust Internal Thermal Insulation of Historic Buildings, www.ribuild.eu/ (2020)

Rode, Carsten, Naja Kastrup Friis, Christian Pedersen, and Nickolaj Feldt Jensen. 'Moisture Performance of a New Thermal Insulation Composite for Interior Application'. In E3S Web of Conferences, 172:01001. EDP Sciences, 2020.

Vereecken, Evy, and Staf Roels. 'Capillary Active Interior Insulation: A Discussion'. Energy Efficiency and Comfort of Historic Building, 2016, 191–97.

Super Therm, technische fiche, Superior Products Europe, zonder datum

SPE Supertherm, Specifications and Tests (zonder datum)



3.2.7 Projectfiche 6: Huis Billiet, Brugge

1. Gegevens

Gebouwtype	halfopen bebouwing
Functie vóór renovatie	woning (appartementen)
Functie na renovatie	woning (gezinswoning met mogelijkheid om op termijn gastenkamers uit te baten)
Bescherming	beschermd als monument sinds 1995 (aanduidingsobject ID 12955, besluit ID 2970)
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	401 m ²
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	61 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	644 kWh/m ² jaar voor één van de appartementen
EPC-kengetal ná renovatie	niet bekend



Figuur 138. Voorgevel, maart 2021. (Foto: WTCB)



Figuur 139. Achtergevel, maart 2021. (Foto: WTCB)



Figuur 140. 3D fotogrammetrische reconstructie op basis van enkele foto's vóór de renovatiewerken (2017). (©WTCB)

2. Beknopte beschrijving

Het half vrijstaand huis met aangebouwd atelier werd in 1928 ontworpen door architect Huib Hoste. Het hoofdvolume bevat drie bouwlagen met een tentdak en een grote aanbouw rechtsachter van één bouwlaag met plat dak, die dienst deed als diamantslijperij. De garagepoort in de voorgevel geeft toegang tot een verbinding waarlangs de werklieden de werkplaats konden bereiken. De muren van het huis en het atelier zijn opgetrokken in metselwerk; daarbij is in de voorgevel vermoedelijk een kleine spouw van 2 cm aanwezig tussen een steens binnenblad en een halfsteens buitenblad. De zij- en achtergevel zijn vermoedelijk gewoon anderhalfsteens massief. De vloeren zijn doorgaans balklagen, met uitzondering van de vloeren op volle grond en de vloeren van de ingangstravee, die in gewapend beton zijn. De luifels en balkons zijn evenals de draagstructuur van het atelier uitgevoerd in gewapend beton.

In 1994 werd door de toenmalige eigenaar een aanvraag ingediend voor slaap met het oog op de bouw van appartementen. Door de bescherming is dat echter onmogelijk geworden. Toen de huidige eigenaar de woning in 2016 kocht, was ze opgedeeld in 4 appartementen met eigen keukens en badkamers. Aangezien er tussen 1994 en 2016 nauwelijks geïnvesteerd was, was de woning niet in goede conditie. Heel wat originele meubelen en afwerkingslagen waren verdwenen of overschilderd.

In 2017 werden diverse isolatiewerken in het woonhuis uitgevoerd: de isolatie van de vloer tussen kelder en gelijkvloers; de gedeeltelijke isolatie van de vloer tussen gelijkvloers en 1ste verdieping. In 2018 werden de ramen aangepakt: de originele vensters in voorgevel werden hersteld en de andere ramen en deuren werden vervangen door nieuw houten schrijnwerk naar historisch model. In 2019 werden de gevels gereinigd en werden de platte daken hersteld en geïsoleerd. In datzelfde jaar werden nieuwe houten ramen en deuren geplaatst in het atelier: enkele van de ramen volgen de originele indeling, andere zijn moderne grote schuiframen.

Op het moment van ons onderzoek woont het vierkoppig gezin in het woonhuis, terwijl de achterbouw grondig gerenoveerd wordt. De afwerking van de achterbouw als loft in het voormalig atelier is ver gevorderd en installaties zijn grotendeels geplaatst. Het doel op langere termijn is dat het echtpaar in hoofdzaak gaat wonen in de tot loft herbestemde diamantslijperij, terwijl in het woonhuis drie gastenkamers worden ingericht en uitgebaat.

Kenmerkend voor dit project is de aandacht voor de originele kleurstelling, die in een vooronderzoek uitgebreid onderzocht werd en zoveel mogelijk gereconstrueerd wordt.



3. Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Dak

Het tentdak was reeds vóór de verkoop geïsoleerd met flensdekens in glaswol van vermoedelijk 7 cm dik met reflecterende folie aan de binnenzijde.

Het plat dak van de slijperij is geïsoleerd met 16 cm isolatie op de 5 cm dikke nieuwe druklaag. Het kleine platte dak van de tweede verdieping aan de linkerkant van het huis is geïsoleerd met 16 cm isolatie. Het plat dak van de erker werd geïsoleerd aan de binnenkant met 4 cm XPS.

Muren

Op de eerste verdieping aan de voorgevel is een gedeelte van de muur geïsoleerd: op de beide muren grenzend aan het balkon werd 3 tot 4 cm XPS gekleefd aan de binnenzijde. Dit was een koude muur die aanleiding gaf tot comfortproblemen. Ter plaatse van de aansluiting van de luifel was er vermoedelijk ook een koudebrug.



Figuur 141. Twee muren van het balkon, die aan de binnenzijde geïsoleerd zijn. De isolatie is doorgetrokken op de balk. (Foto: WTCB)

Het atelier is aan de buitenkant geïsoleerd met harde isolatieplaten van 2 tot 3 cm dik als deel van een ETICS-systeem. De gemene muren van het atelier zijn geïsoleerd met 8 cm XPS aan de binnenkant.

Vloeren

Een groot deel van de balklaag tussen de kelder en het gelijkvloers (ter plaatse van de living) is opgevuld met minerale wol, onderaan is de balklaag afgemaakt met gipskartonplaten. De vloer van de grote slaapkamer op de 1ste verdieping is geïsoleerd door enkele planken weg te nemen en vervolgens vermiculite tussen de balken te schuiven. Deze vloer grenst ter plaatse van de oversteek aan de buitenruimte. Deze isolatie is ook bedoeld als akoestische barrière.

De vloer van het atelier is geïsoleerd met XPS gespoten op beton. Daarop is vloerverwarming aangebracht, die ingewerkt is in de dekvloer.



Ramen en deuren

Volgende elementen van het buitenschrijnwerk zijn nog origineel: het grote raam van de living in de voorgevel, het kleine raampje daar net naast, de voordeur en de garagepoort. In het raam in de voorgevel is het glas vervangen door dun dubbel glas waarvan het buitenste blad getrokken is. Deze nieuwe beglazing heeft een U-waarde van $2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figuur 142. Groot en klein raam vooraan in de living. Het glas van het grote raam is vervangen door dun dubbel glas. Er is een tocht dichting voorzien in siliconen, aangezien het niet mogelijk was om een tochtstrip in te brengen. (Foto's: WTCB)

Al het andere buitenschrijnwerk is vervangen naar bestaand model in tropisch hardhout (afzelia) en met thermisch verbeterd dubbel glas (met een U_g van $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$). Waar glas-in-lood in de deuren of ramen aanwezig was, is het dubbel glas aan de buitenkant geplaatst en het glas-in-lood aan de binnenkant (achterdeur). De profielen van de opengaande vleugels hebben een enkelvoudige slag met een platte tochtstrip. De rolluikkast van het raam vooraan in de living (Figuur 142) is aan de buitenzijde geïsoleerd met een dun plaatje van 1cm XPS: het maximum dat erin paste.

Verwarming en warm water

De verwarming is vernieuwd, maar met behoud van originele gietijzeren radiatoren en leidingen in het woonhuis. Woonhuis en atelier hebben elk een aparte condensatieketel op aardgas. Het warm water van het atelier wordt gedeeltelijk geleverd door een zonneboiler die geïnstalleerd is op het platte dak. Het gaat om twee panelen met een totaal oppervlak van ongeveer 4 m^2 .

Ventilatie en luchtdichtheid

Er is geen centrale ventilatie voorzien in de woning, noch in het atelier. Wel is er mechanische afzuiging in alle badkamers. De verbetering van de luchtdichtheid in het algemeen is vooral gerealiseerd door de vervanging van het schrijnwerk en door tochtborstels te voorzien onder de deuren. Lokale problemen zoals bij het originele raam in de voorgevel, zijn ad hoc opgelost (Figuur 142).

Niet uitgevoerd of gepland

Muren

Er is beslist om de buitenmuren van het woonhuis (behalve die van het balkon op de 1^{ste} verdieping) niet te isoleren, enerzijds om problemen met vocht te vermijden, anderzijds uit pragmatische overwegingen: er is voorrang gegeven aan het schrijnwerk. Ook de muur tussen de garage en de verwarmde ruimtes is niet geïsoleerd. Mogelijk wordt dat op een latere datum wel nog (gedeeltelijk) gedaan. Als je het volgens de regelgeving bekijkt, is die garage een deel van het beschermde (verwarmde) volume, maar in de praktijk is dat niet zo.

Vloeren

De vloer op volle grond in de keuken werd niet geïsoleerd: daarvoor zou het nodig zijn om de authentieke tegels op te breken en ofwel dieper uit te graven, ofwel de vloerplas te verhogen. De impact van beide opties werd te hoog ingeschat. De vloer van de garage is ook niet geïsoleerd.

Ventilatie en luchtdichtheid

Meer aandacht voor luchtdichtheid, bv. door de raamprofielen van vervangramen luchtdicht aan de muren te doen aansluiten met speciale tape, zou de noodzaak van een performante ventilatie scherper stellen. De impact van een ventilatiesysteem D wordt als vrij ingrijpend ervaren en ook de implementatie van een systeem C of C+ zou wel een aanzienlijke impact gehad hebben op ramen, buitenmuren en binnendeuren. Om al die redenen geeft men er de voorkeur aan om te blijven verluchten door het openen en sluiten van ramen en gebruik te maken van lokale afzuiging in de badkamers.

4. Metingen

Geometrie

In 2017 werd een aantal foto's genomen van de buitenkant, die als input gebruikt werden voor het reconstrueren van een digitaal 3D model. Het aanzicht in Figuur 140 is een voorbeeld van wat mogelijk is met een snelle dataverwerking, waarbij enkel vanop de grond foto's genomen worden. De observatiehoek leidt tot het ontstaan van lacunes op onzichtbare plaatsen. Desalniettemin is het resultaat zeer bruikbaar, bv. voor het maken van ortho-foto's die veel meer informatie bevatten dan een klassiek getekend gevelzicht.

IR-thermografie

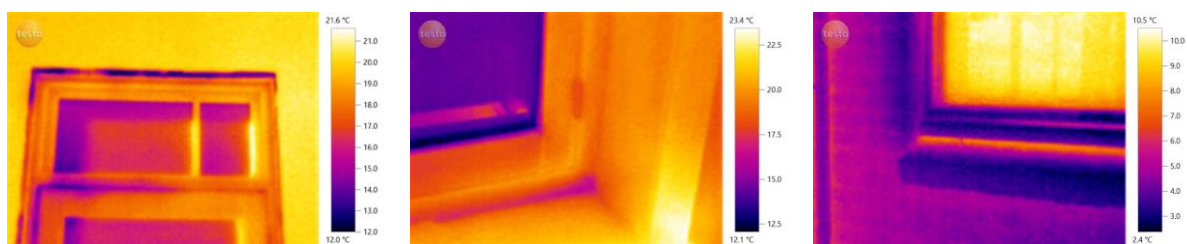
Er zijn 3 series metingen uitgevoerd:

- Op 20 december 2017, 10:00-13:15 (buiten 6-8°C, binnen 21-26(bureau)°C), vóór de vervanging van de ramen
- Op 20 februari 2019, 9:00-11:00 (buiten 4 tot 6.5°C, binnen 19-21°C), kort na de vervanging van het schrijnwerk
- Op 17 februari 2021, 8:00-11:30 (buiten 4.6 tot 8°C, binnen 19-21°C), na de vervanging van het schrijnwerk

Uit de opnames van 2017 is duidelijk dat het originele schrijnwerk vooral bij de aansluiting tussen de ramen en de muren, maar ook bij de aansluiting van de opengaande delen aan de vaste kaders, nogal

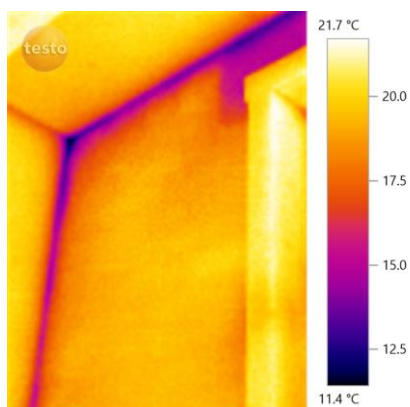


wat warmteverlies vertoont. Dat is zichtbaar aan de binnenkant, maar ook aan de buitenkant (Figuur 143).



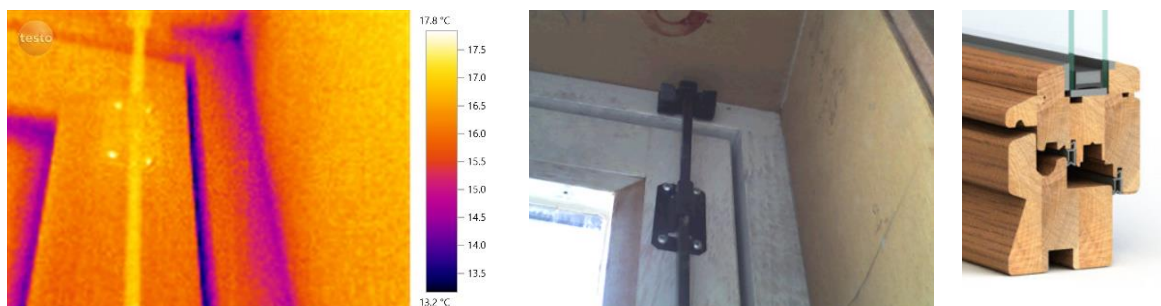
Figuur 143. Drie opnames van aansluitingen van het origineel schrijnwerk, waarbij warmteverliezen zichtbaar zijn aan de dagkanten binnen (links en midden), aan de randen van opengaande vleugels (links) en tussen de gemetste raamdorpel en de onderregel van het raamkader (rechts). (©WTCB)

De betonnen lateien zijn structurele koudebruggen, zoals blijkt uit Figuur 144. Zelfs al is er geen spouw aanwezig (die kortgesloten zou worden door de latei), dan nog is het binnenoppervlak van zo'n latei een stuk kouder door het feit dat beton een betere warmtegeleider is dan metselwerk.



Figuur 144. Structurele koudebrug ter plaatse van de betonnen latei boven het raam, met daarnaast in de ribben van de erker een geometrische koudebrug. (©WTCB)

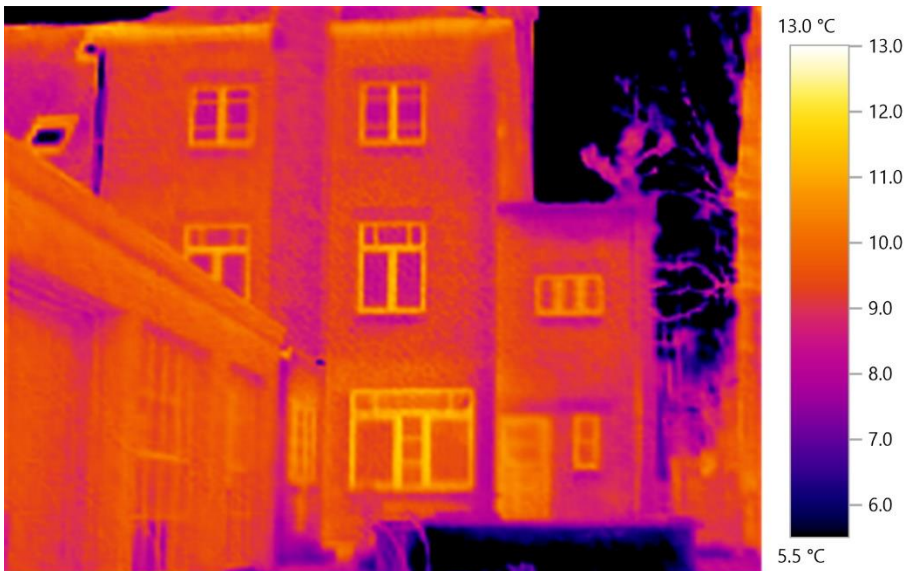
Nu is het schrijnwerk na vervanging qua prestaties wel niet helemaal gelijkwaardig aan standaard hedendaagse profielen. Bij een standaard profiel rust de opengaande vleugel met een extra (derde) slag op het vaste kader. Aangezien dit visueel te sterk zou afwijken van het origineel, heeft men ervoor gekozen om de profielen van de vleugels ook bij de nieuwe ramen gelijk te laten komen met die van de vaste kaders. Een tweede aspect is de sluiting: een moderne raamvleugel wordt op minstens drie punten gesloten en tegen de flexibele strips gedrukt. Hier is echter beslist om de oude raampompen te hergebruiken, wat leidt tot een minder performante sluiting.



Figuur 145. Detail van de aansluiting van een nieuw raam naar historisch model: door de afwezigheid van een derde slag (vergelijk met het hedendaagse profiel rechts) en de historische sluiting, is een koudere zone zichtbaar in de spleet. Opname februari 2019. ((©WTCB)/ bron foto rechts: <https://www.emacbelgium.be/nl/ramen/hout/linea/profiel-68mm>, 28-07-2021)

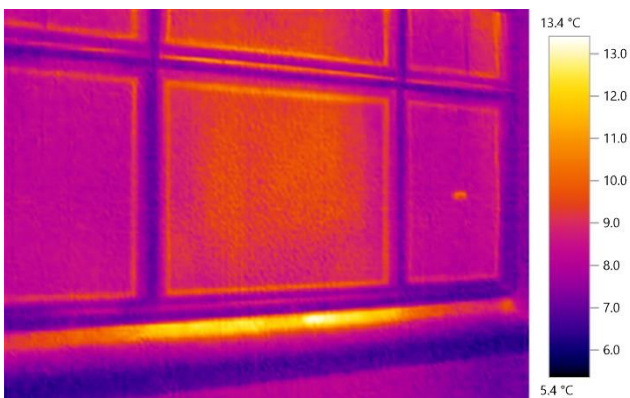
Die twee aspecten die eigen zijn aan schrijnwerk naar historisch model, leiden tot lichtjes koudere plaatsen bij de aansluiting (Figuur 145). Het gaat hier dus niet om een fout of gebrek, maar om de logische consequenties van een ontwerpkeuze.

Het globale beeld van de toestand na renovatie is echter wel dat het schrijnwerk een veel betere dichting vertoont dan het originele: grote warmteverliezen door gebrekkige aansluiting zijn dus merkelijk minder (Figuur 146).



Figuur 146. Achtergevel in 2021: geometrische en structurele koudebruggen blijven zichtbaar, maar de opvallende lekken aan raamprofielen zijn verdwenen. Het nieuwe glas reflecteert, dus over de temperatuur van het glas valt op basis van deze foto weinig te zeggen. (©WTCB)

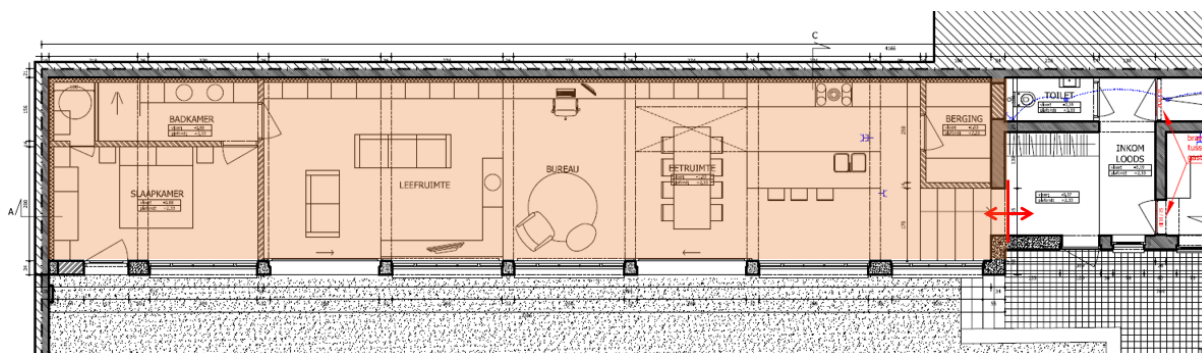
Wel blijven een aantal punctuele problemen. De aansluitingen op de schuin gemetste dorpels is daar het meest opvallende van (Figuur 147). Dit detail is wellicht ofwel in het originele ontwerp niet optimaal uitgewerkt, ofwel is het niet optimaal uitgevoerd bij de bouw. Het zijn uiteraard ook sterk blootgestelde plaatsen: de voegen krijgen veel vocht te verwerken. Op die specifieke plaats lijken enkele bakstenen lichtjes verschoven, misschien door lokaal opvriezen van de voegen. Aangezien het raam daar niet verwijderd is, kon dit ook moeilijk verholpen worden, tenzij door van binnenuit de luchtdichtheid te proberen verbeteren.



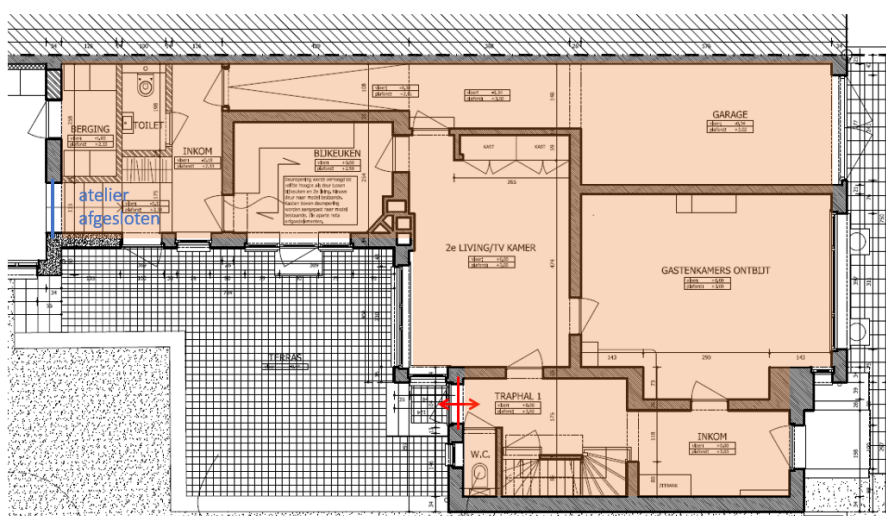
Figuur 147. Koudebrug onderaan het originele raam in de voorgevel op het gelijkvloers (opname 2017). (©WTCB)

Luchtdichtheidsmetingen

Op 14 juli 2021 werden luchtdichtheidsmetingen uitgevoerd volgens EN 13829:2001 en conform de bepalingen van de STS P 71-3. Aangezien het atelier en de woning twee deels apart functionerende gehelen vormen, die ook elk een apart verwarmingssysteem hebben, werden ze ook apart gemeten. In het ateliergedeelte is de muuropbouw ook anders en is alle schrijnwerk nieuw. De eerste meting betreft het atelier (Figuur 148). Daarbij werd de ventilator geplaatst in de toegangsopening. Bij de tweede meting werd die toegangsopening volledig luchtdicht afgesloten en werd een blaasdeur met twee ventilatoren geplaatst in de deuropening van de achterdeur (Figuur 149). De tweede ventilator was nodig om voldoende debiet te kunnen genereren.



Figuur 148. Gemeten volume en positie van de blaasdeur bij de eerste luchtdichtheidsmeting. (©WTCB)



Figuur 149. Gemeten volume en positie van de blaasdeur bij de tweede luchtdichtheidsmeting. (©WTCB)

Vervolgens werd de luchtdichtheid van het volume van de woning apart gemeten. Daarvoor werd het ateliergedeelte afgesloten en werd de blowerdoor geplaatst in de opening van de achterdeur. Het volume is deze keer veel groter: ongeveer 1194 m³ en de verwachte lekken zijn groter. De resulterende debieten zijn weergegeven in Tabel 5. Daaruit blijkt dat het atelier vrij goed presteert, vergelijkbaar met een nieuwbouwwoning, maar dat de luchtdichtheid van de woning te wensen overlaat.

Tabel 5. Resultaten van de luchtdichtheidsmetingen.

	Atelier	Woning
Gemiddeld lekdebiet bij 50Pa drukverschil	464.1 m ³ /u	9650 m ³ /u
Infiltratievoud bij 50 Pa	1.38 1/u	8.08 1/u

Om in te schatten wat de bijdrage is van de zolder, de kelder en de garage, werden die delen stap voor stap afgesloten bij een constante overdruk van 50 Pa. Door het afsluiten van de zolder verminderde het verliesdebiet van 9853 m²/u tot 5635 m³/u: een verbetering met 43%. Verdere afsluiting van de doorgangen naar de kelder en de garage gaven geen significante verbetering. In dit geval is het dus duidelijk waar een belangrijk deel van het probleem ligt.

U-waardemetingen

In 2017 is een U-waardemeting uitgevoerd op de linker zijmuur. We weten niet zeker hoe de muur is opgebouwd: aanvankelijk werd vermoed dat er een luchtspouw van 1 tot 2 cm zou zijn, maar een recentere boring suggereert het tegendeel. Als er een spouw zou zijn, is ze wellicht niet geventileerd en het kan goed zijn dat ze op veel plaatsen kortgesloten wordt door mortelbaarden. Door de meting kunnen we nagaan hoe de muur in werkelijkheid presteert.

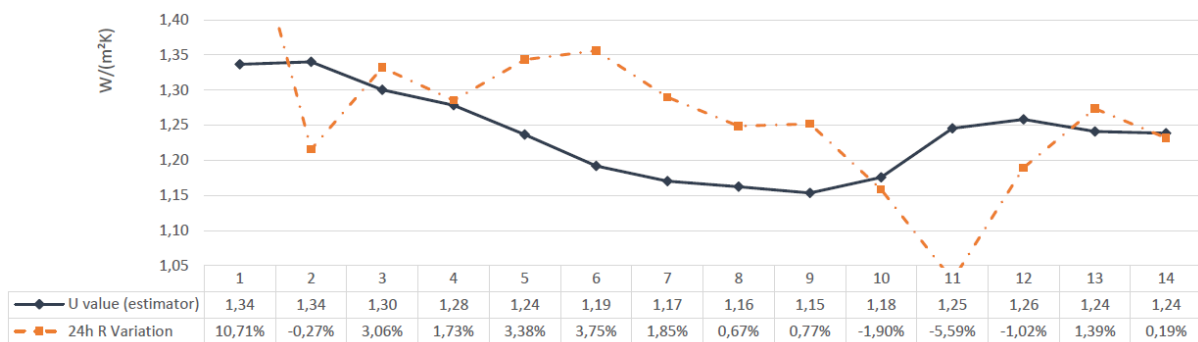
In Figuur 150 is te zien waar de meting is uitgevoerd.



Figuur 150. Locatie van de fluxmeter en temperatuursensor aan de binnenzijde tijdens de meting van de U-waarde. (Foto's: WTCB)

De resultaten zijn weergegeven in grafiekvorm in Figuur 151. Gemiddeld verliest de muur dus 1.23 W warmte-energie per vierkante meter en per graad temperatuurverschil. Een eenvoudige handberekening met richtwaarden voor de lambda-coëfficiënten en een op literatuur gebaseerde warmteweerstand voor de spouw, levert 1.27 W/m²K, terwijl de veronderstelling van een continue muur zonder luchtspleet 1.58 oplevert. Heeft de muur toch geen spouw, dan kan de goede score te wijten zijn aan de droge toestand (en daardoor betere lambda dan de norm suggereert), het feit dat de steen op zich een lagere lambda heeft dan wat uit norm-tabellen naar voren komt, en het feit dat niet alle voegen perfect gevuld zijn.





Figuur 151. Resultaten van de U-waardemeting die loopt over 14 dagen. Het gemiddelde resultaat van dag 2 tot dag 14 is 1.23 W/m²K. (©WTCB)

Comfortmetingen

Er werden kortstondige, indicatieve comfortmetingen uitgevoerd in de woonkamer, de keuken en het bureau / de ouderslaapkamer op de verdieping op 17 december 2019. Daarvoor werd een comfortmeter type 480 van Testo achtereenvolgens gedurende een uur in elke ruimte geplaatst (Figuur 152). Behalve droge luchttemperatuur, meet het toestel ook de stralingstemperatuur (met een zwarte bol), de RV, de CO₂-concentratie en de lichtsnelheid. De resultaten worden volgens de norm EN ISO 7730 omgerekend tot een PMV of PPD-waarde. De PMV bleef op alle momenten tussen -1 en 1. Waar de PPD-waarde iets aan de hoge kant was, was dat te wijten aan de hoge temperatuur: het huis werd op de dag van de meting namelijk iets warmer gestookt dan anders, om een goede kwaliteit van IR-opnames te garanderen.



Figuur 152. Opstelling van de comfortmeter in de living (links) en in de keuken (rechts). (Foto's: WTCB)

Dit soort korte metingen gaat voorbij aan meer kritische omstandigheden, zoals bijvoorbeeld de vraag of de luchtkwaliteit in de slaapkamers tijdens de tweede helft van de nacht nog goed is. Daarvoor zouden meer doorgedreven metingen nodig zijn, die buiten het bestek van deze meetcampagne vallen.

Binnenklimaat

Het binnenklimaat werd gelogd van januari 2018 tot begin juli 2021, met onderbrekingen in februari 2018 en oktober 2019 tot februari 2020. De temperatuur en RV werden gemeten in:

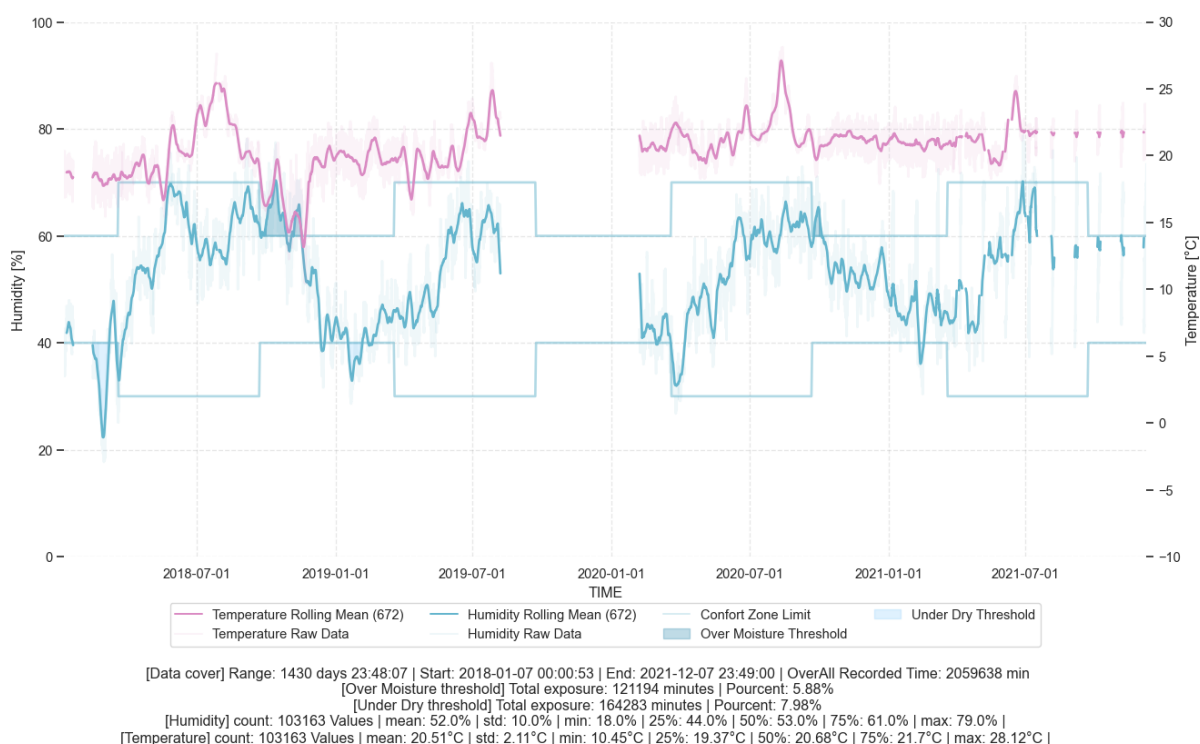
- de living op het gelijkvloers;
- de keuken (in de aanbouw) op het gelijkvloers;



- het grote bureau op de 1^{ste} verdieping, dat tijdens de metingen ook dienstdoet als oudersslaapkamer;
- de grote kinderslaapkamer aan de voorgevel op de 2^{de} verdieping;
- de zogenaamde *slaapkamer 2*, in feite de zolder.

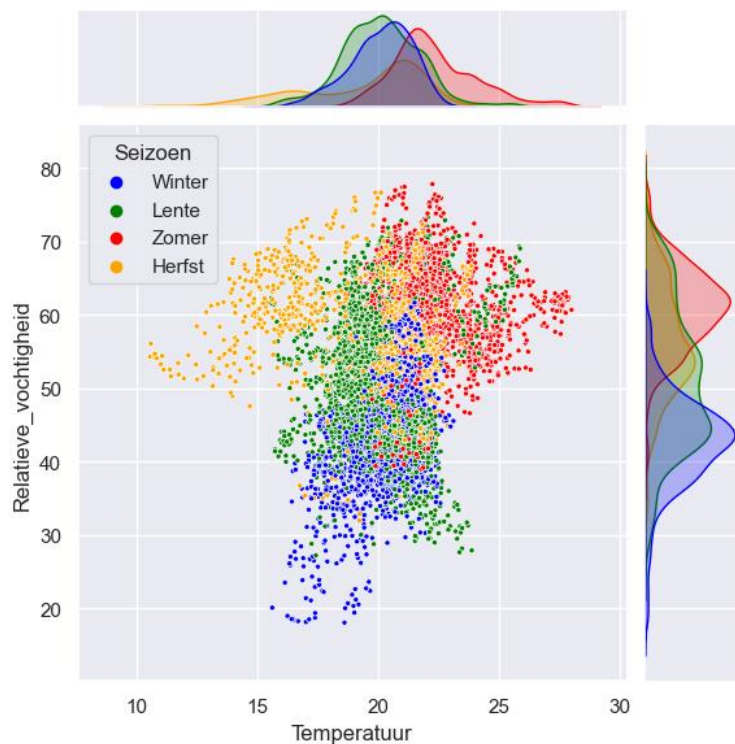
De resultaten zijn grafisch weergegeven in Figuur 153 tot Figuur 162. In de leefruimtes wordt globaal een goede comforttemperatuur gehaald. In de keuken ligt die tijdens de winter iets lager. Zoals verwacht met een beperkte luchtdichtheid, zakt de relatieve vochtigheid in de verwarmde leefruimtes tijdens de winters behoorlijk laag.

Wel merken we dat de zeer lage waarden van begin 2018 in de daaropvolgende winters niet meer voorkomen: mogelijks heeft de vervanging van het schrijnwerk tot deze verbetering geleid. In de slaapkamer en vooral op de zolder is het probleem van oververhitting in de zomer reëel.

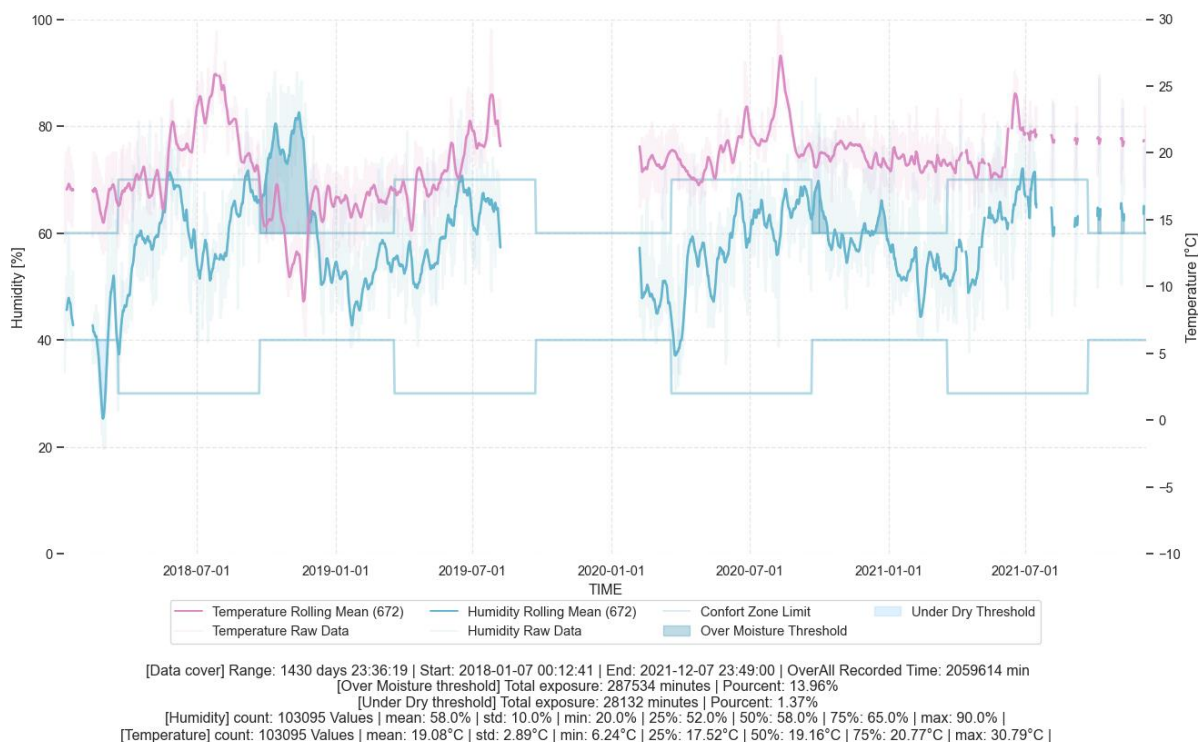


Figuur 153. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de living: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



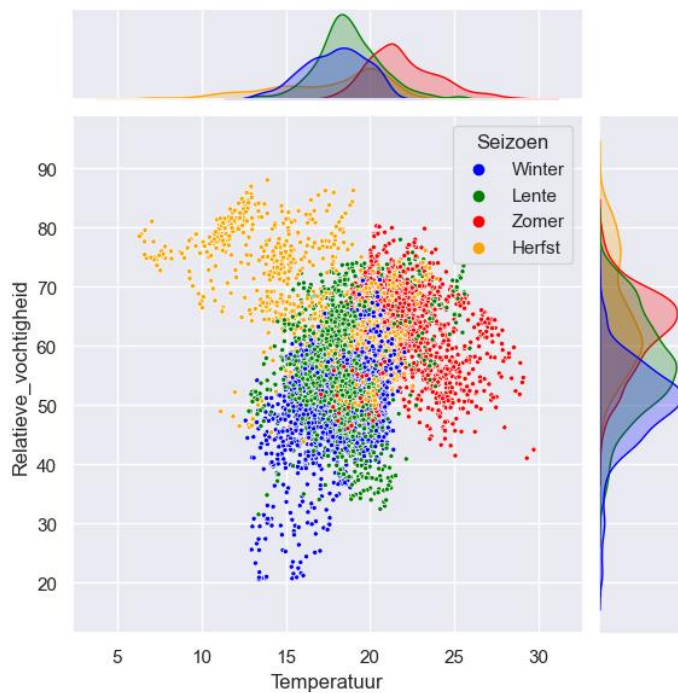


Figuur 154. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de living, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)

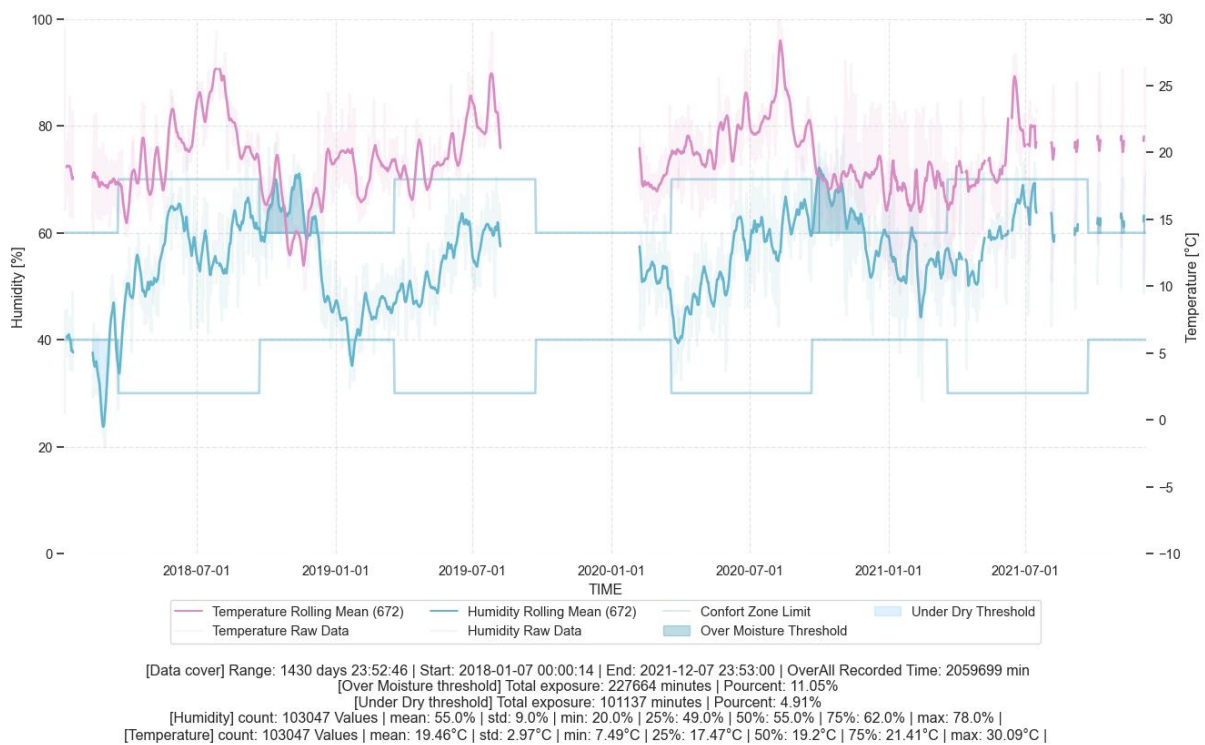


Figuur 155. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



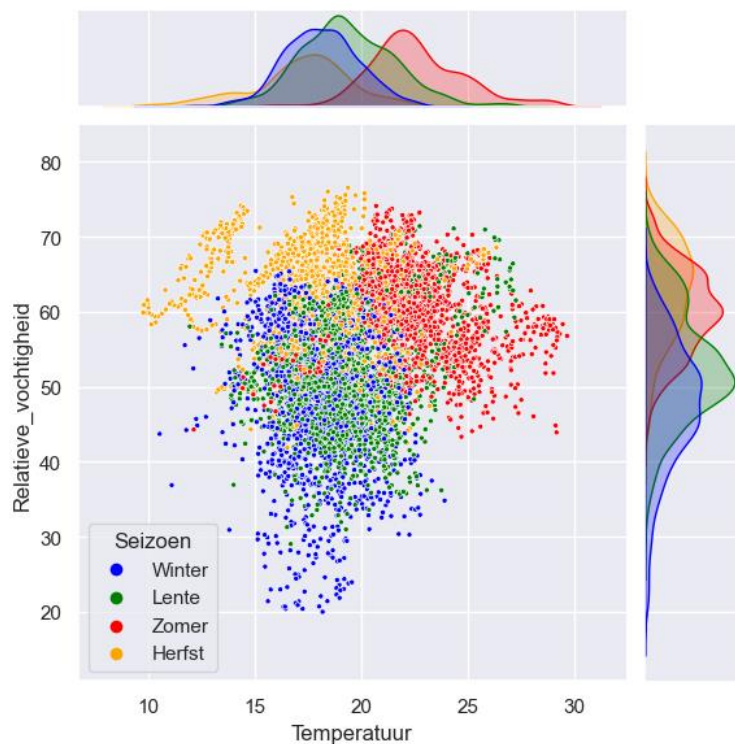


Figuur 156. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de keuken, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)

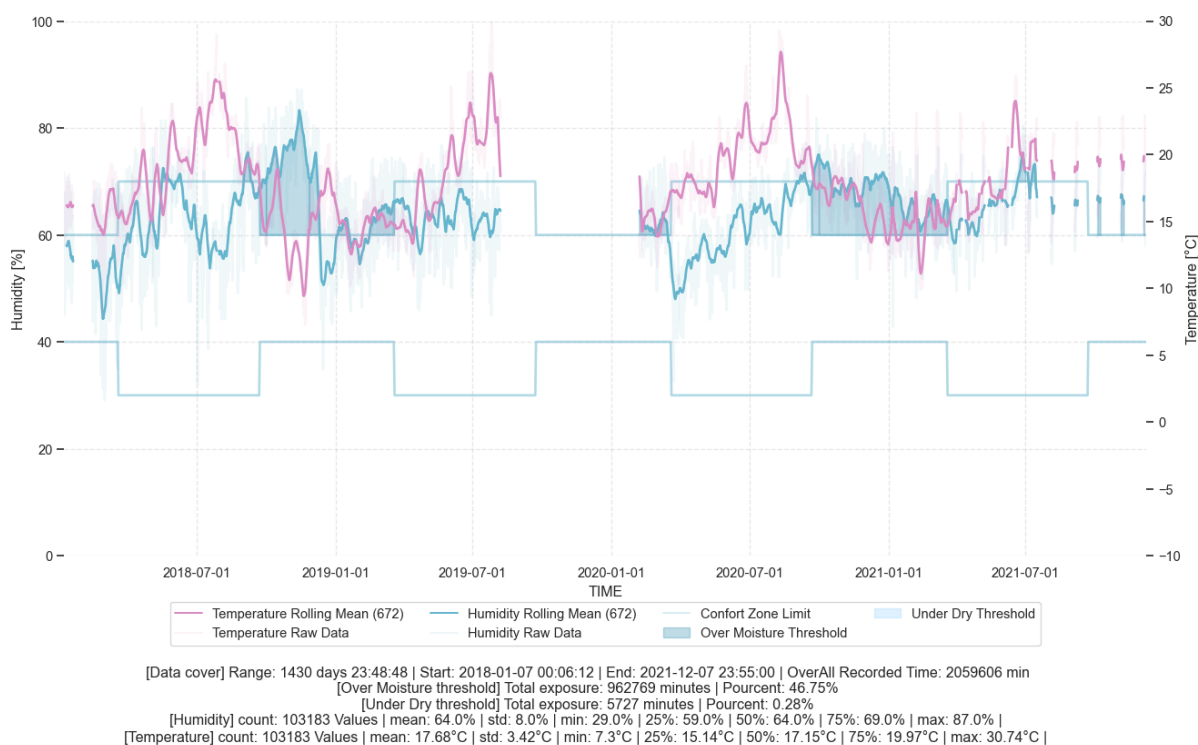


Figuur 157. Temperatuur en relatieve vochtigheid in het bureau: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

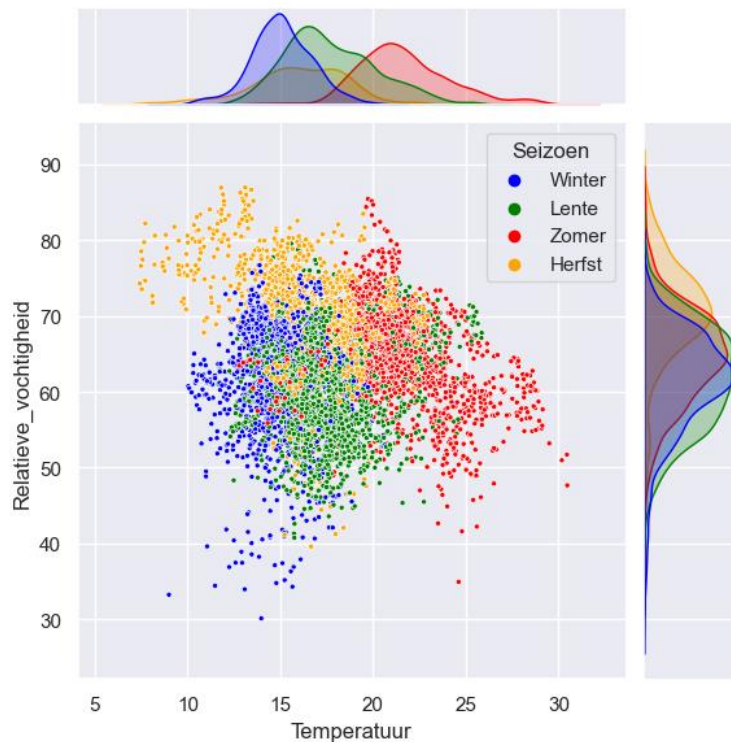




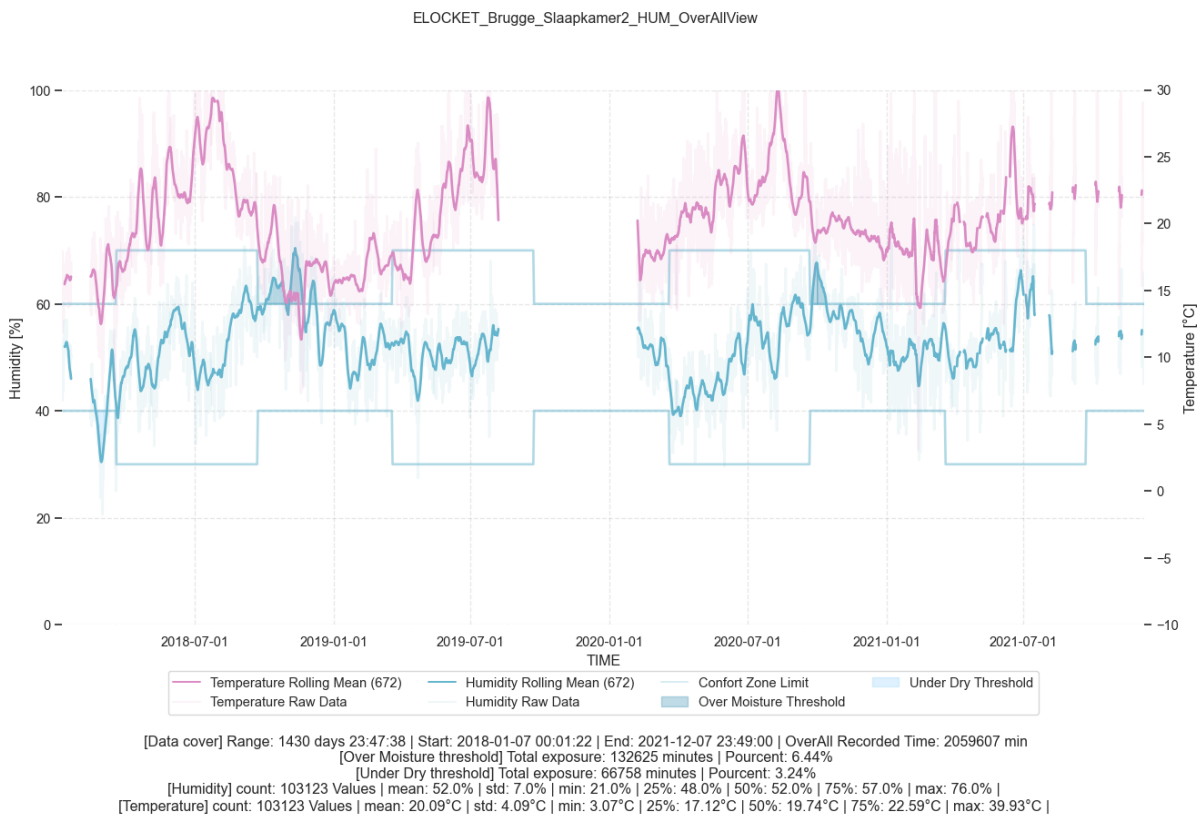
Figuur 158. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in het bureau, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



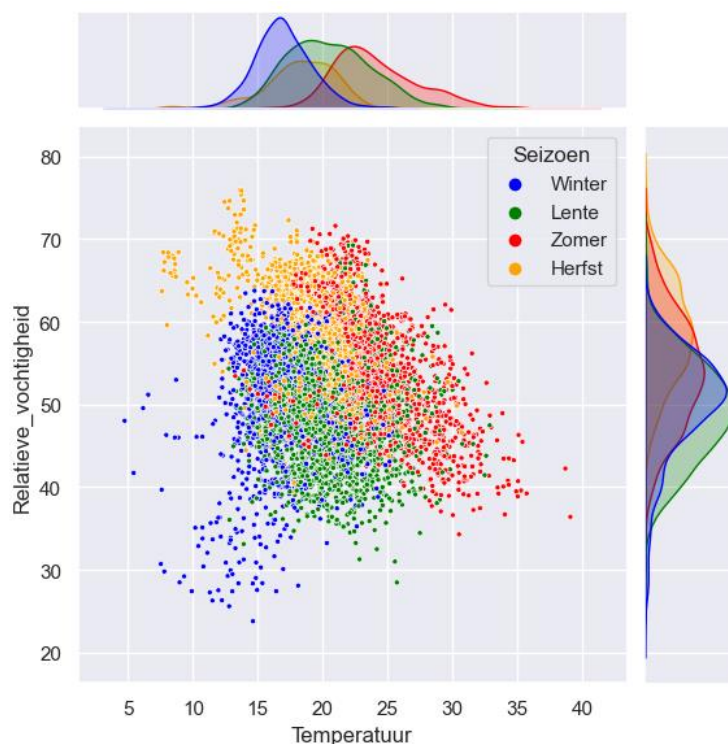
Figuur 159. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



Figuur 160. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



Figuur 161. Temperatuur en relatieve vochtigheid in slaapkamer 2 (de zolder): ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



Figuur 162. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in slaapkamer 2 (de zolder), opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)

LCA-analyse

In het kader van een thésisonderzoek is een analyse gemaakt van de impact van het isoleren van de woning op de totale CO₂-uitstoot die daarmee samenhangt. Dit wil zeggen: zowel de vermindering aan uitstoot door de lagere warmtevraag aan warmte die gecreëerd wordt door aardgas te stoken, als de toename aan CO₂-uitstoot door het ontginnen van grondstoffen, het maken en vervoeren van de isolatiematerialen, het plaatsen op de werf en uiteindelijk de verwerking bij het einde van de levensduur van deze materialen. Het energieverbruik werd becijferd door gebruik te maken van de EPB-rekentool. De zogenaamd *ingebbede* CO₂ van specifieke isolatie-oplossingen werd becijferd op basis van twee Nederlandse databanken: de Nationale Milieudatabase¹⁵ en de database van NIBE¹⁶. De berekende scenario's zijn niet gebaseerd op het uitgevoerde renovatieproject, maar wel op een gedachtenexperiment:

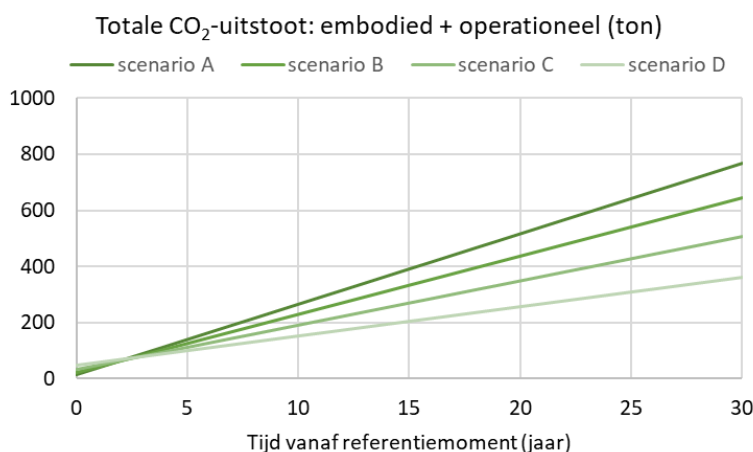
- scenario A: het oorspronkelijke gebouw zoals opgeleverd door Hoste
- scenario B: beperkte isolatie van het dak, isolatie van vloeren, van de erker van van de garage
- scenario C: bijkomend isolatie van platte daken en vervanging van ramen
- scenario D: bijkomend isolatie van muren en koudebruggen

De scenario's gaan dus in stijgende lijn qua energiebesparing en in dalende lijn qua behoud van erfgoedwaarden. In Figuur 163 is de totale berekende CO₂-uitstoot van de vier scenario's weergegeven, uitgaande van een fictief referentiemoment (jaar 0). Uit deze resultaten blijkt dat de ingebbede energie (of CO₂) in de isolatiematerialen klein is in verhouding tot de operationele energie

¹⁵ <https://milieudatabase.nl/>, geraadpleegd op 09-11-2021

¹⁶ <https://www.nibe.info/nl/members>, geraadpleegd op 09-11-2021

nodig voor verwarming. Al na minder dan 5 jaar leiden de scenario's met meer isolatie tot een lagere totale uitstoot.



Figuur 163. Berekende totale CO₂-uitstoot voor verschillende scenario's (hertekend op basis van gegevens van C. Francis) (©WTCTB)

Deze analyse gaat wel voorbij aan de ingebedde CO₂ in de woning zoals ze gebouwd is. Op het moment waarop – hypothetisch – de vraag gesteld wordt of afbreken en herbouwen niet gunstiger is in termen van CO₂-verbruik dan renoveren, wordt die vraag relevant.

5. Verbruiksgegevens

We hebben een inzicht in het recente verbruik door de gasfacturen van de voorbije jaren. Voor verwarming en sanitair warm water werd in 2018, 2019 en 2020 respectievelijk 44.4, 42.0 en 44.2 MWh aardgas verbruikt. Genormaliseerd volgens het aantal equivalente graaddagen van die jaren, zou het gemiddelde van die drie jaren 50.1 kWh voor een standaard jaar.

We kunnen stellen dat het bruikbare vloeroppervlak tijdens die periode samenvalt met de vloeroppervlakte van het huis, zonder het atelier. Het ongebruikte volume van de zolder (in de oksel van het dak) en de garage zitten op de wip: strikt genomen horen ze tot het beschermd volume, maar in de praktijk eigenlijk niet. Afhankelijk van de keuzes die je hierin maakt, komt het verbruik uit op 126 tot 136 kWh/m²jaar.

De berekende vermindering in transmissieverliezen door de isolatiemaatregelen bedraagt 61 MWh per jaar: een grote fractie van het werkelijke verbruik. Het valt te verwachten dat de zonneboiler een groot deel van het verbruik voor warm water van het vernieuwde atelier zal kunnen genereren.

6. Schatting impact en besluit

De renovatie van het huis Billiet is nog niet helemaal voltooid, maar de balans op het moment van de redactie van deze tekst is zeer positief. Comfort en energieprestaties zijn sterk verbeterd met behoud van de meest waardevolle erfgoedelementen. De belangrijkste ingreep op vlak van energiebesparing is de grotendeelse vervanging van het schrijnwerk naar historisch model. Daarmee zijn problemen van matig aansluitende profielen en zeer lage isolatiewaarde van het enkel glas opgelost. De keuze om één in-het-oog-springend venster authentiek te bewaren en de beglazing ervan te vervangen door dun dubbel glas met een getrokken blad aan de buitenzijde, is een mooi compromis. Daarnaast hebben plaatselijke verbeteringen aan de gebouwschil ook tot aanzienlijke verbeteringen geleid.

Het zou technisch wellicht haalbaar zijn om meer binnenisolatie te plaatsen. Men zou daarvoor per locatie het risico op vochtproblemen moeten evalueren om een keuze te maken van het optimale systeem. Dat heeft uiteraard wel implicaties voor binnenafwerking, plaatsing van radiatoren, ...



Het atelier staat qua aanpak een beetje los van het woonhuis-gedeelte: de renovatie is er ingrijpender en het resultaat is ook een meer up-to-date, energetisch performant geheel. Het is beter geïsoleerd en merkelijk luchtdichter dan de woning.

Luchtdichtheid van het woonhuis is een heikel punt: de vernieuwde ramen doen het vrij goed, maar de toegang tot de zolder is tamelijk lek. Dit onderwerp moet samen beschouwd worden met ventilatie: er is geen ontworpen ventilatiesysteem aanwezig, maar er wordt mechanisch afgezogen in de douches op de verdiepingen. Daardoor ontstaat een situatie vergelijkbaar met systeem C, maar waarbij de toevoeropeningen bestaan uit de lekken van de kelder, de garage en de voordeur, plus alle kleinere lekken. Zeker niet alle ruimtes worden daarmee voldoende geventileerd. De bewoners vangen dat op door het openen en sluiten van ramen.

Referenties

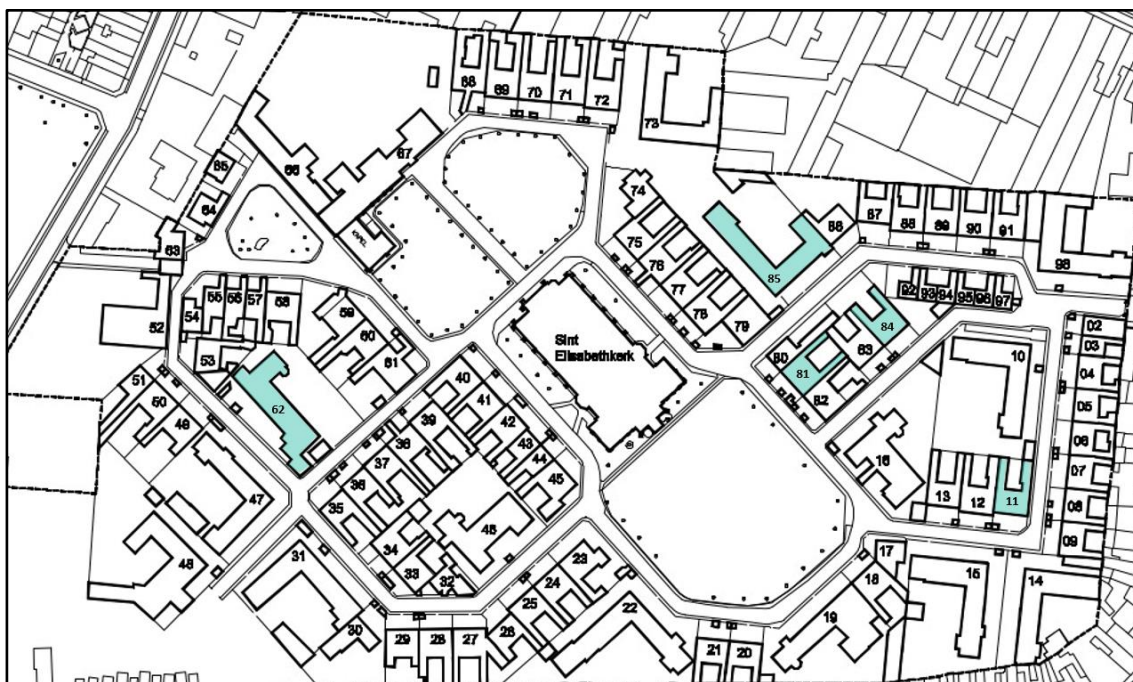
- C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag. Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, meting van het volume van de woning zonder atelier, HVAC-00-032-02/NL, WTCB, 2021
- C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag. Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, meting van het volume van het atelier, HVAC-00-032-01/NL, WTCB, 2021
- S. Dubois, Meetproef van de thermische weerstand van een wand in situ, onuitgegeven proefverslag, WTCB, 2017
- C. Francis, Erfgoedwoningen en duurzaamheid. De correlatie en afwegingen tussen isolerende ingrepen, CO₂-uitstoot en de impact op erfgoedwaarden, Masterproef, Universiteit Antwerpen, 2021



3.2.8 Projectfiche 7: Groot begijnhof, Sint-Amandsberg

1. Gegevens

Gebouwtype	huis 81 : gesloten bebouwing huis 11 en 84: halfopen bebouwing convent 62: vrijstaand convent 85: halfopen bebouwing
Functie vóór renovatie	alle begijnhofhuizen: woning convent 62: polyvalente ruimte, feestzaal convent 85: kantoren vzw sociale sector
Functie na renovatie	alle begijnhofhuizen: woning convent 62: polyvalente ruimte, feestzaal convent 85: kantoren vzw sociale sector
Bescherming	Beschermd als monument en als stadsgezicht sinds 1994 (aanduidingsobject ID 8939, besluit ID 2669), erkend als UNESCO werelderfgoed sinds 02-12-1998
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	huis 11: 184 m ² huis 82: 189 m ² huis 84: 187 m ²
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	huis 11: 1.3 MWh/jaar huis 82: 0.1 MWh/jaar huis 84: 0.5 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	niet gekend
EPC-kengetal ná renovatie	niet gekend



Figuur 164. Situering van de drie woningen en twee conventen waar metingen werden uitgevoerd. (©WTCB)



Figuur 165. Voorgevel van convent 85. (Foto: WTCB)



Figuur 166. Interieur van de feestzaal in convent 62. (Foto: WTCB)





Figuur 167. Voorgevel van woning nr. 11 (Foto: M. Lynen).



Figuur 168. Inkomdeur van woning nr. 11 (Foto: M. Lynen).



Figuur 169. Voorgevel van woning nr. 82 (Foto :M. Lynen).



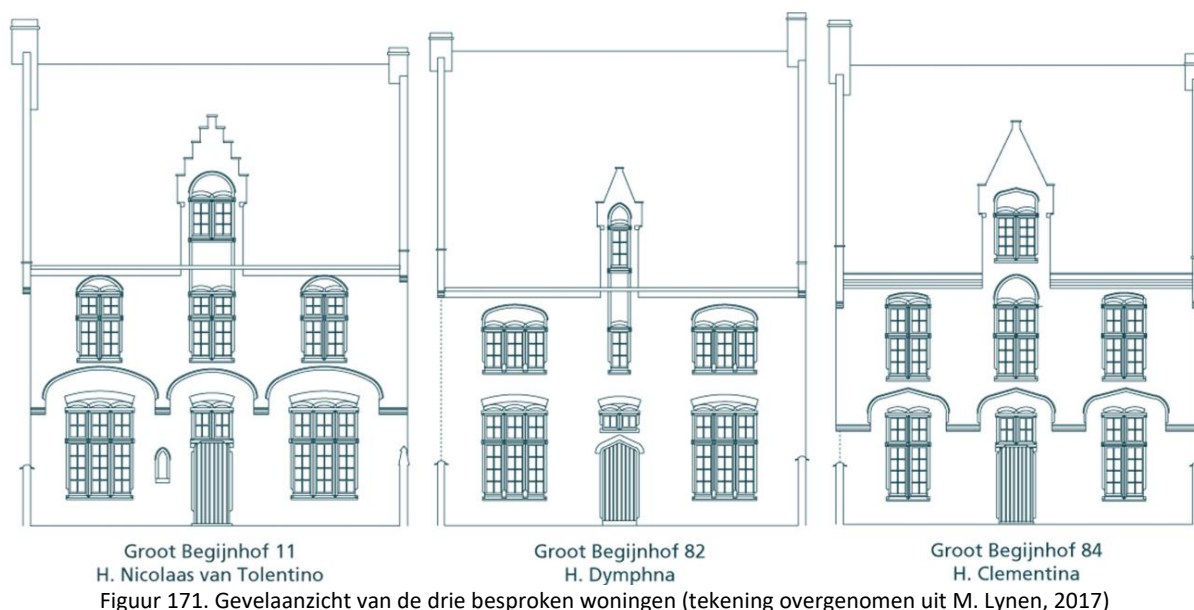
Figuur 170. Voorgevel van woning nr. 84 (Foto: M. Lynen).



2. Beknopte beschrijving

Het begijnhof is in zijn geheel gebouwd in 1872-1875 naar ontwerp van architect Arthur Verhaegen, een leerling van Jean-Baptiste Béthune. Het is volledig opgevat naar het patroon van de middeleeuwse begijnhoven als een ommuurde stad binnen een stad en overeenkomstig geïnspireerd op de Vlaamse gotische stijl van de 15de eeuw. Het begijnhof telt veertien conventen voor circa dertig begijnen en tachtig huizen.

De drie woningen die bestudeerd zijn, bestaan uit twee verdiepingen van drie traveeën onder een zadeldak, met een dakkapel centraal in de voorgevel (Figuur 167 tot Figuur 170). Het zijn halfopen of gesloten bebouwingen: aan één of beide kanten aanleunend tegen een buurhuis. Ze hebben elk zowel links als rechts van de tuin een aanbouw van één bouwlaag met lessenaardak.



De oorspronkelijke materialen zijn baksteenmetselwerk, natuursteen voor de raamkaders en naaldhout voor het buitenschrijnwerk.

De conventen zijn opgebouwd uit meer bouwlagen en beslaan meerdere vleugels. In dit project werden echter slechts specifieke ruimtes besproken van deze conventen: ze worden dus niet als gebouw in hun geheel beschreven.

In tegenstelling tot de andere projecten werden in het begijnhof geen grote renovatiewerken uitgevoerd tijdens de duur van het project. Wel werden tijdens de laatste decennia in de meeste panden enkele punctuele energiebesparende maatregelen genomen. Zoldervloeren zijn bijna overal geïsoleerd door het inblazen van cellulose tussen de balken. Beslissingen voor ingrepen worden vaak ad hoc genomen aangezien de panden continu bewoond zijn.

Achterzetramen zijn voor het eerst toegepast in de feestzaal van convent 62 in 2018 (houten profielen, enkel glas). In 2020 werden lichte aluminium schuiframen als achterzetraam geplaatst in convent 22, in 2021 gevolgd door houten achterzetramen in convent 85 (hout, dubbel glas). In huis 25 en convent 31 zouden inmiddels ook (voorzien april 2021) achterzetramen geplaatst zijn.

Het begijnhof wordt verwarmd op aardgas. Sommige panden hebben centrale verwarming, andere panden worden verwarmd met aparte gaskachels.



3. Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Dak

Zoldervloeren zijn bijna overal geïsoleerd door het inblazen van cellulose tussen de balken. Dat is onder andere gebeurd in huis 11 en huis 82, maar niet in huis 84. In sommige huizen waar de zoldervloer niet geïsoleerd is, is het vals plafond van het gelijkvloers we geïsoleerd, bijvoorbeeld met minerale wol achter houten planken. Op die manier creëert men in feite een beschermd volume dat slechts de helft van het huis beslaat en wordt de verdieping quasi een *aangrenzende onverwarmde ruimte*, om in termen van EPB te spreken.

Ramen en deuren

De **oorspronkelijke** houten profielen zijn slank en het enkel glas is met stopverf in een ondiepe sponning geplaatst langs de buitenkant. Vaak zijn de onderregel en de druiplijst vervangen of hersteld omdat ze door inwerking van vocht sterk aangetast waren. De ramen zijn opgedeeld met houten verdeelroeden. De profielen zijn in het algemeen in tamelijk goede staat. Wel zijn ze vaak overschilderd geweest met vrij dikke lagen. Thermisch verbeteren van deze ramen is technisch niet eenvoudig. Het is wel mogelijk om een elastische tochtband aan te brengen in een gefreesd sleufje.

In de linker aanbouw van huis 11 is een groot raam **vervangen** door een nieuw houten raam met dubbel glas; in het bureau op het gelijkvloers is een raamopening vergroot en is het oorspronkelijke raam vervangen door een houten schuifraam met dubbel glas. In de rechtse aanbouw van huis 84 zijn de ramen vervangen door nieuwe houten ramen met dubbel glas.

In de verschillende woningen zijn kleine eenvoudige ingrepen uitgevoerd om tocht door kieren en spleten te verminderen, bv. het aanbrengen van stoffen dichting in de woning op nr. 84.

De keuze om in te zetten op **achterzetramen** is een compromis om behoud van het oorspronkelijke schrijnwerk te combineren met een aanzienlijke verhoging van het comfort en een significante besparing van fossiele brandstof. Het Agentschap Onroerend Erfgoed legt de beheerder op om zoveel als mogelijk het originele schrijnwerk te behouden. In Figuur 172 en Figuur 173 worden als voorbeeld de ramen van het gelijkvloers van convent 85 getoond. De belangrijkste kenmerken zijn:

- Ze zijn ook opgevat als kruisvenster, met een slank vast kader. De bedoeling is dat de oorspronkelijke ramen nog open kunnen, maar in de praktijk lukt dat niet altijd door fouten in de maatvoering of doordat originele vensters dichtgeschilderd zijn.
- Ze hebben geen verdeelroedes in het glas.
- Ze zijn quasi in het vlak van de muur geplaatst, vermoedelijk uit praktische of esthetische overwegingen.
- Ze zijn geplaatst zonder breekwerk, dus gewoon ingeschoven in de raamopening, op de bestaande tablet. De aansluiting is gemaakt met een paslat rondom.
- De vleugels hebben wel een tochtstrip, maar sluiten niet zo goed op de vaste kaders aan als nieuwe ramen, onder meer omdat de sluiting gebeurt met historisch geïnspireerde roterende blokjes.
- Ze zijn bovenaan niet getoogd, hoewel de raamopening zelf wel getoogd is; het verschil wordt, net als aan de randen, opgevangen met houten paslatjes.
- Ze zijn gemaakt uit tropisch hardhout (waarschijnlijk meranti), hoewel dat in deze omstandigheden niet nodig is.



In Figuur 174 is een andere variant te zien: aluminium schuiframen. Het visuele effect is anders: de profielen zijn veel slanker en springen dus op zich minder in het oog. Ook hier is de verdeling in vier vlakken behouden, maar als men een vleugel van het oorspronkelijke raam wil openen, moet men de beide glaspanelen naar de andere kant schuiven. Op het voorbeeld in de foto kunnen de onderste vleugels wel niet openen door de plaatsing van een keukenblok. Bovenaan is de spleet met de metselwerkboog gewoon open gelaten.

De bedoeling is om dit soort ingrepen verder te optimaliseren en vervolgens uit te rollen over het hele begijnhof, maar dan wel beperkt tot de leefruimtes van woningen en werkruimtes. Men wil om budgettaire en praktische redenen geen achterzetramen plaatsen in gangen, minder vaak gebruikte ruimtes of slaapkamers. Er wordt onder meer uitgekeken naar de resultaten van dit onderzoek ter ondersteuning van het beslissingsproces.

De plaatsing van de achterzetramen in convent 62 is enigszins anders opgevat dan in convent 85. Hier zijn de originele ramen wel volledig uitgenomen en herplaatst om het herstel van de onderregels mogelijk te maken. Aangezien er condens te verwachten viel, is een condensgootje aangebracht en zijn de afvoergaatjes vrij geboord.



Figuur 172. Voorgevel van convent 85: de linkse twee ramen zijn van het pauzelokaal, de vier ramen rechts van de inkomdeur zijn die van de bibliotheek. (Foto: WTCB)



Figuur 173. Detail van een achterzetraam in het pauzelokaal van convent 85. Er is een slank kruisvormig vast kader met vier opengaande vleugels. De onderste regel is dun om het openen van het oorspronkelijke raam niet te hinderen. (Foto: WTCB)





Figuur 174. Slanke aluminium schuiframen als nieuwe achterzetramen in convent 22 (Foto: WTCB).



Figuur 175. Houten achterzetramen met enkel glas in de feestzaal in convent 62. (Foto: WTCB)

Vloeren/plafonds

In sommige panden, waar houten vloeren liggen op het gelijkvloers (de meeste zijn tegelvloeren), zijn die geïsoleerd met minerale wol-platen tussen de balken (bv. in convent 22). In die gevallen bevindt zich een geventileerde kruipkelder onder de vloer.

In het algemeen zijn de bovenste verdiepingen voorzien van zoldervloerisolatie. De dakruimtes worden dus niet gebruikt.

In woning 11 is er een verlaagd plafond aangebracht op een houten regelwerk met daartussen glaswol isolatie in de leefruimte, de eetkamer, de keuken, het bureau, de badkamer boven, slaapkamer 1 en 2, bergruimte/slaapkamer 3 en slaapkamer 4.

In woning 84 is eveneens een verlaagd plafond aangebracht op een houten regelwerk met daartussen glaswol of EPS in de leefkamer, de keuken, de badkamer, de inkom en de wasplaats.

Verwarming

Woning 84: hier is centrale verwarming op aardgas met radiatoren, ter vervanging van de vroegere gaskachels.

Niet uitgevoerd of gepland

Dak

Voor zover we weten, zijn de hellende daken (behoudens het aanbrengen van een onderdak), niet voorzien van thermische isolatie. De zolders zijn dan ook overal ongebruikt, tenzij als bergruimte.



Ramen en deuren

De ramen in de woningen zijn voor het overgrote deel nog de oorspronkelijke dennenhouten ramen met enkel glas. Onderregels van de raamvleugels werden soms in eik uitgevoerd. In de woningen of conventen waar achterzetramen geplaatst worden, blijft dit voorlopig ook beperkt tot de leef- en werkruimten: gangen, inkom, keukens en badkamers en eventueel slaapkamers worden voorlopig niet aangepakt.

Muren

De buitenmuren zijn niet geïsoleerd, in de woningen noch in de conventen.

Vloeren

Alle vloeren op volle grond zijn niet geïsoleerd. Ze kunnen langs onder niet bereikt worden en langs boven zouden de historische tegelvloeren uitgebroken moeten worden om dit mogelijk te maken. Men wil ook geen verhoging van de vloerplas, dus als men zou overwegen om de vloer te isoleren, moet dieper uitgegraven worden.

Verwarming

Het hele begijnhof wordt verwarmd met individuele gasketels, voor zover er niet nog oude gaskachels in de huizen staan. Er is tijdens de voorbije jaren een haalbaarheidsstudie uitgevoerd (door de coöperatieve vennootschap Energent) voor het installeren van stadsverwarming, maar gezien de complexiteit zou dat niet rendabel geweest zijn. Woningen 11 en 82 worden nog verwarmd met gaskachels.

Ventilatie en luchtdichtheid

In het algemeen zijn er geen ingrepen gebeurd voor ventilatie. Verbetering van de luchtdichtheid is vaak door bewoners ad hoc uitgevoerd door het opvullen van kieren en spleten in ramen en deuren.

4. Metingen

Bevraging comfortervaring bewoners

Voor de drie woningen heeft thesisstudent Maxime Lynen in 2017 een kwalitatieve bevraging gedaan die peilt naar het comfort van de bewoners. Daarnaast heeft ze een kwantitatieve analyse gedaan van antwoorden van 29 van de in totaal 60 aangesproken bewoners van individuele woningen. De conventen werden niet bevraagd, aangezien ze door hun ander gebruik – als werkruimte voor non-profit organisaties – moeilijk te vergelijken zijn. De populatie is in het algemeen wel ouder dan gemiddeld en de respondenten waren grotendeels dames.

De bewoners zijn in het algemeen tevreden over hun thermisch comfort, maar hebben wel regelmatig last van tocht. De waarneming 'te koud' is ook gelinkt aan sterke afkoeling en hoge windsnelheid buiten en kan dus gelinkt worden aan luchtlekken in de gevels en daken. De scores voor onfrisse, muffe of te vochtige lucht zijn slechter voor ruimtes die buiten het hoofdvolume vallen: de aanbouw links en rechts van de tuin. Daar is mogelijk een invloed van opstijgend grondvocht, en er zijn ook vaak natte ruimtes in ondergebracht (keuken, wasplaats, ...) wat bij afwezigheid van afdoende ventilatie en een klein volume, snel tot hoge vochtgehalten in de lucht kan leiden. Als gevolg daarvan is condens op koude vlakken ook niet uit te sluiten. Op die plaatsen kan



ook verwacht worden dat de vloeren op volle grond kouder staan dan vloeren boven een kelder in het hoofdvolume. Op akoestisch vlak hebben toch heel wat mensen in de woonkamer last van ongewenste geluiden van burens. Hoewel weinig mensen 'droge lucht' relevant blijken te vinden, klagen toch veel respondenten over symptomen die met een lage luchtvochtigheid te maken kunnen hebben. Veel respondenten gaven aan dat het isoleren van de zoldervloer het comfort van de verdieping sterk verbeterd heeft.

Woning nr. 11: het bejaarde koppel is in het algemeen tevreden, maar stipt volgende problemen aan:

- Kil en indruk van vochtigheid aan on-geïsoleerde buitenmuren op gelijkvloers;
- Koude vloeren;
- Opstijgend vocht in één muur van het hoofdvolume en in een aanbouw; muffe lucht op die plaats;
- Akoestisch niet goed geïsoleerd van omgeving.

Woning nr. 82: de 88-jarige bewoonster was op het moment van bevraging zeer tevreden over het comfort, met uitzondering van:

- Koude in de onverwarmde ruimtes;
- Algemeen veel tocht door kieren en spleten aan ramen. Dat wordt verholpen door zelf dichtingsstrips te plaatsen. Gelinkt hiermee wordt melding gemaakt van sterke schommelingen naargelang het weer.
- Tocht doorheen de plankenvloer boven een onverwarmde kelder, wat geremedieerd wordt met dikke tapijten

Woning nr. 84: het gezin met twee kinderen was op het moment van bevraging middelmatig tevreden. In deze woning was de zoldervloer ook niet geïsoleerd. Opmerkingen waren:

- De verdieping is te koud in de winter en te warm in de zomer;
- Algemeen veel last van tocht;
- Vochtige indruk van de kelder, muffe en onfrisse geur.

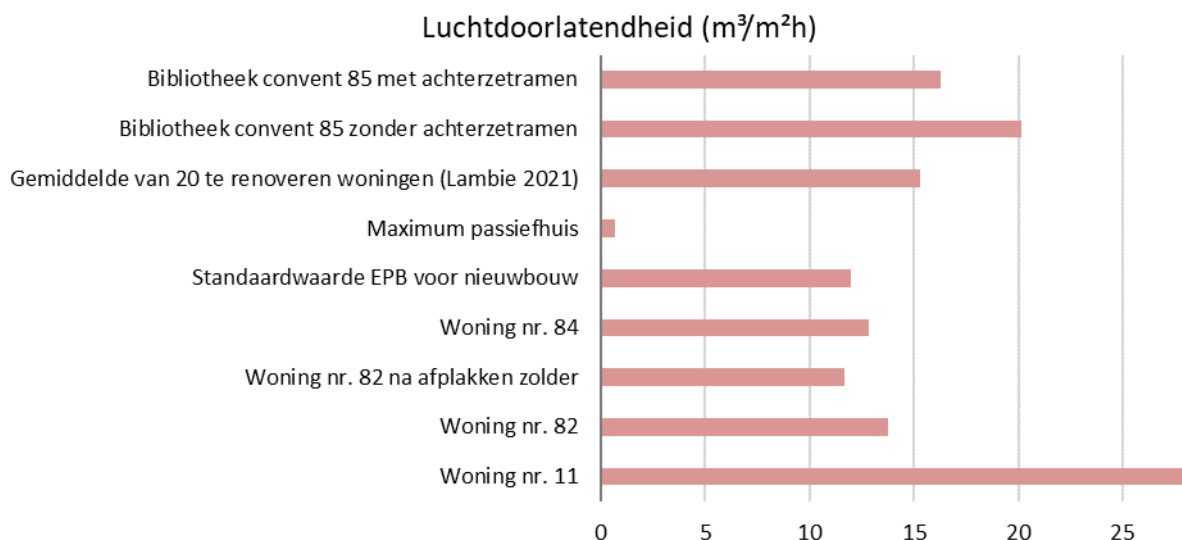
Luchtdichtheidsmetingen

Er werden blowerdoortests uitgevoerd in woning nr. 11 op 7 april 2017 en in nummer 82 en 84 op 11 april 2017. Verder werd een gerichte blowerdoortest uitgevoerd op de bibliotheek van convent 85 om de luchtdichtheid van achterzetramen in te schatten.

De proeven werden uitgevoerd volgens de norm NBN ISO 9972:2015. Bij de drie woningen werd de blaasdeur in de achterdeur geplaatst. Bij de bibliotheek werd ze geplaatst in de deur van de muur tegenover de vensters, die uitgaat op de gang (Figuur 177).

De luchtlekken waren soms zo groot (woning 11) dat de meting volgens de norm niet geldig was, maar de resultaten zijn wel duidelijk en de n50-waarde kan in zo'n geval bekomen worden door extrapolatie (als een drukverschil van 50 Pa niet gehaald wordt). In Figuur 176 zijn de waarden voor luchtdoorlatendheid van de schil van de drie woningen en van de bibliotheek samen weergegeven met een aantal referentiewaarden.





Figuur 176. Meetresultaten van de luchtdoorlatendheid van de gebouwschil bij 50 Pa drukverschil voor de drie gemeten woningen en voor de bibliotheek van convent 85, weergegeven samen met een aantal referentiewaarden uit regelgeving en literatuur. (©WTCB)

Globaal is de luchtdichtheid niet goed, wat ook te verwachten valt op basis van simpele observatie en de klachten over tocht. Bij de berekening van het verliesoppervlak en het beschermde volume werden kelders, zolders en tuinbergingen niet meegerekend. De delen van de aanbouw die verbonden zijn met de woonruimtes wél. Woning nr. 11 is een uitschieter: de verklaring daarvoor kan zijn dat de deur naar de zolder lek is en dat het dak geen onderdak heeft, in tegenstelling tot dat van de andere twee woningen. In het algemeen wordt vermoed dat deuren of luiken naar kelders en zolders en andere aangrenzende ruimtes problematisch zijn, wat trouwens ook is aangetoond bij nieuwbouw (Laverge 2014). In woning 82 heeft men geprobeerd om de invloed van het zolderluik in te schatten, door de proef te herhalen na het afplakken. Er werd daarbij een verbetering van 17% gemeten.

Bij alle proeven werden ook rooktests uitgevoerd: terwijl de woning in onderdruk stond, werd rook gegenereerd aan de buitenkant, zodat visueel kon vastgesteld worden waar zich lekken bevonden (Figuur 178). Volgens Lynen konden daarbij geen grote verschillen waargenomen worden tussen de woning onderling, behalve waar ramen echt volledig dichtgeschilderd waren, wat in woning nr. 82 bij sommige ramen gebeurd is (Lynen 2017). De problemen bevinden zich voornamelijk ter hoogte van de aansluiting van de opengaande vleugels, maar toch ook ter hoogte van de aansluiting van de vaste kaders op het metselwerk.

Ondanks de matige score, kan wel gesteld worden dat woningen nr. 82 en 84 niet veel slechter of beter presteren dan de zogenaamde 'waarde bij ontstentenis' die standaard in de EPB-berekening wordt gebruikt voor woningen waar geen meting werd uitgevoerd, en zelfs iets beter dan gemiddelde van 20 te renoveren woningen die gemeten zijn in het kader van een recent doctoraatsonderzoek (Lambie 2021). Nieuwbouwwoning zijn gemiddeld wel veel luchtdichter.





Figuur 177. Plaatsing van de blaasdeur in de bibliotheek van convent 85. (Foto: WTCB)



Figuur 178. Rook die door een slechte aansluiting van de opengaande raamvleugels van buiten naar binnen stroomt. (Foto: WTCB)

Als we meer in detail kijken naar de meting van convent 85, kunnen we proberen conclusies te trekken over de verbetering die behaald wordt met de achterzetramen. Met geopende achterzetramen krijgen we een idee van de lekken in de originele toestand: het lekdebiet in die toestand is $1088.9 \text{ m}^3/\text{Pa}\cdot\text{h}$. Met de achterzetramen gesloten vermindert het lekdebiet aanzienlijk met 20%, tot $870 \text{ m}^3/\text{Pa}\cdot\text{h}$. Het blijft wel zeer hoog, ondanks de pogingen om zichtbare openingen af te plakken met tape. Tijdens het meten bleek dan ook dat er nog enkele onvermoede openingen waren, zoals een doorboring voor een deurbel en doorboringen in het plafond ter plaatse van de verlichtingsarmaturen. Het is dus moeilijk om in te schatten welke fractie van het lekdebiet in oorspronkelijke toestand aan de vier ramen te wijten is.

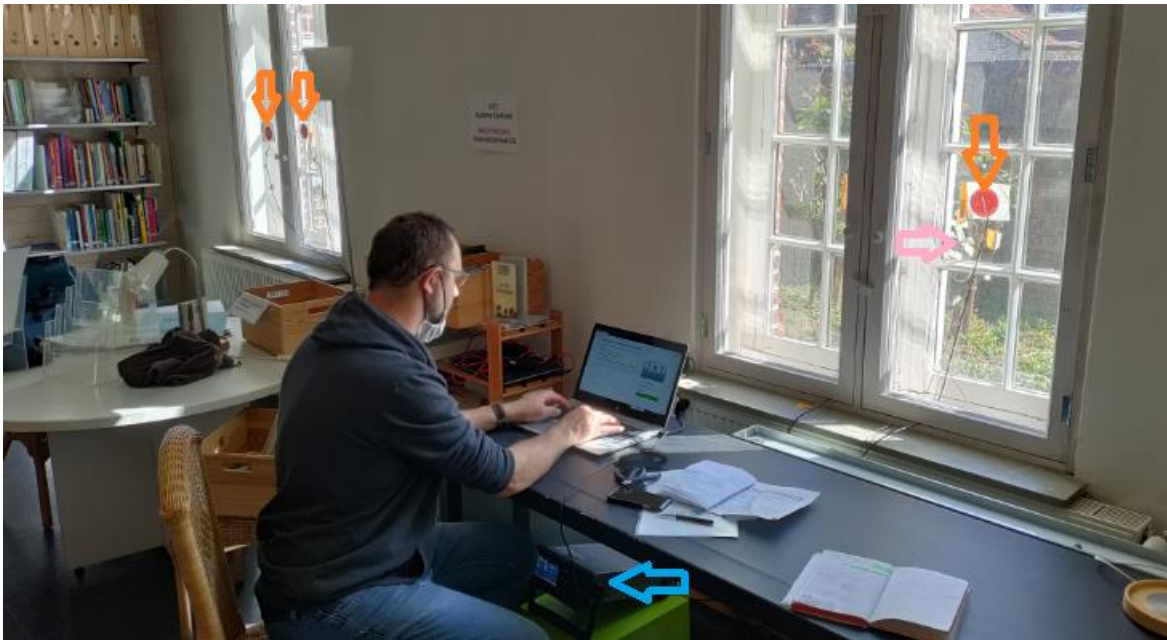
U-waardemetingen

Er werden twee meetcampagnes uitgevoerd om de verbetering van de U-waarde van de ramen door de plaatsing van achterzetramen in te schatten. In beide gevallen werden metingen op het oorspronkelijke raam, met het achterzetraam open, vergeleken met metingen van het gecombineerde systeem van het oorspronkelijk raam plus het achterzetraam, met dat laatste dan uiteraard gesloten.

- van 14-02-2020 tot 21-02-2020 werd gemeten in **convent 62**, waar houten achterzetramen met **enkel glas** zijn geplaatst;
- van 27-04-2021 tot 01-05-2021 werd gemeten in **convent 85**, waar houten achterzetramen met **dubbel glas** zijn geplaatst.

De meting bestaat uit een combinatie van warmtestroommetingen (met toestellen van fabrikanten GreenTeg en Hukseflux) met de meting van oppervlaktetemperaturen en luchttemperaturen binnen, buiten en tussen het originele raam en het achterzetraam. De procedure volgt de norm EN ISO 98691:2014. De meetapparatuur werd steeds geplaatst op het glas, niet te dicht bij de profielen, zodanig dat de invloed van de aansluitingen aan de rand niet te groot zijn. De resultaten van deze proeven vertonen doorgaans een vrij grote variatie, maar die is bij deze tests niet expliciet ingeschat. Wij hebben in convent 85 van beide situaties elk twee metingen gedaan, waarvan de resultaten in goede overeenstemming zijn met elkaar. De gemiddelde resultaten zijn weergegeven in tabel 6.





Figuur 179. Impressie van de meetopstelling in convent 85 voor U-waarde van de situatie mét achterzetramen. De oranje peilen duiden de fluxmeters aan, de roze pijl de (zeer kleine) temperatuursensors en de blauwe peil het data-acquisitiesysteem. (Foto: WTCB)

Tabel 6. Gemeten U-waardes van beglazing in originele ramen met en zonder achterzetramen in twee verschillende conventen.

	U-waarde origineel raam	U-waarde mét achterzetraam	Verbetering
Convent 62 (feestzaal)	5.7 W/m ² K*	2.1 W/m ² K	63%
Convent 85 (bibliotheek)	5.7 W/m ² K	1.0 W/m ² K	82%

* De eigenlijke meting van deze situatie bleek niet betrouwbaar: waarde hernomen van convent 85, die consistent is met literatuur.

We merken dat de verbetering zeer substantieel is: zelfs een achterzetraam met enkel glas leidt tot een reductie van 63% van de warmteverliezen. Uiteraard presteert de combinatie van origineel raam plus achterzetraam niet hetzelfde als één modern raam dat in een geïsoleerd spouw geplaatst is. Zo weten we uit getuigenissen van de beheerder dat er op sommige momenten nog condens kan ontstaan op het originele raam op momenten dat de lucht van de binnenruimte behoorlijk vochtig is en de buitentemperatuur laag. Het is ook normaal dat het binnenoppervlak van het originele raam kouder wordt als er achterzetramen geplaatst zijn, omdat het niet meer rechtstreeks in contact staat met het (verwarmde) binnenklimaat.

Men zou in eerste instantie een schatting van de verbetering van de thermische prestaties kunnen maken op basis van de aparte U-waardes van beide achter elkaar geplaatste types beglazing, plus de warmteweerstand van de lucht tussen het originele en het toegevoegde raam. Die laatste neemt voor luchtspouwen breder dan 2 cm nauwelijks meer toe met de breedte omwille van convectieve effecten. Vanuit bouwfysisch oogpunt heeft het dus weinig zin om de achterzetramen zo ver naar de binnenkant te plaatsen. In Tabel zijn de resultaten van zo'n berekening weergegeven. Je ziet echter meteen dat de situatie dan iets te negatief wordt ingeschat, omdat de profielen in het algemeen beter isoleren dan het glas. En zeker bij de originele ramen is het belang van de profielen zeer groot.



Tabel 7. Vergelijking van berekende U-waarden van de gecombineerde glaslagen met de gemeten U-waarden. De eerste regel toont de waarden van het originele glas + nieuw enkel glas; de tweede regel toont de waarden van het originele glas + nieuw dubbel glas.

	U-waarde origineel glas (W/m ² K)	U-waarde toegevoegd glas (W/m ² K)	Warmte-weerstand origineel glas (m ² K/W)	Warmte-weerstand toegevoegd glas (m ² K/W)	Warmte-weerstand luchtspouw (m ² K/W)*	Totale U-waarde berekend (W/m ² K)	Totale U-waarde gemeten (W/m ² K)
Convent 62	5.7	5.6	0.010	0.014	0.18	2.75	2.1
Convent 85	5.7	1.2	0.010	0.668	0.18	1.17	1.0

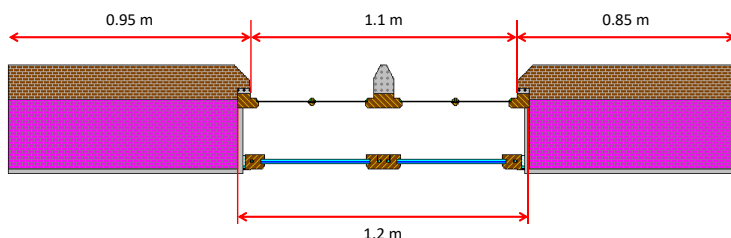
* Gebaseerd op EN ISO 6946:2017

Om de complexe wisselwerking tussen glas en profielen beter te kunnen analyseren, werd een simulatie gemaakt, die in de volgende paragraaf besproken wordt.

2D simulaties van stationair warmtetransport

Het softwarepakket BISCO werd gebruikt om een berekening te maken van de invloed van de aansluitingen aan de muur en van de profielen. Bij zo'n berekening wordt abstractie gemaakt van verliezen door infiltratie en wordt gekeken naar geleiding en convectie aan de buiten- en binnenoppervlakken. Waar onze metingen van de U-waarde in situ vooral de U-waarde van het glas (U_g) oplevert, geeft deze berekening een idee van de U-waarde van het raam als geheel (U_w), inclusief de aansluitingen.

Drie berekeningen werden uitgevoerd: (1) enkel het originele raam, (2) het originele raam plus achterzetraam met enkel glas en (3) het originele raam plus achterzetraam met dubbel glas. De maatvoering werd daarbij gebaseerd op een opmeting van ramen in de bibliotheek van convent 85 (Figuur 180). In de figuur lijkt de muur opgesplitst in twee lagen, maar dat is niet zo: de verschillende kleur van de buitenste 10 cm komt overeen met het gedeelte van de muur dat vochtig verondersteld wordt en daardoor een hogere warmtegeleiding (λ -waarde) heeft (berekening gebaseerd op NBN B62-002). De U-waarde van de massieve muur op zich is gelijk aan 1.49 W/(m²K) (berekening volgens NBN EN ISO 6946).



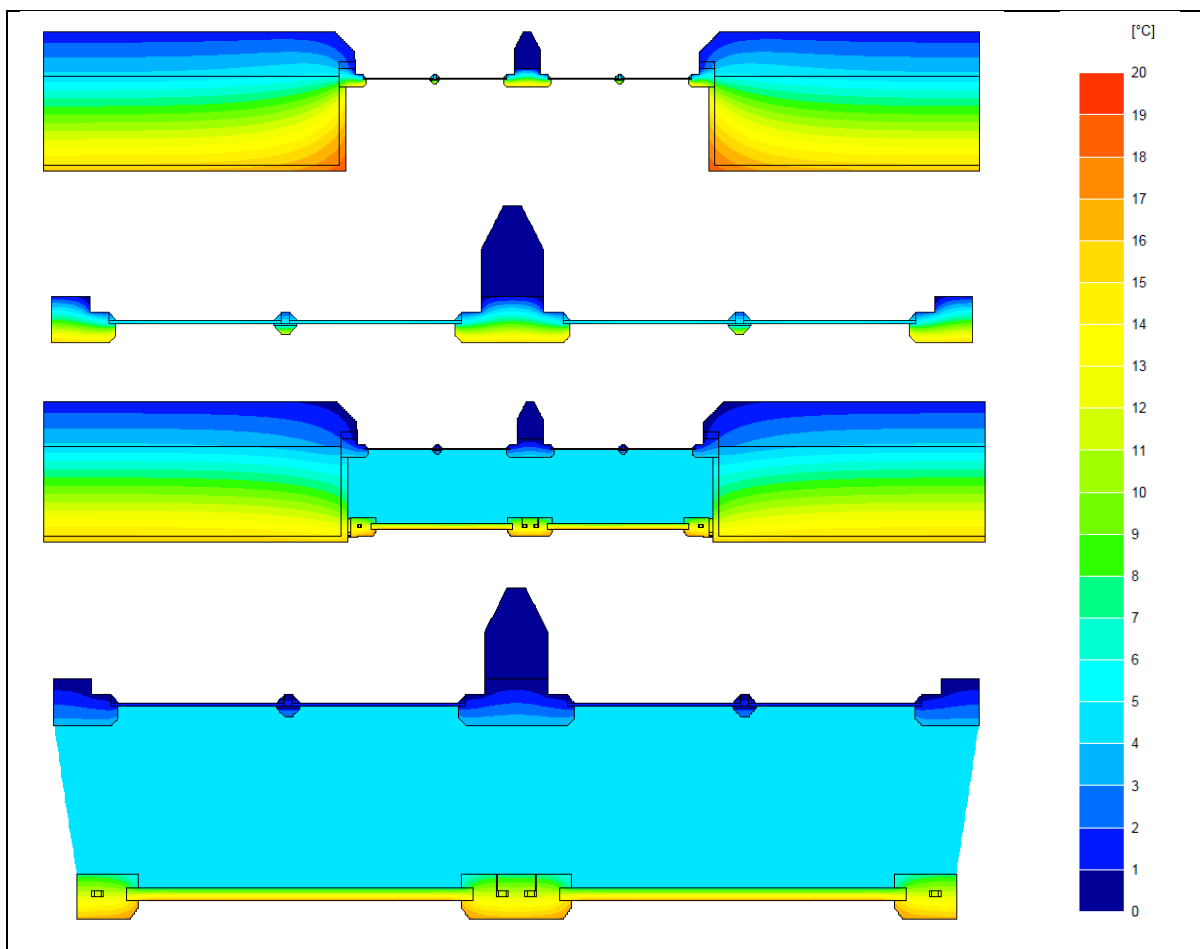
Figuur 180. Geometrie van een raamopening met achterzetraam voor de 2D stationaire thermische simulatie. (©WTCB)

De buitentemperatuur wordt denkbeeldig op 0°C gezet en de binnentemperatuur op 20°C. In onze berekeningsmethode worden de bijkomende warmteverliezen verrekend als supplementaire verliezen van het raam (totale warmtedoorgang U^*_w). Daarvoor wordt het raam ook steeds apart gesimuleerd (zonder muur, U_w), naast uiteraard de berekeningen van het systeem muur-raam (U_{tot}). De resulterende temperatuurverdeling voor de verschillende gevallen zijn weergegeven in Figuur 181.

De resultaten voor U_w , U^*_w en de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt voor de aansluiting muur-raam Ψ , zijn weergegeven in Tabel 8. Het originele raam heeft een U_w die een stuk lager ligt dan die van het glas alleen (5.7 W/m²K), aangezien de muur uiteraard beter isoleert dan het enkel glas. De aansluiting met het raam leidt dan ook tot een belangrijke lineaire koudebrugwerking (0.713 W/mK).

////////////////////////////////////

Als je een achterzetraam plaatst, wordt de invloed van de randen kleiner: de beide gecombineerde ramen hebben namelijk een warmteweerstand die minder sterk verschilt van die van de muur. De bekomen resultaten voor U^*_w kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden als representatieve U-waarden voor een berekening met EPB-software, waarin dan de relatieve verbetering van deze interventie in het totale energieverbruik van een gebouw ingeschat kan worden.



Figuur 181. Simulatieresultaten van temperatuurverdeling van achtereenvolgens: de muur met oorspronkelijk raam, het oorspronkelijke raam apart, de muur met toegevoegd achterzetraam (dubbel glas) en het systeem origineel raam + achterzetraam apart. (©WTCB)

Tabel 8. Numerieke resultaten van de simulatie voor de drie beschouwde gevallen.

	U_w (W/m ² K)	Ψ (W/mK)	U^*_w (W/m ² K)
Origineel raam	4.7	0.713	4.9
Met achterzetraam enkel glas	2.2	0.188	2.2
Met achterzetraam dubbel glas	1.1	0.159	1.2

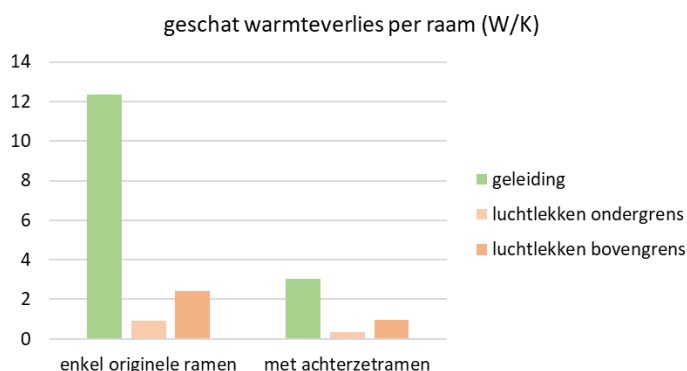
Aangezien we weten (o.a. uit de bevraging van bewoners) dat er ook een belangrijke invloed is van luchtlekken in de toestand zonder achterzetramen, en mogelijk ook nog in de toestand mét achterzetramen, is het nuttig om daar een schatting van te maken. We kunnen dat niet nauwkeurig doen, aangezien we wel een meting hebben van de verbetering van de luchtdichtheid door plaatsing van de achterzetramen in convent 85, maar niet echt van de originele ramen op zich, noch van de achterzetramen.

We zijn dus aangewezen op enkele schattingen. Stel dat van het totale lekdebiet van de bibliotheek (zonder achterzetramen) tussen 1/4 en 2/3 te wijten zou zijn aan kieren en spleten van de oorspronkelijke ramen, dan zou een raam tussen 68 en 182 m³ lucht doorlaten per uur bij een



drukverschil van 50 Pa. De ramen zijn oost georiënteerd. Vermoedelijk staat de gevel daar dus meestal in onderdruk en krijg je doorheen het jaar vooral *exfiltratie* van binnenlucht naar buiten toe. In de EPB-software wordt het verliesdebiet over het ganse jaar geschat op 2.5% van het debiet bij 50 Pa; dat zou hier dus tussen 2.72 en 7.28 m³ per uur zijn voor één raam. Rekening houdend met de warmtecapaciteit van lucht en het oppervlak van een raam, zou dat een continu verlies betekenen van 0.91 tot 2.42 W/K. Dit kunnen we nu plaatsen tegenover de geleidingsverliezen, die met $U^*_w=4.9$ W/m²K en een raamoppervlakte van 2.52 m² begroot kunnen worden op 12.3 W/K. In de oorspronkelijke situatie zijn de geleidingsverliezen zo groot dat de luchtlekken dus maar ongeveer 7 tot 16% van het totale warmteverlies bedragen.

Voor de situatie mét achterzetramen zijn we weerom verplicht een ruwe schatting te maken van de bijdrage van de ramen op het totale lekdebiet van 870 m³/h. We weten dat dit veel lager moet liggen dan de debieten van de originele ramen. We kiezen als redelijke ondergrens 1/8 van het gemeten totaal en als bovengrens 1/3. Dat levert geschatte warmteverliezen per raam van 0.36 tot 0.97 W/K. Dat staat tegenover geleidingsverliezen van 3.0 W/K. Het totale warmteverlies daalt dus zeer sterk, maar het relatieve belang van luchtlekken neemt toe: 11 tot 24% van het totaal. In Figuur 182 zijn die resultaten grafisch weergegeven.



Figuur 182. Vergelijking van de warmteverliezen van de ramen door geleiding en convectie (op basis van 2D simulatie) met de warmteverliezen door luchtlekken (op basis van blowerdoortest, gebruik makend van vuistregels en schattingen). (©WTCB)

Indien men meer gedetailleerd de prestaties van de ramen zelf wil meten, zou men bijvoorbeeld luchtdichtheidsmetingen kunnen doen op aparte ramen. Dit is technisch mogelijk, maar niet eenvoudig, en valt buiten het doel van deze studie.

5. Verbruiksgegevens

Uit de gasfacturen van 2021 kon het jaarlijks verbruik van de drie voorgaande jaren gehaald worden. Dat werd dan telkens genormaliseerd volgens de graaddagenmethode en gemiddeld. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 9. In de laatste kolom zijn tevens de berekende besparingen opgenomen voor vermindering van transmissieverliezen.

Tabel 9. Gemiddelde verbruiksgegevens voor de drie bestudeerde huizen in het beginhof.

	genormaliseerd gemiddeld jaarlijks gasverbruik (MWh)	karakteristiek jaarlijks gasverbruik (kWh/m ² j)	geschatte besparing door isolatie (MWh/j)
woning 11	13.4	80	1.3
woning 81	42.9	269	0.1
woning 84	35.9	201	0.5

6.Schatting impact en besluit

Aangezien de reeds uitgevoerde isolatiemaatregelen vrij beperkt zijn, zijn de verwachte besparingen in energieverbruik in dit project relatief beperkt. Het werkelijke verbruik is dan ook niet laag: één van de drie woningen scoort goed, terwijl de andere twee het hoogste karakteristiek verbruik hebben van de hele groep van de cases.

De situatie is echter heel specifiek. Het gaat om werelderfgoed en het origineel schrijnwerk is in vrij goede staat, zodat vervanging eigenlijk geen optie is. De ruimtes onder de daken zijn niet in gebruik: zoldervloerisolatie is dus een verstandige keuze. Maar de behaalde warmteweerstand blijft beperkt. Het zou zeker mogelijk zijn om daar een stukje verder in te gaan.

De keuze om meer en meer te investeren in achterzetramen is zowel vanuit energetisch oogpunt als uit oogpunt van behoud van erfgoed toe te juichen. We hebben duidelijk kunnen vaststellen dat de vermindering van warmteverliezen zeer groot is, wellicht zelfs groter dan wanneer men de ramen zou vervangen. De achterzetramen verhelpen ook een ander probleem, namelijk de tocht door kieren en spleten van de originele ramen.

Om verder te gaan met energiebesparing, moet men ook overwegen om de muren aan de binnenzijde te isoleren en om de mogelijkheden voor vloerisolatie meer in detail te bestuderen. Ideaal gezien verbetert men de luchtdichtheid ook, maar daarbij moet men dan ook oog hebben voor ventilatie.

Referenties en bijlages

Maxime Lynen, Comfort in een beschermd monument met woonfunctie. Casestudie Groot Begijnhof Sint-Elisabeth in Sint-Amandsberg, Master thesis, UAntwerpen, Faculteit Ontwerpwetenschappen, 2017

C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag. Détermination de la perméabilité à l'air d'un bâtiment, PMTI 039/1/FR, PMTI 039/2/FR en PMTI 039/3/FR, WTCB, 2017

C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag. Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, WTCB (HVAC-00-30-01/NL), meting in convent 85 met achterzetramen open, 2017

C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag. Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, WTCB (HVAC-00-30-02/NL), meting in convent 85 met achterzetramen gesloten, 2017

Heijmans Nicolas, Simulation numérique des doubles fenêtres du cloître St Amandsberg Projet Erfgoedenergieloket (2013-2047), onuitgegeven rapport, WTCB, 2021



3.2.9 Projectfiche 8: Residentie Duinpark, Koksijde

1. Gegevens

Gebouwtype	appartement
Functie vóór renovatie	woning (tweede verblijf)
Functie na renovatie	woning (tweede verblijf)
Bescherming	niet beschermd, komt niet voor op de inventaris van bouwkundig erfgoed
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	73 m ²
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	8.9 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	niet bekend
EPC-kengetal ná renovatie	niet bekend



Figuur 183. Postkaart daterend van kort na de bouw, vermoedelijke jaren 1950. Hoek van de WWZ- en de ZZO-gevel. De gekleurde vlakken waren oorspronkelijk beschilderde pleister. Kort na de bouw werden ze echter bekleed met Glasal-panels omwille van vocht(- en mogelijk zout-)problemen. (Foto: WTCB)



Figuur 184. ZZO-gevel in 2019, vóór de start van de renovatiewerkzaamheden. (Foto: WTCB)

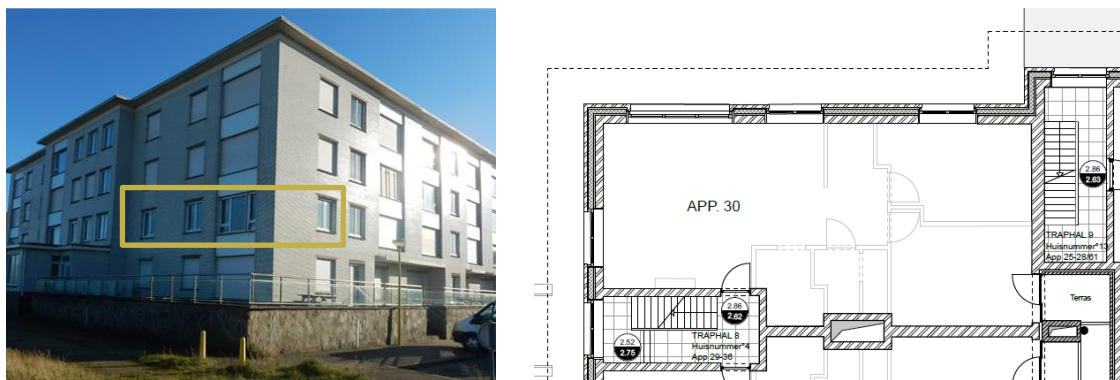
2. Beknopte beschrijving

Dit appartementsgebouw is in de late jaren 1950 opgetrokken naast de duinengordel in Oostduinkerke, naar een ontwerp van architect Maurice De Wilde. Het wordt als een interessante case beschouwd omwille van de architecturale kwaliteiten, de erfgoedgerichte benadering van de renovatie en tenslotte de bouwkundige en materiaalkundige aspecten, die het een vertegenwoordiger maken van naoorlogse architectuur, en die grote verwantschap vertonen met veel andere erfgoedgebouwen uit dezelfde periode.

Het gebouw bestaat uit een gemengde structuur van metselwerk en betonnen elementen. Het buitenparement is gemetst met witte geglaazuurde baksteen, die aan één zijde van het gebouw aanzienlijke schade vertoont. De spleet tussen het parament en de dragende structuur is te smal en te onregelmatig om werkelijk als *spouw* (in de hedendaagse betekenis van het woord) beschouwd te worden. De betonnen, ter plaatse gegoten, vloerplaten, raamlaten en andere betonnen elementen rusten op het binnenspouwblad, maar zijn her en der in contact met het buitenspouwblad.

Het uitzicht van het gebouw is aanzienlijk veranderd in de loop der jaren (vergelijk Figuur 183 en Figuur 184). Naast de beschadiging van de geglaazuurde baksteen (mechanische schade, maar mogelijk ook vorst, zoutschade of het abrasieve effect van zeezand) kunnen we ook de plaatselijke verwijdering van rolluiken vermelden (deels door stormschade), de aanzienlijke beschadiging van uitkragende betonnen elementen (in het bijzonder luifels en kroonlijst), de verwijdering van de karakteristieke kleurvlakken tussen ramen van verschillende verdiepingen. Het oorspronkelijke schrijnwerk is nagenoeg compleet vervangen door pvc schrijnwerk, waarbij ook de raamindelingen veranderd zijn.

Het doel van de renovatie is om het uitzicht van het geheel (gevels, betonnen uitkragingen, natuurstenen sokkel, kleurvlakken, schrijnwerk, en gemene delen van de binnenkant van het gebouw) te restaureren of te reconstrueren en een aanzienlijke verbetering van het comfort en de energieprestaties te realiseren.



Figuur 185. Situering en grondplan van appartement 30, dat zich bevindt aan de noordwestelijke hoek op de 1^{ste} verdieping. (©WTCB)

We bestuderen in dit project vooral appartement 30, een hoekappartement op de 1ste verdieping (Figuur 185). Het gebouw wordt typisch gebruikt voor tijdelijk verblijf in het weekend of in de zomervakantie.



Figuur 186. Binnenaanzichten van appartement 30: leefruimte (links), keuken (midden) en gang met en kamers (rechts). (Foto's: WTCB)

Tussen 2015 en 2017 werden vooronderzoeken uitgevoerd om de opbouw van de schildelen te achterhalen. Het architectenbureau werkte op basis van de bevindingen en de vraag van de vereniging van mede-eigenaars een voorontwerp uit dat vervolgens werd uitgewerkt tot een uitvoeringsplan en aanbestedingsdossier. De aannemer is gestart met de uitvoering van de renovatiewerken tijdens de lente en zomer van 2021. De oplevering is voorzien voor oktober 2022.

3. Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Dak

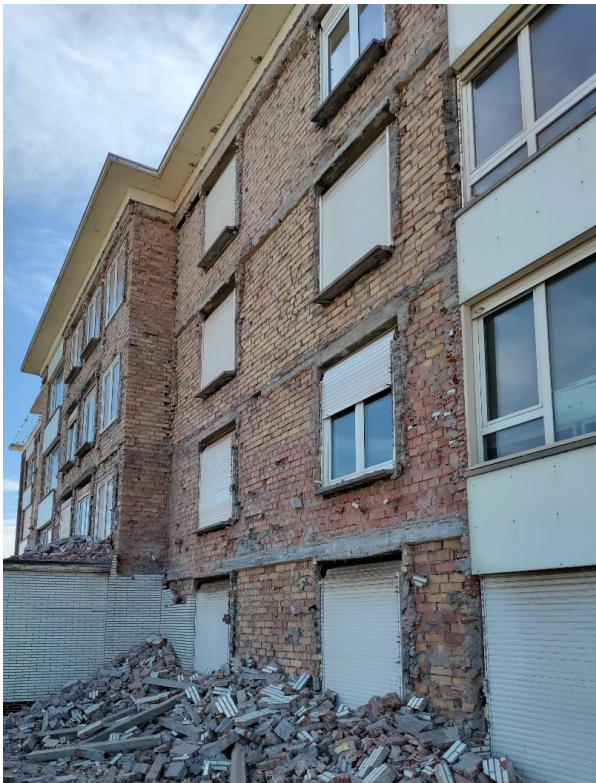
Het platte dak wordt geïsoleerd met 18 cm drukvaste minerale wol en vervolgens opnieuw gedicht, na het herstellen van de betonnen dakstructuur.

Muren

Men heeft geopteerd voor een ingrijpende gevelrenovatie. De spouw is immers veel te smal en te onregelmatig (mortelbaarden, wisselende spouwbreedte, aanwezigheid van allerlei bouwafval in de spouw) om een efficiënte na-isolatie van de spouw te bekomen. Bovendien zou een loutere na-isolatie van de spouw geen oplossing bieden voor de vele koudebruggen. De voorziene oplossing voorziet dan ook het verwijderen van het huidige buitenspouwblad (Figuur 187).

Tijdens de werken werd duidelijk hoe onregelmatig het binnenspouwblad is: verschillende types metselblokken zijn gebruikt, de stenen liggen niet recht, ze liggen niet in het vlak (afwijkingen tot meer dan 5 cm over de hele hoogte van de muur), de voegen zijn maar heel gedeeltelijk gevuld (zeker de stootvoegen) en de betonnen structurelementen liggen niet mooi in het vlak.

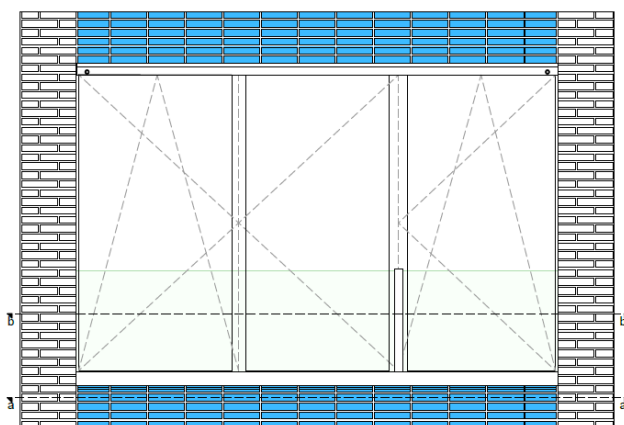




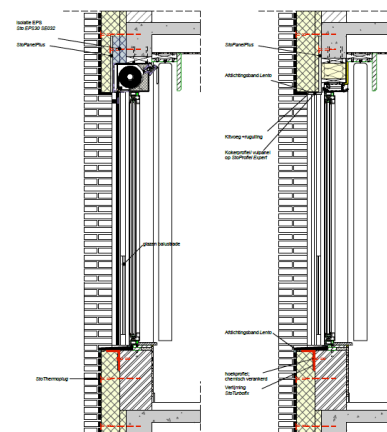
Figuur 187. Werkbeeld na de afbraak van het buitenspouwblad (september 2021). (Foto: WTCB)

In het uitvoeringsplan is voorzien om overal 14 cm rotswol als isolatie te plaatsen. Daaronder zou eerst een uitvullingslaag komen om de oneffenheden weg te werken. De nieuwe buitenbekleding zal bestaan uit geglazuurde bakstenen van hetzelfde formaat als de oorspronkelijke. Op plaatsen waar de nodige dikte daarvoor niet voorhanden is, wordt geopteerd voor baksteenstrips met hetzelfde uitzicht, die gekleefd worden op een harde isolatieplaat van EPS (Figuur 188).

Zonwering (rolluiken) wordt niet standaard voorzien, maar kan desgewenst later nog toegevoegd worden (Figuur 189). Het gebruik van rolluiken blijft enigszins gecontesteerd in het gebouw, aangezien er in het verleden aanzienlijk stormschade vastgesteld kon worden aan de rolluiken. De keuze voor zonwering wordt dan ook aan de individuele bewoners overgelaten.



Figuur 188. Zicht op een raam, toestand na renovatie, waarbij de plaats van de baksteenstrips is aangeduid in blauw. Niet op schaal. (Bron: Bressers Erfgoed architecten)



Figuur 189. Snede door ramen na renovatie met aanduiding van twee opties: met rolluik (links) of met slank ventilatierooster (rechts). (Bron: Bressers Erfgoed architecten)



Ramen en deuren

De ramen worden vervangen door nieuwe ramen met thermisch onderbroken aluminium profielen die een U_f -waarde hebben van $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Het thermisch verbeterd dubbel glas heeft U_g -waarde $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, zodat we een U_w -waarde voor de ramen kunnen verwachten rond de $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Verwarming

Na de renovatie van de gebouwschil is voorzien dat elk appartement een nieuwe aardgasketel en verwarmingsinstallatie krijgt. Het vereiste type of rendement is niet vastgelegd in de documenten. Er wordt gebruikt gemaakt van geïsoleerde leidingen.

Niet uitgevoerd of gepland

Vloeren

De vloer van het gelijkvloers scheidt de onderste appartementen van de half ondergrondse parkeergarage. Deze vloer wordt, voor zover we weten, niet geïsoleerd.

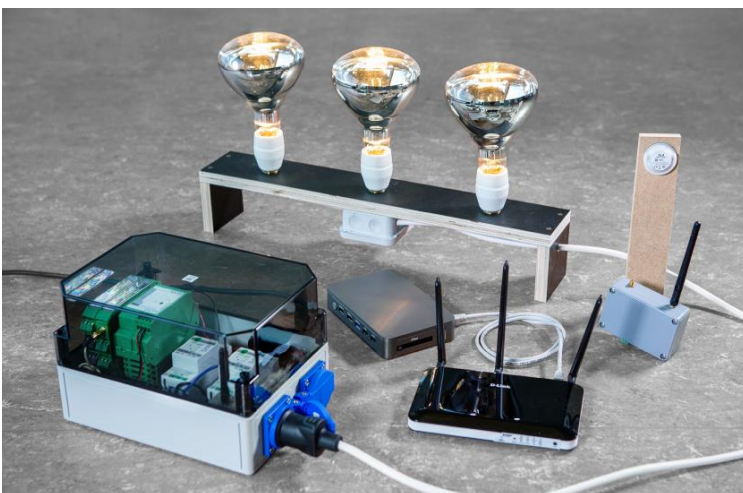
Ventilatie en luchtdichtheid

Behalve de optionele mogelijkheid om te kiezen voor ventilatieroosters boven de nieuwe ramen en de plaatsing van dampkappen in de keukens, worden geen voorzieningen getroffen voor ventilatie.

4. Metingen

Co-heatingtest

Van 4 tot 9 december 2019 werd een co-heatingtest van de toestand vóór renovatie uitgevoerd in appartement 29. Bij co-heatingtests wordt het werkelijke dynamische warmteverlies van een wooneenheid in kaart gebracht door de hoeveelheid energie te meten die nodig is om een bepaald temperatuurverschil tussen binnen en buiten te realiseren tijdens een meetperiode van twee tot tien dagen (zie Figuur 190.)



Figuur 190. De co-heatingkit van het WTCB, met als belangrijkste onderdelen lampen voor een gecontroleerde verwarming, en regel- en meetapparatuur. (foto: WTCB)

Bij conventie wordt de ventilatie (als die er is) uitgeschakeld en worden interne winsten (door draaiende toestellen en aanwezigheid van personen) zoveel mogelijk vermeden. De beschouwde warmteverliezen en -winsten zijn dus die door geleiding (en convectie), door infiltratie en ex-filtratie ter plaatse van luchtlekken, zonnestraling en stralingsuitwisseling met de omgeving. De zonnwinsten worden naderhand weg gefilterd op basis van klimaatdata. Ook warmte-uitwisseling met aangrenzende verwarmde ruimtes wordt door een berekening weg gefilterd. Het resultaat is een *heat loss coefficient* (HLC), uitgedrukt in eenheden van energieverlies per graad temperatuursverschil binnen-buiten.

De gemiddelde windsnelheid tijdens de metingen lag hoger dan het globale jaarlijkse gemiddelde. Dat leidt tot een lichte overschatting van de HLC door een hoger infiltratievoud. Het resultaat van de meting is: HLC = 415 W/K.

Die waarde kan vergeleken worden met de verwachte waarden van een eenvoudige stationaire berekening volgens de EPB-methode. Daarbij wordt de veronderstelling gemaakt dat het binnen constant 18°C is, dat de buitentemperatuur ook constant is (6.3°C in december) en dat er een constant verlies is door infiltratie. Verder worden enkele aannames gemaakt, namelijk dat er geen warmteverliezen zijn door de gemene muren met de burens, en dat de aangrenzende traphal op een 'gewogen gemiddelde' temperatuur staat. Dat levert dan een theoretische HLC van 241 W/K: veel lager dan de gemeten waarde. De reden daarvoor is dat de aannames niet deugen: er waren in werkelijkheid wel aanzienlijke warmteverliezen naar de buurappartementen, en de luchtdichtheid is in werkelijkheid ook anders dan wat standaard wordt aangenomen. Uit de blowerdoortest bleek namelijk dat de permeabiliteit van de schil v_{50} gemiddeld 14 m³/m²u is in plaats van 12 m³/m²u (zie lager).

Door deze belangrijke factoren aan te passen in de EPB-berekening, bekomen we een gecorrigeerde waarde van 476 W/K, wat niet zo sterk verschilt van de meetwaarde (415 W/K). We kunnen dus deze beide waarden aannemen als representatief voor de prestaties van het appartement vóór de renovatiewerken.

Door het verloop van de werken kunnen we nog geen metingen uitvoeren op het gerenoveerde gebouw. Ondanks het aflopen van dit onderzoek in 2021, voorziet het WTCB in de winter van 2022-2023 een twee meetcampagne om de impact van de renovatie op de HLC te kunnen meten.

Luchtdichtheidsmetingen

Ter gelegenheid van de co-heatingtest werd ook een blowerdoor-test uitgevoerd op 3 december 2019 volgens de bepalingen van de NBN EN ISO 9972:2015. Uit het gemiddelde van de metingen in overdruk en onderdruk werden volgende resultaten bekomen voor een overdruk of onderdruk van 50 Pa: een lekdebiet q_{50} van 826 m³/h, een ventilatievoud n_{50} van 5.51 1/u.

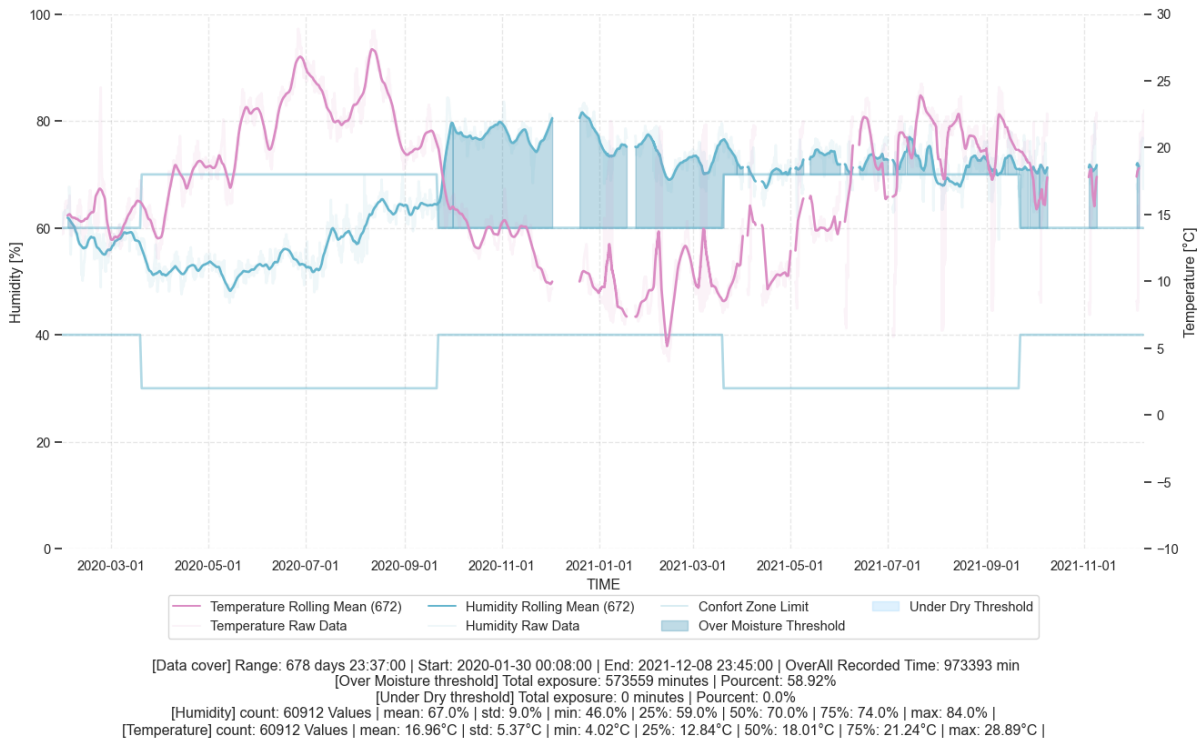
Binnenklimaat

Vanaf februari 2020 is het binnenklimaat gelogd. Sensoren voor temperatuur en relatieve vochtigheid zijn geplaatst in de woonkamer, de slaapkamer en de badkamer (Figuur 191 tot Figuur 196). In vergelijking met data van andere projecten, valt onmiddellijk op dat de spreiding van de meetpunten groter is doordat het binnenklimaat het grootste deel van het jaar niet geconditioneerd is. Er wordt maar zelden gestookt. Voor de rest van de tijd kun je het klimaat eigenlijk beschouwen als de respons van het gebouw op het buitenklimaat. Je ziet dan ook bijvoorbeeld dat de punten van de verschillende winters en die van de verschillende lentes niet op elkaar vallen maar eerder twee aparte wolken vormen. Er is geen sprake van te droog klimaat door stoken in de winter en ook niet van oververhitting in de zomer.



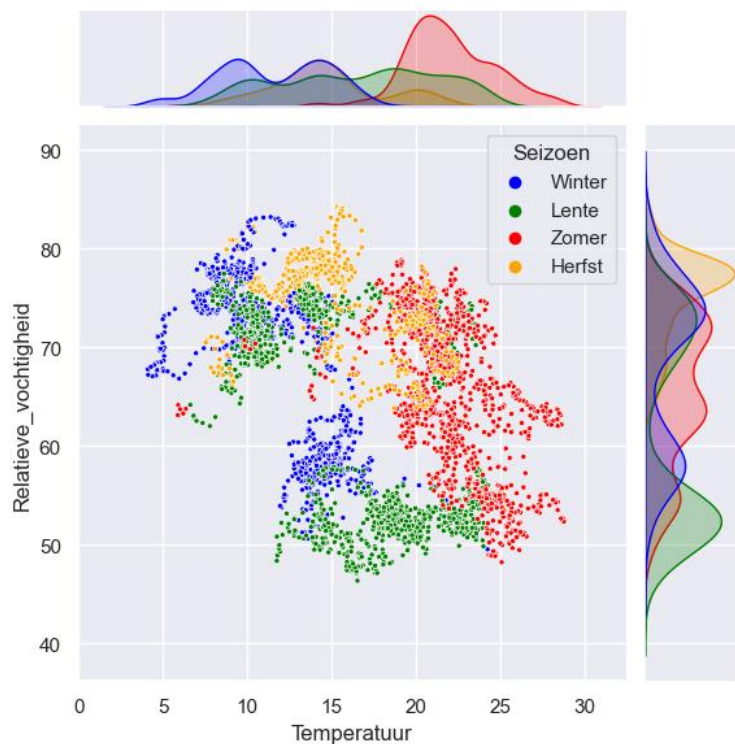
Ook merk je dat de drie kamers zich eigenlijk vrij gelijkaardig gedragen. Je zou dit appartement eigenlijk dus als één thermische zone kunnen beschouwen tijdens het grootste deel van de gemeten periode.

Wat wel aandacht verdient, is de relatieve vochtigheid die in deze grotendeels onverwarmde toestand vaak vrij hoog is. Aangezien echter deze situaties met hoge relatieve vochtigheid in het algemeen overeenkomen met lagere temperaturen, moet niet per se gevreesd worden voor gevaar op condens.

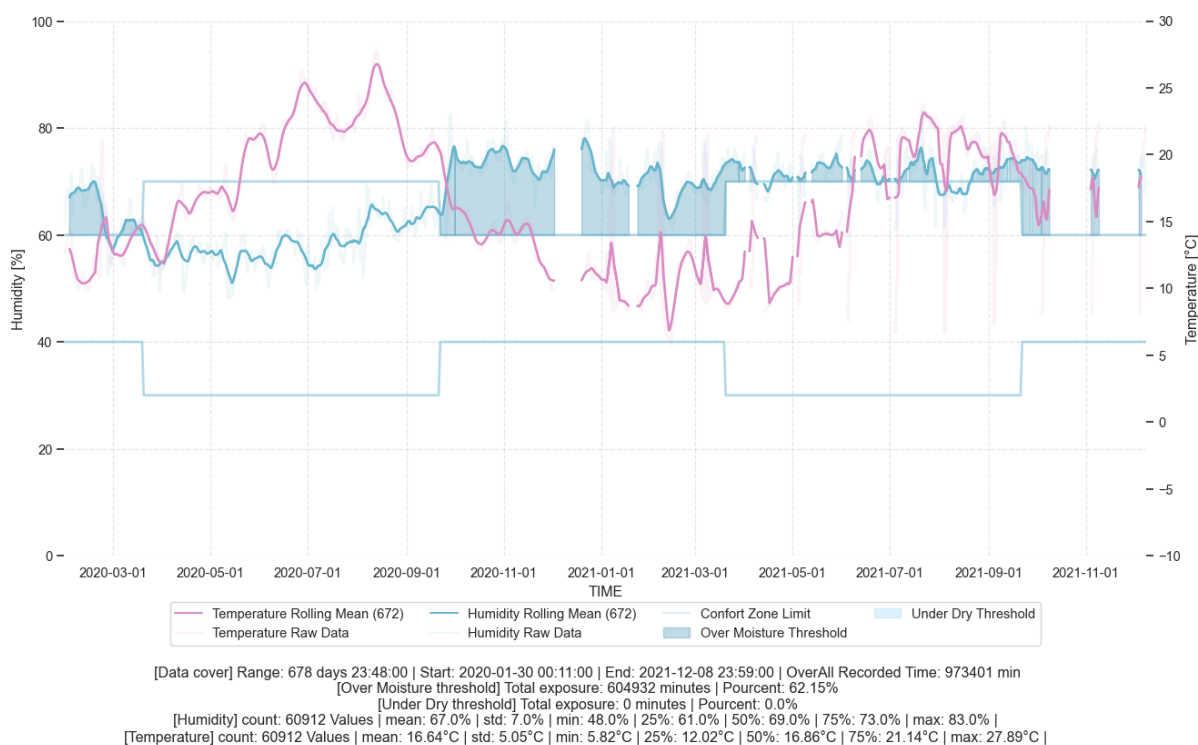


Figuur 191. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de woonkamer: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)

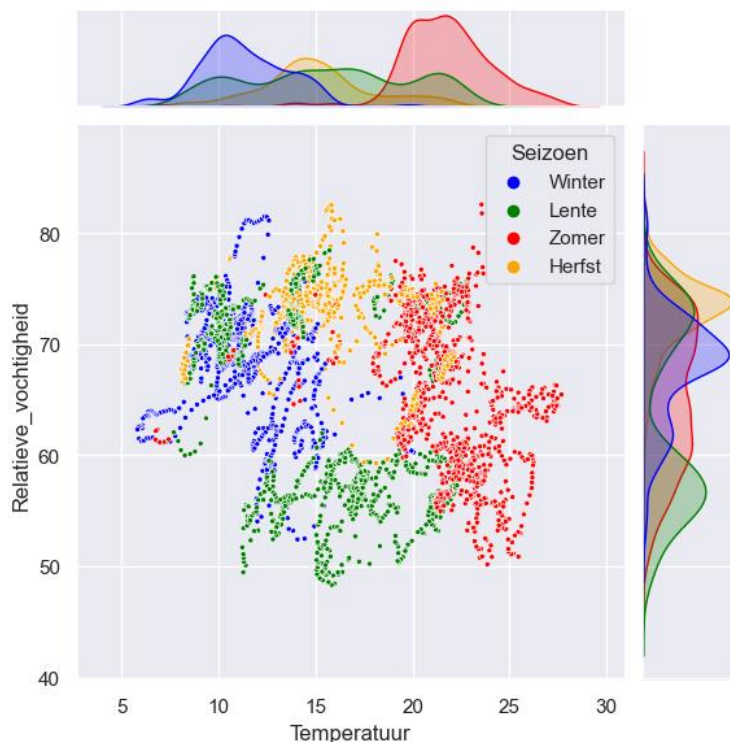




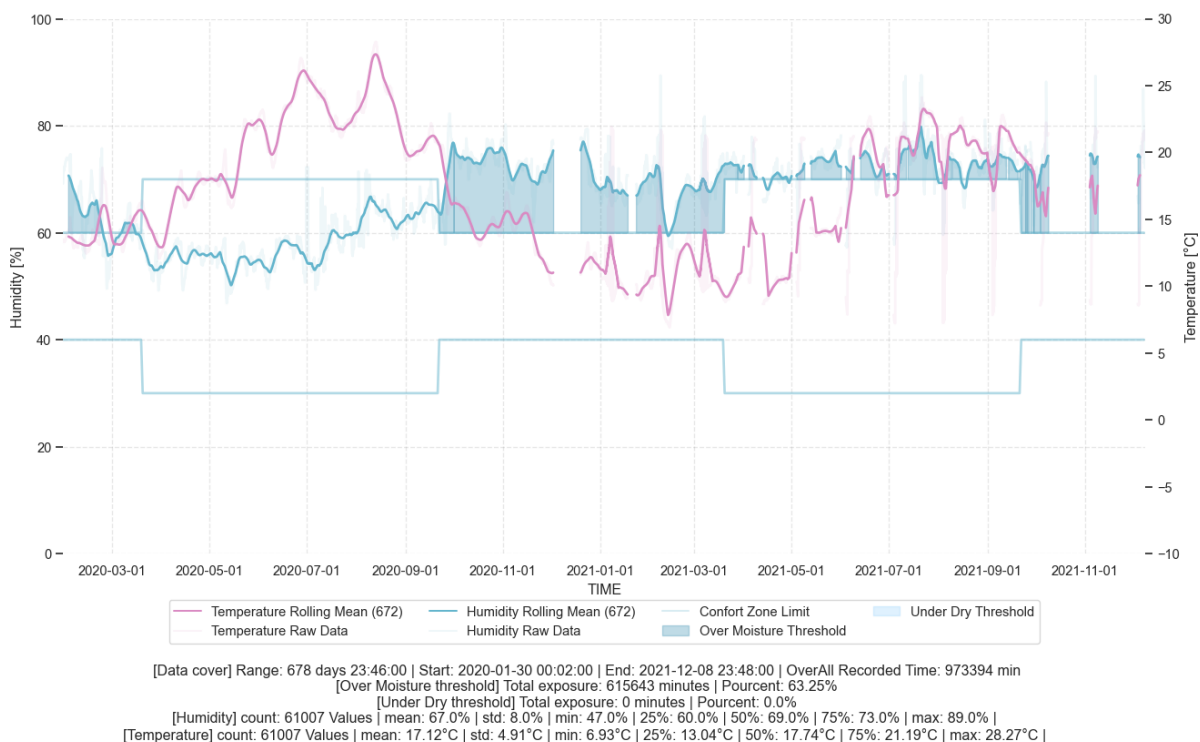
Figuur 192. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de woonkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



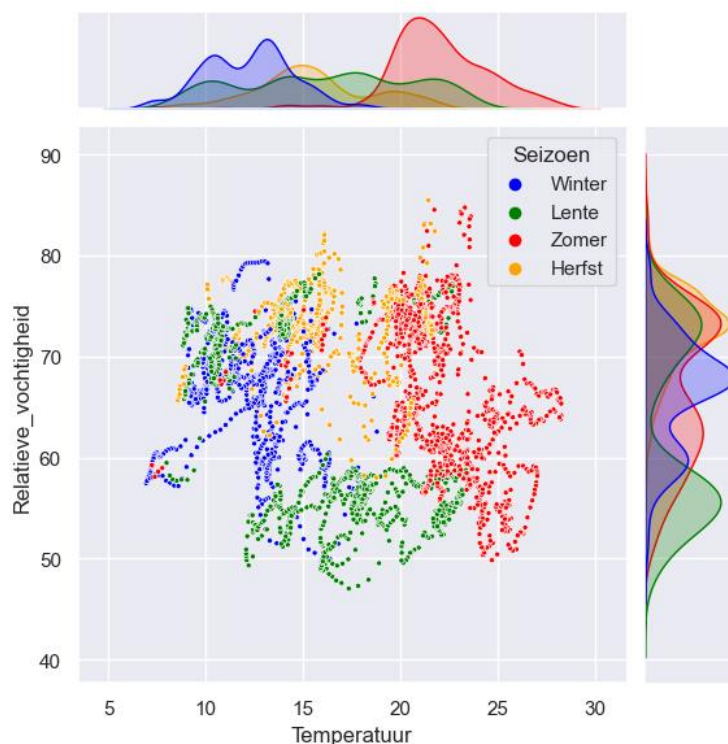
Figuur 193. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



Figuur 194. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)



Figuur 195. Temperatuur en relatieve vochtigheid in de badkamer: ogenblikkelijke en weekgemiddelde waarde. (©WTCB)



Figuur 196. Verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid in de slaapkamer, opgesplitst per seizoen: meetpunten gemiddeld per tijdstap van vier uur en kansverdelingen voor beide variabelen apart. (©WTCB)

5. Verbruiksgegevens

Aangezien het appartement slechts occasioneel gebruikt wordt, zou het te moeilijk zijn om energiefacturen te interpreteren als bron voor energieprestaties. We beschikken niet over voldoende gecombineerde gegevens van ruimtegebruik en energieverbruik om een zinvolle analyse te maken.

6. Schatting impact en besluit

Residentie Duinpark is om verschillende redenen een zeer relevant project. Het is een representatief voorbeeld van appartementsgebouwen uit de jaren 1950 tot 1970, die geen hoge erfgoedwaarde hebben, maar toch onmiskenbaar architecturale kwaliteiten die zeer de moeite waard zijn om te bewaren. De keuze tussen afbraak en nieuwbouw enerzijds en grondige renovatie anderzijds is zeker geen evidente keuze. Elk beslissingsproces is sowieso complexer aangezien de opdrachtgever een vereniging van mede-eigenaars (VME) is in plaats van één persoon, een koppel of een rechtspersoon.

Een typische eigenschap van dit soort gebouwen met een niet-dragend buitenspouwblad in een gladde baksteen (*verblendsteen* genoemd in Nederland) is dat je de dragende structuur niet ziet. Voor zover je de structuur niet uit de vorm aan de binnenkant of uit de originele bouwplannen kunt afleiden, ben je als ontwerper aangewezen op destructieve vooronderzoeken om een renovatieproject technisch te kunnen uitwerken. Tijdens de afbraakwerken wordt dan de echte toestand pas duidelijk. Dit vraagt grote inspanningen en veel knowhow van de ontwerper en grote flexibiliteit en *savoir-faire* van de aannemer.

Qua energieprestaties gelden hier dus niet de uitzonderingen voor beschermd of geïnventariseerd erfgoed. Men richt zich dus op de U_{\max} -waarden uit de regelgeving, die met de gekozen opties zonder problemen gehaald worden. Als we de transmissieverliezen van één appartement bekijken,



verwachten we daar een theoretische vermindering in primair energiegebruik van 8.9 MWh/jaar in het hypothetische geval van een volledig jaar verwarming.

Maar we weten dat die niet representatief is voor het gebruik van het appartement als weekendverblijf. Wellicht is onze methode op door middel van een dynamische co-heatingtest een HLC (heat loss coefficient) te bepalen een beter methode. We vonden een coëfficiënt van 415 W/K voor de toestand vóór renovatie en kijken uit naar de metingen naderhand.

Referenties

J. Deltour, N. Heijmans, Rapport d'essai, Détermination du coefficient HLC au travers d'une campagne de co-heating, WTCB, 2019

C. Delmez, C. Delmotte, Rapport d'essais, Détermination de la perméabilité à l'air d'un bâtiment, WTCB, 2020



3.2.10 Projectfiche 9: Klein Rusland, Zelzate

1. Gegevens

Gebouwtype	halfopen bebouwing
Functie vóór renovatie	(sociale) woning
Functie na renovatie	(sociale) woning
Bescherming	De wijk is als geheel vastgesteld als bouwkundig erfgoed sinds 28-11-2014 (aanduidingsobject ID 91036, besluit ID 5825)
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	100 m ² (per woning)
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	niet bekend
EPC-kengetal vóór renovatie	niet bekend
EPC-kengetal ná renovatie	niet bekend

2. Beknopte beschrijving

De tuinwijk Klein Rusland werd gebouwd door de sociale huisvestingsmaatschappij Société Coopérative Locale des Habitations à Bon Marché de Selzaete voor de huisvesting van industriearbeiders tussen 1921 en 1928. Ze werd ontworpen door Huib Hoste en Louis Van der Swaelmen. Na W.O. II zijn er aanpassingen aangebracht door Geo Bontinck, Charles en Gérald Hoge.

Aan het grootste plein, het Kardinaal Mercierplein, staat de dubbelwoning met huisnummers 15 en 16. Het gaat om twee aaneen gebouwde woningen in spiegelbeeld. Beide woningen zijn (net zoals de meeste andere op de site) geconstrueerd in asbeton, een materiaal waarin hoogovenslak wordt gemengd met cement en gestort in bekistingen met uitsparingen voor de gevelopeningen. Het geheel kreeg een binnen- en buitenbepleistering.

Het asbeton is een bijzonder capillair actief materiaal, hetgeen vochtproblemen kan verklaren. Bovendien gaat het om een zeer licht materiaal, waardoor de muren een niet onbelangrijke thermische weerstand krijgen, wellicht een stuk beter dan baksteenmetselwerk van dezelfde dikte. Aan de andere kant zorgt het lichte, thermisch weinig inerte, asbeton ervoor dat het binnenklimaat veel sterker zal fluctueren met wisselende weersomstandigheden.

In de jaren 1950 werden de meeste woningen voorzien van een bakstenen buitenparament, mogelijk omwille van vochtproblemen (regendoorslag door gevels), hetgeen naar verwachting voor de rest niet bepaald veel wijzigde inzake het thermisch gedrag van de gebouwen.

Tussen 2010 en 2020 zijn uitgebreide bouwhistorische en bouwtechnische vooronderzoeken gebeurd. Het is echter niet duidelijk of de wijk al dan niet behouden zal blijven en dus gerenoveerd zal worden, dan wel afgebroken zal worden om plaats te maken voor industriële en infrastructurele ontwikkelingen. Op dit moment zijn nog maar enkele woningen bewoond.

Door de afwezigheid van een concreet renovatieproject, beperkt de bespreking zich tot de verslaggeving van een aantal uitgevoerde onderzoeken, onder meer betreffende de vochtmetingen en U-waardemetingen. Heel wat van de onderzoeken richten zich op de muren in asbeton, een materiaal dat niet goed gekend was maar dat van groot belang is voor het uitwerken van een renovatie-concept.





Figuur 197 woonblok Mercierplein 15 en 16, Wijk Klein Rusland te Zelzate (Foto: WTCB)

3.Metingen

Vochtmetingen en U-waardemetingen¹⁷

De gevel bestaat uit een binnenbepleistering (ongeveer 1 cm), een binnenspouwblad uit asbeton (ongeveer 30cm)¹⁸, een buitenbepleistering (ongeveer 1 cm,) een luchtspouw (5 cm), en een buitenspouwblad uit metselwerk (9 cm).¹⁹

De warmtestroom door de constructie werd gemeten met behulp van heat flux meters terwijl de oppervlaktetemperatuur en de luchttemperatuur aan binnen- en buitenzijde werd gemonitord met behulp van thermokoppels. De sondes werden geplaatst op twee locaties (NNW- en NNO-georiënteerd): een plaats waar het buitenblad is verwijderd (locatie #1), en een plaats waar het buitenspouwblad nog aanwezig is (locatie #2).

Indien uitgegaan wordt van de conventionele lucht-muur-overgangscoefficienten aan de binnen- en buitenzijde die ook in de EPB-berekeningen gebruikt worden ($R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ en $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)²⁰, dan bekomt men de U-waarden (air-to-air). Deze U-waarden (air-to-air) kunnen vergeleken worden met de te behalen U-waarden volgens de geldende EPB-regelgeving m.b.t. het na-isoleren van bestaande scheidingsconstructies die het beschermd volume omhullen.

¹⁷ Dit deel bevat een samenvatting van de resultaten van het verslag van 29-05-2015 opgemaakt door S. Dubois, M. de Bouw en P. Steskens van het WTCB, naar aanleiding van hun onderzoek voor het bepalen van de technische eigenschappen en vochtmonitoring van de muren van bouwplaats K. Mercierplein nr. 16 in Woonwijk Klein Rusland te 9060 Zelzate.

¹⁸ Studie i.o.v. het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap – Afdeling Monumenten en Landschappen door ir.-arch. J. Buijs: “De Tuinwijk Klein Rusland (1921-1928) te Zelzate – Studie naar de bouwtechnische en architecturale context”, p.33

¹⁹ KIK-rapport “2014.12472 – Zelzate, Woonwijk Klein Rusland Materiaal-technisch vooronderzoek” voor de dikte van de bepleisteringen.

²⁰ Hierbij moet vermeld worden dat deze R_{si} en R_{se} geen gemeten waarden zijn, maar wel in de EPB-regelgeving vastgelegde rekenwaarden, die in realiteit echter sterk afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden (ruwheid muuroppervlakte, ventilatie in de woning ...).



Op deze manier kan bepaald worden hoeveel isolatie zou moeten toegevoegd worden om aan deze eisen te voldoen. Deze vergelijking toont dat de gemeten waarden van 0,93 en 0,80 W/m²K op respectievelijk locatie #1 en #2 boven de te behalen waarde (0,24 W/m²K) van de geldende regelgeving wanneer bestaande muren na-geïsoleerd worden langs de buitenzijde uitkomt.

Indicatief kan hierbij vermeld worden dat men:

- In locatie #1 (zonder buitenspouwblad, U_{air-to-air} = 0,93 W/m²K) bijvoorbeeld ongeveer 9 cm PUR ($\lambda = 0,03$ W/mK) of 11 cm XPS ($\lambda = 0,035$ W/mK) isolatie nodig heeft om aan de EPB-eis te voldoen;
- In locatie #2 (met buitenspouwblad, U_{air-to-air} = 0,80 W/m²K) bijvoorbeeld ongeveer 8,5 cm PUR ($\lambda = 0,03$ W/mK) of 10,5 cm XPS ($\lambda = 0,035$ W/mK) isolatie nodig heeft om aan de EPB-eis te voldoen.²¹

Ook werd de λ -waarde van het asbeton, dat de draagstructuur van de woningen uitmaakt, bepaald. Hiervoor wordt uitgegaan van de gemiddelde surface-to-surface U-waarde die gemeten werd in locatie #1. De gemeten surface-to-surface U-waarde in locatie #1 incorporeert zowel het asbeton als de bestaande binnen- en buitenbepleistering. Op basis van een rapport van het KIK²² kan de soort binnen- en buitenbepleistering evenals de bijhorende gemiddelde diktes en dichtheden bepaald worden. Met deze informatie wordt vervolgens de λ -waarde van het asbeton ingeschat. De λ -waarde voor het asbeton wordt berekend op 0,336 W/mK. De metingen geven aan dat we – voor een half-poreuze betonsoort – met een goed isolerende asbeton te maken hebben.

Naast de bepaling van de thermische eigenschappen werd een (oriënterende) vocht diagnostiek van de muren in de woning nr.16 uitgevoerd. Om de toekomstige ingrepen op de buitengevels grondig te kunnen evalueren, is het immers essentieel om een goed zicht te krijgen op de mogelijke vochtproblemen in de muren van de woningen te Klein Rusland.

De resultaten van de uitgevoerde carbidemetingen tonen op het gelijkvloers onder de membranen zowel aan de voor- als aan de achtergevel vochtigheidspercentages rond 5%. De vochtprofielen van de voor- en achtergevel tonen aan dat het vochtigheidsgehalte daalt naarmate de meethoogte stijgt

Ook de resultaten van de dataloggers lijken dit resultaat in eerste instantie te bevestigen. Gezien de hoge plaatsing van het waterkeringsmembraan, de twijfelachtige efficiëntie ervan en de gemeten vochtpercentages lijkt een behandeling tegen opstijgend vocht aangewezen, zeker indien er isolatiemaatregelen genomen worden. Het kan bovendien zijn dat bovenstaande bevindingen bijgestuurd moeten worden wanneer er een beter zicht verkregen is op de toestand van de muurvoet, waarvoor nog geen endoscopisch onderzoek uitgevoerd werd: indien zich daar bijvoorbeeld in de spouw mortelgruis of andere verontreinigingen bevinden, kunnen deze een vochtbrug veroorzaken. Om dit op te lossen moeten andere (bijkomende) interventies uitgevoerd worden dan bij opstijgend vocht.

Op de verdieping wordt een zéér hoog vochtgehalte gemeten (> 10 %). Dit toont aan dat er op moment van de meting vochtinfiltratie (vermoedelijk via dak en/of schouw) aanwezig is. Dit moet hersteld vooraleer andere ingrepen uit te voeren.

Onderzoek waterwerende behandeling asbeton

Uit het onderzoek 'Proefverslag behandelbaarheid van asbeton tegen opstijgend grondvocht' van Yves Vanhellemont van het WTCB d.d. 12-09-2012 bleek dat gezien de zeer poreuze, open structuur van de asbeton, de toepassing van vloeibare injectieproducten tot aanzienlijke productverliezen zou leiden.

²¹ De huidige spouw bedraagt slechts 5 cm.

²² KIK-rapport "2014.12472 – Zelzate, Woonwijk Klein Rusland Materiaal-technisch vooronderzoek"



Petrografische analyses asbeton

De grindfractie bestaat uit slakken met een onregelmatige vorm en een grootte die varieert van 10 μm tot 1,5 cm. De slakken komen voor in twee verschillende soorten samenstellingen, soms ook een mengeling van de twee. De eerste soort zijn metallische slakken die waarschijnlijk ijzeroxiden bevatten door hun rode kleur. De tweede soort heeft een glasachtig voorkomen en vertonen melilietkristallen. Soms worden er gebrande kwartskorrels en mangaandrietten in teruggevonden. Aangezien de grootte van de slakken zo breed varieert (10 μm - 1,5 cm) is er ook een fractie aartwezig als zand. Verder worden er afgeronde tot ronde kwartskorrels teruggevonden met een grootte die varieert van 50 μm tot 200 μm . In de slijpplaatjes konden geen asbestvezels teruggevonden worden. De granulometrie tussen de grind- en zandfractie is continu en de verschillende fracties zijn homogeen verdeeld.

Als cement is waarschijnlijk een portlandcement met een grove korrel gebruikt. Ook kunnen er kleine en grote hoogovenslakken waargenomen worden. Sommige hoogovenslakken vertonen een ijzerhoudende reactierand. Aangezien het gaat om een oud beton, kan in België dit type cement niet met zekerheid gelijkgesteld worden met een cementtype CEM III volgens de norm NBN EN t97-t

Referenties

- V. Bams, D. Nicaise, Y. Vanhellefont, Petrografische analyse voor 2 stalen asbeton, WTCB (project DE622x804), 2012
- M. de Bouw, S. Dubois, P. Steskens, Bepaling thermische eigenschappen en vochtmonitoring van de muren, WTCB, 2015
- B. Dooms, bepaling van de druktsterkte op betonnen cilinders, WTCB (project DE622x804), 2012
- Y. Vanhellefont, Interne procedure voor testen van injectieproducten tegen opstijgend grondvocht – aangepaste procedure voor cilindervormige proefstukken, WTCB, 2012
- J. Vrijders en Y. Vanhellefont, Asbeton: economische en gezondheidsafweging slopen & storten of behouden, WTCB (project DE622x804), 2012



graaddagenmethode ²³ genormaliseerd naar een standaardjaar om enigszins rekening te houden met de jaarlijkse verschillen in het weer.

Als we de getallen bekijken, valt op dat de gekende waarden voor energieverbruik vóór renovatie laag liggen. Er is weinig geweten is over het gebouwgebruik en het comfort. Het is waarschijnlijk dat zo'n laag verbruik overeenkomt met het partieel verwarmen van de woning of met een lage insteltemperatuur van de verwarming.

Na renovatie ligt het gasverbruik per vierkante meter per jaar tussen de 70 en 225 kWh met een gemiddelde van 130 kWh/m²jaar. De hoge waarden komen overeen met de gevallen waar slechts zeer gedeeltelijk gerenoveerd is.

- Het maximum verbruik komt voor bij een begijnhofhuisje (in Sint-Amandsberg) waar enkel de zoldervloer geïsoleerd is, waar de meeste ramen nog authentiek zijn en waar een bejaarde dame in woont die het graag warm heeft.
- Het laagste verbruik komt voor bij een hoekwoning (in een voormalige hoeve in Bilzen) die zeer ingrijpend gerenoveerd is.

De geschatte berekende besparing ligt vaak zeer hoog in vergelijking met de getallen voor het werkelijk verbruik. In vier van zeven gevallen waar de vergelijking gemaakt kan worden, ligt die geschatte besparing zelfs hoger dan het werkelijke verbruik na renovatie.

Ten eerste leert dit ons dat de gekende effecten van pre-bound en rebound in het energieverbruik bij renovatie zeer belangrijk zijn in deze groep van praktijkgevallen. Ten tweede is ook duidelijk dat er twee subgroepen te onderscheiden zijn in deze cases naargelang de aanpak en de gerealiseerde theoretische en werkelijke energiebesparing:

- De projecten waarbij aanzienlijke ingrepen gedaan zijn (worden) die leiden tot een drastische vermindering van het theoretisch verwachte verbruik, die zich vertaalt in een gunstig werkelijk verbruik. Dit zijn de projecten waarbij zowel ramen als daken aangepakt zijn. Het gaat om: Het herenhuis in Diest, Blondeswinning in Bilzen, het begijnhofhuis in Diest, de Woning Billiet en de Residentie Duinpark. In twee van deze gevallen wordt/werd ook een deel van de muren geïsoleerd.
- De projecten waarbij - ofwel door uitzonderlijke erfgoedwaarden ofwel door beheerskeuzes - eerder bescheiden/voorzichtige ingrepen uitgevoerd zijn en waarbij de energiebesparing getemperd is. Hieronder vallen het Nouvelle Maison in Tervuren en de drie begijnhofhuisjes in Sint-Amandsberg.

Het Huis Boisschot in Zaventem leunt aan bij de eerste groep aangezien een doorgedreven isolatie van het dak is uitgevoerd, maar de keuze om het waardevol schrijnwerk deels te bewaren en niet over te gaan tot grootschalige vervanging, houdt uiteraard een compromis in en zorgt ervoor dat de energievraag aanzienlijk blijft.

De aanpak in de eerste subgroep is nog niet helemaal te vergelijken met een Ingrijpende Energetische Renovatie²⁴. Daarvoor wordt namelijk onder meer vereist dat minstens 75% van de schil wordt geïsoleerd. Behalve bij het begijnhofhuis in Diest en deels in de Woning Billiet is er nergens isolatie van muren toegepast. Daardoor wordt deze specificatie niet gehaald.

²³ <https://www.gas.be/nl/graaddagen/>, geraadpleegd op 1 september 2021.

²⁴ <https://www.energiesparen.be/EPB-pedia/indeling-gebouw/IER>, geraadpleegd op 29 september 2021



3.5 BREDER KADER: ERFGOEDGEBOUWEN

3.5.1 Aantal erfgoedgebouwen ten opzichte van totaal aantal gebouwen

We vergelijken enkele gegevens over het gebouwenbestand in Vlaanderen met onze gegevens over erfgoedpremies. De algemene gegevens in Tabel 11 zijn overgenomen uit de Vlaamse langetermijnvisie op renovatie met 2050 als horizon.²⁵

Volgens Statistiek Vlaanderen (dat gegevens van Statbel gebruikt) waren er begin 2020 in totaal bijna 3.3 miljoen woningen in het Vlaams Gewest.²⁶ Het verschil tussen deze 3.3 miljoen en de 2.27 miljoen uit de tabel is onder andere dat een appartementsgebouw meerdere woningen bevat. In vergelijking daarmee toont Tabel 12 het aantal beschermde monumenten en stads- of dorpsgezichten en het aantal gebouwen op de vastgestelde inventaris 2021.

Woningen in het Vlaams Gewest	
Woningen vrijstaand	898 501
Woningen halfopen	587 359
Woningen gesloten	652 055
Appartementsgebouwen	131 693
Totaal	2 269 608

Tabel 11. Aantal woningen in het Vlaams Gewest, gebaseerd op gegevens uit de Langetermijnstrategie voor de renovatie van Vlaamse gebouwen (Bron: gegevens uit kadastrale statistiek van 2019).

Provincie	Bescherming	Monument	Stads- of dorpsgezicht	Geïnteriseerd bouwkundig erfgoed (vastgesteld)
West-Vlaanderen	3 090	2 778	219	27 650
Oost-Vlaanderen	3 449	2 923	375	19 815
Antwerpen	3 191	2 698	269	15 579
Vlaams-Brabant	1 946	1 473	289	5 951
Limburg	2 131	1 572	419	5 906
Totaal Vlaams Gewest	13 807	11 444	1 571	74 901

Tabel 12. Aantal beschermingen, beschermde monumenten en stads- of dorpsgezichten en aantal inventarisitems, gebaseerd op een online zoekopdracht augustus 2021. (Bron: Agentschap Onroerend Erfgoed)

Deze gegevens zijn verkregen uit een zoekopdracht in de online inventaris onroerend erfgoed²⁷, door het type behoudsinstrument (bescherming als monument, bescherming als stads en dorpsgezicht of vastgesteld bouwkundig erfgoed) en de provincie als zoekterm in te geven. We weten daarmee nog niet:

²⁵ Langetermijn strategie voor de renovatie van Vlaamse gebouwen, Vlaamse Regering, mei 2020, <https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/Vlaamse%20langetermijnrenovatiestrategie%20gebouwen%202050.pdf>, geraadpleegd op 01-09-2021

²⁶ <https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/woningvoorraad>, geraadpleegd op 01-09-2021

²⁷ <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/aanduidingsobjecten/zoeken>, geraadpleegd 01-09-2021

- Bij de monumenten: hoeveel monumenten er van elk type zijn; woningen, kerken of kapellen, gedenkteken, commerciële of industriële gebouwen, onderwijsgebouwen, ...
- Bij de stads- en dorpsgezichten: hoeveel gebouwen ervan deel uitmaken. Dit kan uiteraard sterk uiteenlopen.

Bovendien hebben we de beschermde cultuurhistorische landschappen niet vermeld, maar daar kunnen ook nog heel wat verwarmde gebouwen toe behoren.

Er zijn heel wat monumenten die tegelijk ook behoren tot een beschermd stads- of dorpsgezicht. Wat beschermd is, is ook opgenomen in de inventaris. Sommige gebouwen worden dus dubbel geteld als we die getallen eenvoudigweg optellen.

Een andere belangrijke opmerking is dat de vaststelling en de actualisatie van de objecten op de inventaris (nog) niet in zijn geheel op uniforme wijze is doorgevoerd over heel het gewest. De getallen in de laatste kolom van Tabel 12 zijn dus misschien een overschatting voor wat betreft de provincies Oost- en West-Vlaanderen, waar nog een actualisatie moet gebeuren. Om het percentage aan woningen op het totale beschermde of geïnventariseerde bestand in te schatten, kan de typologie *woningen* aangevinkt worden bij de zoekopdracht. Dit leidt tot volgende cijfers (zoekopdracht september 2021):

- 6 874 woningen op 13 777 beschermde monumenten (50%);
- 63 839 woningen op 87 527 geïnventariseerde panden (73%).

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het hier gaat over de oorspronkelijke typologie bij de bouw. Uiteraard zijn veel gebouwen die als woning gebouwd werden ondertussen omgevormd tot gebouwen met een andere functie. Anderzijds zullen ondertussen ook wel verschillende beschermde monumenten met andere typologieën omgevormd zijn tot woningen.

Uitgaande van bovenstaande cijfers zou men volgende afgeronde schattingen kunnen maken:

- er zijn ongeveer 7 000 beschermde gebouwen met woonfunctie, ofwel 0.3% van alle woongebouwen;
- er zijn ongeveer 65 000 geïnventariseerde gebouwen met woonfunctie, ofwel 2.9% van alle woongebouwen.

3.5.2 Gemiddelde energieprestaties van erfgoedgebouwen

Uitgaande van de veronderstelling dat het overgrote deel van de monumenten en een groot deel van de geïnventariseerde gebouwen dateren van voor de Tweede Wereldoorlog, lijkt het zinvol om gemiddelde energieprestaties per bouwjaar op te splitsen. Tabel 13, overgenomen in de langetermijnvisie voor de renovatie van Vlaamse gebouwen²⁸, geeft de gemiddelde EPC-score van oudere woningen.

In 2017 werd een koppeling gemaakt van de EPC-databank via CRAB (het Centraal ReferentieAdressenBestand van Informatie Vlaanderen) aan de databank beschermde monumenten²⁹. De EPC-databank van het VEKA telde op dat moment in totaal 1 048 576 records van gebouwen waaraan één of meerdere energiescores waren toegekend. In 6229 gevallen ging het over monumenten, zowel woning als gebouwen met niet-residentiële functie. Informatie over het type (vrijstaand, halfopen, rijwoning of appartement) is gekend voor zover vermeld in het EPC-certificaat.

²⁸ Langetermijn strategie voor de renovatie van Vlaamse gebouwen, Vlaamse Regering, mei 2020, p.20.

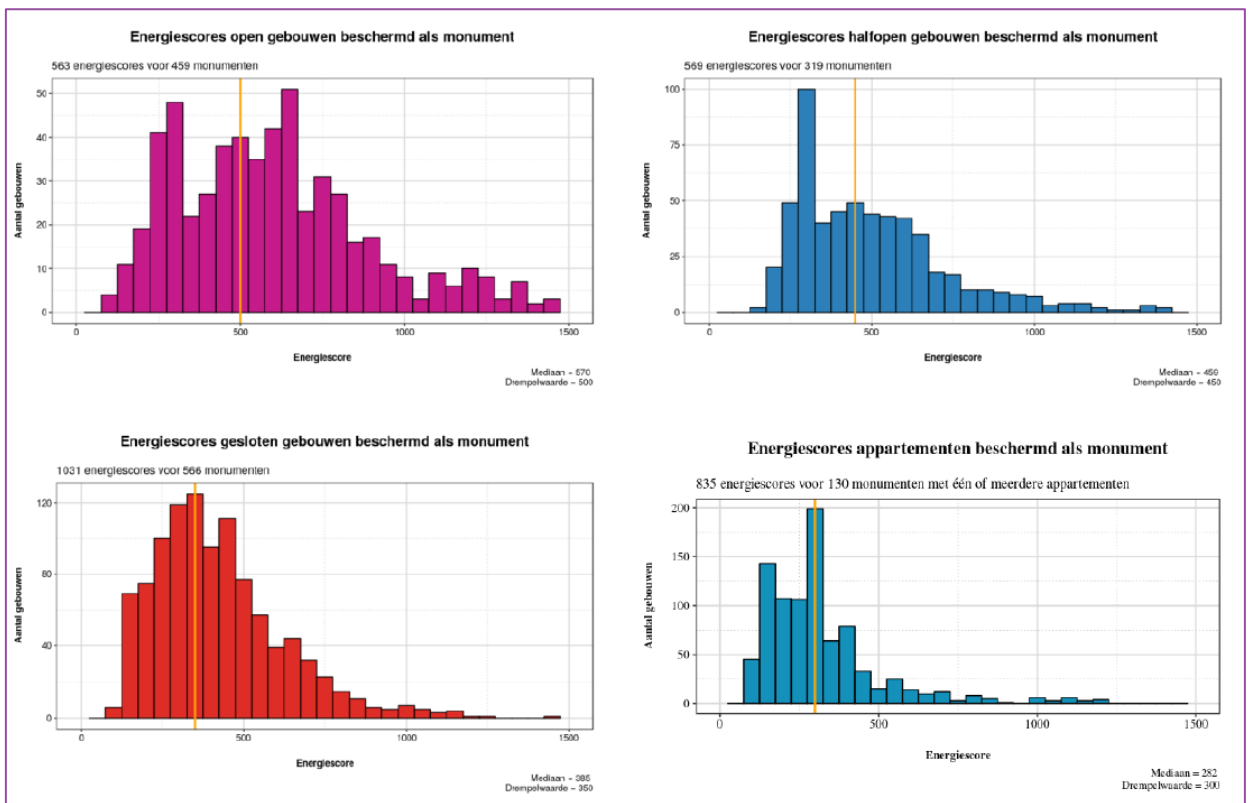
²⁹ Informatie vervat in een ongepubliceerde nota van het Agentschap Onroerend Erfgoed met als onderwerp *Wijziging technische fiche Vlaamse Wooncode – impact op beschermd erfgoed* aan minister Bourgeois uit 2017.



De wooneenheden in beschermde gebouwen scoren in het algemeen iets minder goed dan de drempelwaarde die de Vlaamse Wooncode vooropstelt, behalve wat betreft de appartementen. De invloed van compactheid en schildelen in contact met andere verwarmde zones blijkt duidelijk uit de cijfers: open bebouwingen scoren slechter dan halfopen en halfopen slechter dan gesloten. Op dat vlak lopen de verschillen tussen te gebouwtypes gelijk met die van nieuwbouwwoningen. De verdeling per type lijkt min of meer lognormaal met een lange staart naar rechts. Door het aanzienlijke aantal uitschieters is de mediaan meer geschikt dan het gemiddelde als richtwaarde. Het is belangrijk om in gedachten te houden dat de EPC's representatief zijn voor een moment van verkoop of verhuring en vaak niet de toestand ná renovatie weergeven. Vaak koopt een eigenaar een pand, krijgt daarbij een EPC, renoveert het pand en laat geen EPC of EPB opstellen van de nieuwe, energiezuinigere toestand. De gegevens geven dus een negatiever beeld dan de realiteit.

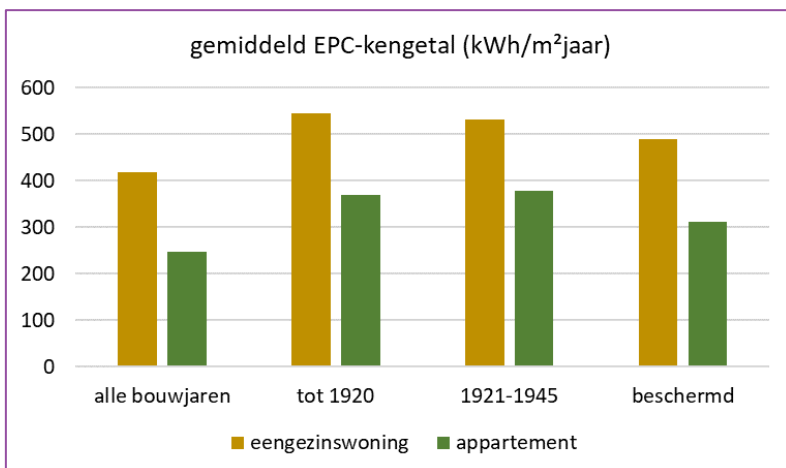
	Appartement		Collectief woongebouw		Eengezinswoning	
	Aantal	Kengetal	Aantal	Kengetal	Aantal	Kengetal
<=1920	17425	369	888	395	46868	545
1921-1945	18905	378	652	413	70027	533
1946-1970	110039	338	1032	389	190028	539
1971-1985	80143	268	249	323	93726	406
1986-1995	56628	244	202	255	47186	322
1996-2005	69596	195	155	237	41367	233
>2005	31857	153	130	177	11108	182
EPB vanaf 2006	149319	112	1539	121	142574	110
onbekend	110496	351	2222	390	205089	529
Totaal(Jaren)	644408	248	7069	320	847973	418
Totaal appartement, collectief woongebouwe een eengezinswoning					1499450	

Tabel 13. Gemiddelde kengetallen woongebouwen in functie van bouwjaar en type woongebouw. (Bron: EPC-databank en EPB-databank, VEKA, februari 2020).



Figuur 198. Histogrammen van de EPC-kengetallen van beschermde monumenten in het Vlaamse Gewest, opgedeeld naar type. De drempelwaarde die is weergegeven met een oranje lijn is gebaseerd op de Vlaamse Wooncode. (Bron: Agentschap Onroerend Erfgoed en VEKA, interne nota.)

Als we deze scores vergelijken met gemiddelde scores voor het hele woningenbestand, blijkt dat beschermde appartementen gemiddeld 26% hoger scoren en beschermde woningen 17% hoger (Figuur 199). De groep van beschermde gebouwen als geheel scoort evenwel beter dan het gemiddelde van de oude woningen met bouwjaar tot 1920 en die met bouwjaar van 1921 tot 1945.



Figuur 199. Gemiddelde EPC-score van het hele Vlaamse gebouwenbestand in 2020 in vergelijking met de gemiddelde EPC-score van beschermde woningen (data uit 2018). (Bron: Agentschap Onroerend Erfgoed en VEKA, interne nota.)



3.5.3 Context van de gegevens: regelgeving energieprestaties

De standaard regels voor een renovatie waarbij een omgevingsvergunning vereist is, zijn de volgende (geldig voor aanvragen vanaf 1 januari 2021)³⁰:

EPB-eisen (eisen op het vlak van ENERGIEPRESTATIE en BINNENKLIMAAT)		BESTEMMING		
AARD VAN HET WERK		wonen	niet-residentieel	industrie
nieuwbouw (of gelijkwaardig)	thermische isolatie	maximaal S31 (wooneenheid) en maximale U-waarden	maximale U-waarden	maximaal K 40 (gebouw) en maximale U-waarden
	energieprestatie	maximaal E 30 (wooneenheid)	maximaal E-peil* (in functie van de functionele delen)	-
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen en beperken van risico op oververhitting (wooneenheid)	minimale ventilatievoorzieningen	minimale ventilatievoorzieningen
	hernieuwbare energie	≥ 15 kWh/m ² .jaar	≥ 20 kWh/m ² .jaar	
	installaties	-	-	minimale installatie-eisen
ingrijpende energetische renovatie	thermische isolatie	maximale U-waarden (voor nieuwe en na-geïsoleerde delen)		-
	energieprestatie	maximaal E 70 (wooneenheid)	maximaal E-peil (in functie van de functionele delen)	volg de eisen bij renovatie
	installaties	-	-	
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen		
	hernieuwbare energie	≥ 15 kWh/m ² .jaar	≥ 15 kWh/m ² .jaar	-
renovatie	thermische isolatie	maximale U-waarden (voor nieuwe en na-geïsoleerde delen)		
	energieprestatie	-		
	installaties	minimale eisen (voor nieuwe, vernieuwde of vervangen installaties)		
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen (voor bestaande ruimten bij vervanging van vensters en voor nieuwe ruimten)		ventilatie-eisen (voor het nieuw gebouwde toegevoegde deel)

Figuur 200. Eisen voor bouwprojecten met stedenbouwkundige vergunningsaanvraag of melding van 1 januari -31 december 2021.

De uitzonderingsregels op de EPB-regelgeving voor **beschermde gebouwen** zijn de volgende:

- Vrijstelling van de maximale U-waarden voor andere constructieonderdelen dan daken en vloeren. Enkel daken en vloeren moeten dus aan de maximale U-waarden voldoen.
- Vrijstelling van de ventilatie-eisen. In de software mag u voor de vrijgestelde ruimten rapporteren dat er geen ramen vervangen zijn. Anders gaat de software onterecht een boete genereren.

Met als extra regels (uitzondering op de uitzondering):

- Voor de uitbreiding, gedeeltelijke herbouw of ingrijpende energetische renovatie (inclusief een functiewijziging groter dan 800 m³) van deze gebouwen gelden deze vrijstellingen niet.
- Er is geen vrijstelling van de installatie-eisen.
- Vrijgestelde constructieonderdelen voert u niet in de EPB-software in, ook al werden deze vernieuwd. Anders toetst de EPB-software ze onterecht af aan de EPB-eisen.

Deze laatste uitzondering verklaart waarom het VEKA geen info heeft over verbetering van energieprestaties van muren en schrijnwerk van gerenoveerde monumenten of gebouwen in beschermde stads- of dorpsgezichten (of cultuurhistorische landschappen).

De uitzonderingsregels op de EPB-regelgeving voor **geinventariseerde gebouwen** (die niet beschermd zijn), zijn gelijkaardig:

- vrijstelling van de maximale U-waarden voor de gevelonderdelen (muren en ramen) die *zichtbaar zijn vanaf de openbare weg*;
- vrijstelling van de luchttoevoereisen in de ruimten waar alleen ramen die zichtbaar zijn vanaf de openbare weg, worden vervangen. In de software mag u voor de vrijgestelde ruimten rapporteren dat er geen ramen vervangen zijn. Anders gaat de software onterecht een boete genereren.

³⁰ <https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/epbeisentabel2021.pdf> , geraadpleegd op 01-09-2021

Verder gelden dezelfde bijkomende regels als voor de beschermde gebouwen.

EPB-regels zijn enkel van toepassing op dossiers waarvoor een omgevingsvergunning vereist is. Voor bepaalde renovatiewerken geldt echter geen vergunningsplicht, maar een meldingsplicht (een 'light' versie). Het kan bijvoorbeeld gaan om vervanging van ramen naar bestaand model. Bij meldingsplichtige werken is het niet steeds duidelijk of er ook een EPB-verplichting geldt.

Werken aan geïnventariseerde panden worden toegelaten door de gemeenten, die daarvoor al dan niet beroep doen op een eigen erfgoeddienst of een intergemeentelijke onroerenderfgoeddienst (IOED). Enkele relevante kwantitatieve gegevens over de gangbare praktijk zijn te vinden in een recent onderzoeksrapport over geïnventariseerd bouwkundig erfgoed.³¹ De bron van de hier verzamelde gegevens werd aangereikt door het VEKA: zij stelden alle EPB-dossiers waarbij in de startverklaring het vakje voor geïnventariseerd erfgoed aangevinkt was van 2015 tot 2020 ter beschikking van de onderzoeksgroep.

De algemene bevinding is dat vrij vaak gebruik wordt gemaakt van de mogelijkheid voor vrijstelling:

- 147 EPB-startverklaringen in 2015 (op een totaal van 46 266, dus 0.3%)³²
- 191 EPB-startverklaringen in 2019 (op een totaal van 51 0359, dus 0.4%)

Tussen 65 en 70% van deze verklaringen hadden betrekking op woningen (zie ook hoger: 73% van de geïnventariseerde panden was bij de bouw een woning). Aanvragen voor individuele afwijkingen werden veel minder vaak ingediend: slechts 45 over de periode van 2015 tot 2020, wat een verwaarloosbaar aantal is op een totaal van een kleine 75 000 geïnventariseerde panden.

Vermoedelijk blijven echter heel wat werken aan geïnventariseerde panden onder de radar, want het is weinig realistisch dat slechts 0.3% van alle panden (200/75 000) in kwestie per jaar een renovatie ondergaat. Als ieder jaar slechts 0.3% van een gebouwbestand gerenoveerd wordt. Dat zou namelijk betekenen dat ieder gebouw – grof gerekend – gemiddeld maar eens om de 300 jaar gerenoveerd zou worden.

Specifiek met betrekking tot de vervanging van vensters, stelt deze studie duidelijk dat de overheid slechts over fragmentaire informatie beschikt, deels doordat zo'n ingrepen:

- lokale bevoegdheid zijn in plaats van gewestelijke bevoegdheid;
- raken aan drie beleidsdomeinen (omgeving, energie en erfgoed) en daardoor sneller tussen de mazen van het net glijpen.

³¹ *Analyse van de doelmatigheid van de rechtsgevolgen van vastgestelde inventarissen onroerend erfgoed*, Wim Rasschaert, Karel Verbestel, Lindsay Dedrie, Marc Martens, Jan Schreurs, Sofie Beyen, Nomie Deschuyteneer, Sylvie Van Damme en Filip Descamps, Agentschap Onroerend Erfgoed, 2021

³² Zie <https://opendata.vlaanderen.be/dataset/aantal-startverklaringen-per-gemeente> , geraadpleegd op 29-10-2021



3.6 GEGEVENS OVER AANPASSINGEN SCHRIJNWERK OP BASIS ERVARING ERFGOEDCONSULENTEN

Een klein intern onderzoek van het Agentschap Onroerend Erfgoed over het gebruik van het Afwegingskader Historisch Schrijnwerk³³ geeft een benaderend idee over het aantal dossiers waarin werken aan schrijnwerk voorzien waren. Dit levert geen rechtstreekse informatie over energetische verbetering van erfgoedgebouwen, maar is wel indicatief voor het aandeel erfgoedgebouwen waar jaarlijks aan gewerkt wordt. Dat zou namelijk hoger of lager kunnen liggen dan het gemiddelde voor alle gebouwen.

De beschouwde periode besloeg 9 maanden: van oktober 2017 tot mei 2018. In de cijfers wordt onderscheid gemaakt tussen adviezen in het kader van een omgevingsaanvraag en toelatingen voor projecten waarbij geen omgevingsaanvraag vereist is. Dat onderscheid is hier niet relevant, zodat we de data van beide subgroepen kunnen optellen. Behalve adviezen en vergunningen, werd ook het aantal aanvragen voor een premie nagegaan: de bouwheer kon zo'n premie-aanvraag koppelen aan de vraag voor toelating (Tabel 14).

Op 9 maanden tijd werd voor 1512 monumenten (op een totaal bestand van 11 444 monumenten) een aanvraag voor advies of toelating voor werken ingediend. Dat is ruim 13% van alle beschermde monumenten. Daarvan werd in minstens 9% van de gevallen herstel of vervanging van schrijnwerk voorgesteld.

Uit een steekproef bleek dat 10 van de 12 adviezen en 5 van de 9 toelatingen gunstig werden geëvalueerd, met respectievelijk in 3 en 2 gevallen extra voorwaarden. Wat betreft de premies werden 5 van de 8 gunstig beoordeeld waarvan 1 met extra voorwaarden. Twee werden voorlopig geweigerd omwille van een onvolledig dossier en 1 werd geweigerd.

Vermoedelijk wordt het grootste deel van de werken in goedgekeurde dossiers ook daadwerkelijk uitgevoerd.³⁴ Het kan bovendien zijn dat werken toch worden uitgevoerd ondanks weigering van de gevraagde premie voor meerkosten.

Adviezen alle dossiers	869	
<i>Fractie waarbij AWK gebruikt werd</i>	89	10.3 %
Toelatingen alle dossiers	643	
<i>Fractie waarbij AWK gebruikt werd</i>	47	7.3 %
Som adviezen en toelatingen	1512	
<i>Fractie waarbij AWK gebruikt werd</i>	136	9.0 %
Premieaanvragen standaardprocedure alle dossiers	580	
<i>Fractie waarbij AWK gebruikt werd</i>	65	11.2 %

Tabel 14. Aantal dossiers behandeld door het Agentschap Onroerend Erfgoed van oktober 2017 tot mei 2018 met indicatie van het aantal waarbij expliciet gebruik gemaakt werd van het afwegingskader Historisch Schrijnwerk (AWK). (Bron: Agentschap Onroerend Erfgoed)

³³ Zie <https://oar.onroerenderfgoed.be/publicaties/AKOE/3/AKOE003-001.pdf> , geraadpleegd op 29-10-2021

³⁴ Dat ligt ook in de lijn van de analyse van premies voor meerkosten (Figuur 200)

3.7 VERWERKING VAN DE GEGEVENS UIT DE DATABANK “PREMIE ENERGIEBESPARENDE MAATREGELEN”

3.7.1 Aard van de gegevens: premiedossier

De geanalyseerde dossiers betreffen een premie voor energiebesparende maatregelen die erop gericht was om eigenaars te motiveren om bij hun energetische renovatie de erfgoedwaarden zoveel mogelijk te respecteren. De premie wou eigenaars van monumenten aanzetten om samen met de toegelaten restauratiewerken ook energetische verbeteringen door te voeren door de meerkost hiervan gedeeltelijk (van 2017 tot 2018) of geheel (van 2019 tot 2020) te subsidiëren. Het doel was niet alleen om die energiebesparing te stimuleren, maar ook om de kwaliteit van de ingrepen met oog op de erfgoedwaarde te garanderen.

Voorbeelden van werken zijn: ramen vervangen door nieuwe profielen naar bestaand model, achterzetramen plaatsen en bestaande ramen te herstellen, speciale materialen of technieken toepassen bij het vernieuwen van een dak dat geïsoleerd wordt.

De precieze regels en hun evolutie zijn beschreven in Art. 11.2.4 van het Onroerenderfgoedbesluit.³⁵ De betoelaging van deze werken werd steeds aangevraagd als onderdeel van een aanvraag voor een erfgoedpremie, hetzij volgens de standaardprocedure hetzij volgens de bijzondere procedure. Gezien de focus van het project Erfgoedenergieloket op woningen lag, werden enkel de dossiers voor standaardpremies onderzocht, die een totaal plafond van 25.000 euro niet overschreden. Het was mogelijk om één premie per jaar aan te vragen voor hetzelfde gebouw. Drie types van werken werden betoelaagd:

- werken aan ramen en deuren: hetzij vervanging van beglazing, hetzij vervanging van de ramen, hetzij het plaatsen van achterzet- of voorzetramen
- werken aan een dak dat geïsoleerd werd
- werken aan een (zolder-)vloer die geïsoleerd werd.

Er werd op dat moment bewust afgezien van een premie voor isolatie van muren en voor andere werken aan ventilatie of installaties, aangezien de beslissingscriteria voor die gevallen complexer zijn. Over historisch schrijnwerk en over dakisolatie bestaan immers sedert enkele jaren door het Agentschap Onroerend Erfgoed opgestelde *Afwegingskaders* die zorgen voor een vrij vlotte en uniforme beoordeling, die ook transparant is voor de klant.³⁶

Elk aanvraagformulier bevat volgende informatie:

1. referentie naar de bescherming
2. kadastragegevens
3. of het goed al dan niet in een erfgoedgemeente ligt
4. gegevens premienemer
5. gegevens eigenaar
6. beknopte beschrijving van beheersmaatregelen, werkzaamheden of diensten
7. overzicht van de kostprijs van de werken
8. overzicht van de bijlagen

³⁵ Online kan de historiek van de wijzigingen in de Vlaamse Codex nagegaan worden.

³⁶ Zie <https://oar.onroerenderfgoed.be/publicaties/AKOE/3/AKOE003-001.pdf> en <https://oar.onroerenderfgoed.be/publicaties/AKOE/4/AKOE004-001.pdf>, beide geraadpleegd op 29-10-2021

De bijlagen zijn tamelijk dispaaraat omdat het Agentschap geen strikte vormvereisten wilde opleggen (bv. EPC-certificaat of energie-audit). Wat we bijna altijd minimaal aantreffen in goedgekeurde dossiers, is:

- motivering van de noodzaak van de maatregelen (tekst, foto's, ...)
- beschrijving van de geplande maatregelen (plannen, tekst, foto's, bestekteksten, ...)
- een ingevuld formulier (tekstbestand) met een berekening van de meerkost t.o.v. een standaard uitvoering
- een document waarin de energiebesparing op één of andere manier wordt gestaafd: hetzij een EPC-certificaat, hetzij een energieaudit (opmerking: ongeveer gelijktijdig met het openstellen van deze premie werden architecten en ingenieurs door het WTCB in het kader van dit project opgeleid om specifiek met erfgoedgebouwen om te gaan), hetzij een eigen berekening
- offertes van één of meerdere aannemers

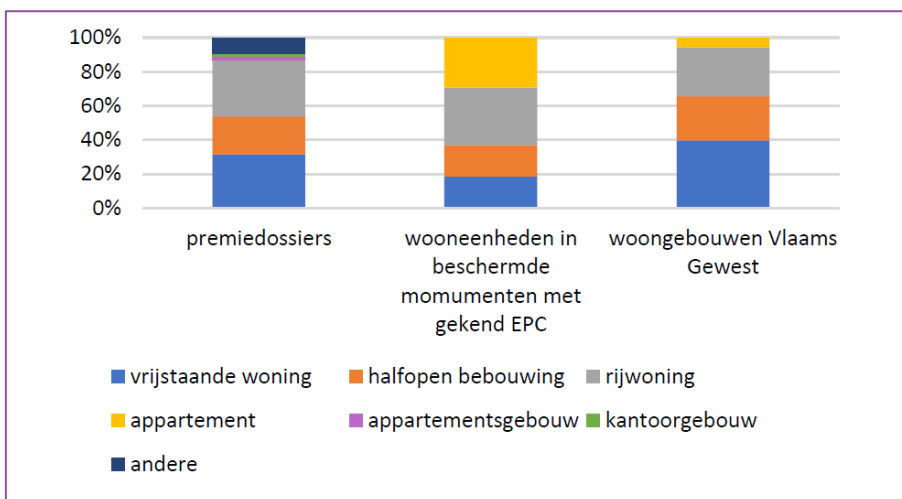
Aanvankelijk was de bedoeling dat alle voorgestelde maatregelen in een energieaudit beschreven moesten zijn, maar in oktober 2017 werden intern door het Agentschap afwijkingen geformuleerd op die verplichting (tot eind 2018), bijvoorbeeld wanneer vervanging van ramen naar historisch model opgenomen was in een beheersplan of als een nieuwe audit weinig zinvol bleek. Vanaf 2019 verviel de verplichting om een standaard rekenblad te gebruiken voor de berekening van de meerkosten.

3.7.2 Verdeling van de dossiers per bouwtype, indienjaar en dossierstatus

De meeste premiedossiers (88%) betreffen woningen. Verder waren er ook enkele kastelen bij, een school, een kantoorgebouw, ... Het ontbreken van zeer grote projecten is te verklaren door het feit dat we enkel de dossiers voor een standaardpremie analyseerden en niet die voor een bijzondere premie, die meestal veel grootschaliger zijn.

Uit de gegevens blijkt dat de premiedossiers vrij representatief zijn voor de hele groep van beschermde monumenten voor wat betreft de verhouding tussen open, halfopen en gesloten bebouwing. Maar de appartementen zijn wel duidelijk ondervertegenwoordigd (Figuur 201). In de kolom met de aantallen beschermde monumenten gaat het over wooneenheden; in de kolom met alle woongebouwen in het Vlaams Gewest gaat het over appartementsgebouwen in hun geheel. Uit het verschil tussen die twee getallen volgt een gemiddeld aantal van 5 appartementen per appartementsgebouw.



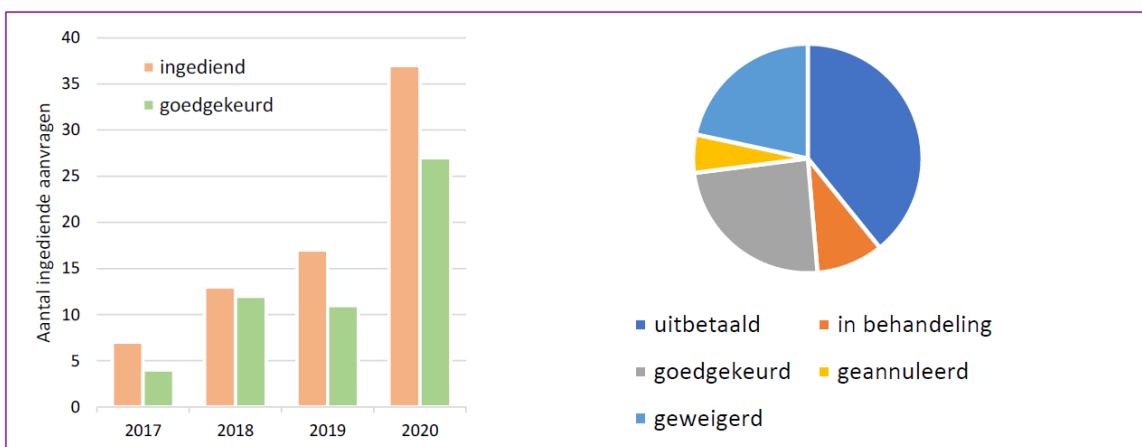


Figuur 201. Opdeling naar type gebouw: gegevens van de geanalyseerde premiedossiers versus interne data van VEKA en AOE en data uit Tabel 3.

Het totaal aantal ingediende premie-aanvragen uit de periode van 2017 tot 2020 bedroeg 74. Het aantal ingediende aanvragen nam jaar na jaar toe, mogelijk omwille van de groeiende bekendheid (Figuur 202).

De organisatie van de opleiding *Gespecialiseerde energieconsulenten voor onroerend erfgoed* in 2017 (in het kader van dit project) heeft daar wellicht eveneens toe bijgedragen. Uiteraard werden niet alle dossiers goedgekeurd; van een aantal dossiers is ook vandaag nog geen uitbetaling gebeurd en is het waarschijnlijk maar niet zeker dat de werken uitgevoerd zullen worden en uitbetaling zal volgen.

De procedure verliep in stappen: men dient de aanvraag in; die wordt goedgekeurd; men kan de werken laten uitvoeren; men dient de facturen of betaalbewijzen in en wordt uitbetaald. Aanvragers hadden/hebben na de eerste goedkeuring twee jaar de tijd om de werken uit te voeren of langer als ze een verlenging aangevraagd en gekregen hadden.



Figuur 202. Aantal aanvragen per jaar en status van de aanvraagdossiers op 1/8/2021. (bron: Agentschap Onroerend Erfgoed)

3.7.3 EPC-kengetal vóór aanvang van de werken

Bij een kleine minderheid van de gevallen (11 dossiers / 15%) was een EPC-certificaat toegevoegd, dat van toepassing was op de toestand vóór de ingrepen. Ondanks een oproep aan de premienemers om gegevens over de energieprestaties ná renovatie te bezorgen, hebben we geen dergelijke gegevens kunnen bemachtigen, waarschijnlijk omdat ze gewoonweg niet voorhanden zijn.



Het mediaan theoretisch voorspeld verbruik is 491 kWh/m²jaar, wat iets minder goed is dan het gewogen gemiddelde uit de data die gekend zijn voor de hele populatie van beschermde woningen (of althans wooneenheden in beschermde monumenten) (Tabel 15). Aangezien het aantal EPC's voor de premiedossiers laag was, zijn ze niet opgesplitst per type.

	Type bebouwing	Mediaan [kWh/m ² jaar]	Gewogen gemiddelde [kWh/m ² jaar]	Aantal
Wooneenheden in beschermde monumenten (gegevens AOE-VEKA)	Gesloten	385	424	1031
	Halfopen	459	501	569
	Open	570	597	563
	Appartement	282	313	895
	Gewogen gemiddelde		437	
Gebouwen in premiedossiers	Alle types	491	528	11

Tabel 15. Mediaan en gemiddelde van EPC-kengetallen van wooneenheden in beschermde monumenten: gegevens uit de premiedossiers versus gegevens uit de EPC-databank. (Bron : Agentschap Onroerend Erfgoed en VEKA)

3.7.4 Verwerking van de gegevens: berekening van U-waardes

Het doel van de berekening is om een ruwe kwantitatieve schatting te maken van de gerealiseerde energiebesparing. Daarvoor maken we enkel gebruik van de dossiers waarvan de werken al zijn uitgevoerd of waarschijnlijk uitgevoerd zullen worden. Dat zijn dus:

- de dossiers waarvan de premies al uitbetaald zijn
- de dossiers die goedgekeurd zijn in eerste instantie, maar waarvan nog geen bericht over uitvoering is binnengekomen
- de dossiers die goedgekeurd zijn in eerste instantie en die in behandeling zijn (vermoedelijk is bij de meeste de aanvraag voor uitbetaling in behandeling)

In totaal gaat dit om 54 van de 74 dossiers, bijna drie kwart (Figuur 202).

Er werd een pragmatische benadering gekozen om te komen tot richtwaardes voor de wijziging in transmissieverliezen door de uitgevoerde ingrepen. Daarvoor werd beroep gedaan op het zogenaamde *Transmissiereferentiedocument*³⁷ om U-waardes vóór en na de ingreep te berekenen. Enerzijds bevat dit document algemene formules en richtwaarden voor de berekening van bv. overgangswaarden, lambda-waarden en weerstand van luchtlagen. Anderzijds biedt het ook eenvoudige schattingsmethoden voor gevallen waarbij weinig geweten is over de opbouw van het bewuste schildeel. De volgende aannames werden gemaakt:

- Indien niets geweten is over oorspronkelijke beglazing en het lijkt waarschijnlijk dat het enkel glas was, nemen we U-waarde 5.6 W/m²K aan.
- Indien niets geweten is over oorspronkelijke ramen en het lijkt waarschijnlijk dat het houten profielen met enkel glas waren, dan nemen we U = 5 W/m²K.
- Voor nieuwe ramen met gekende Ug-waarde, berekenen we de U-waarde van het raam als geheel met : $U_w = 0.2 * U_f + 0.8 * U_g$. (*Transmissiereferentiedocument* p. 40 vgl. 94)
- Als de U-waarde van glas niet opgegeven wordt, kunnen volgende waarden (*Transmissiereferentiedocument* p. 43) worden gebruikt in functie van het type beglazing voor het bepalen van een schatting:

³⁷ Bijlage 4 van het MB van 28 december 2018 Ministerieel besluit houdende algemene bepalingen inzake de energieprestatieregelgeving, energieprestatiecertificaten en de certificering van aannemers en installateurs.



- Indien er isolatie tussen kepers werd geplaatst, werd er een assumptie gemaakt voor de volumefractie van de isolatie volgens Tabel 18 (*Transmissiereferentiedocument* tabel H.8 in bijlage H.)

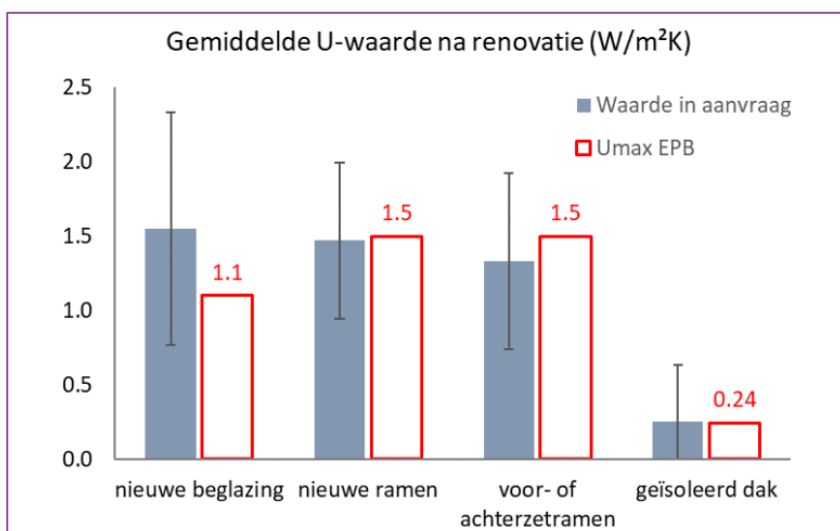
Schildeel	Onderbreking aanwezig of onbekend	Onderbreking afwezig
Hellende daken	0,15	0
Platte daken en plafonds	0,11	0

Tabel 18. Volumefractie van de onderbreking

De resultaten van die U-waardeberekening zijn samengevat in Tabel 19 en ook grafisch weergegeven in Figuur 203. Daaruit blijkt dat men bij volledige vervanging van de ramen in veel gevallen thermisch verbeterd dubbel glas kiest en zodoende vaak net binnen de maximale U-waarden van de EPB-richtlijn blijft. Vervangt men enkel het glas, dan is de motivatie daarvoor meestal het behoud van de oorspronkelijke profielen en kiest men voor een type beglazing dat meer afgestemd is op het behoud van de erfgoedwaarde. De beste prestaties worden in de feiten gehaald met achterzetramen, maar die worden niet vaak geplaatst. Vermoedelijk spelen de prijs en het uitzicht daarbij een rol.

	U _{nieuw, gemiddeld} (W/m ² K)	Stdev (W/m ² K)	n	U _{max EPB} geldig vanaf 2018 (W/m ² K)
Nieuwe beglazing	1.55	0.78	9	1.1
Nieuwe ramen	1.47	0.53	28	1.50
Ramen met voor- of achterzetramen	1.33	0.59	6	1.50
Geïsoleerde daken	0.25	0.38	13	0.24

Tabel 19. Overzicht van bekomen gemiddelde U-waarden na renovatie van ramen, beglazing en daken. In de rechterkolom wordt, ter vergelijking de normwaarde gegeven die geldig was vanaf 2018. 'n' staat voor het aantal geanalyseerde gevallen.



Figuur 203. Grafische weergave van gemiddelde berekende U-waarden van gebouwcomponenten uit de goedgekeurde premiedossiers: de staafjes geven de standaarddeviatie weer. (Bron: WTCB)

De vergelijking tussen de gehaalde U-waarde en de U_{max}-waarden die in de EPB-regelgeving vereist zijn voor ‘gewone’ renovaties, leert ons dat die U_{max} in ongeveer de helft van de gevallen gehaald wordt. Zoals hierboven vermeld, is de eis bij beschermde gebouwen enkel verplicht voor daken.

3.7.5 Van U-waardes naar energiebesparing en vermindering van CO₂-uitstoot

3.7.5.1 Principe: stationaire berekening op basis van graaddagen

Om een schatting te maken van de energiebesparing die door deze werken gerealiseerd werd, werd gebruik gemaakt van volgende berekening:

$$\Delta E_{netto} = \Delta U * A * \sum t_i \Delta T_i$$

Met E_{netto} het netto verschil in transmissieverliezen voor en na de werken; A het totale oppervlak van het vervangen of geïsoleerde gebouwcomponent; en t_i en ΔT_i de tijden en temperatuurverschillen die gesommeerd worden over een standaardjaar, uitgaande van een constante binnentemperatuur van 18°C en een buitentemperatuur die per maand op een constante waarde vastgelegd wordt, zoals gebruikelijk in de berekeningen voor EPB en EPC (Tabel 20). Die energiebesparing moet gedeeld worden door een rendement η kleiner dan 1 voor het geheel aan bijkomende verliezen (bij opwekking, distributie, regeling en afgifte) om een besparing in primair energieverbruik ΔE_{bruto} te bekomen. Om een richtwaarde te kiezen baseren we ons op een installatie op aardgas, met een HR-ketel of condenserende ketel. Redelijkerwijs kunnen we daarvoor η = 0.8 nemen, zodat:

Maand	Dagen	T _i (°C)	T _e (°C)	ΔT (°C)	Graaddagen
jan	31	18	3.2	14.8	458.8
feb	28	18	3.9	14.1	394.8
maa	31	18	5.9	12.1	375.1
apr	30	18	9.2	8.8	264.0
mei	31	18	13.3	4.7	145.7
jun	30	18	16.2	1.8	54.0
jul	31	18	17.6	0.4	12.4
aug	31	18	17.6	0.4	12.4
sep	30	18	15.2	2.8	84.0
okt	31	18	11.2	6.8	210.8
nov	30	18	6.3	11.7	351.0
dec	31	18	6.3	11.7	362.7

Tabel 20. Aantal dagen per maand en gemiddelde buitentemperatuur zoals gebruikt in de berekening van de theoretische energiebesparing. (Gegevens gebaseerd op EPB-regelgeving -identiek in de formulestructuur voor berekening van EPC).

3.7.5.2 Invloed van vereenvoudigingen

Deze benadering heeft uiteraard heel wat beperkingen, niet alleen door de vereenvoudigde aard van de formules, maar ook:

- Doordat koudebruggen verwaarloosd worden



- Doordat we weten dat deze benadering die gelijkaardig is aan die van EPB en EPC, gewoonlijk een significante overschatting van de energiebesparing geeft, door verschillende effecten die samen het ESD (Energy Savings Deficit) worden genoemd³⁸.
- Wat betreft ramen is de invloed van vernieuwde beglazing ook bepalend voor zonnewinsten: een effect dat deze aanpak niet in rekening kan brengen.
- We hebben enkel informatie over de verbetering van componenten, maar we hebben geen zicht op de uitvoering en de complexe dynamische wisselwerking tussen gebouwschil, installatie en ventilatie en luchtlekken. Afhankelijk van hoe nieuwe ramen of dakisolatie geplaatst worden, kan de ingreep tot hogere of lagere effectieve warmteverliezen leiden.

3.7.5.3 Omrekening naar besparing op CO₂-uitstoot

Willen we de reductie kennen in uitstoot van CO₂, dan dienen we een richtwaarde te zoeken voor de omzettingfactor van kWh bruto vermindering van energievraag naar kg vermindering in equivalente hoeveelheid CO₂.³⁹ Daarbij moet een veronderstelling gemaakt worden over de energiebron: voor aardgas gebruiken de gangbare methodes van EPB en EPC een waarde van 0.2 kg CO₂/kWh verbrandingsenergie. We nemen deze waarde over omwille van de Vlaamse context van onze studie, maar we merken wel op dat het IPCC gemiddeld 0.37 kg als richtwaarde hanteert.⁴⁰

Het grote verschil is misschien te wijten aan de recente bevindingen dat er vaak grote lekken zijn bij de ontginning van aardgas, iets waar in de periode van de ontwikkeling van EPB en EPC minder rekening mee gehouden werd.

$$\Delta m_{CO_2} = 0.2 \cdot \Delta E_{bruto}$$

Voor een omzetting naar volumes aardgas wordt volgende gangbare omzetting gehanteerd: 1 m³ aardgas bevat tussen 9.5278 en 12.7931 kWh.⁴¹ Het verschil is te wijten aan het onderscheid tussen hoogcalorisch en laagcalorisch gas. Per regio kan een verschillend type gebruikt worden.

Voorbeeld: Stel dat er 20 m² ramen met U = 4.5 W/m²K vervangen zijn door nieuwe ramen met U = 2.1 W/m²K, dan zou dat per jaar een besparing van 3925 kWh aan gas opleveren, wat overeenkomt met 785 kg CO₂. Op de teller zou dan 422 m³ gas minder zijn bijgekomen.

3.7.5.4 Totale energiebesparing en vermindering van CO₂-uitstoot door ingrepen in premiedossiers

Voor de 54 premiedossiers – waarvan de werken al zijn uitgevoerd of waarschijnlijk uitgevoerd zullen worden – samen is het berekende resultaat een vermindering van de netto warmtevraag van 1 200 MWh per jaar. Daarmee komt een bruto vermindering van primair energieverbruik overeen van 1 650 MWh per jaar of een jaarlijkse vermindering van ongeveer 85 ton CO₂.

Het gemiddelde per project is 23.2 MWh per jaar netto warmtevraag, oftewel 29.0 MWh bruto vermindering van primair energieverbruik per jaar⁴² en 5.81 tot CO₂-equivalent, maar er zijn uiteraard grote verschillen.

³⁸ Evi Lambie, *Evaluation of the impact of energy renovation measures*, doctoraatsthesis, KULeuven, 2021

³⁹ De hoeveelheid CO_{2,eq} is een denkbeeldige hoeveelheid CO₂ die dezelfde invloed op het broeikas effect heeft als de werkelijk aanwezige mix van uitlaatgassen.

⁴⁰ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf#page=7

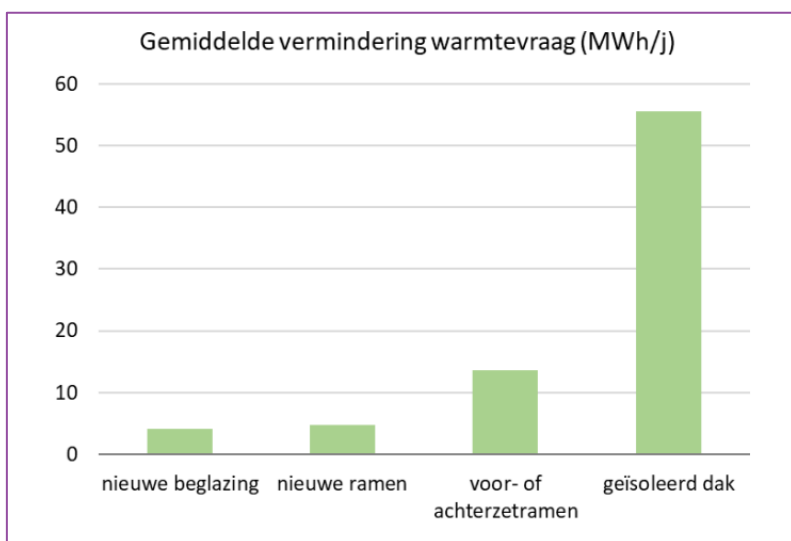
⁴¹ Zie <https://www.creg.be/nl/energie-van-a-tot-z/calorische-waarde> geraadpleegd op 5 september 2022.

⁴² Zie de omzetting aan de hand van een geschat rendement zoals voorgesteld in paragraaf 3.5.4.1

De grootste besparingen worden genoteerd voor isolatie van daken (Figuur 204).

Daar zijn verschillende redenen voor:

- Bij daken zijn de oppervlakken groter.
- Doordat warme lucht stijgt, is convectieve warmteoverdracht naar boven toe doorheen een dak (bij eenzelfde warmteweerstand van de schil) groter bij een dak dan bij een muur of een vloer.
- Bij daken is het vaak mogelijk om een dikke isolatielaag toe te passen.
- De vermindering in warmtevraag is wellicht een overschatting, aangezien er steeds van uitgegaan wordt dat het dak een scheiding vormt tussen de verwarmde ruimte en buiten. In praktijk is dat niet altijd het geval: de zolder kan onverwarmd zijn, ondanks het feit dat het dak geïsoleerd is.



Figuur 204. Vergelijking van de gemiddelde theoretische vermindering van de warmtevraag per project, opgesplitst per type ingreep.

Ook het plaatsen van voor- of achterzetramen heeft een uitgesproken positieve invloed op de warmtevraag. Dit is te verklaren doordat men meestal ramen plaatst die gelijkwaardig zijn aan normale buitenramen (schrijnwerkers hebben geen aparte productielijn voor achterzetramen), en dat de gecombineerde isolatieprestaties van het oude plus het nieuwe raam plus de luchtsponw tussen beide beter zijn dan die van gewone nieuwe ramen.

Om deze cijfers in context te plaatsen: stel dat een gemiddelde erfgoedwoning tussen 100 en 200 m² bruikbaar vloeroppervlak heeft, dan komt de gemiddelde besparing neer op 82.5 tot 165 kWh/m²jaar, wat toch heel significant is als we weten dat ze mediaan 282 tot 575 kWh/m²jaar theoretisch verbruik hebben vóór renovatie volgens hun EPC's.



3.8 BESLUIT: VERGELIJKING GEREALISEERDE VERMINDERDE CO₂-UITSTOOT MET DE DOELSTELLING UIT DE PROJECTAANVRAAG

In de initiële projectaanvraag werd een ruw berekende doelstelling naar voor geschoven om in de periode van 2013 tot 2020 een vermindering van equivalente CO₂-uitstoot te realiseren van 8.242 ton door energiebesparende maatregelen in het totale bestand van beschermd monumenten.⁴³ Die berekening berustte op een gemiddelde jaarlijkse CO₂-uitstoot van 6.7 ton per jaar per erfgoedwoning. Mits toepassing van de door het project voorgestelde maatregelen, zou die gehalveerd kunnen worden. Wordt slechts 75% van de mogelijke besparing gerealiseerd, wat gezien werd als een meer realistische implementatiegraad, dan zou men een besparing van 2.5 ton per jaar per woning halen.

Uit de berekening hierboven blijkt dat die schattingen op zich realistisch zijn: de gemiddelde theoretische besparing per project bedraagt 5.81 ton CO₂ per jaar. De grote onzekerheid ligt echter in het aantal bereikte cases. In de doelstellingen werd uitgegaan van 300 bereikte cases per jaar in 2016-2017 en 900 cases per jaar in 2018-2020. Die getallen ligt ver boven het aantal in de geanalyseerde steekproef over drie jaar (54), maar als we kijken naar de globale potentiële impact van het project, is de grootteorde wel realistisch. Aangezien meer dan 50 architecten bereikt werden en men kan verwachten dat elke architect kan instaan voor meerdere projecten per jaar, is een totaal van enkele honderden niet ondenkbaar.

We rekenen voor de inschatting van de besparing met een vork van 200-300/ cases /jaar (tussen 1000 en 1500 cases). Wat ons voor de periode 2017-21 een besparing van tussen 5.810 en 8.715 ton CO₂ zou opleveren. De totale broeikasgasreductie over de volledige levensduur van de investeringen (35 jaar) wordt dan geschat op een getal tussen 40.670 en 305.025 ton CO₂.

⁴³ Gespecialiseerde energieconsulenten voor onroerend erfgoed. Opleiding – Evaluatie – Erkenning, Agentschap Onroerend Erfgoed en WTCB, 2014



4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN M.B.T. MAATREGELEN VOOR CO2-REDUCTIE TOEGEPAST IN CASES EN PREMIEDOSSIEREN

De maatregelen die in de opgevolgde cases en geanalyseerde premiedossiers werden toegepast, zijn tegen het licht gehouden door ze te beoordelen op:

- **bouwtechnische compatibiliteit:** ze moeten uitvoerbaar zijn en minimaal risico veroorzaken op schade aan het bestaande weefsel;
- **behoud van de erfgoedwaarden:** zowel het bewaren van authentiek materiaal als het esthetische samengaan met de elementen en materialen van het gebouw zoals het bewaard is;
- **potentieel voor energetische verbetering:** leiden tot minder warmteverliezen en/of gebruik van passieve winsten of hernieuwbare energie maximaliseren;
- **comfortverbetering:** elke eigenaar die renoveert verwacht dat het thermisch, akoestisch en visueel comfort erop vooruitgaat.

Hoewel CO2-reductie de focus is van het onderzoek, blijven alle andere beoordelingscriteria steeds relevant. Voor eigenaars zijn nog heel wat andere criteria doorslaggevend, zoals uiteraard kostprijs, eisen en verwachtingen van erfgoedconsulenten, het uitzicht en vaak ook de snelheid van de uitvoering, maar die werden niet expliciet in overweging genomen.

Op basis van observatie en evaluatie van de praktijkcases, cijfermateriaal uit kwantitatief onderzoek en een (beperkte) blik op de literatuur, kunnen we conclusies trekken en aanbevelingen maken, die hieronder per type energetische ingreep opgesomd worden. We vermelden daarbij de referentie naar de cases waarop we ons baseren door gebruik te maken van hun verkorte notatie tussen vierkante haken. :

Huis Boisschot	ZavBoi
Begijnhofhuis	DieBeg
Dak begijnhofhuis	DieDak
La nouvelle maison	TerLan
Herenhuis	DieHer
Blondeswinning (nr. 3)	BilBlo
Blondeswinning (nr. 4)	BilBlo
Huis Billiet	BruBil
Begijnhofhuis (nr. 11)	SamBeg
Begijnhofhuis (nr. 82)	SamBeg
Begijnhofhuis (nr. 84)	SamBeg
Residentie Duinpark	KokDui
Klein Rusland	ZelRus

Conclusies die we getrokken hebben uit de kwantitatieve analyses van premiedossiers worden als [PreDos] gerefereerd.

4.1 DAKISOLATIE

Dakisolatie wordt in erfgoedcontext zeer vaak toegepast en levert meestal ook de grootste besparingen op [PreDos]. Op basis van veelvuldige gesprekken met architecten en bouwheren, lijkt

////////////////////////////////////

het dat sarkingdaken (waarbij isolatie aan de buitenkant bovenop het bestaande pakket wordt geplaatst) aan belang winnen tegenover isolatie tussen kepers of aan de binnenkant van het dakvlak [DieBeg, DieDak, ZavBoi, DieHer]. Hetzelfde geldt voor *warme daken*: isolatie bovenop een bestaand plat dak [BruBil]. Beide types van dakisolatie scoren sterk wat betreft bouwfysische prestaties en behoud van de oorspronkelijke structuur. Een potentieel nadeel, namelijk de verhoging van het dakvlak en vervaging van kleine structuren in het dak zoals dakkapellen, kan meestal succesvol opgevangen worden door bijvoorbeeld de lokale toepassing van ultradunne hoogperformante isolatiematerialen (zoals aerogels of vacuümisoliatiepanelen (VIP)). Aerogels vinden meer en meer ingang in de recente bouwpraktijk. Wat hellende daken betreft, werden wel regelmatig warmteverliezen waargenomen bij de (moeilijkere) aansluitingen aan muren en dakkapellen [BilBlo, DieBeg, DieDak]. Die warmteverliezen zijn veelal te wijten aan de moeilijke realisatie ter plaatse.

Aanbeveling:

Het isoleren van daken verdient blijvende aandacht en de toepassing van het bestaande afwegingskader is aan te raden. Het potentieel van nieuwe materialen zoals aerogels en VIPs kan verder onderzocht en opgevolgd worden. De luchtdichte en koudebrugvrije uitvoering van de aansluitingen tegen opgaand metselwerk en dakkapellen blijft een belangrijk aandachtspunt. Het wordt dan ook ten sterkste aangeraden om deze werken goed op te volgen en op de gepaste momenten zowel thermografische alsook blowerdoormetingen uit te voeren om de correcte uitvoering ervan vast te stellen.

4.2 ACHTERZET- OF VOORZETRAMEN

De toepassing van achterzetramen of voorzetramen in erfgoedgebouwen blijft een zeldzaamheid [PreDos] ondanks hun zeer goede bouwfysische prestaties (regelmatig zelfs beter dan die van nieuwe ramen [SamBeg, PreDos]) en het feit dat ze toelaten om het originele schrijnwerk te behouden. Vermoedelijk vormen de prijs (dubbele kost voor herstel en nieuwe ramen), de moeilijke uitvoering (o.a. wat betreft maatvoering) en de visuele impact de belangrijkste struikelblokken [ZavBoi].

Aanbeveling:

De toepassing van achterzet- of voorzetramen in erfgoedgebouwen verdient meer aandacht omwille van de combinatie van behoud van origineel schrijnwerk, goede energieprestaties en een aanzienlijke comfortverbetering. Behalve financiële ondersteuning voor eigenaars, is ondersteuning van schrijnwerkers / producenten evenals een algemene sensibilisering van bouwheren, eigenaars, architecten, aannemers, studiebureaus en erfgoedconsulenten aangewezen. Dat kan door goede praktijkvoorbeelden te publiceren, typedetails beschikbaar te stellen en ondersteuning te geven bij specifieke gevallen. De specifieke combinatie van achterzetramen met binnenisolatie is uit bouwtechnisch oogpunt in veel projecten zinvol en kan een belangrijke energiebesparing en comfortverbetering opleveren mét behoud van erfgoedwaarden. Bij voorzetramen daarentegen is de detaillering voor de aansluiting tussen de voorzetramen en binnenisolatie vaak veel ingewikkelder.

4.3 VERVANGING (OF HERSTEL) VAN RAMEN

De volledige vervanging van het bestaande schrijnwerk door nieuwe ramen naar bestaand model blijft volgens de opgevolgde cases en geanalyseerde premiedossiers de meest toegepaste optie [PreDos, BruBil, DieHer]. Hierbij gaat het meestal om ramen met hedendaagse profielen in tropisch hardhout die door kleine aanpassingen beter op de originele lijken, maar soms ook echt om op maat gemaakte profielen in een meer historisch verantwoorde houtsoort waarin het glas gevat wordt met stopverf. De indruk leeft dat zowel eigenaars als aannemers niet staan te springen om bestaand schrijnwerk te herstellen, aan te passen en te behouden. Mogelijke redenen zijn de arbeidsintensieve



aanpassing van sponningen en de grotere mechanische belasting op profielen en hang- en sluitwerk. De notie *moeilijk te herstellen* is rekbaar. Vaak wordt een esthetisch/historisch compatibel soort glas gebruikt voor die nieuwe ramen [DieBeg,ZavBoi], maar niet altijd [DieHer,BruBil,PreDos]. De winsten bij vervanging van ramen op energetisch vlak zijn groot, groter dan bij de vervanging van de beglazing alleen, hoewel luchtlekken aan aansluitingen ook bij nieuwe ramen toch nog courant waargenomen kunnen worden [DieBeg,BruBil].

Aanbeveling:

Met het oog op behoud verdient het aanbeveling om het bestaande afwegingskader historisch schrijnwerk⁴⁴ rigoureus toe te passen, en om eigenaars en vooral ook ambachtslui actief te ondersteunen voor herstel van origineel materiaal. Indien de argumenten doorwegen in de richting van volledige vervanging, moet de keuze van zowel profielen als beglazing zo goed mogelijk onderbouwd worden: een passe-partout advies bestaat niet. Bij het plaatsen van nieuwe ramen moeten hedendaagse technieken voor luchtdichting, die inmiddels courant zijn in nieuwbouw, toegepast worden, tenzij daar sterke argumenten tegen zijn.

4.4 VERVANGING VAN BEGLAZING

Vervanging van beglazing gebeurt minder vaak dan het volledig vervangen van ramen [PreDos], maar is uiteraard op vlak van behoud te verkiezen. Mogelijkheden voor herstel van de profielen en eventueel het verdiepen / verbreden van sponningen zijn belangrijk in de afweging. De energiebesparing is aanzienlijk, maar wordt sterk bepaald door de keuze van het glas (enkel glas, gelaagd glas, dun dubbel glas of hoogrendementsglas). Verschillen in prestaties, kostprijs en compatibiliteit zijn groot. Het glas (het buitenste blad in het geval van meerlagig glas) kan getrokken glas zijn of het uitzicht daarvan benaderen. We merken ook een toenemende tendens om vacuümglas in erfgoed toe te passen: dit presteert veel beter dan de andere opties, is veel dunner dan traditioneel dubbel glas, en bovendien is het ook mogelijk om één van beide glasbladen het uitzicht te geven van getrokken glas. Het struikelblok hierbij blijft in de eerste plaats de zichtbaarheid van de afstandshoudertjes als kleine puntjes in het vlak en eventueel van de vacuümnippel, en in de tweede plaats de hoge kostprijs. In vergelijking met het vervangen van profielen, is de plaatsing van energetisch beter presterende beglazing in de originele raamkaders een meer reversibele ingreep.

Aanbeveling:

We juichen het gebruik van het bestaande afwegingskader toe om de veelheid aan argumenten voor verschillende soorten beglazing te beheersen. We zijn van mening dat vacuümbeglazing een zodanig grote winst kan opleveren, dat het moet overwogen worden in veel projecten. Het documenteren en publiceren van voorbeeldcases zou een efficiënte manier zijn om enerzijds eigenaars en consulenten over de streep te trekken, en anderzijds ondoordacht gebruik in zeer waardevolle ramen te vermijden.

4.5 BINNENISOLATIE VAN MUREN

In tegenstelling tot dakisolatie, wordt binnenisolatie van muren tot op heden schijnbaar slechts zelden toegepast bij erfgoedgebouwen [DieBeg]. Daar zijn verschillende mogelijke verklaringen voor. Ten eerste is de verwachte winst lager dan bij dakisolatie en renovatie van ramen. Ten tweede zijn bouwheren en architecten vaak terughoudend om binnenisolatie toe te passen omwille van gekende risico's van vochtproblemen, koudebruggen en verlies van thermische capaciteit. Ten derde is de

⁴⁴ <https://www.onroerenderfgoed.be/publicaties/afwegingskader-historisch-schrijnwerk>



investeringskost bij binnenisolatie niet gering én verliest de bouwheer hierbij ook nuttige bruikbare oppervlakte, hetgeen zeker bij kleinere erfgoedgebouwen een belangrijke rol kan spelen. Tot slot moet vermeld worden dat er tot op heden ook nog geen afwegingskader van de overheid bestaat om eventuele ingrepen te evalueren. We merken dat er nog steeds een vraag is naar opleiding, documentatie en ondersteuning in deze complexe materie. Zo bestaat er wel een brochure⁴⁵, een recente video-reeks⁴⁶ en een WTCB-dossier van 2017⁴⁷, maar de officiële Technische Voorlichtingsnota van het WTCB omtrent dit thema moet nog gefinaliseerd worden. Ook Europees blijkt dit een belangrijk thema te zijn, daarvan getuigen de projecten In2Eurobuild⁴⁸ en RIBuild⁴⁹ met menig vooraanstaande partners waarbij specifiek binnenisolatie voor historische gebouwen onderzocht wordt.

Door deze onzekerheden worden muren die nauwelijks aan vocht blootgesteld zijn al te vaak toch niet geïsoleerd, of overweegt men zelfs niet om bijvoorbeeld een vochtdoorlatende isolerende binnenpleister te gebruiken, terwijl die in de meeste omstandigheden misschien wel bruikbaar zou kunnen zijn.

Als het niet mogelijk is om een buitenmuur te isoleren, kan gedacht worden aan het gebruik van lage-emissieverf [BilBlo]. Het gebruik van een speciale verf die IR-straling reflecteert kan in dergelijke uitzonderlijke gevallen leiden tot een kleine besparing en een lichte comfortverhoging. De verf wordt dan toegepast op het binnenoppervlak van de buitenmuren, terwijl de andere muren in de ruimte met gewone verf worden geschilderd. Is de muur echter wel geïsoleerd, dan is de winst door toepassing van zo'n verf te verwaarlozen in vergelijking met het positieve effect van isolatie. In vergelijking met de potentiële besparing door isolatie van daken, ramen of muren, is de bijdrage zeer klein.

Aanbeveling:

Er is nood aan de publicatie van een afwegingskader rond binnenisolatie in erfgoedgebouwen. Overal waar redelijkerwijs wél binnenisolatie kan toegepast worden, moet geijverd worden om de bestaande barrières te overwinnen en deze optie minstens grondig te bestuderen. In geval van twijfel moeten eigenaars en architecten het advies van experts in deze materie kunnen inwinnen. Lage-emissieverven kunnen toegepast worden als het onmogelijk is om een buitenmuur te isoleren. Isoleren geniet echter altijd de voorkeur.

4.6 VLOERISOLATIE

Uit de analyses blijkt dat het isoleren van balklagen boven kelders of het isoleren van het plafond van kelders regelmatig gebeurt [BruBil]. Het isoleren van vloeren op volle grond of boven lage kruipruimtes blijft daarentegen een zeldzaamheid, tenzij wanneer er beslist wordt om de vloer volledig uit te breken en te vervangen (eventueel met herplaatsen van de vloerbekleding). De argumenten zijn wellicht enerzijds dat de energiebesparing niet zeer groot is en anderzijds dat het kostelijk is om een bestaande historische vloerbekleding te demonteren en terug te plaatsen. Verder is een verhoging van de vloer pas vaak problematisch omwille van nodige aanpassingen aan dorpels, deuren, trappen, ... Nochtans bieden ultradunne isolatielagen hier ook mogelijkheden. Een belangrijk argument vóór vloerisolatie is de verhoging van het comfort.

⁴⁵ <https://www.vlaanderen.be/publicaties/binnenisolatie-van-buitenmuren>

⁴⁶ https://be-renovatief.be/academie-nl/?fwp_academie_traject=2541

⁴⁷ https://www.wtcb.be/publicaties/wtcb-dossiers/2017-03_12/

⁴⁸ In2Eurobuild (2019-2021, CORNET): Consistent European Guidelines for Internal Insulation of Building Stock and Heritage (<https://www.wtcb.be/onderzoek-innovatie/onderzoeksprojecten/in2eurobuild/>)

⁴⁹ Robust Internal Insulation in Historic Buildings (<https://www.ribuild.eu/home>)

Aanbeveling:

Hoewel vloerisolatie minder energiebesparing oplevert dan sommige andere ingrepen, mag men de significante potentiële besparing en vooral de aanzienlijke comfortverbetering toch niet uit het oog verliezen. Het nieuwe afwegingskader (in opmaak) biedt de nodige nuance om een geschikte oplossing te vinden. Nieuwe materialen en technieken voor bijvoorbeeld ultradunne isolatie en vloerverwarming moeten opgevolgd en onderzocht worden om te achterhalen wat hun potentieel is bij de isolatie van historisch waardevolle vloeren.

4.7 LUCHTDICHTHEID EN VENTILATIE

Luchtdichtheid is een heikel punt in erfgoedgebouwen. In veel projecten verkiest men om luchtlekken te laten voor wat ze zijn (binnen de grenzen van een redelijk comfort) en rekent men op infiltratieverliezen om te zorgen voor hygiënische ventilatie. Deze visie gaat gepaard met terughoudendheid om een ventilatiesysteem C, C+ of D te installeren. Een ventilatiesysteem D, dat energetisch het interessantst is, is in veel gevallen moeilijk te realiseren [DieBeg, ZavBoi, TerLan, SamBeg]. Maar er bestaan alternatieve methodes om binnen de grenzen van een renovatieproject toch relatief eenvoudige en efficiënte (alternatieve) systemen te implementeren. De verbetering van de luchtdichtheid van de schil is daarvoor echter een noodzakelijke voorwaarde. De aandacht gaat nu vooral naar isolatie, terwijl de wisselwerking tussen isolatie, luchtdichtheid en ventilatie essentieel is om tot een optimaal resultaat te komen.

Aanbeveling:

Hoewel de installatie van een ventilatiesysteem soms niet tot energiebesparingen leidt in erfgoedgebouwen, moet om hygiënische redenen toch steeds overwogen worden om een systeem te plaatsen. De keuze om geen systeem te plaatsen is geen sterk argument om luchtlekken niet aan te pakken. Er is nood aan meer objectiviteit rond dit thema. Dat kan door goede praktijkvoorbeelden van gangbare systemen te promoten en te documenteren en door parallel daarmee in te zetten op de verkenning van alternatieve systemen die soms eenvoudiger en efficiënter zijn. Metingen zijn aangewezen om de efficiëntie van dergelijke systemen in de praktijk te controleren. Er zou meer ingezet moeten worden op vraag gestuurde ventilatie voor het realiseren van zowel een energiebesparing als een verbetering van de binnenluchtkwaliteit.

4.8 HERNIEUWBARE ENERGIE

De geanalyseerde dossiers leveren weinig gegevens op over het gebruik van hernieuwbare energie in erfgoedgebouwen. In één case werd een grote oppervlakte aan PV-panelen geplaatst in combinatie met een huisbatterij [DieHer]. In één case werd een zonneboiler geplaatst. De mogelijkheden van andere compatibele systemen zoals zonne-leien, minder zichtbare matten met zonnecellen, ... zijn niet onderzocht.

In één case wordt voorzien om een warmtekrachtkoppeling te plaatsen die in de toekomst eventueel omgevormd kan worden om te werken op waterstof [ZavBoi]. Warmtepompen blijken ook (nog) weinig toegepast te worden, wellicht doordat de impact op het gebouw én de kostprijs hoog zijn. Aangezien de warmtevraag van erfgoedgebouwen meestal relatief hoog blijft, is een combinatie met verbranding van fossiele brandstoffen of elektrische verwarming meestal nog nodig. Geothermische warmtepompen kunnen meestal om praktische redenen niet geplaatst worden omdat de toegang tot het diepe of minder diepe grondmassief niet evident is.



Aanbeveling:

Hoewel het bestaande afwegingskader over zonne-energie drempelverlagend en sturend werkt, is de effectieve implementatie van deze techniek in erfgoedcontext nog zeer beperkt en kunnen de mogelijkheden nog verder verkend worden. Er is ook meer onderzoek nodig naar hybride verwarmingssystemen en bijvoorbeeld het gebruik van bepaalde types warmtepompen die compatibel kunnen zijn met de erfgoedcontext.

4.9 TOTALE CO2-UITSTOOT VAN EEN GERENOVEERDE ERFGOEDWONING

Energiebesparende ingrepen brengen op zichzelf een zekere CO2-uitstoot met zich mee, die te wijten is aan de energie nodig voor ontginning van grondstoffen, productie en transport van materialen, toepassing op de werf, afbraak en verwerking bij het einde van de levensduur. Voor één case werd deze *ingebodde* energie becijferd en vergeleken met de operationele energie voor het gebruik van de woning [BruBil]. Het resultaat geeft aan dat de extra uitstoot door gebruik van isolatiematerialen al na minder dan drie jaar wordt gecompenseerd door besparingen in uitstoot voor verwarming. De vergelijking tussen een scenario van afbraak en herbouw met een renovatiescenario werd niet gemaakt.

Aanbeveling:

De ingebodde energie van isolatiematerialen blijkt in het algemeen laag te zijn ten opzichte van de energie nodig voor verwarming van erfgoedwoningen. Vermoedelijk zal een berekening van ingebodde CO2 dan ook enkel nuttig zijn als gedeeltelijke afbraak overwogen wordt, of als sterk doorgedreven isolatie wordt overwogen, bijvoorbeeld tot een bijna energieneutraal niveau.

