

IWT-RAPPORT

Hanssens Spanten NV

KMO – INNOVATIESTUDIE TYPE 3

PROJECT 030527 :

**“ONTWIKKELING VAN EEN INNOVATIEF
BOUWSYSTEEM OP BASIS VAN HOUTEN
FJI-LIGGERS”**

30 juni 2004 – Versie 1.0

Voorwoord

Sinds het begin heeft de mens steeds gezocht naar oplossingen om zich te beschermen tegen alle natuurelementen en / of natuurlijke vijanden.

Van pool tot evenaar, van west naar oost zijn de oplossingen steeds verschillend en ook aangepast aan de eigen behoefte.

Die behoeften zijn steeds eigen aan een volk, een cultuur, een godsdienst... en aan een tijd. De architectuur, de kennis, het gebruik van materialen, de engineering,... maar ook politiek, macht, prestige, wedijver, verstedelijking... bepalen steeds de trend in de bouw. En dit al van oudsher door de eeuwen heen.

Wij zijn vandaag bewust dat we een ruime kennis hebben om op een rationele en efficiënte wijze te bouwen.

Daarbij komt de zorg voor een “goed leven” en een “gezond leven”.

Het eerste heeft de maken met ons comfort, design, gezelligheid, veiligheid, praktische invulling, gezinsomgeving, ontspanning, beroep, rust enz..., maar minstens even belangrijk is de betaalbaarheid en/of het individueel en globaal economisch effect hiervan.

Lucht, geluid, (opnieuw) veiligheid, omgeving... bepalen hoe we in die ruimten leven.

Het “passiefhuis-concept” is een kind van deze complexe gegevens.

Het maakt de brug tussen het gezond en goed leven.

Economisch wordt het vandaag - althans in België - totnogtoe weinig onderschreven. Eén voorbeeld: het globale energieverbruik in België van de gezinnen in de bestaande woningen tov het globale verbruik - welke zou verbruikt worden indien alle woningen hetzij “energiearm” of “passief” zouden zijn - is minder dan 15% van de huidige consumptie.

Hiervoor is enige bewustwording nodig van alle spelers op dit domein. Te beginnen met de consument zelf, de promotor, aannemer, architect, de gemeenten en uiteraard de politiek. Hierbij ben ik ook een voorstander van een verantwoorde subsidiëring waarbij een effectieve controle wordt uitgevoerd op het terrein zelf. Sommige huidige subsidiëringen, gebaseerd op een certificaat van de “professionele” uitvoering, zijn niet relevant. Een dubbele controle met betrekking tot de effectieve uitvoering, maar vooral

een resultaatgerichte controle na verwezenlijking en een tweede maal na een bepaalde periode (bijvoorbeeld na vijf jaar), is noodzakelijk en efficiënt.

Pas dan zal het terugverdieneffect van de subsidiëring een netto positieve bijdrage leveren.

Deze studie is dan ook een aanzet voor alle professionelen om bij te dragen aan een beter inzicht omtrent deze materie.

Persoonlijk wens ik dan ook het ganse team te bedanken voor het geleverde resultaat. De vele vergaderuren, de studie en het tekenwerk hebben ons samengebracht in dit boeiend verhaal.

Ook bijzondere dank aan mijn collega Konstant Decleir, die instond als curator voor de organisatie en de samenstelling van dit document.

Patrick Hanssens

27 juni 2004

Inhoudstafel

Hoofdstuk 1	Inleiding	7
Hoofdstuk 2	Kennisopbouw	8
2.1	Studiereis PHP naar Aken.....	8
2.1.1	Bakstenen huizengroep in passiefhuis-standaard.....	8
2.1.2	Eerste ouderenverpleegcentrum in passiefhuis-standaard.	8
2.1.3	Eerste kantoorgebouw ooit in passiefhuis-standaard, nog altijd even comfortabel.	9
2.2	Bezoek nederige-energie woning te Aken	9
2.3	Seminarie Robert Borsch-Laaks	10
2.4	Maandelijkse vergaderingen	12
2.5	Smartgroups: virtuele databank	12
2.6	Beurzen	12
2.6.1	PHP-symposium.....	12
2.6.2	Studiereis Hout in Frankrijk.....	13
2.6.3	ProWood Gent.....	14
2.6.4	Bois et Habitat Namen	14
2.6.5	Duurzaam Bouwen in Houtskeletbouw	14
2.6.6	Batibouw	14
2.7	Productie proto-type wand	15
2.8	Besprekingen met potentiële klanten	16
2.9	Bijwonen Blower-Door test	16
2.10	Abonnement vaktijdschriften.....	17
Hoofdstuk 3	Situering van de KMO – Innovatiestudie.....	18
3.1	Achtergrond	18
3.2	Voorstelling partners.....	20
3.3	Doelstelling en takenpakket	21
Hoofdstuk 4	Passiefhuizen en PHP.....	23
4.1	Bijdrage PHP.....	23
4.2	Algemene doelstellingen omtrent passiefhuizen.....	23
4.2.1	Duurzaamheid	23
4.2.2	Eventuele terugverdientijd	24
4.2.3	Kwaliteit.....	24

4.2.4	Aandachtspunten houtskeletbouw.....	25
4.2.5	Gevalstudie als bewijs van mogelijke kostenefficiëntie	25
4.3	Programma van eisen voor een bouwsysteem als passiefhuis	27
4.3.1	Inleiding	27
4.3.2	Technische goedkeuring voor bouwsystemen	28
4.3.3	Mechanische sterkte en stabiliteit	29
4.3.4	Brandveiligheid.....	29
4.3.5	Ventilatie	30
4.3.6	Akoestische isolatie.....	33
4.3.7	Thermische isolatie	35
4.4	Passiefhuis-certificaat voor bouwsystemen	35
4.5	Passiefhuis-certificaat voor ventilatiesystemen	37
4.6	Voorbeeld ButgB-keuring.....	38
Hoofdstuk 5	Beoordeling van de thermische kwaliteit van het bouwsysteem	39
5.1	Prestatie-eisen voor het bekomen van een Passiefhuis-certificaat voor bouwsystemen.....	39
5.2	Omschrijving van het simulatiepakket Bisco.....	41
5.3	Resultaten van de thermische simulaties.....	44
5.3.1	Definiëring van de lambda-waarden van de materialen.....	44
5.3.2	Beoordeling van de voorlopige bouwdetails.....	46
5.3.3	Berekening van de U-waarde van de basiswand.....	53
5.3.4	Berekening van de U-waarde door middel van thermische simulaties voor diverse varianten.....	55
Hoofdstuk 6	Beoordeling hygrische kwaliteit van het bouwsysteem: Hygrische studie koud dak met cellulose-isolatie.....	58
6.1	Inleiding	58
6.2	Het koud dak: probleemstelling	58
6.3	Hygrothermische simulaties.....	60
6.3.1	Dakopbouw	61
6.3.2	Materiaaleigenschappen.....	61
6.3.3	Randvoorwaarden (Figuur 9 en Figuur 10).....	64
6.3.4	Beoordeling resultaten	65
6.3.5	Globale beoordeling.....	69
6.3.6	Belang van een droge bebording.....	71

6.4	Besluit	72
6.5	Referenties	72
Hoofdstuk 7 Evaluatie van de Passiefhuiscriteria op gebouwniveau		74
7.1	Beschrijving van de typegebouwen	74
7.2	Berekening van de netto energiebehoefte voor verwarming.....	75
7.2.1	Open bebouwing (OB)	75
7.2.2	Halfopen bebouwing (HOB).....	77
7.2.3	Gesloten bebouwing (GB)	83
7.3	Conclusies	87
Hoofdstuk 8 Materiaalstudie		88
8.1	Inleiding	88
8.2	FJI.....	88
8.3	LVL-Kerto	89
8.4	Celit 3D-4D	91
8.5	OSB-3.....	92
8.6	Afdichtingstapes.....	92
8.7	Isofloc.....	93
8.8	Buitenschrijnwerk	95
8.9	Thermisch behandeld hout	96
Hoofdstuk 9 Uitwerking aansluitingsdetails		100
9.1	Aansluiting fundering – wand.....	100
9.2	Aansluiting fundering – deur	101
9.3	Horizontale snede buitenhoek	102
9.4	Horizontale snede binnenhoek	103
9.5	Verticale snede wand – balkenlaag-1.....	104
9.6	Verticale snede wand – balkenlaag-2.....	105
9.7	Horizontale snede raamaansluiting	106
9.8	Verticale snede raamaansluiting	107
9.9	Aansluiting nok	108
9.10	Aansluiting wand – dak.....	110
9.11	Aansluiting wand – plat dak.....	111
9.12	Aansluiting verdiepingsvloer – plat dak	112
Hoofdstuk 10 Economische relevantie.....		114
10.1	Voorbeeld meetstaat traditionele houtskeletbouw	114

10.2	Voorbeeld meetstaat passiefhuiswoning.....	123
10.3	Kostprijsstechnisch.....	132
Hoofdstuk 11 Kantoorgebouw Wagner & Co. Solartechnik GmbH.....		133
11.1	Algemeen: Eerste kantoorgebouw ooit in passiefhuis-standaard.....	133
11.2	Gebouwbenutting.....	134
11.3	Vormgeving/ architectuur.....	135
11.4	Warmteverliezen beperken.....	135
11.5	Passieve winsten.....	136
11.6	Verwarming.....	138
11.7	Ventilatie.....	140
11.8	Zomercomfort.....	142
11.9	Energiebalans.....	143
11.10	Bronnen.....	144
11.11	Fiche.....	145
Hoofdstuk 12 Besluit.....		149

Hoofdstuk 1 Inleiding

We beginnen dit rapport met een uitgebreid overzicht van de initiatieven die de verschillende partners hebben genomen om hun inzichten in het passiefhuis-concept te vergroten.

Het volgende hoofdstuk heeft als bedoeling de drijfveren te verduidelijken die de aanzet zijn geweest om in deze innovatiestudie een nieuw type prefab-wand bestaande uit FJIliggers te gaan onderzoeken.

In hoofdstuk vier wordt dieper ingegaan op de belangrijke rol die het Passiefhuisplatform VZW speelt in het bewustwordingsproces en de verdere verspreiding van het ‘passiefhuis-gedachtengoed’ in de huidige maatschappij. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een overzicht van de verschillende criteria waar een huidig passiefhuis in Vlaanderen aan moet voldoen.

Vervolgens wordt gedetailleerd ingegaan op de thermische kwaliteit van het bouwsysteem in het algemeen.

Aansluitend op dit thermische luik gaan we in hoofdstuk zes na hoe de hygrische kwaliteit van een bouwsysteem kan beoordeeld worden. In deze context bekijken we een hygrische studie van een koud dak met cellulose-isolatie.

In hoofdstuk zeven onderzoeken we het belangrijkste criterium voor passiefhuizen, namelijk dat het jaarlijks verbruik voor ruimteverwarming maar 15 kWh/m² nuttige vloeroppervlakte mag bedragen. We doen dit door achtereenvolgens voor een open, half-open en gesloten bebouwing de nodige berekeningen uit te voeren aan de hand van het ‘Passivhaus Projekterungs Paket’.

Vervolgens bespreken we kort de meeste materialen die we zullen terugvinden in onze passiefhuis-wandopbouw.

In hoofdstuk negen bekijken we een tiental uitgewerkte aansluitingsdetails en trekken we de nodige conclusies.

Hoofdstuk tien wil op kostprijs technisch niveau een vergelijking maken tussen een traditionele houtskeletbouw en een opbouw voor dezelfde woning volgens de passiefhuis-standaarden.

Om af te sluiten bekijken we een gerealiseerd project in het buitenland. We evalueren het eerste kantoorgebouw ooit in passiefhuis-standaard.

Hoofdstuk 2 Kennisopbouw

Alvorens de studie aangevat kon worden en ook tijdens de onderzoeksperiode, zijn tal van initiatieven, zowel in binnen- als buitenland, om vertrouwd te worden met de ‘passiefhuis-problematiek’. Hieronder volgt een kort overzicht van enkele van die initiatieven.

2.1 Studiereis PHP naar Aken

Op zaterdag 28 juni 2003 organiseerde Passiefhuis-Platform VZW een uitermate interessante studiereis - waarop alle partners van de innovatiestudie ook op aanwezig waren - naar toonaangevende passiefhuisprocten in Duitsland. Op het programma stond onder meer een bezoek aan een mooie voorbeeldwoning, een rondleiding in het eerste rusthuis voor bejaarden in passiefhuis-standaard en een uitgebreide toelichting tijdens een bezoek aan het eerste passiefhuiskantoorgebouw.

2.1.1 Bakstenen huizengroep in passiefhuis-standaard.

Bouwen met baksteen, het kan ook in passiefhuis-standaard! De geschakelde woningen in Orsbecker Feld, Wassenberg vormden een mooi voorbeeld. Rongen Architecten BDA gaven uitleg hoe zij op kostenefficiënte wijze de details van isolatie, luchtdichtheid en ventilatie hebben opgelost. Meer info en beelden van dit project op www.rongen-architecten.de/orsbeck.swf.

2.1.2 Eerste ouderenverpleegcentrum in passiefhuis-standaard.

Het creëren van een huiselijke atmosfeer en van geborgenheid, zelfbestemming en vrijheid voor demente personen vormden belangrijke uitdagingen in dit voorbeeldproject waardig wonen. Het Caritas-Haus Neuwerk resulteerde in een samenspel van baksteen, hout en kleurrijke vensters, wat zorgde voor een levendig bouwlichaam, zonder daarom onrust te veroorzaken. Voor de uitvoering in passiefhuis-standaard was, naast de geringe warmtebehoefte, de verhoogde woonkwaliteit een belangrijk criterium. We kregen in dit project te Neuwerk, Mönchengladbach een Engelstalige rondleiding van Prof. Ludwig Rongen. Meer info en beelden van dit project op www.rongen-architecten.de/neuwerk.swf.

2.1.3 Eerste kantoorgebouw ooit in passiefhuis-standaard, nog altijd even comfortabel.

In 1998 werd het kantoorgebouw van de firma Wagner Solartechnik GmbH te Cölbe, Marburg in gebruik genomen. Met een oppervlakte van 1948 m² was dit het eerste kantoorgebouw gebouwd in de passiefhuis-standaard. Ontworpen door architect Stamm uit Schweinsberg, gaf de firma Wagner & Co groen licht aan het Passivhaus- Institut Darmstadt om een energieconcept uit te werken. De bouwkosten bleken uiteindelijk vergelijkbaar te zijn met die van een normaal nieuw kantoorgebouw. Het project is heden ten dage op allerlei vlakken een interessant voorbeeld: het efficiënt gebruik van daglicht en kunstlicht, de toepassing van bodem-lucht-warmtewisselaars, de toepassing van een hoge graad van isolatie, de innovatieve wijze van het gebruik van houtbouwsystemen, de nachtelijke koeling, het gebruik van een zonne-installatie en zonnewering,... Sedert het begin was duidelijk dat het gebouw zeer goed presteerde: de medewerkers juichten de goede kwaliteit toe, de heldere lokalen en de aangenaam koele temperaturen in de zomer. De firma zelf is zeer tevreden met de openbare interesse voor het gebouw, waarmee een reclame-effect van de firma verbonden is. Onlangs bevestigden studies nog dat dit gebouw ook in zomersituaties uitmuntend presteert. Het gemeten energiegebruik voor verwarming (12,5 kWh/m².jaar) stemt goed overeen met het berekende verbruik (11 kWh/m².jaar), dat in eigen beheer via een zonne-installatie wordt geleverd. De heer Schweitzer van Wagner & Co gaf ons ter plekke uitleg over de diverse keuzes in het gebouw en hij lichtte de monitoring door de universiteit Marburg toe. Meer info op www.wagner-solartechnik.de.

Zie Hoofdstuk 11 voor een uitgebreide bespreking van deze gevalstudie.

2.2 Bezoek nederige-energie woning te Aken

Op donderdag 21 maart 2003 bezochten de verschillende partners het Duitse ingenieursbureau Keip & Partner dat gevestigd is in Baesweiler in de buurt van Aken.

Het bureau is gespecialiseerd in advies met betrekking tot passiefhuizen, nederige energie-huizen en verwarmingssystemen op basis van zonne-energie.

De woonruimtes en de burelen zijn tevens volgens de passiefhuisstandaarden opgebouwd (zie Figuur 1).

Meer info op www.keip-partner.de.



Figuur 1: Nederige energiewoning Keip & Partner

2.3 Seminarie Robert Borsch-Laaks

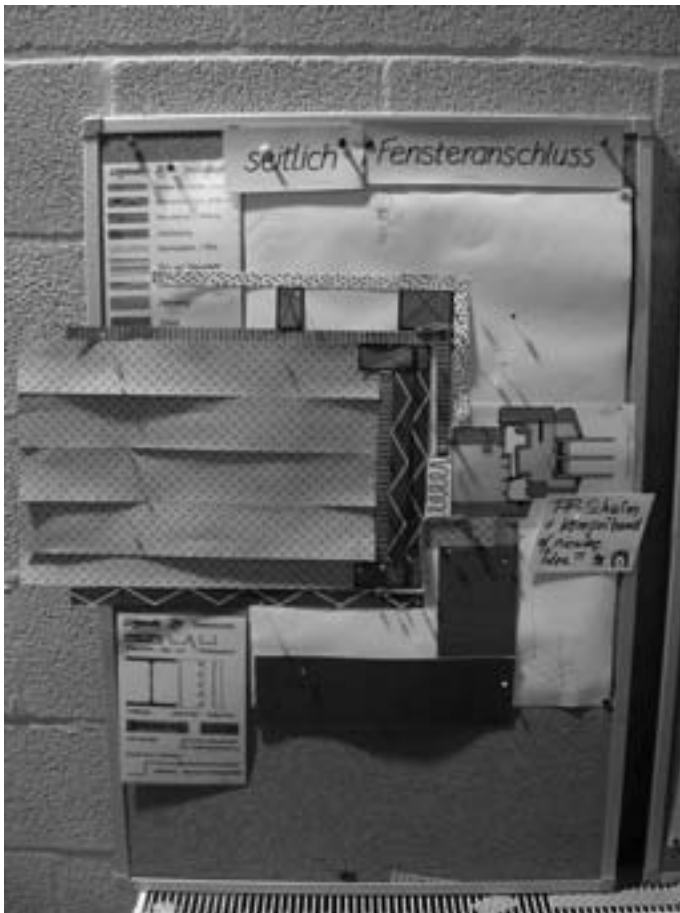
In januari werd een seminarie georganiseerd met de expert Robert Borsch-Laaks. Hij toonde zijn ervaring op het gebied van bouwen met houten I-liggers. Borsch-Laaks behandelde achtereenvolgens de berekening van de gemiddelde U-waarde van een I-ligger, de ‘quasi-balloon-framing-methode van Stefan Winter’ en hij lichtte het onderzoek toe van professor Schulze die het vochtgedrag bestudeerde achter het metselwerk. Vanuit zijn ervaring in Duitsland concludeerde hij het volgende:

- Luchtdichte en dampopen constructies bieden de beste garantie (typisch in Duitsland is buiten een spaanplaat of fermacell en binnen een OSB met een niet te hoge μ_d omwille van diffusie naar binnen in de zomer.
- Eventueel 2 OSB-platen omwille van hoge druk bij inblazen cellulose en als buffer bij niet voorziene waterindringing.
- Aanbrengen polystyreen op buitenzijde is niet optimaal, want geeft kans op waterindringing via verankeringen (water achter polystyreen kan immers niet weg). Rotswol is in dit geval beter.
- Super-isolatie voorzien in wandstelsel zelf en niet rekenen op bijkomende buitenisolatie.

Aansluitend werd groepjes gevormd en werd in work-shop-verband nader ingegaan op de mogelijke problemen van raamaansluitingen in combinatie met buitenmetselwerk.

Het seminarie werd afgesloten met een illustratie van Borsch-Laaks van de PHPP-berekening en een vergelijking van de energie-inhoud van diverse materialen /

bouwsystemen. De thermische massa heeft weinig invloed in vergelijking met de luchtwisseling (zomerkoeling) en het voorzien van zonnewering. Het gekozen systeem presteert qua energie-inhoud beter dan massieve systemen.



Figuur 2: Opbouw en uitleg bij aansluitingdetails Borsch-Laaks



Figuur 3: Borsch-Laaks beantwoordt vragen van de verschillende partners

2.4 Maandelijks vergaderingen

Tijdens de onderzoeksperiode werd minstens maandelijks een vergadering gehouden met de verschillende partners. De locatie wisselde iedere maand zodat er minstens éénmaal bij elke partner werd vergaderd. Dit zorgde er tevens voor dat er ook kennis kon gemaakt worden met de specifieke activiteiten van de verschillende partners.

Op de agenda stonden naast de afhandeling van de praktische zaken, vooral de bespreking van de verschillende details en het uitwisselen van kennis en ideeën in verband met concrete problemen die tijdens het onderzoek aan bod kwamen.

Tevens werd de voortgang van het takenpakket van de verschillende partners geëvalueerd.

2.5 Smartgroups: virtuele databank

Om de informatie-uitwisseling vlotter te laten verlopen tijdens en na de onderzoeksperiode werd een virtuele databank opgericht waar de verschillende leden nuttige informatie konden delen met de overige partners.

Eventueel kan dit in de toekomst verder uitgroeien tot een centrale bibliotheek waar gegevens, type-details, technische informatie vlot te raadplegen valt voor de geïnteresseerden. Voorlopig is de site alleen toegankelijk voor de partners op volgend adres: <http://www.smartgroups.com/groups/hanssens>.

2.6 Beurzen

2.6.1 PHP-symposium

Van 24 tot 26 oktober 2003 organiseerde Passiefhuis-Platform VZW zijn tweede passiefhuis-happening. Deze ging door in het congrescentrum Europeion in Turnhout.

Het opzet van deze happening was in de eerste plaats een overzicht te bieden van de jongste ontwikkelingen in de Benelux inzake passiefhuizen. Het symposium wou naast de technische info ook de link maken met de praktijk. Daarom was een deel van het programma voorbehouden voor gevallenstudies. Hierin werd het beleid, de beoordeling van passiefhuizen en de ontwikkeling van innovaties in passiefhuistechnologie toegelicht. Tot slot bood het symposium een forum voor bouwtechnologie, in de vorm van een technologiebeurs, om contacten te leggen tussen verschillende actoren. Zowel

voorschrijvers, ondernemingen die oplossingen zoeken en bieden, als architecten en bouwheren konden elkaar treffen gedurende deze tweedaagse.

De verschillende partners waren dan ook aanwezig op deze happening om geïnteresseerden de nodige uitleg te verschaffen aan de hand van productinformatie en twee maquettes van passiefhuiswanden.



Figuur 4: Eén van de maquettes met een passiefhuiswandopbouw

2.6.2 Studiereis Hout in Frankrijk

Op 19 en 20 september 2003 nam Hanssens-Spanten deel aan een studiereis in Noord-Frankrijk om op de hoogte te blijven van de recente ontwikkeling van houtconstructies en houtskeletbouw bij onze zuiderburen. Op deze reis werden acht publieke gebouwen bezocht waar op een innovatieve manier met hout is gewerkt.

2.6.3 ProWood Gent

Op deze driejaarlijkse technologisch houtvakbeurs in Flanders Expo in Gent was Hanssens-Spanten aanwezig met eens stand waar het grote publiek kennis kon maken met de verschillende producten waaronder de houten FJI-liggers die de kern uitmaken van de passiefhuiswanden.

2.6.4 Bois et Habitat Namen

Van 19-22 maart was Hanssens-Spanten samen met een aantal partners terug aanwezig op een beurs. Ditmaal in het franstalige landsgedeelte. Deze beurs wil een vaste waarde worden voor iedereen die zich bezig houdt met houtbouw en houtskeletbouw. Naast de passiefhuis-maquette die de bezoeker een duidelijk beeld wou geven van de wandopbouw, werd ook voldoende aandacht besteed om de bijkomende producten en de verschillende afwerkingsmaterialen toe te lichten.

2.6.5 Duurzaam Bouwen in Houtskeletbouw

Op 21 april 2004 heeft Hanssens-Spanten deelgenomen aan de studiedag in het Centrum Duurzaam Bouwen te Heusden-Zolder. Het opzet van deze studiedag met tentoonstelling was de deelnemer te informeren over de recente ontwikkelingen in duurzaam bouwen in houtskeletbouw. Naast de gepaste productinfo kon de bezoeker eveneens de concrete passiefhuiswandopbouw bekijken aan de hand van één van de twee maquettes.

De studiedag had verder als doel om actuele en objectieve informatie aan te reiken over houtskeletbouw, als basis voor een nuchtere en genuanceerde discussie over de rol die ze al dan niet kan vervullen in de bouwnijverheid, nu deze langzaam maar zeker evolueert in de richting van meer duurzame constructies. Deze denkwijze sluit dan ook volledig aan bij het ‘passiefhuis-denken’.

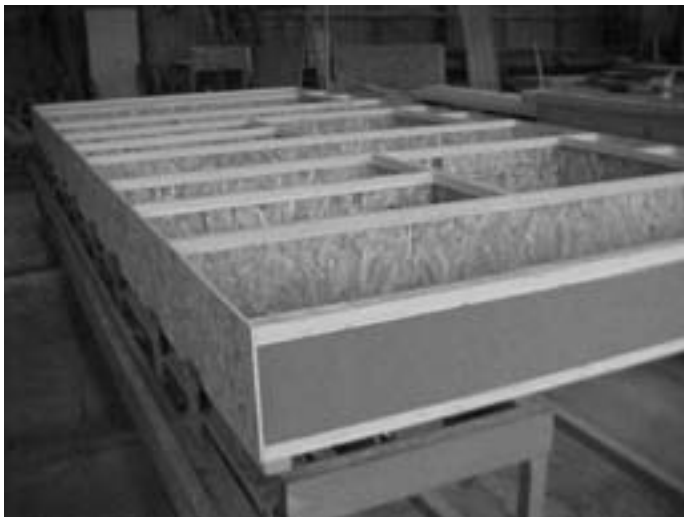
2.6.6 Batibouw

Tijdens Batibouw 2003 had Batech een stand waarop de maquette te bezichtigen viel met de standaard passiefhuiswandopbouw. Het grote publiek kon op deze manier kennis maken met het concept.

Paul Eykens van Isoproc en de mensen van Passiefhuisplatform VZW waren eveneens aanwezig op de beurs om de geïnteresseerde bezoeker met het gepaste advies te woord te staan.

2.7 Productie proto-type wand

Bij Hanssens Spanten NV, de aanvrager van deze innovatiestudie werd in de loop van de maand mei een eerste proto-type (zie Figuur 5 en Figuur 6) gemaakt van de passiefhuiswand bestaande uit FJI-liggers als ‘studs’ en een Kerto Q plaat als onder- en bovenregel en éénzijdig bekleed met een OSB-plaat. Zo was er een eerste feedback betreffende de gebruikte materialen en bevestigingsmiddelen. Op deze manier werd ook een eerste kostenraming opgebouwd en werd de productie bijgeschaafd om een economisch haalbaar product op de markt te kunnen brengen . Doordat de onder- en bovenregels in Kerto Q 21mm nog niet op voorraad waren is (zie Figuur 5 en Figuur 6) de proefwand hier voorlopig afgewerkt met een onder- en bovenregel in OSB 9mm.



Figuur 5: Proto-type passiefhuiswand



Figuur 6: Passiefhuiswand met raamopeningen en deuropening-

2.8 Besprekingen met potentiële klanten

Tijdens de onderzoeksperiode werd er door de verschillende partners ruimschoots tijd uitgetrokken om de vele kandidaat-bouwers te voorzien van de nodige informatie met betrekking tot de verschillende deelaspecten van een woning volgens de passiefhuisstandaarden. Al naargelang het onderzoek vorderde konden meer en meer onduidelijkheden opgehelderd worden en nu het onderzoek afgelopen is zal de informatievoorziening naar de verschillende geïnteresseerde partijen nog accurater en vlotter kunnen verlopen.

2.9 Bijwonen Blower-Door test

In het kader van dit onderzoek hebben verschillende partners ook een Blower-Door test bijgewoond om zo aan den lijve het belang van luchtdichtheid in een passiefhuiswoning te ondervinden.

Gezien het belang van de luchtdichtheid in gebouwen is het zinvol de luchtdichtheid, na realisatie, te controleren. Bij passiefhuizen wordt dit criterium geconcretiseerd door te eisen dat de n_{50} -waarde (het aantal luchtwisselingen per uur bij een drukverschil van 50 Pa tussen de binnen- en buitenomgeving) maximaal 0,6 mag bedragen. Dit betekent dat de luchtdichtheid in passiefhuizen ongeveer 15 maal beter moet zijn dan de gemiddelde luchtdichtheid van het woningenbestand in België.

Om dit te kunnen realiseren zijn 3 factoren belangrijk.

1. **Het concept.** Van bij het ontwerp moet de eis van een ononderbroken luchtdichting voor ogen worden gehouden. Bij elke aansluiting, elke doorboring moet bekeken worden hoe de luchtdichtheid kan worden gerealiseerd. Hierbij werd grotendeels voortgebouwd op kennis ter zake in onder meer Duitsland. Naast het aspect van de technische haalbaarheid vormt ook de kostprijs, vooral bepaald door de arbeidsintensiviteit, een belangrijk criterium. Eenvoudige en uniforme oplossingen genieten bijgevolg de voorkeur.
2. **De materialen.** Om de luchtdichting te kunnen verwezenlijken en ook op termijn te kunnen garanderen moet beroep worden gedaan op een coherent gamma van kwalitatieve materialen, waarbij de gebruikte membranen, lijmen, kitten en kleefbanden op elkaar zijn afgestemd en een oplossing bieden voor de gestelde constructiedetails.

3. **De uitvoerder.** Uiteindelijk zijn er gemotiveerde vaklui nodig om het ontwerp met de gepaste materialen in de praktijk te realiseren. Hierbij is het belangrijk dat de man op de werf het belang van de luchtdichting onderkent en bereid is in elk stadium van de bouw mee te denken.

Het concept en de materialen werden in België in enkele werven stapsgewijs onderzocht op hun deugdelijkheid. Daartoe werden onder meer een paar laag-energiewoningen in HSB, in samenwerking met Equilibrium, aan een Blower-Door meting onderworpen. Ook al was de n_{50} opgelegd voor passiefhuiswoningen niet haalbaar door onder meer de (voor passiefhuizen) ontoereikende kwaliteit van het buitenschrijnwerk, toch lieten deze metingen toe enkele tekortkomingen op te sporen. Zo werd onder meer besloten veel meer aandacht te besteden aan de luchtdichte aansluiting van de houtskeletbouwwanden aan de vloerplaat.

Intussen werd ook in België in passiefhuizen in Heusden-Zolder en Eupen bewezen dat een n_{50} van maximaal 0,6/h met het vooropgestelde concept en materialen, in deze gevallen hoofdzakelijk toegepast door de bouwheer zelf, perfect realiseerbaar is.

Daarnaast hebben ook verschillende aannemers houtskeletbouw en isolatie bewezen de materie onder de knie te hebben.

Toch zal het ook in de toekomst een punt van aandacht blijven de architecten en aannemers betrokken bij de bouw van passiefhuisprojecten te begeleiden bij de verwezenlijking van de luchtdichtheid. Een n_{50} van 0,6/h is perfect haalbaar, maar niet vanzelfsprekend.

2.10 Abonnement vaktijdschriften

Om op de hoogte te blijven van de meest recente ontwikkelingen op het vlak van energiezuinig bouwen en in het bijzonder bouwen volgens de passiefhuisstandaarden, werden door de partners verschillende naslagwerken aangekocht.

Vooraf een abonnement op het Duitse vaktijdschrift: 'Die Neue Quadriga, Das Fachmagazin für den Holzausbau' bleek een goede hulp tijdens de onderzoeksperiode.

Meer info op <http://www.dieneuequadriga.de>

Hoofdstuk 3 Situering van de KMO – Innovatiestudie

3.1 Achtergrond

Reeds vele jaren is men op zoek naar concepten van bouwen waarbij het energiegebruik wordt geoptimaliseerd. Dit gebeurt vaak door te experimenteren met ingewikkelde technologieën. Eenvoud siert echter het passiefhuis. Zoals de naamgeving reeds aangeeft kunnen de energiebesparingen in hoofdzaak worden gerealiseerd door middel van passieve strategieën. Bouwen van woningen, kantoren, ziekenhuizen,...zonder verwarming of koeling, het kan, in navolging van de ervaringen in onze buurlanden, blijkbaar ook in België. Een tiental bouwprojecten in Vlaanderen tonen het ontstaan van deze nieuwe markt in Vlaanderen. In Duitsland zijn momenteel reeds meer dan 3500 wooneenheden gebouwd in de passiefhuis-standaard en men neemt er een marktgroei waar van meer dan 100 %. In Duitstalige gebieden hebben zich ook systeembouwfirma's toegelegd op het aanbieden en commercialiseren van passiefhuizen. In Vlaanderen beoogt Passiefhuis-Platform vzw (PHP) de realisatie van een zelfde marktgroei in passiefhuis-projecten en -technologie.

Anderzijds wordt geconstateerd dat de bouwmentaliteit en -cultuur wijzigt in de richting van meer sleutel-op-de-deur woningen en systeembouw. Voor de woningbouwactiviteit zijn vooral de rente en het beschikbaar gezinsinkomen bepalend. Daarnaast is voor het bouwen van een woning ook het consumentenvertrouwen van belang. Momenteel heerst er een stijgende vraag naar meer comfort en ook naar energieprestatie-eisen. Volgens de eisen voor passiefhuizen behelzen objectief meetbare en evalueerbare constructiestandaarden en prestatie-eisen, door bouwheren soms opgelegd in een programma van eisen.

De firma Hanssens Houtconstructies (roepnaam van Hanssens Spanten N.V.) wenst in te spelen op deze potentieel exponentieel stijgende vraag in zake ecologische en energiezuinige bouwconcepten, inzonderheid passiefhuizen. De firma is toeleverancier van houtconstructies, zowel voor de constructie van frames, als voor de toelevering en plaatsing van volledige houtconstructies voor promotoren en projectbouw. De firma meent dat constructies met een specifieke I-ligger in hout (FJI-ligger) een technologisch antwoord kunnen bieden voor de realisatie van houten frames voor de constructie van passiefhuizen.

Vergelijk: in het passiefhuisproject van arch. Bart Cobbaert te Heusden-Ledeberg diende voor de realisatie van een voldoende thermisch onderbroken gevel het houten gevelsysteem te worden ontdebeld in twee frames en werd de isolatie geplaatst in drie lagen en de luchtdichting in twee lagen (zie Figuur 7).



Figuur 7: Passiefhuis-wandopbouw te Heusden-Ledeberg (arch. Bart Cobbaert), constructie zonder toepassing van FJI-liggers

Een constructie met I-liggers voorzien van stijve beplating biedt een mogelijk alternatief antwoord om te kunnen besparen in kosten en werktijd: minder lagen isolatie, een zekere luchtdichtheid door de beplating, mogelijkheid tot integratie van leidingen tussen de I-liggers. De FJI-liggers bieden op zich een mogelijkheid tot vluggere en juistere plaatsing zonder vervorming. Bovendien zijn de FJI-liggers geschikt voor exacte berekeningen door de hoge gelijkvormigheid (bij conventioneel hout dient men rekening te houden met de kwaliteit, vocht, barsten,..) en voor grote overspanningen met relatief beperkte hoogte.

De beoogde liggers worden momenteel enkel ingezet voor vloerconstructies (zie Figuur 8). Het gebruik van deze of aangepaste liggers in een wand- en dakconstructie vergt verdere studie door middel van concrete technologische vraagstellingen: Bestaan dergelijke constructies reeds? Zijn de I-liggers constructief voldoende om geen koudebrugwerking te realiseren? Wat zijn de optimale dimensies qua stabiliteit? Welke isolatiematerialen kunnen worden gebruikt? Worden de eisen van passiefhuis-bouwsystemen gehaald? Kan een beplating voldoende luchtdicht zijn? Kunnen de I-liggers worden gecommercialiseerd in een bouwsysteem?



Figuur 8: Huidige toepassing van FJI-liggers in de vloer (arch. Bart Cobbaert)

3.2 Voorstelling partners

Voor de wetenschappelijke beoordeling van dit bouwsysteem diende passende informatie en kennis te worden opgespoord die buiten de toenmalige competentie lag van het bedrijf. Hiertoe werd beroep gedaan op een aantal partners die vanuit hun specifieke invalshoek kennis konden aanreiken aan het bedrijf.

Passiefhuis-Platform vzw beschikt over voldoende contacten om informatie op te sporen over buitenlandse projecten in gelijkaardige systemen. Het netwerk van PHP is tevens multidisciplinair waardoor verschillende invalshoeken kunnen worden belicht. Architect Bart Cobbaert van PHP beschikt tevens over ervaring met het bouwen en detailleren van een passiefhuis in houtconstructie. Aangezien Hanssens Houtconstructies beoogde om een dergelijk bouwconcept kenbaar te maken aan voorschrijvers en kandidaat-bouwers is PHP ook een geschikt uitzendkanaal.

Vervolgens werden ook ingeschakeld:

- Vanhout/Batech om kennis in te brengen over systeembouwaspecten, in het bijzonder inzake de detailleringen (vgl. Hanssens voert geen funderingen en afwerking uit) en systeemefficiënties (kosten/baten, werkuren, uitvoeringsaspecten). Batech presenteert zich hierbij als één van de mogelijke afnemers van houtconstructies en marktbevorderaar;

- arch. Eric Ubachs, die beschikt over specifieke kennis inzake passiefhuisconstructies in houtskeletbouw (woningbouwproject De bruyn-Requin te Heusden-Zolder) en contacten met houtbouwinstututen en -experts te Duitsland;
- Marc Cuyvers, die als stabiliteitsingenieur beschikt over grondige projectkennis van houtbouwprojecten van Hanssens Houtconstructies en die vertrouwd is met het oplossen van stabiliteitsproblemen in houtbouw;
- Cenergie, die als bureau energie-efficiënte ervaring heeft met de begeleiding van passiefhuis-bouwprojecten, in het bijzonder voor de thermische en hygrische detaillering van constructies en het uitvoeren van gebouwsimulaties en energieberekeningen op passiefhuizen;
- Paul Eykens, als expert in zake afwerking, die als verdeler van luchtdichtingsmaterialen ook ervaring heeft met detaillering inzake luchtdichtheid en met de uitvoering van kwaliteitscontrole door middel van visuele inspecties en metingen.

3.3 Doelstelling en takenpakket

De doelstelling van de innovatiestudie was dus om een innovatief houtbouwconcept voor de realisatie van passiefhuizen te ontwikkelen, gebaseerd op FJI-liggers en om dit te onderzoeken in diverse facetten (prestatiecriteria, haalbaarheid, nieuwe technologieën, kwalitatieve uitvoering). Hiertoe werd de studie opgedeeld in een aantal deeltaken, uitgevoerd door een synergie van verschillende partners:

- Taak 1: het verzamelen van aanvullende informatie betreffende gelijkaardige constructies. De studie-aanvraag voorzag in:

Know-how transfer: studie van bestaande houtskelet wandsystemen met I-liggers volgens het passiefhuis concept:

1. Literatuurstudie, programma van eisen (PVE) voor passiefhuizen en passiefhuiscomponenten (schrijnwerk, ramen, deuren, beglazing, rolluiken, buitenzonwering).
2. Organisatie van bezoeken aan bedrijven en voorbeeldprojecten (van opbouw in de productiehal tot afgewerkte woningen)
3. Organisatie van bezoeken bedrijven en voorbeeldprojecten in het binnen- en/of buitenland teneinde inzicht te kunnen verwerven in

productieprocessen, technische problemen bij de realisatie en klimaatgebonden antwoorden op de gestelde problematiek. Hierbij zouden contacten kunnen worden gelegd met bewoners, bedrijven en projectontwikkelaars.

4. Contacten met mogelijke buitenlandse partners en onderaannemers.

- Taak 2: het opstellen van de programmavereisten voor passiefhuis-geschikte wanden, daken en vloeren. De studie-aanvraag voorzag in:

Know-how transfer: studie van een houtskelet bouwconcept met I-liggers:

1. Opstellen van het programma van eisen voor het bouwsysteem als passiefhuis en dit op het vlak van stabiliteit, brand, thermisch, hygrisch, akoestisch, luchtdichtheid en passiefhuis-certificatie.

2. Studie volgens PHP vereiste wand-, dak- en vloerdiktes bij variatie/diversiteit van parameters:

vrijstaand, halfopen, open bebouwing;

eengezins en meergezinswoningbouw;

woningscheidende wanden;

woningscheidende vloeren;

wanden met en zonder metselwerk;

- Taak 3: de studie van de haalbaarheid van de prestatie-eisen op specifieke knooppunten en detailoplossingen.

1. Opmaak tekeningen wandopbouwen en typedetails.

2. Beoordeling van typedetails op basis van programma van eisen

- Taak 4: het uitvoeren van simulaties ter beoordeling van details, thermische simulaties knooppunten en uitvoering hygrische simulaties 2-D.

- Taak 5: eindrapportering voor valorisatiedoeleinden, inventarisatie in een rapport voor interne doeleinden en onderzoek en beoordeling van het valorisatiepotentieel voor commercialisatie en uitwerken strategie marktbenadering.

Het onderzoek wordt toegespitst op de door Hanssens Houtconstructies voor ogen zijnde markt van ééngezinswoningen, waarvoor de aanvrager technische kennis wil kunnen aanbieden om passiefhuisprojecten te realiseren.

Hoofdstuk 4 Passiehuizen en PHP

4.1 Bijdrage PHP

Het eigenlijk bedrijfsadvies door het PHP in deze innovatiestudie bestond uit:

- 1) de overhandiging aan de medecontractant van diverse referentiedocumenten voor de invulling van een innovatiestudie aangevraagd bij het IWT (adviesdocumenten, voorbeeldcertificaten).
- 2) het organiseren van en deelnemen aan werkvergaderingen ter coördinatie van deze studie, het ter beschikking stellen van vergaderfaciliteiten
- 3) het verzamelen van informatie betreffende passiefhuis-bouwsystemen op basis van houten I-liggers, in het bijzonder de bijdrage aan de opbouw van een ledenbibliotheek, de opstart van een website voor de onderzoekspartners (smartgroups) en de verwerking van referentiemateriaal in doelpubliekgerichte presentaties (met name voor Febelhout en Bois&Habitat)
- 4) het leveren van technologisch advies m.b.t. passiefhuis-bouwsystemen op basis van houten I-liggers, in het bijzonder het leveren van mondeling advies op typedetails tijdens werkvergaderingen en de organisatie van opleiding en netwerking van de onderzoekspartners door inhuring van buitenlandse experts
- 5) know-how transfer m.b.t. het programma van eisen voor een bouwsysteem als passiefhuis.

4.2 Algemene doelstellingen omtrent passiehuizen

4.2.1 Duurzaamheid

20% van de wereldbevolking gebruikt 80% van de grondstoffen en energiebronnen. Deze situatie is niet lang meer houdbaar. Van daaruit werd nagedacht over hoe in onze welvarende maatschappij onze basisbehoeften kunnen blijven ingevuld worden zonder dat dit ten koste gaat van andere samenlevingen. Energie-efficiëntie opent een gigantisch potentieel wat betreft duurzamer omgaan met onze reserves. Als uitdaging wordt gesteld dat een woning een factor vier minder energie moet verbruiken.

Duurzaam bouwen is een integrale bouw aanpak, waarbij rekening gehouden wordt met ecologische, economische en sociale aspecten. Het doel is een gebouw te realiseren met een zo beperkt mogelijke impact op het milieu en de omgeving, waar het comfort voor

de gebruikers uitstekend is en dat niet meer hoeft te kosten dan een klassiek gebouw. Om dit te kunnen realiseren is een integrale aanpak uiterst belangrijk. Daartoe is het nodig dat alle partijen uit het bouwproces van bij het begin bij het project betrokken worden.

4.2.2 Eventuele terugverdientijd

Als uitdaging wordt gesteld dat een passiefhuis slechts evenveel mag kosten als een energiezuinige woning. Deze targets kunnen worden gehaald door continu het programma van eisen na elke bouwfase te evalueren in een bouwteam. Dit schept de randvoorwaarden om over alle problemen in de bouwconstructie fundamenteel na te denken om tot kosteneffectieve oplossing te komen.

De bewoners kunnen door middel van het PVE zo goed mogelijk hun wensen en eisen bekend maken. Het is duidelijk dat het PVE alle nodige informatie moet bevatten om alle ontwerpbeslissingen zo goed mogelijk en zoveel mogelijk in één keer te kunnen nemen.

Het gebeurt nog te vaak dat het ontwerproces te fragmentarisch verloopt: een architect maakt een esthetisch ontwerp en daarna moet het studiebureau ervoor zorgen dat er een goed comfort gehaald kan worden. Het gevolg is een gebouw met zware en complexe technische installaties. Enkel door een project in bouwteam te realiseren is het mogelijk tot een duurzaam gebouw te komen, waar bijvoorbeeld ook passieve klimatisatietechnieken een kans krijgen. De hogere studiekosten worden ruimschoots gecompenseerd door de efficiëntere manier van bouwen, zowel op het vlak van materialen als installaties. Een dergelijk gebouw zal ook gekenmerkt worden door veel lagere werkingskosten op het vlak van energie en onderhoud.

4.2.3 Kwaliteit

Kwaliteit leveren is leveren wat er gevraagd of verwacht wordt. Deze kwaliteit wordt geleverd wanneer het gebouw voldoet aan wat op voorhand overeengekomen werd met de bewoner. Om die kwaliteit te kunnen leveren moeten alle partners in dit bouwproces de vraag van de opdrachtgever of gebruiker zeer goed kennen. De uitvoerders dienen in principe de kwaliteit te leveren die gevraagd wordt.

4.2.4 Aandachtspunten houtskeletbouw

Bij houtskeletbouw is energiebesparing, in technische zin, ingebouwd. De opbouw van de constructie en de detaillering lenen zich goed voor een optimale uitvoering van het eisenpakket. De bouwmethode maakt voor een groot deel gebruik van hernieuwbare grondstoffen. Er is weinig energie nodig voor de productie van bouwmaterialen en voor het bouwproces zelf.

Om het plaatsen van grote isolatiediktes gemakkelijk te maken worden aangepaste constructiewijzen toegepast. Na de funderingswerken worden de buitenwanden, het dak en de ramen geplaatst. Op dit moment is de woning reeds volledig regen- en winddicht. Vervolgens wordt de isolatie aangebracht. De isolatie kan dus perfect en droog geplaatst worden zonder invloed van de weersomstandigheden.

Bij sterk doorgedreven isolatie wordt het vermijden van koudebruggen erg belangrijk. Koudebruggen zijn plaatsen in het gebouw waar de isolatiewaarde veel minder is dan de globale isolatiewaarde. Op deze plaatsen zijn de warmteverliezen zeer groot wat dus ten allen tijde moet vermeden worden.

Door het uitvoeren van stabiliteitsberekeningen op maat wordt het mogelijk een stevige constructie te bekomen en het materiaalgebruik te optimaliseren. Dit is een besparing op constructiehout en kosten.

4.2.5 Gevalstudie als bewijs van mogelijke kostenefficiëntie

Dynamisch thermische simulaties toonden aan dat een geïnstalleerd verwarmingsvermogen van 1KW voldoende is om de woning van Chris Baert op temperatuur te houden bij de laagste buitentemperaturen (-8 in de regio). De ventilatie en transmissieverliezen zijn zo gering dat zonnewinsten en interne warmtewinsten de binnentemperatuur vlotjes op 21°C houden. Een verwarmingsbatterij werd aangesloten op de verse luchttoevoer om de ingeblazen lucht op te warmen tot 35°C en zo het binnenklimaat meer te kunnen regelen.

Verse lucht wordt aangezogen door een grondbuis van 40 m lang die vertrekt op een diepte van 1,5m en naar een diepte van 2,5m gaat. In de wintersituatie wordt de ventilatielucht daardoor ongeveer 10°C opgewarmd. De expulsielucht warmt de binnenkomende lucht op met een hoogrendement warmtewisselaar (rendement 90%).

Oververhitting kan in de woning eenvoudig vermeden worden door het gebruik van buitenzonnewering. De bouwheer en architect hebben gekozen voor een constructie van horizontale zeilen om op de zuidkant gedurende de warmste maanden directe zonne-

instraling te vermijden. De grondbuizen kunnen de lucht in de zomer met ongeveer 10°C afkoelen zodat de warmtewinsten door ventilatie ook nihil worden. De meeste ramen zijn er ook op voorzien om gebruikt te kunnen worden voor nachtkoeling met manuele bediening.

Sanitair warm water wordt geproduceerd door een gesloten gasboiler van 100 liter met elektronische ontsteking. Een zonneboiler van 80 liter kan het energieverbruik voor warm water met 50% verminderen. Natuurlijk is er eerst gedacht aan een spaardouchekop en waterbesparende toestellen.

Voor verlichten werd hoofdzakelijk gebruik gemaakt van FL en CFL verlichting (CRI 95% en kleurtemperatuur 2700° K). De efficiënte koelkast heeft een verbruik van 100kWh. De wasmachine is van het type hotfill en zwiert de was op 1600 toeren om de energie voor drogen te minimaliseren. Stand-by verbruikers zijn eenvoudig te elimineren door een schakelaar op de hifi, tv en computervoeding.

Gezien het energieverbruik van deze woning met een factor 4 à 5 is gereduceerd, was het zinvol geworden om actieve zonne-energie toe te passen. Een photovoltaïsche netgekoppelde zonninstallatie van 800 Watt piek zal het grootste deel van benodigde elektrische energie leveren. Een thermische zonnecollector van 2,5 m² staat in voor de warm waterproductie in het zomerhalfjaar.

Een regenwatertank van 5000 liter collecteert het regenwater van het dak via een voorfilter. Een pomp brengt het regenwater naar het toilet en wasmachine. Het teveel aan regenwater verdwijnt via een infiltratiesysteem terug in de bodem.

De realisatie van dit project was mogelijk door de intensieve samenwerking tussen de verschillende partners en leveranciers. Er werd gewerkt volgens het principe van een bouwteam waarbij architect, aannemer, leveranciers, bouwheer en adviesbureaus hun kennis delen om optimale resultaten te bekomen. Vanaf het prille ontwerp werden de wensen van de bouwheer, de comforteisen, de energieprestaties, de architecturale uitstraling en de eenvoud bij realisatie en onderhoud in ogenschouw genomen. Deze integrale aanpak leidde tot een bouwkost die gelijk is aan de kost van een gelijkaardige klassieke woning. Door een scherp gedefinieerd programma van eisen (PVE), eenvoud, energiezuinigheid, plaatsbesparing en een sterk doorgedreven bouwrationalisatie door alle betrokkenen bij het bouwproces konden de kosten van deze woning beperkt blijven. De bouwkost per oppervlakte-eenheid wordt geraamd op 740 €/m², analoog dus met een gelijkaardige woning. Zoals de meeste recht geaarde belgen heeft deze bouwheer ook het ene en het andere zelf aan zijn woning uitgevoerd. De bouwheer maakte een

correctie om te komen tot een kostenraming waarbij alles door een aannemer zou worden uitgevoerd. Zijn conclusie: een eenvoudig en functioneel passiefhuis kan in principe gebouwd worden voor ongeveer 800€/m². Collectieve woningbouw, systeembouw en een betere gekendheid van het concept van passiefhuizen kan de kostprijs nog doen dalen.

4.3 *Programma van eisen voor een bouwsysteem als passiefhuis*

4.3.1 Inleiding

Gebouwen worden geconcipieerd en gebouwd om er bepaalde activiteiten (wonen, werken, ontspanning, onderwijs, winkelen, ...) in te ontwikkelen in optimale omstandigheden. Om die optimale comfortcondities te realiseren zijn klimaatinstallaties (verwarming, koeling, ventilatie, verlichting) nodig die energie gebruiken. En energie betekent ook milieubelasting: CO₂-uitstoot, ... Om deze milieubelasting te beperken en de gezondheid van de bewoners te vrijwaren worden reglementeringen (isolatie, ventilatie, energieprestatie, ...) uitgevaardigd door de federale en regionale overheden. Op Europees vlak worden een groot aantal normen opgesteld die de nationale normen zullen vervangen en die de leidraad zijn bij ontwerp en uitvoering van gebouwen en installaties.

Onder meer het WTCB geeft informatie over de ontwikkelingen in het uitgebreide domein van de normen en reglementeringen op het vlak van energieprestaties van gebouwen en installaties.

Wat verwachten we van onze gebouwen?

Een aangenaam thermisch comfort in wintervoorwaarden is een evidente eis voor verblijfsgebouwen. Minder evident is het realiseren van thermisch comfort in zomervoorwaarden (vermijden van oververhitting). Thermisch comfort veronderstelt dat het binnenklimaat het ganse jaar door binnen aanvaardbare limieten wordt gehouden en dit is een eerste uitdaging voor moderne gebouwen. Een tweede uitdaging is een aanvaardbare luchtkwaliteit garanderen. Visueel comfort is een evidente eis in een werkomgeving, maar evenzeer in onderwijs- of woongebouwen: voldoende licht, zonder verblinding, aanpasbaar aan de taakbehoefte. Tenslotte is een akoestisch comfortabele omgeving een essentiële voorwaarde. Deze vier aspecten van het binnenklimaat (zie Figuur 9) bepalen of de gebruikers in optimale omstandigheden hun

taken kunnen vervullen en dit heeft zeker een belangrijke weerslag op de productiviteit en dus op de economische rendabiliteit van de onderneming. Het binnenklimaat in al zijn deelaspecten dient dan ook het uitgangspunt te zijn voor elk ontwerp.

Om een aangenaam binnenklimaat te realiseren moeten het gebouwontwerp en installatieontwerp op een doordachte wijze worden ontworpen en uitgevoerd. Zo kunnen het energiegebruik en de milieubelasting minimaal gehouden worden. Het ganse project moet tenslotte beantwoorden aan de verwachtingen van bouwheer en opdrachtgevers: het moet betaalbaar blijven, het moet esthetisch aanvaardbaar zijn, het moet functioneel en bruikbaar zijn,... De gebruikers hebben dus het laatste woord.



Figuur 9: Belangrijke aspecten van het binnenklimaat

4.3.2 Technische goedkeuring voor bouwsystemen

De technische goedkeuring met certificatie (ATG) is een gunstige beoordeling van een bouwsysteem. De goedkeuring beoordeelt vooral de stabiliteit, de brandveiligheid, de thermische en akoestische isolatie en de duurzaamheid. Dit geldt zowel voor de materialen als voor de opbouw. De eisen voor een ATG-keuring voor bouwsystemen 'houtskeletbouw en hout massiefbouw' staan in de STS 23 met add.1 en add.2.

4.3.3 Mechanische sterkte en stabiliteit

Inzake stabiliteit moet de weerstand tegen verticale en horizontale belastingen worden aangetoond. Elementen die hierbij een rol spelen zijn:

- de dragende functie van buiten- en binnenmuren en eventuele kolommen
- windverbanden of stijve panelen in daken en plafonds
- het beletten van knik bij verbindingen tussen wanden of bij verbindingen van wanden met kolommen
- de verankering van wanden en kolommen aan de fundering en aan ringbalken
- de dimensies en plaatsing van de schroefverbindingen
- ...

De stabiliteitstudie en eventuele beproevingen dienen uitsluitend te geven over deze aspecten.

De wanden bekleed met de voorziene beplating dienen ook voldoende schokweerstand te hebben voor een normaal gebruik in woningen.

4.3.4 Brandveiligheid

Met betrekking tot brandveiligheid zijn de STS 23.15, uitgave 1978 en 1983 van toepassing. De verwachtingen van brandveiligheid staan gespecificeerd in de richtlijnen van de BÜtGB van april 1974 en juni 1980.

De voorschriften voor bescherming tegen brand hebben betrekking op de brandweerstand van de bouwelementen, de reactie bij brand van de bekledingsmaterialen, de branduitbreiding en de evacuatie van personen.

Het beantwoorden aan de eisen van bescherming tegen brand kan vastgesteld worden door proeven in het laboratorium en verwijzen naar type-oplossingen. Voor de evaluatie wordt zoveel mogelijk gesteund op proefresultaten die het mogelijk maken een geldige beoordeling uit te brengen (Rf, reactie bij brand). De proeven betreffende de prestatie “Bescherming tegen brand” in België zijn beschreven in volgende documenten:

- Brandweerstand: NBN 713.020 “Weerstand tegen brand van bouwelementen”;
- Niet-brandbaarheid: ISO/R 1182-1970;
- Ontvlambaarheid: Frans Min. Besluit van 4 juni 1973 en tijdens een overgangsperiode van 5 jaar – Frans Min. Besluit van 9 december 1957;
- Vlamvoortplantingssnelheid: British Standard 476 – 1953 – deel 1 – S2 1971.

Praktisch geldt dat voor het wandsysteem een brandweerstand van minimum 30 minuten dient te worden bereikt (Rf 30). Voor rijwoningen dienen mandelige muren een

brandweerstand te vertonen van 90 minuten (Rf 90). Voor stookruimtes is de vereiste brandweerstand Rf 60.

Wanneer de wanden doorboord zijn door leidingen dan wordt de ruimte tussen leiding en boorgat opgevuld met een onbrandbaar isolerend materiaal of door een ander systeem dat het mogelijk maakt de verlangde Rf te behouden. De binnenvlakken van de wanden en de plafonds dienen moeilijk ontvlambaar te zijn met een lage vlamvoortplantingssnelheid. De wanden van de kelders en de funderingen dienen uitgevoerd te worden in onbrandbare materialen. Geen enkel brandbaar materiaal mag steunen op een schoorsteenschacht.

Merk op dat houten platen, spaanplaten en multiplex platen traditioneel worden beschouwd als middelmatig ontvlambaar (klasse M3) met middelmatige vlamvoortplanting (klasse 3). Afhankelijk van de behandeling in de massa en de dikte kan een klasse M1 (niet ontvlambaar) of M2 (moeilijk ontvlambaar) worden bereikt. Voor de wijziging van de karakteristieken van ontvlambaarheid en vlamvoortplanting dient een attest te worden voorgelegd conform B.S. 476, alsmede de bewijzen van blijvende werking (technische goedkeuring).

Voorts dient ook de kwetsbaarheid bij brand te worden geëvalueerd. Dit begrip legt een verband tussen de te verwachten duur van de brand en de weerstand tegen brand zoals bepaald in het laboratorium of aan de hand van een berekening (enkel voor woningen met één woonlaag).

4.3.5 Ventilatie

Inzake ventilatie is de norm NBN D 50-001 'Ventilatievoorzieningen in woongebouwen' momenteel van toepassing.

Ter referentie kunnen de desbetreffende grenswaarden (zie Tabel 1) worden gehanteerd voor luchtverversing van ruimten, echter mits voorzichtige interpretatie. In vergelijking met bijvoorbeeld het Nederlands Bouwbesluit en de Nederlandse norm NEN 1087 merken we immers reeds verschillen. We kunnen opmerken dat de referentiewaarden voor debieten in diverse ruimtes verschillen in België en Nederland en dat in ieder geval de aangegeven debieten dienen te worden geïnterpreteerd als de maximale te behalen waarden, in het bijzonder om uitdroging van de lucht bij mechanische luchtverversing (balansventilatie met warmtetoevoer) te vermijden. Ten opzichte van de Nederlandse situatie worden de ventilatiedebieten voor woonkamers in België overschat en de benodigde debieten voor luchtverversing in aanwezigheid van een kooktoestel of een

warmwatertoestel onderschat. De Belgische norm definieert ook geen debieten voor kantoorfuncties en technische ruimtes en bergingen.

Voorts expliciteert het Bouwbesluit, ten opzichte van de Belgische norm, nog een aantal bijkomende eisen. Artikel 3.49 expliciteert bijvoorbeeld dat de toevoer van lucht veroorzaakt in de leefzone van een verblijfsgebied voor het verblijven van mensen een volgens NEN 1087 bepaalde lichtsnelheid moet hebben van maximaal 0,2 m/s. Artikel 3.50 zegt dat luchttoevoercomponenten regelbaar moeten zijn in het gebied van 0 tot 25% van de bedoelde capaciteit. De voorziening mag in de nulstand niet meer doorlaten dan 10% van de capaciteit. De fijnregeling heeft, bepaald volgens NEN 1087, naast de nulstand, ten minste twee instelstanden die onderling ten minste 10% van de capaciteit verschillen. De lucht volumestroom door een zelfregelende voorziening mag over het drukverschil van 1 Pa tot 25 Pa niet meer dan 20% van de nominale capaciteit verschillen.

Referentie	NBN D 50-001 (1991)		Bouwbesluit (2001) / NEN 1087	
	dm ³ /s	dm ³ /s per m ²	dm ³ /s	dm ³ /s per m ²
Woonkamer	21 (max. 42)	1	7	0,7 – 0,9
Slaapkamer	7 (max. 10)	1	7	0,7 – 0,9
Toilet	7	-	7	-
Badkamer, keuken	14 (max. 21 ¹)	1	21	-
Kantoor	7 (max. 10 ²)	1	13	1 – 1,3
Doorgangsruimte	-	1	-	0,7 ³

Tabel 1: Grenswaarden voor de ventilatiedebieten in ruimtes

Artikel 3.69 specificeert ook dat een voorziening voor luchtverversing van een meterruimte voor gas een bepaalde capaciteit moet voorzien van ten minste 2 dm³/s per m³ netto-inhoud van de meterruimte, met een minimum van 2 dm³/s.

In het geval dat verbrandingstoestellen aanwezig zijn in de ruimtes, kan men tevens rekening houden met de grenswaarden voor debieten conform het Nederlands Bouwbesluit (zie Tabel 2).

¹ Voor keukens met een open doorgang naar andere kamers of ruimten is het minimaal ventilatiedebiet 21 dm³/s.

² In de Belgische norm enkel gedefinieerd voor studeerkamers en speelkamers.

Benodigde capaciteit van de toevoer van verbrandingslucht		
Verbrandingstoestel	Brandstof	m³/s per kW nominale belasting
Gesloten vuur met trekonderbreker	Aardgas, butaan, propaan	0,78.10 ⁻³
Open vuur (blokkenvuurtoestel type II)	Aardgas	3,35.10 ⁻³
Gesloten vuur, met ventilator, zonder trekonderbreker	Aardgas, butaan, propaan	0,38.10 ⁻³
Gesloten vuur	Olie	0,32.10 ⁻³
Gesloten vuur	Kolen	0,52.10 ⁻³
Open vuur, vaste brandstof (open Haard)	Vaste brandstof	2,8.10 ⁻³

Tabel 2: Grenswaarden voor de ventilatiedebieten benodigd voor goede verbranding

Bovendien mag de toevoer van verbrandingslucht geen luchtsnelheid veroorzaken van meer dan 0,2 m/s. In zake al dan niet mechanische afvoer van lucht kan volgens een gelijkaardige classificatie gerekend worden met rekenwaarden voor verdunningsfactoren van rook, zoals aangegeven in Tabel 3.93 van het Bouwbesluit.

Indien de mens als belangrijkste verontreinigingsbron wordt beschouwd, is de CO₂-concentratie een indicator voor de luchtkwaliteit, aangezien de productie van geurstoffen door de mens hiermee evenredig is. Algemeen kan gesteld worden dat, indien kan worden aangenomen dat andere bronnen van luchtverontreiniging zo veel mogelijk worden verwijderd uit het ontwerp, het CO₂-gehalte in de omgevingslucht richtinggevend is voor de binnenluchtkwaliteit. Als eis kunnen beter richtwaarden van maximum CO₂-gehaltes worden gehanteerd (bvb. conform CR 1752) of het behalen van de comfortklasse A volgens ASHRAE-standaard (zie Tabel 3)

³ Gemeten over de vrije vloeroppervlakte

Criterium	Kwalificatie van eisen inzake CO ₂ -gehalte		
	minimaal aanvaardbaar ($< 30\%$ ontevredenen)	redelijk tot goed ($< 20\%$ ontevredenen)	goed tot comfortabel ($< 15\%$ ontevredenen)
max. CO ₂ -gehalte	$1000 < \text{CO}_2 \leq 1500$ ppm	$800 < \text{CO}_2 \leq 1000$ ppm	≤ 800 ppm

Tabel 3: Kwantificering van de eisen inzake maximum CO₂-gehalte in binnenlucht (CR 1752)

4.3.6 Akoestische isolatie

In zake geluidwering is de NBN S 01-400 'Criteria van de akoestische isolatie' van toepassing en de 'Richtlijnen betreffende het akoestisch onderzoek van de bouwsystemen voor eengezinshuizen' van de ButgB. Hierin staan zowel eisen in zake luchtgeluid als met betrekking tot contactgeluiden en geluiden van buitenuit.

De akoestische waarde van een bouwelement is afhankelijk van zijn gewicht, de aard van de materialen die de draagstructuur afsluiten en opvullen en de wijze waarop die materialen zijn bevestigd. Het akoestisch comfort binnen een gebouw en met betrekking to de buitenomgeving wordt bepaald door de kwaliteit van de scheidingswanden, de wijze van monteren, openingen en doorboringen, alsook door de verdeling der lokalen, het geluid dat opgewekt wordt door de toestellen en het geluidsniveau van de omgeving. Comfortaanbevelingen volgens de norm NBN S 01-401 zijn bijvoorbeeld functie van het buitenlawaai dat heerst in gebiedtypes, gaande van de erg rustige landelijke omgeving tot stadscentra en zware industriezones.

De eisen voor luchtgeluid, contactgeluid en akoestische isolatie van wanden kunnen worden geraadpleegd op de website http://www.bbri.be/antenne_norm/akoestiek/nl/index.htm.

De akoestische wereld in Europa kent momenteel de meest drastische veranderingen in de diverse nationale normen. Uit de werkzaamheden van de CEN-commissies volgde een verplichte noodzaak tot omvorming van de huidige normalisatie, waardoor een groot aantal EN-ISO normen dient overgenomen te worden door de diverse lidstaten

(deze 'Europese' normen vloeien voort uit bestaande ISO normen). Veel landen stellen de inpassing van de nieuwe normen uit tot na 2000. Deze omvorming is gezien de complexiteit van de materie zeer moeilijk en men is verplicht de werkzaamheden betreffende die veranderingen in de normalisatie te spreiden in de tijd en er wordt – net zoals in België – meer tijd ter beschikking gevraagd om het geheel van de nationale normen in overeenstemming te brengen met de nieuwe Europese normen.

In samenwerking met verschillende leveranciers werden in 2003 bij het WTCB 10 dak- en houtskeletbouwconstructies onderzocht op hun kwaliteiten voor de isolatie tegenover onder meer vliegtuiglawaai. De doelstelling van het WTCB was opbouwen te vinden die ook in de lage frequenties een geluidsverzwakkingsindex $R_w(C_{tr})$ van minimaal 40 dB halen.

Bij de onderzochte constructies waren er ook 3 uitgevoerd met FJI-liggers met een hoogte van 350 mm. Er waren variaties in de buitenbekleding en in de luchtdichting. Aan de buitenzijde van de FJI-ligger werd telkens de Celit 4D isolerende beschermplaat toegepast. De binnenzijde bestond telkens uit een Fermacellplaat van 12,5 mm, geplaatst op montagelatten.

De eerste constructie was aan de buitenzijde voorzien van een afwerking in gevelsteen. De luchtdichting werd gerealiseerd met OSB platen van 15 mm, waarvan de naden luchtdicht waren afgekleefd met pro clima RAPID CELL. Het gaat m.a.w. om de buitenmuren zoals beschreven in dit project.

Resultaat: $R_w(C_{tr}) = 58(-2;-7)$ (proefrapport 30/40/4/10).

De tweede constructie onderscheidde zich van de eerste enkel wat betreft de gevelafwerking, waarbij de gevelsteen vervangen werd door tegelpannen. Deze constructie kan aangewend worden zowel als buitenwand als als dak.

Resultaat: $R_w(C_{tr}) = 56(-4;-11)$ (proefrapport 30/40/4/9).

De derde constructie is identiek aan de tweede, buiten het feit dat de luchtdichting niet meer gerealiseerd werd met OSB, doch met gewapend bouwpapier pro clima DB+. Deze constructie stemt bijgevolg overeen met de in deze studie voorgestelde dakopbouw.

Resultaat: $R_w(C_{tr}) = 54(-3;-9)$ (proefrapport 30/40/4/8).

De drie constructies beantwoorden bijgevolg ruimschoots aan de vooropgestelde doelstelling. In de praktijk zullen het niet de buitenwanden of het dak zijn die het

geluidscomfort t.o.v. omgevingslawaai zullen bepalen, maar wel het buitenschrijnwerk of andere zwakkere punten.

4.3.7 Thermische isolatie

Inzake globale warmte-isolatie dient de regionale wetgeving te worden gevolgd. Koudebruggen zijn niet toegelaten o.a. om het verlies van warmte-energie te beperken, maar ook om schimmel en oppervlaktecondensatie te voorkomen. Men eist dat de temperatuurfactor groter is dan 0,7 in elk punt van het binnenoppervlak van de buitenwanden. De isolatie van al de ondoorschijnende delen moet overal een warmteweerstand lager dan 0,6 m²K/W hebben. Bij de berekeningen van de warmtedoorgangscoefficienten van individuele projecten kunnen de gedeclareerde λ -waarden van de effectief gebruikte isolatiematerialen worden gebruikt, volgens de desbetreffende technische goedkeuringen. Voor eisen inzake luchtinfiltraties van schrijnwerk verwijst men naar de STS 36 of 52. Voor de evaluatie van het zomercomfort kan men rekening houden met het relatief beglazingsoppervlak, de warmtetraagheid van vertrekken, de zonnefactor en de absorptiefactor (zie STS 23 addendum).

Contact inzake technische goedkeuringen voor bouwsystemen: ir. Edward Broeckx, Ministerie van Verkeer en Infrastructuur, Directie goedkeuringen en voorschriften; e-mail: eduard.broeckx@vici.fgov.be.

4.4 *Passiefhuis-certificaat voor bouwsystemen*

Het Passivhaus Instituut biedt twee vormen van certificatie voor bouwsystemen⁴, voor buitenwanden en voor bouwcomponenten.

Voor de beoordeling dient men te vertrekken van volgende criteria:

- Binnentemperatuur: 20°C
- Buitentemperatuur: 0°C
- Keldertemperatuur: 10°C
- Bodemtemperatuur: 10°C
- Warmteovergangswaarde buiten: 0,04 m²K/W

⁴ Een passiefhuis-gebouw kan pas na realisatie worden gecertificeerd. Het energiegebruik van de volledige woning dient dan beneden een bepaalde grenswaarde te liggen.

- Warmteovergangswaarde binnen: $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Warmteovergangswaarde kelder: $0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Warmteovergangswaarde bodem: $0 \text{ m}^2\text{K/W}$

Voor het beschouwde bouwsysteem gelden volgende criteria:

- Comfort- en energiecriterium

U -waarde buitenwand $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ en luchtdichte doorsnede

Deze begrenzing is noodzakelijk om discomfort ten gevolge van koudestraling te vermijden. Het passiefhuis-concept veronderstelt immers dat er niet noodzakelijk verwarmingselementen aanwezig zijn ter hoogte van de buitenwanden.

Tevens dienen eventuele bevestigingselementen te worden meegerekend in de totale U -waarde van het wandstelsel.

- Geen koudebruggen

$\Psi_{\text{buiten}} \leq 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$ en luchtdichte aansluiting

Oppervlaktetemperatuur $> 17^\circ\text{C}$ voor alle bouwdetails

Voor alle gebruikelijke lineaire aansluitpunten (aansluiting met de fundering, met het dak, met binnenwanden, met vensters) dienen detailtekeningen te worden voorgelegd en dient condensatie te worden vermeden.

- Gebruik in passiefhuizen

Enkel toegelaten indien alle andere componenten uitgevoerd zijn in Passiefhuis-geschikte detaillering.

In het bijzonder dienen zogenaamde passiefhuis-gecertificeerde ramen te worden ingezet (U -waarde maximaal $0,80 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, inclusief schrijnwerk en glasrandeffect). Voor een normvenster van $1,23 \text{ m}$ breed en $1,48 \text{ m}$ hoog mag door de inbouw van het venster de U -waarde maximaal met $0,05 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ stijgen.

Alle aansluitingen moeten luchtdicht worden uitgevoerd. De luchtdichte aansluitingen moeten duidelijk herkenbaar worden aangeduid in de uitvoeringsplannen (bijvoorbeeld met een rode stift).

Voor de evaluatie van het ontwerp van passiefhuizen kan worden verwezen naar het Passiefhuis-ProjektPakket 2003 Benelux, ontwikkeld door het Duitse Passivhaus Institut te Darmstadt en vertaald en verdeeld door PHP vzw.

4.5 Passiefhuis-certificaat voor ventilatiesystemen

Het Passivhaus Institut biedt een certificatie voor warmterecuperatie-eenheden voor ventilatie-installaties⁵. Voor passiefhuisprojecten is het aangewezen om passiefhuis-gecertificeerde produkten in te zetten, of om op zijn minst te voldoen aan de volgende verwachte criteria:

- **Passiefhuis-comfortcriterium**

Een minimale toevoertemperatuur van 16,5°C dient te worden bereikt bij –10°C buitenluchttemperatuur.

Reden: in passiefhuizen zijn geen verwarmingsoppervlakken aan buitenbouwdelen geplaatst. Om oncomfortabele inval van koude lucht te vermijden, moet de toevoerlucht-temperatuur begrensd worden.

- **Efficiëntie-criterium warmte**

Het effectieve droge warmteterugwinrendement moet bij gebalanceerde ventilatie bij buitentemperaturen tussen –15 en 10°C en bij droge lucht (21°C) hoger zijn dan:

$$\eta_{\text{WTW},t,\text{eff}} \geq 75\%$$

- **Efficiëntie-criterium elektriciteit**

Het totale specifieke opgenomen elektrisch vermogen van het ventilatie- of kompakttoestel mag niet meer bedragen dan wat is voorzien voor passiefhuizen in bedrijfstoestand:

$$\leq 0,45 \text{ W per m}^3/\text{h aangevraagd toevoerdebiet}$$

- **Luchtdichtheid en isolatie van het toestel**

De interne en externe lekdebieten mogen niet meer bedragen dan 3% van het nominaal extractiedebiet.

- **Geluidswering**

De fabrikanten dienen u richtwaarden te geven van het geluiddrukkniveau. Indien nodig dienen maatregelen te worden getroffen om geluidoverdracht naar en tussen ruimtes te vermijden.

- **Hygiëne van de ventilatielucht**

U dient ervoor te zorgen dat de hygiënische luchtkwaliteit kan worden gewaarborgd door het gebruik en het onderhoud van aangepaste filters. De toekomstige gebruikers dienen te worden geïnstrueerd omtrent het gebruik en het onderhoud van de installatie.

⁵ Een passiefhuis-gebouw kan pas na realisatie worden gecertificeerd. Het energiegebruik van de volledige woning dient dan beneden een bepaalde grenswaarde te liggen.

- **Vorstbeveiliging**

De ventilatie-installatie moet voorzien in vorstbeveiliging, hetzij door een systeem in het warmterecuperatietoestel zelf, hetzij door het voorzien van een extern systeem (bvb. een correct gedimensioneerde bodem-luchtwarmtewisselaar).

Bij twijfel omtrent de kwaliteit van de installatie dient deze te worden gecertificeerd aan de hand van hogerstaande criteria.

4.6 Voorbeeld ButgB-keuring

De structuur van de ATG-ButgB keuringen voor houten bouwsystemen biedt een template voor verdere studie door de partners, die worden verwacht om de detailleringen van het wandsysteem met FJI-liggers verder uit te werken en te beoordelen op basis van de hogerstaande bouwfysische, bouwkundige en comfortcriteria.

Hoofdstuk 5 Beoordeling van de thermische kwaliteit van het bouwsysteem

De thermische kwaliteit van het bouwsysteem wordt beoordeeld op twee niveaus:

- Op het niveau van de vlakken van het bouwsysteem is de U-waarde of thermische geleidbaarheid van de bouwdelen van belang.
- Op het niveau van de overgang tussen de diverse vlakken is de lineaire overgangscoefficiënt ψ (psi) van belang.

5.1 Prestatie-eisen voor het bekomen van een Passiefhuis-certificaat voor bouwsystemen

Het Passivhaus Instituut biedt twee vormen van certificatie voor bouwsystemen⁶, voor buitenwanden en voor bouwcomponenten.

Voor de beoordeling dient men te vertrekken van volgende criteria:

Binnentemperatuur: 20°C

Buitentemperatuur: 0°C

Keldertemperatuur: 10°C

Bodemtemperatuur: 10°C

Warmteovergangsweerstand buiten: 0,04 m²K/W

Warmteovergangsweerstand binnen: 0,13 m²K/W

Warmteovergangsweerstand kelder: 0,17 m²K/W

Warmteovergangsweerstand bodem: 0 m²K/W

Voor het beschouwde wandsysteem gelden volgende criteria:

- **Comfort- en energiecriterium**

U-waarde buitenwand $\leq 0,15$ W/(m²K) en luchtdichte doorsnede

Deze begrenzing is noodzakelijk om discomfort ten gevolge van koudestraling te vermijden. Het passiefhuis-concept veronderstelt immers dat er niet noodzakelijk verwarmingselementen aanwezig zijn ter hoogte van de buitenwanden.

⁶ Een passiefhuis kan pas na realisatie worden gecertificeerd. Het energieverbruik van de volledige woning dient dan beneden een bepaalde grenswaarde te liggen.

- **Geen koudebruggen**

$\psi_{\text{buiten}} \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$ en luchtdichte aansluiting

Oppervlaktetemperatuur $> 17^{\circ}\text{C}$ voor alle bouwdetails

Voor alle gebruikelijke lineaire aansluitpunten (aansluiting met de fundering, met het dak, met binnenwanden, met vensters) dienen detailtekeningen te worden voorgelegd en dient condensatie te worden vermeden.

- **Gebruik in passiefhuizen**

Enkel toegelaten indien alle andere componenten uitgevoerd zijn in Passiefhuis-geschikte detaillering.

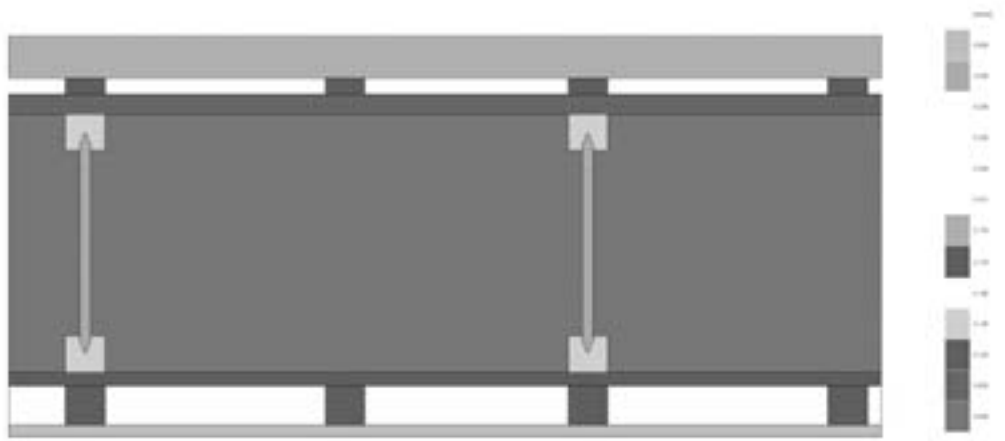
In het bijzonder dienen zogenaamde Passivhaus-ramen te worden ingezet (U-waarde maximaal $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, inclusief schrijnwerk en glasrandeffect). Voor een normvenster van 1,23 m breed en 1,48 m hoog mag door de inbouw van het venster de U-waarde maximaal met $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ stijgen.

Alle aansluitingen moeten luchtdicht worden uitgevoerd. De luchtdichte aansluitingen moeten duidelijk herkenbaar worden aangeduid in de uitvoeringsplannen (bijvoorbeeld met een rode stift).

5.2 Omschrijving van het simulatiepakket Bisco

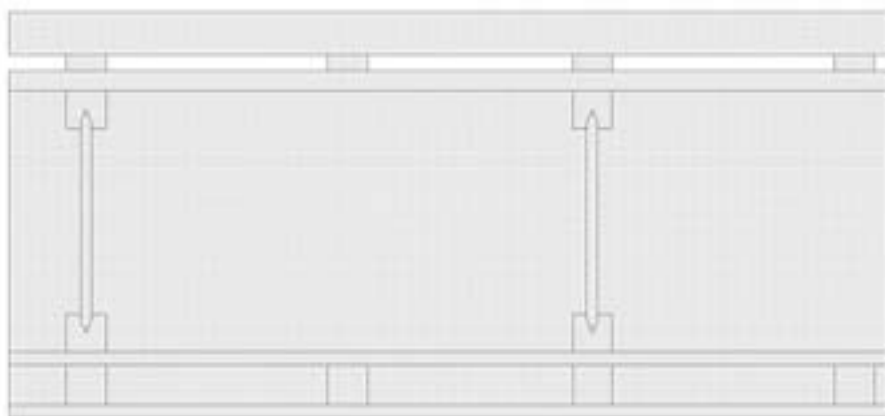
Het softwarepakket Bisco van Physibel laat toe om de stationaire warmtetransmissie te berekenen doorheen tweedimensionale objecten van willekeurige vorm. De geometrie die nodig is om de berekening uit te voeren is een tekening in bitmap-formaat.

Elk materiaal in de constructie krijgt een specifieke kleur waardoor de thermische geleidbaarheid van elk materiaal kan worden toegewezen.



Figuur 10: Horizontale wanddoorsnede in bitmap-formaat

Vervolgens deelt het simulatieprogramma de tekening op in piepkleine driehoekjes, dit proces noemt triangulatie.



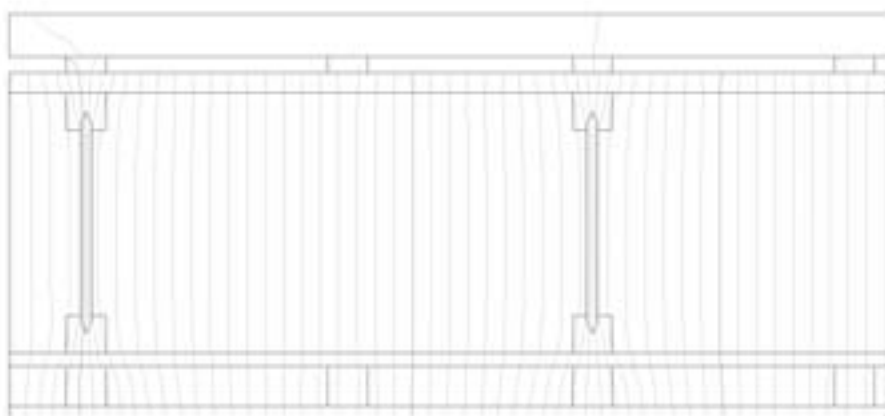
Figuur 11: Horizontale wanddoorsnede na triangulatie

Elk knooppunt tussen meerdere driehoekjes vormt een rekenknooppunt. Voor elk mogelijk traject van aaneensluitende rekenknooppunten wordt de warmteweerstand berekend. Dit vraagt uiteraard een veelheid aan berekeningen. Uiteindelijk zal de oplossing die de minste warmteweerstand oplevert het best overeenkomen met de reële situatie.

Eens deze fase uitgevoerd is, kan het resultaat op verschillende manieren gevisualiseerd en gekwantificeerd worden.

5.2.1.1 Isofluxlijnen

Isofluxlijnen tonen het verloop van de warmtestroom doorheen het bouwdetail. De dichtheid van isofluxlijnen geeft bovendien aan waar een verhoogd warmtetransport of koudebrugwerking optreedt. De thermisch zwakste punten in een constructie worden dus aangeduid door fluxlijnen die dicht naast elkaar liggen.



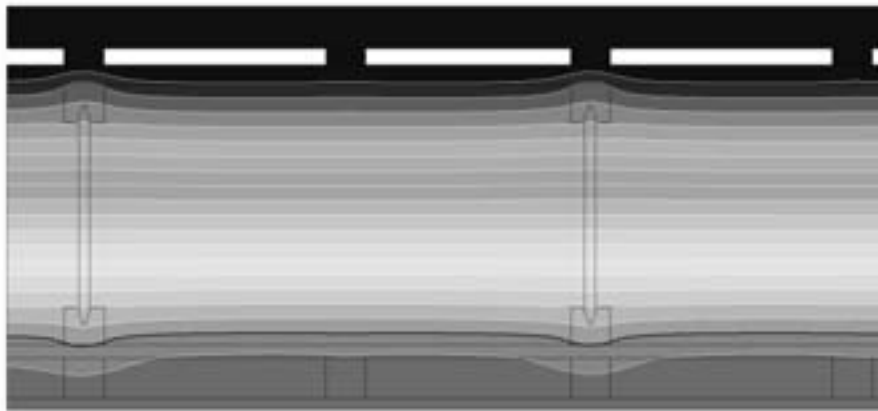
Figuur 12: Horizontale wanddoorsnede: weergave via isofluxlijnen

5.2.1.2 Isothermen

Isothermen tonen zones van gelijke evenwichtstemperatuur aan in het bouwdetail. Op die manier is de temperatuur op elke plaats in het detail gekend. Deze voorstelling maakt onmiddellijk duidelijk of de oppervlaktetemperaturen overal aan de prestatie-eis voldoen.

De isotherm van 14 °C mag nooit aan de binnenoppervlakte komen omwille van gevaar voor oppervlaktecondensatie.

De isotherm van 17 °C mag nooit aan de binnenoppervlakte komen omwille van de comforteis voor Passiefhuizen.



Figuur 13: Horizontale wanddoorsnede: weergave via isothermen

5.2.1.3 Kwantificering van het warmtetransport

Naast visuele weergaven kan het simulatieprogramma ook het warmtetransport doorheen een detail kwantificeren. In principe wordt het totale warmtetransport doorheen het detail berekend. Door de afmetingen van het detail en het temperatuurverschil in rekening te brengen, is het ook mogelijk om vervolgens de U-waarde van een vlak of de psi-waarde van een overgang tussen twee bouwdelen te berekenen.

5.3 Resultaten van de thermische simulaties

5.3.1 Definiëring van de lambda-waarden van de materialen

Voor de bepaling van de lambda-waarden hebben we volgend keuzetraject gevolgd:

1. De lambda-waarden volgens de norm NBN B 62-002 werden als uitgangspunt gebruikt.
2. Conform het addendum van 2001 van voornoemde norm, hanteren we voor materialen die enkel gekend zijn naar aard, maar waarvan het merk en type niet gekend zijn, de lambda-waarde die in het addendum worden opgegeven.
3. Eveneens conform het addendum van 2001 van voornoemde norm, hanteren we voor materialen die gekend zijn naar aard, merknaam en type de gedeclareerde lambda-waarde van het product of de lambda-waarde die door de fabrikant wordt opgegeven als rekenwaarde.
4. Voor samengesteld hout (OSB, kerto...) blijkt uit Duitse literatuur en Duitse normering dat de lambda-waarde kan verschillen afhankelijk van het gegeven dat het warmtetransport loodrecht respectievelijk parallel met de vezels verloopt. Vele eigenschappen, waaronder de thermische geleidbaarheid, zijn omwille van de vezelstructuur anisotroop. Wanneer de warmtestroom parallel loopt met de vezels, blijkt de thermische geleidbaarheid meer dan dubbel zo groot te zijn dan wanneer de warmtestroom loodrecht op de vezels staat.

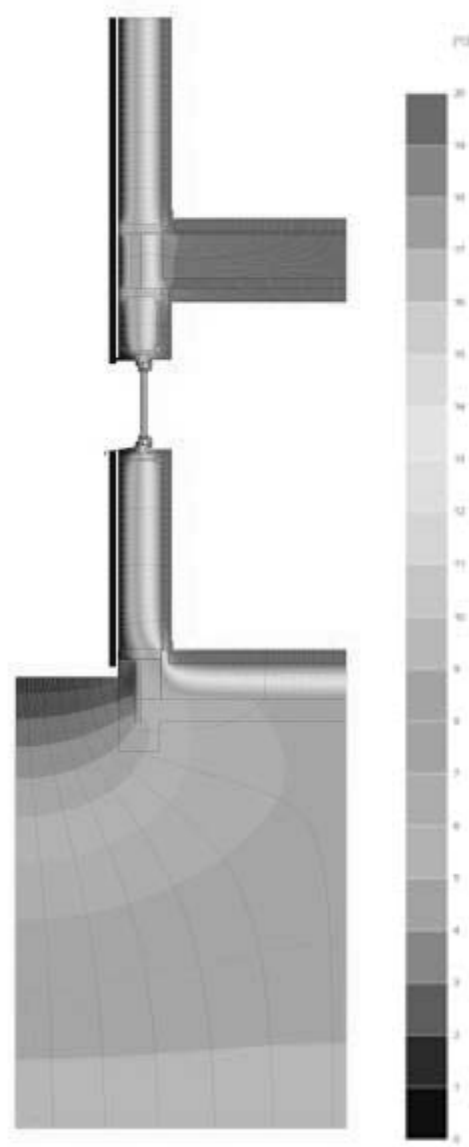
Naam	lambda [W/mK]
Hout	0,170
isolerende houtvezelplaat (Celit)	0,055
papiercellulose (isofloc)	0,040
poly-urethaan	0,028
cellenbeton (<700 kg/m ³)	0,200
rotswol (35 kg/m ³)	0,037
thermisch behandeld hout (thermowood)	0,170
Polyethyleen	0,200
Beton	1,200
Argon	0,016
Chape	1,300
kerto (// vezels)	0,290
kerto (T vezels)	0,130
OSB (T vezels)	0,120
OSB (// vezels)	0,290
Gipspleister	0,500
Aluminium	230,000
geëxtrudeerd polystyreen (XPS)	0,035
Glas	0,800
Epdm	0,200
Hardsteen	2,700
grond	1,500

Tabel 4: Lambda-waarden van voorkomende materialen

5.3.2 Beoordeling van de voorlopige bouwdetails

▪ Beoordeling van de gebouwdoorsnede

In de eerste plaats werd de gebouwdoorsnede gesimuleerd. De volgende figuur toont het temperatuurverloop (isothermen) in de gegeven snede op schaal 1/50 onder de gegeven randcondities voor het behalen van een passiefhuis-certificaat.



Figuur 14: Temperatuurverloop nodig om een passief-huis certificaat te behalen

De figuur toont dat de bouwdetails verder dienen te worden onderzocht ter evaluatie. Voor zover volgens de beschouwde tekeningen kan worden opgemaakt zijn er nog verbeteringen wenselijk voor de aansluiting fundering-wand, voor de aansluiting wanden-tussenvloer en voor de lateien boven de vensters.

We merken hierbij op dat voor de beoordeling van bouwsystemen volgens STS 23 volgende tekeningen vereist zijn:

- Schaal 1/5 Verticale doorsnede van een buitengevel met:
 - Één woonlaag, hellend dak
 - Vloer op kruipruimte of kelder
 - Raamaansluiting onder en boven
 - Latei
 - Buitenbekleding, ventilatie
- Schaal 1/5 Verticale doorsnede van een buitengevel met:
 - Twee woonlagen, plat dak
 - Vloer op volle grond
 - Variante buitenbekleding
 - Tussenvloer
- Schaal 1/5 Verticale doorsnede van binnenmuren
 - Binnenmuur
 - Dragende binnenmuur
 - Akoestische binnenmuur met zijn aansluitingen
 - Scheidingsmuur bij gekoppelde woningen
- Schaal 1/5 Horizontale doorsneden met:
 - Buitenmuur
 - Hoekverbinding
 - Verbinding tussen twee panelen
 - Raamaansluiting
 - Binnenmuur – buitenmuur
- Schaal 1/5 Verticale doorsnede van de puntgevel met:
 - Spant
 - Bekleding
- Schaal 1/5 Verticale doorsnede van de bewoonbare dakruimte
- Schaal 1/10 of 1/20 Vooraanzicht van structuur (van panelen) (eventueel)
- Schaal 1/1 of 1/2 Details

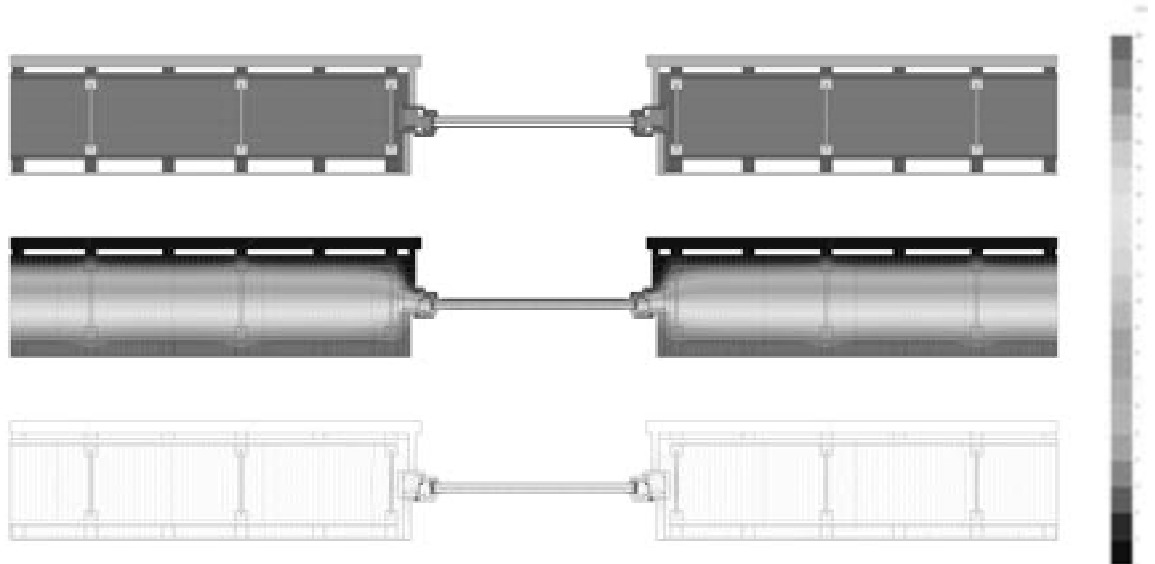
Volgende details kunnen kritisch zijn voor de evaluatie van het Passiefhuiscriterium:

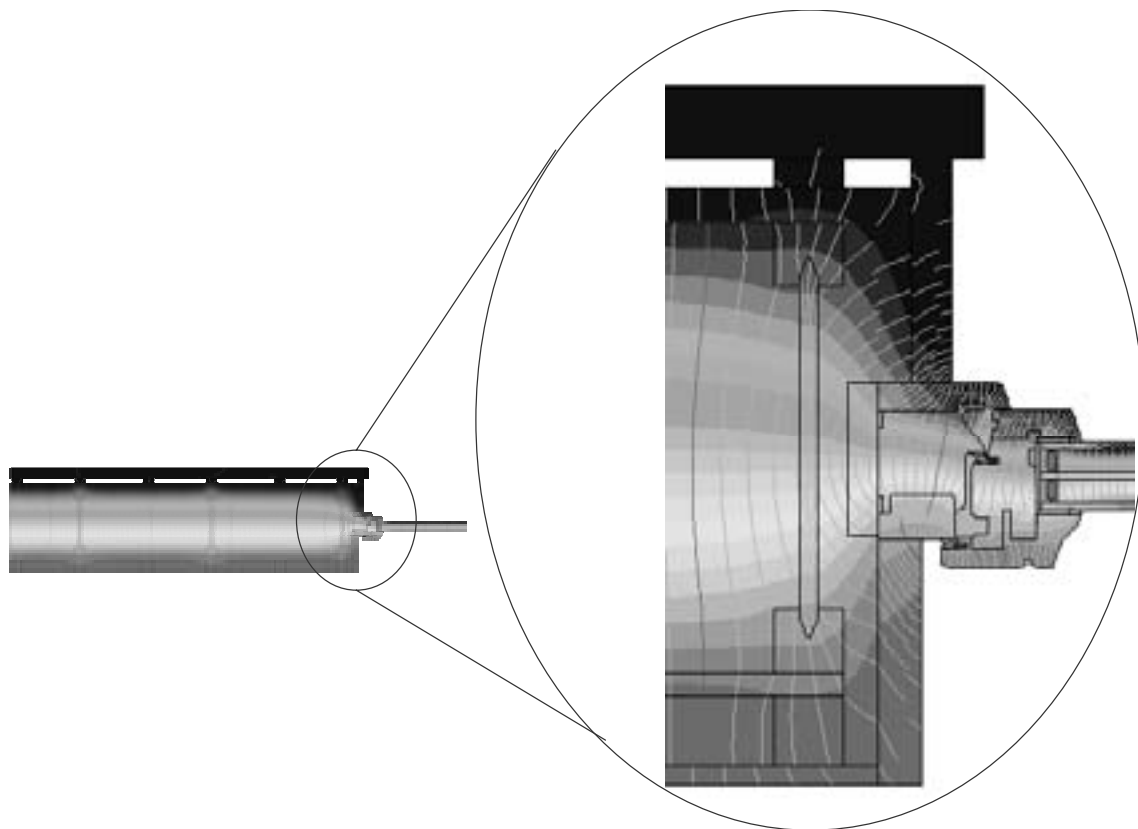
- zone dakrand en aansluiting van de wand met het dak
- zone aansluiting van het vensterprofiel en de dorpel met de wand
- zone aansluiting van de wand met de funderingsmuur

▪ Beoordeling van de horizontale raaminbouw in de wand

Zoals blijkt uit onderstaande figuur levert de inbouw van de ramen geen problemen op indien volgende richtlijnen worden gevolgd:

- De ramen dienen aan de buitenzijde zijdelings met isolatie ingepakt worden. Een richtlijn hiervoor is een isolatiedikte van minstens 4 cm.
- Idealiter staat de middelste glasplaat van de 3-voudige beglazing in het verlengde van de isotherm van 10 °C van de wand. Door de beglazing meer naar buiten te verschuiven zal echter de beschaduwing van de vensters omwille van hun inbouwdiepte verkleinen waardoor de energiebehoefte voor verwarming gunstig wordt beïnvloed. Deze beweging mag echter niet overdreven worden omdat er anders een verhoogde koudebrugwerking kan optreden omdat het raam onvoldoende omgeven wordt door isolatie.

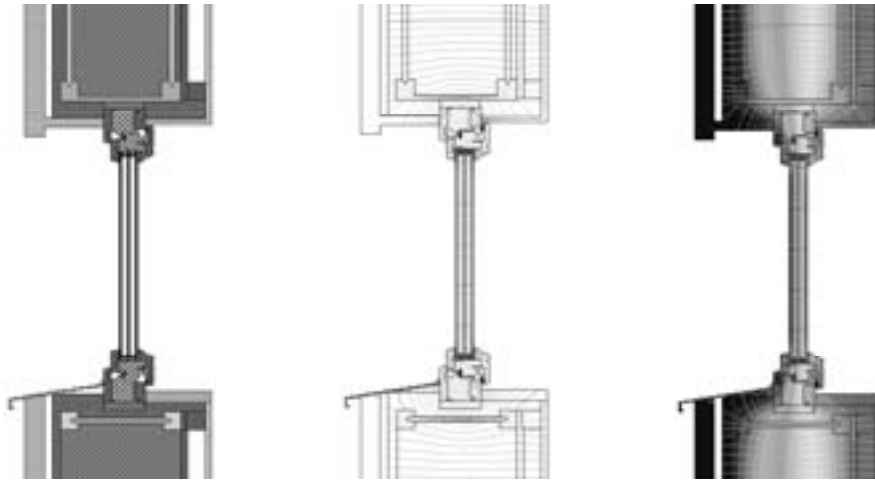




Figuur 15: Horizontale raaminbouw in de wand

- **Beoordeling van de verticale raaminbouw in de wand**

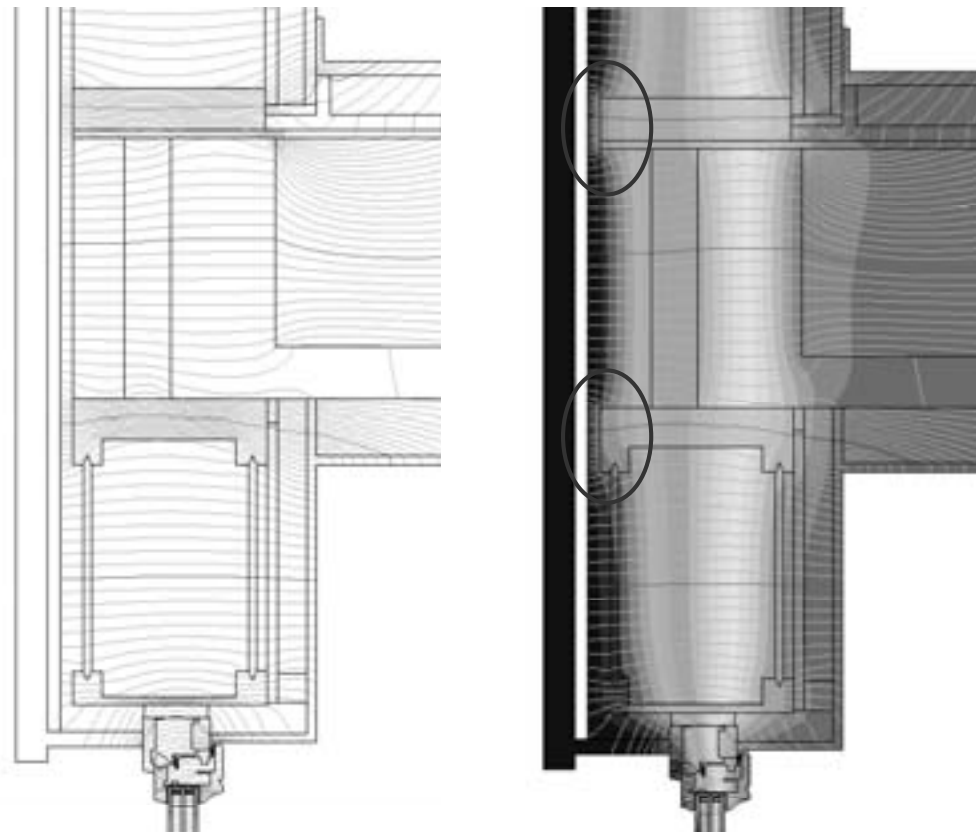
Uit de figuur blijkt dat voor de verticale raaminbouw in de wand dezelfde opmerkingen gelden als voor de horizontale raaminbouw, tenminste voor de bovenzijde van de ramen. De onderzijde van de ramen kan amper met isolatie worden overlapt, aangezien de dorpel in de weg zit. Bij de berekening van de globale U-waarde van Passiefhuisschrijnwerk wordt met deze beperking rekening gehouden.



Figuur 16: Verticale raaminbouw in de wand

- **Beoordeling van de overgang wand-tussenvloer**

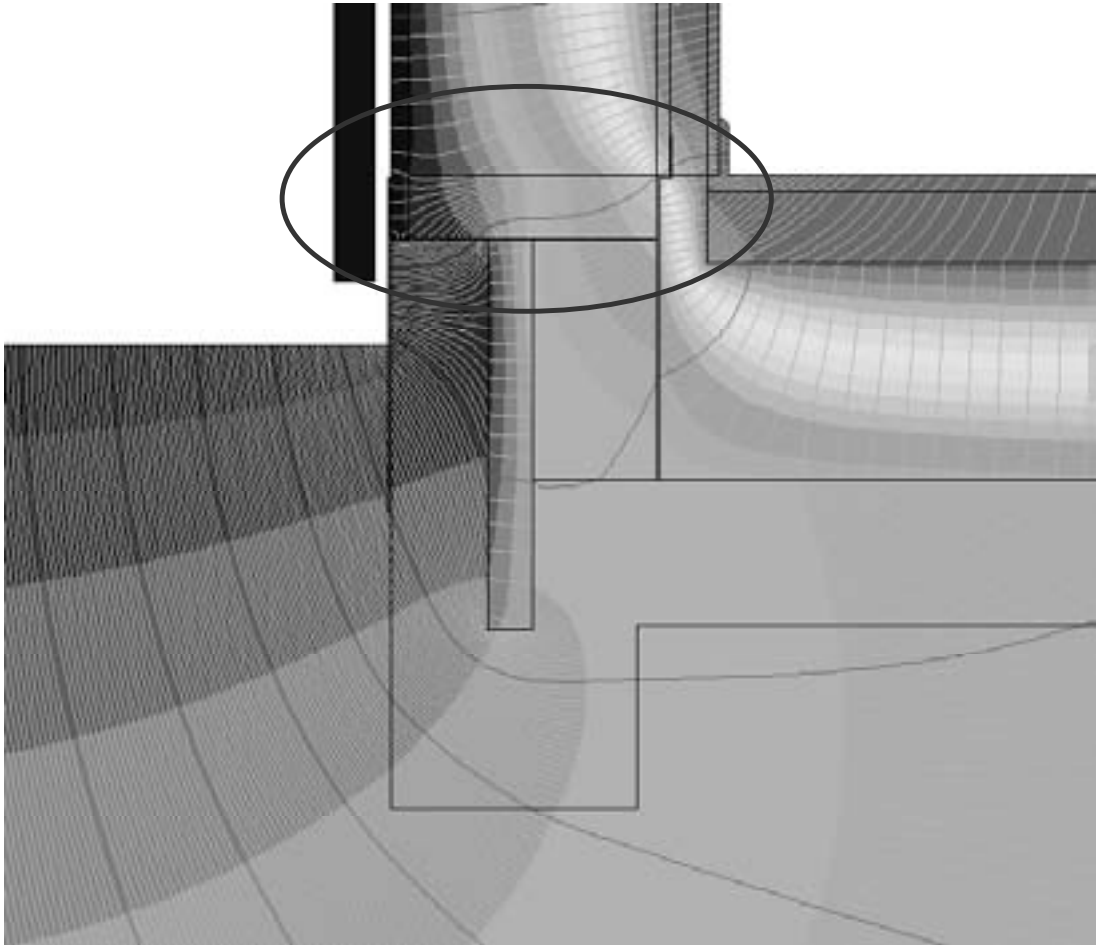
Wat de overgang wand-tussenvloer betreft, kunnen we stellen dat er een verhoogd warmtetransport plaatsvindt via de kerto-balken die als koppelregel en als stelregel fungeren, doch van risico op oppervlaktecondensatie is geen sprake. Mogelijk kan het verhoogd warmtetransport beperkt worden door het toepassen van al dan niet lokaal geplaatste spouwmuurisolatie of door het aanbrengen van een extra celit-strook ter hoogte van deze regels.



Figuur 17: Overgang wand-tussenvloer

- **Beoordeling van de overgang fundering-vloer-wand**

Wat de overgang fundering-vloer-wand betreft, kunnen we stellen dat ook hier een verhoogd warmtetransport plaatsvindt via de kerto-balken die als stelregel fungeren, doch van risico op oppervlaktecondensatie is ook hier geen sprake. Ook hier kan het verhoogd warmtetransport beperkt worden door het toepassen van al dan niet lokaal geplaatste spouwmuurisolatie of door het aanbrengen van een extra celit-strook ter hoogte van deze regels.



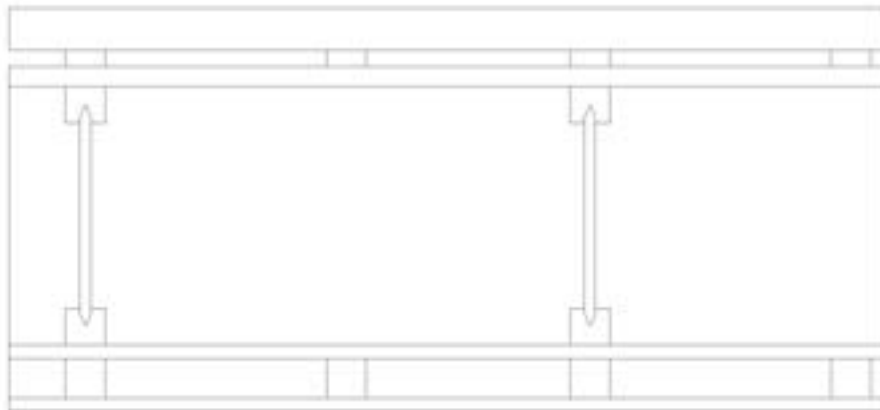
Figuur 18: Overgang fundering-vloer-wand

5.3.3 Berekening van de U-waarde van de basiswand

De basiswand is als volgt opgebouwd (van binnen naar buiten)

- 12,5 mm gipskartonplaat
- 45 mm leidingspouw (niet geïsoleerd)
- 15 mm OSB
- 300 mm FJI-ligger met cellulose isolatie (isofloc)
- 22 mm isolerende houtvezelplaat (Celit)

Per lopende meter wordt rekening gehouden met de aanwezigheid van 2 FJI-liggers. In de praktijk zullen deze houten I-liggers op 60 cm hart op hart geplaatst worden. Aangezien ter hoogte van hoeken, ramen en dergelijke de I-liggers soms dicht bij elkaar zullen staan, is een gemiddelde afstand van 50 cm hart op hart meer realistisch.



Figuur 19: Samenstelling van de basiswand

De U-waarde van de basiswand werd op twee manieren bepaald:

- door middel van een thermische simulatie
- door middel van een berekening op basis van het gewogen gemiddelde van 3 snedes

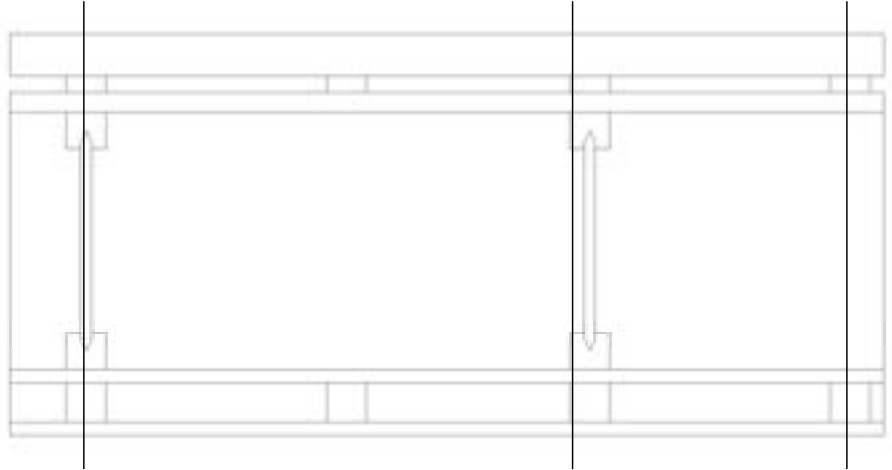
5.3.3.1 Berekening door middel van een thermische simulatie

Deze berekening is nauwkeuriger omdat de koudebrugwerking van de I-liggers correct wordt ingecalculeerd.

Resultaat: $U_{sim} = 1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

5.3.3.2 Berekening op basis van het gewogen gemiddelde van 3 snedes

Deze berekening is conform de norm NBN 62-002 voor de berekening van de U-waarde van bouwdelen, doch is minder nauwkeurig omdat het extra warmteverlies door de koudebrugwerking van de I-liggers niet wordt ingecalculeerd. De U-waarde van 3 snedes wordt berekend en vervolgens wordt hiervan een gewogen gemiddelde berekend.



Resultaat: $U_{\text{norm}} = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

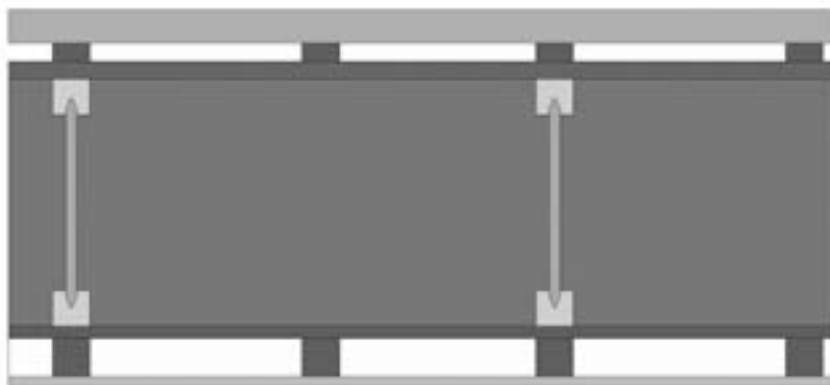
Conclusie: de werkelijke U-waarde van de basiswand ligt 8 % hoger dan de genormeerde U-waarde omwille van de koudebrugwerking van de I-liggers.

5.3.4 Berekening van de U-waarde door middel van thermische simulaties voor diverse varianten

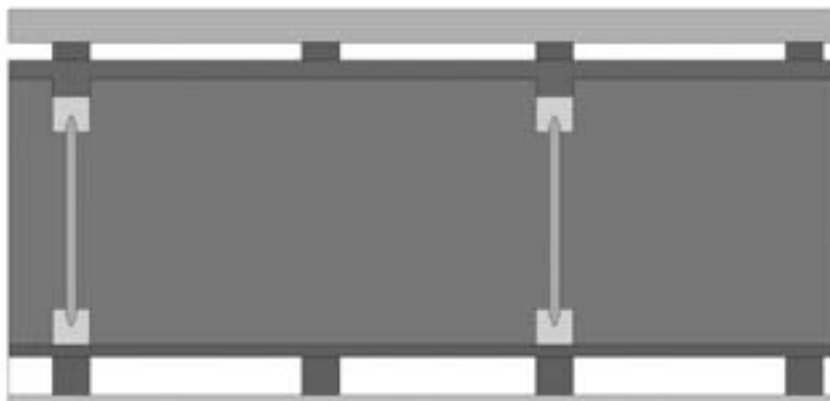
Gezien het grote verschil tussen U_{norm} en U_{sim} werd besloten om U_{sim} te berekenen voor een aantal varianten op de basiswand. Volgende varianten werden onderzocht:

5.3.4.1 3 varianten voor de wandsamenstelling:

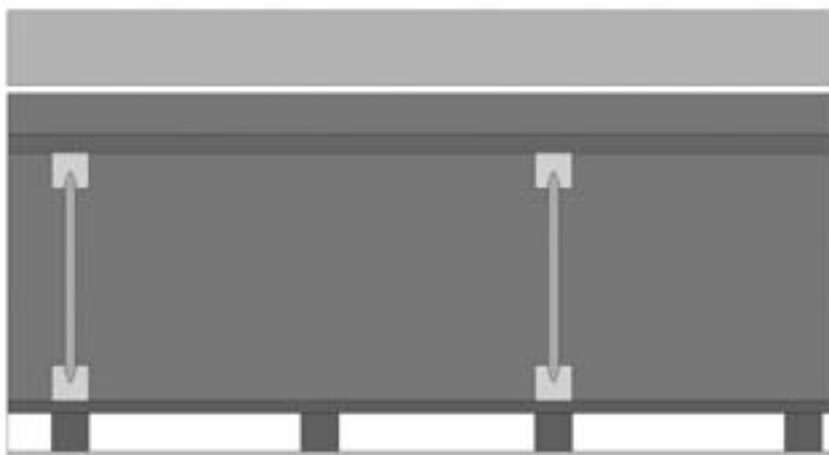
Standaard



Standaard + extra strippen isolerende houtvezelplaat (22 mm)

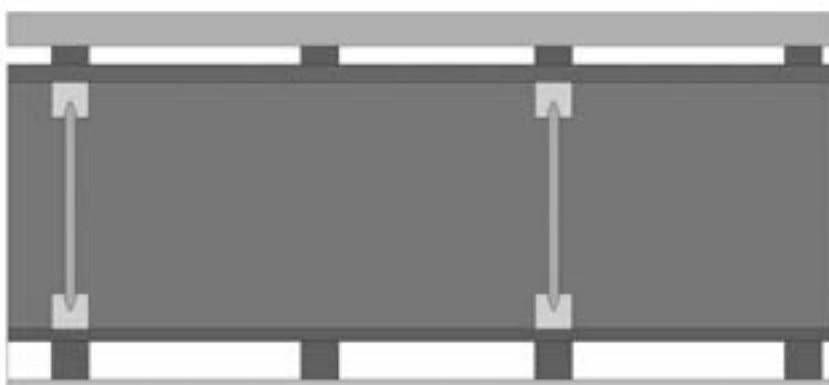


Standaard + extra spouwmuurisolatie (5 cm MW)

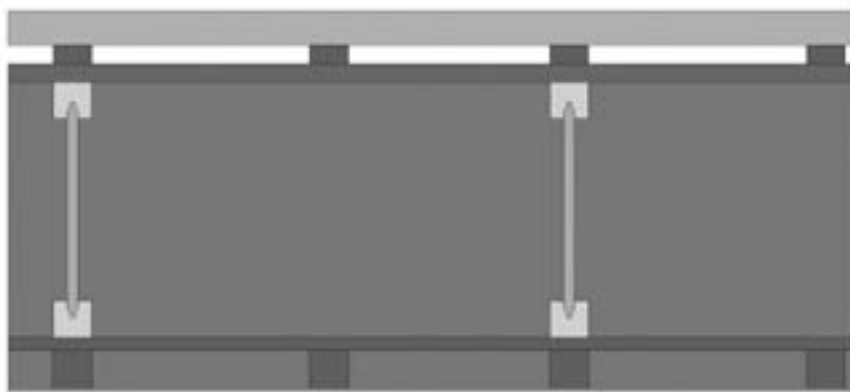


5.3.4.2 2 varianten voor de leidingspouw

Niet geïsoleerd



Geïsoleerd (45 mm MW)



5.3.4.3 5 varianten voor hoogte I-ligger

220, 240, 300, 350, 400

Rekening houdend met alle mogelijke combinaties van deze varianten levert dat in totaal ($3 \times 2 \times 5 =$) 30 varianten op. Voor elk van deze varianten werd U_{sim} berekend door middel van een thermische simulatie.

In onderstaande tabellen wordt U_{sim} weergegeven voor alle bestudeerde varianten:

Hoogte I-ligger	basis	extra C4d-strippen (22 mm)	extra mw in de spouw (50 mm)
I 220	-	-	0,142 W/(m ² .K)
I 240	-	0,151 W/(m ² .K)	0,134 W/(m ² .K)
I 300	0,135 W/(m ² .K)	0,126 W/(m ² .K)	0,114 W/(m ² .K)
I 350	0,118 W/(m ² .K)	0,111 W/(m ² .K)	0,102 W/(m ² .K)
I 400	0,105 W/(m ² .K)	0,099 W/(m ² .K)	0,092 W/(m ² .K)

Tabel 5: U_{sim} voor varianten zonder leidingspouwisolatie

Hoogte I-ligger	basis	extra C4d-strippen (22 mm)	extra mw in de spouw (50 mm)
I 220	-	0,146 W/(m ² .K)	0,131 W/(m ² .K)
I 240	0,149 W/(m ² .K)	0,138 W/(m ² .K)	0,124 W/(m ² .K)
I 300	0,125 W/(m ² .K)	0,117 W/(m ² .K)	0,107 W/(m ² .K)
I 350	0,110 W/(m ² .K)	0,104 W/(m ² .K)	0,096 W/(m ² .K)
I 400	0,098 W/(m ² .K)	0,093 W/(m ² .K)	0,087 W/(m ² .K)

Tabel 6: U_{sim} voor varianten met leidingspouwisolatie

Conclusies:

- De varianten leveren effectieve U-waarden op variërend tussen 0,087 en 0,150 W/m²K. Afhankelijk van de behoefte kan men een variant kiezen in functie van de U-waarde.
- Varianten met een U-waarde $> 0,150$ W/m²K werden niet nader bestudeerd omdat deze niet voldoen aan de prestatie-eis voor Passiefhuis-projecten.
- Voor hellende en platte daken kunnen de waarden uit de tabel zonder leidingisolatie worden gehanteerd.
- Voor de wanden levert het isoleren van de leidingspouw een verbetering van de U-waarde op tussen 5 en 9 %. Het grote voordeel van deze verbetering in tegenstelling tot andere varianten is het feit dat de totale dikte van de wand ongewijzigd blijft.

Hoofdstuk 6 Beoordeling hygrische kwaliteit van het bouwsysteem: Hygrische studie koud dak met cellulose-isolatie

6.1 Inleiding

Op 24 april 2003 werd Prof. A. Janssens van de Vakgroep Architectuur en Stedenbouw van de Universiteit Gent gevraagd om in opdracht van de firma isoproC cvba een numerieke studie uit te voeren naar het hygrothermisch gedrag van een koud daksysteem. Er werd gevraagd om na te gaan of er risico's verbonden zijn aan de toepassing van het voorgestelde daksysteem voor een nieuwbouw met serviceflats, voorzien van een mechanisch ventilatiesysteem.

Het betreft een licht plat dak samengesteld uit de volgende lagen (van buiten naar binnen):

1. EPDM-membraan 1.5 mm
2. Draagvloer uit OSB-platen, 18 mm
3. Cellulose-isolatie (isofloc L) droog ingeblazen tussen de dakliggers over de volledige hoogte van de dakspouw, 360 mm; de dakliggers zijn l-liggers uit OSB, as op as 400 mm, hoogte 360 mm, lijfplaat 11 mm, boven- en onderregel 45 mm x 39 mm
4. Lucht/dampscherm (pro clima)
5. Leidingenspouw
6. Gipskarton 12 mm

Dit rapport bespreekt de algemene problematiek van het 'koude' platte dak, geeft de uitgangspunten van de simulaties en analyseert de resultaten.

6.2 Het koud dak: probleemstelling

In de Technische Voorlichtingen van het WTCB (TV 215, referentie 1) worden voor platte daken nog slechts twee dakontwerpen toegelaten: het warme en het omgekeerde dak. Bij het warme dak worden dampscherm, thermische isolatie en dakafdichting bovenop de draagvloer aangebracht. Bij het omgekeerde dak is de dakafdichting rechtstreeks op de draagvloer aangebracht en bevindt de thermische isolatie zich op de dakafdichting. Beide dakontwerpen kunnen als luchtdicht beschouwd worden.

Het zogenaamde lichte koud dak, een tussen de dakstructuur geïsoleerd en geventileerd houten dak, is juist omwille van het courant gebrek aan luchtdichtheid in de praktijk condensgevoelig, getuige verschillende schadegevallen in de jaren '70 en '80. Dit ontwerp wordt daarom als algemene dakoplossing afgeraden in de TV 215. Dit betekent echter niet dat het koud dakontwerp per definitie problematisch is wat betreft vochtgedrag. Wel dat met de conventionele bouwtechnieken en –praktijk het risico groot is dat de noodzakelijke luchtdichtheid niet gerealiseerd kan worden en dat hierdoor vochtproblemen kunnen ontstaan.

Mits toepassing van aangepaste luchtdichtingstechnieken, en zorgvuldig ontwerp en uitvoering, kan een aangepast koud daktype echter toegepast worden voor gebouwen waar geen extreem vochtig binnenklimaat te verwachten is. Toepassingsvoorbeelden van koude daken in streken met een kouder klimaat dan het onze tonen dit aan (zie referenties 4 en 7).

De volgende kenmerken van de hier bestudeerde dakopbouw moeten de risico's verbonden aan het koud dakontwerp wegnemen:

1. De afwezigheid van een geventileerde luchtspouw tussen bebording en isolatie. Volgens de in de TV215 gehanteerde definitie is de aanwezigheid van een met buitenlucht geventileerde spouw één van de specifieke (nadelige) kenmerken van een koud dak. Door de aanwezigheid van een geventileerde spouw ontstaat bij een gebrekkige luchtdichtheid van het dak een continu stromingspad tussen binnen en buiten, zodat vochtige binnenlucht via het dak naar buiten kan exfiltreren, met mogelijke vochtaccumulatie in de bebording tot gevolg. Het weglaten van een geventileerde spouw uit het dakontwerp is dus een eerste stap om een goede vochthuishouding van het dak mogelijk te maken.
2. Het gebruik van een luchtschermsysteem (hier: pro clima). Sinds enkele jaren zijn nieuwe luchtdichtingssystemen op de markt, waarmee een continue luchtdichtheid met een grotere betrouwbaarheid in de praktijk kan gerealiseerd worden. Toepassing van een dergelijk systeem is essentieel voor een veilig vochtgedrag van een koud dak. Volgende ontwerp- en uitvoeringsaspecten moeten hierbij gerespecteerd worden:
 - a. Het dak ontwerpen om een continue uitvoering van het luchtschermsysteem mogelijk te maken: gebruik van een leidingenspouw voor electrica en andere leidingen aan de binnenkant van het luchtschermsysteem, detailleren

zodat luchtdichte aansluitingen tussen luchtscherf en structuur eenvoudig uitvoerbaar zijn,... (vb. ook bij toepassing van een luchtschermsysteem is het moeilijk om het scherm luchtdicht aan te sluiten op H-vormige dragende kolommen).

- b. Het luchtscherf laten uitvoeren door een hiervoor opgeleide aannemer, met toepassing van alle noodzakelijke componenten van het systeem (scherf, dichtingsbanden, kleefband, dichtingsmoffen,...)
 - c. Na uitvoering een luchtdichtheidstest van het scherm uitvoeren, en remediëren indien nodig.
3. Het gebruik van een dampscherf met vochtafhankelijke eigenschappen. Naast een goede luchtdichtheid is een snelle droging van ingebouwd vocht (hygroscopisch vocht in houten elementen, neerslag,...) belangrijk om een goed presterend koud dak te realiseren. Bij toepassing van conventionele dampschermen (kuststoffolies) zit ingebouwd vocht ingesloten tussen twee dampdichte lagen: de dakbedekking en het dampscherf. Hierdoor bestaat het risico dat de houten bebording langdurig blootgesteld wordt aan hoge vochtgehaltes, met mogelijke biologische degradatie (houtrot) tot gevolg. Het hier voorgestelde dampscherf heeft de eigenschap meer doorlatend te zijn voor waterdamp wanneer de relatieve vochtigheid van de omgeving toeneemt. Dit draagt bij tot een snellere uitdroging van het dak. Een juiste keuze van dampscherf is dus belangrijk om de duurzaamheid van het dak te garanderen. Om deze keuze wetenschappelijk te onderbouwen worden daarom hygrothermische simulaties uitgevoerd. Op deze manier is het mogelijk het vochtgedrag van het dak te evalueren bij toepassing van verschillende types dampschermen.

6.3 Hygrothermische simulaties

Het vochtgedrag van het dak werd onderzocht met behulp van het rekenprogramma 2DHAV. Dit berekent het gecombineerde warmte-, lucht- en waterdamptransport in bouwconstructies, en voorspelt het verloop van temperaturen, warmtestromen, dampdrukken en vochtgehaltes in functie van de tijd onder invloed van de wisselende

randvoorwaarden van buiten- en binnenklimaat. Meer details over het rekenprogramma vindt men terug in referentie 2.

Bij de studie fungeerden de eigenschappen van het dampscherm en de vochtbelasting (klimaatklasse) van het binnenklimaat als variabele parameters. In alle gevallen wordt verondersteld dat het lucht/dampscherm volgens bovenstaande principes luchtdicht is uitgevoerd.

6.3.1 Dakopbouw

Het dak wordt beschouwd als een 1-dimensionaal systeem, opgebouwd uit de volgende lagen (van buiten naar binnen):

1. EPDM, 1.5 mm ($\mu d = 100$ m)
2. OSB, 18 mm
3. Cellulose, 360 mm
4. Dampscherm, 0.23 mm (3 varianten)
5. Leidingenspouw ($R = 0.17$ m²K/W)
6. Gipskarton 12 mm

Het vochtgedrag wordt onderzocht voor 3 verschillende dampschermen:

1. pro clima DB+: $\mu d(\text{droog}) = 4$ m
2. pro clima DB+SPEZIAL: $\mu d(\text{droog}) = 16$ m
3. polyethyleen-folie: $\mu d = 10$ m

De eerste twee dampschermen zijn materialen met zogenaamd vochtregulerende eigenschappen. Dit betekent dat de dampdichtheid van het dampscherm functie is van de relatieve vochtigheid van de omgeving. Op deze manier wordt een grote dampdichtheid gerealiseerd in de winter (lage relatieve vochtigheid binnen), en een verbeterde droogcapaciteit in de zomer (hoge relatieve vochtigheid binnen, lagere dampdichtheid).

Het laatste dampscherm is een standaard kunststoffolie die courant als dampscherm wordt toegepast in bijvoorbeeld hellende daken.

6.3.2 Materiaaleigenschappen

Om het dak in het rekenprogramma te kunnen invoeren moeten de thermische en hygrische transport- en opslagcoëfficiënten worden gedefinieerd volgens een vastgelegd

formaat. Hierbij is uitgegaan van meetgegevens uit de literatuur (Referentie 3 en 4), en van rapporten ter beschikking gesteld door de firma isoproC (Referentie 5). Figuren 1 en 2 tonen enkele van de gefitte functies in vergelijking met de meetgegevens. Voor de numerieke simulatie wordt elke materiaallaag opgedeeld in een aantal rekenknopen. In wat volgt worden de toegepaste materiaaleigenschappen en het aantal rekenknopen per laag weergegeven.

EPDM (2 rekenknopen):

- $d = 0.0015 \text{ m}$
- $\lambda = 0.2 \text{ W/m/K}$
- $\mu d = 100 \text{ m}$, $w_H = 0 \text{ kg/m}^3$

OSB (4 rekenknopen):

- $d = 0.018 \text{ m}$, $\rho = 640 \text{ kg/m}^3$, $c = 1880 \text{ J/kg/K}$
- $\lambda = 0.113 + 3.14 \cdot 10^{-4} \cdot w \text{ W/m/K}$
- $\mu = 1/(4.2 \cdot 10^{-3} + 7.4 \cdot 10^{-6} \exp(8.7 \cdot \varphi))$
- $w_H = 400 \cdot (1 - \ln \varphi / 1.2 \cdot 10^{-3})^{-1/3.1} \text{ kg/m}^3$

Cellulose (36 rekenknopen):

- $d = 0.36 \text{ m}$, $\rho = 50 \text{ kg/m}^3$, $c = 1880 \text{ J/kg/K}$
- $\lambda = 0.037 + 0.37 \cdot 10^{-3} \cdot w \text{ W/m/K}$
- $\mu = 1/(0.36 + 4.5 \cdot 10^{-4} \exp(7.5 \cdot \varphi))$
- $w_H = 426 \cdot (1 - \ln \varphi / 9.2 \cdot 10^{-5})^{-1/1.75} \text{ kg/m}^3$

Dampscherm pro clima (2 rekenknopen):

- $d = 0.00023 \text{ m}$, $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$, $c = 1880 \text{ J/kg/K}$
- $\lambda = 0.2 \text{ W/m/K}$
- $\mu = 1/(5.73 \cdot 10^{-5} + 1.7 \cdot 10^{-7} \exp(9.3 \cdot \varphi))$: pro clima DB+
- $\mu = 1/(1.4 \cdot 10^{-5} + 6.2 \cdot 10^{-9} \exp(12.5 \cdot \varphi))$: pro clima DB+SPEZIAL
- $w_H = 1050 \cdot (1 - \ln \varphi / 0.05)^{-1/1.05} \text{ kg/m}^3$

Dampscherm polyethyleen (2 rekenknopen):

- $d = 0.00023 \text{ m}$,
- $\lambda = 0.2 \text{ W/m/K}$
- $\mu d = 10 \text{ m}$, $w_H = 0 \text{ kg/m}^3$

Luchtspouw (1 rekenknoop):

- $d = 0.02 \text{ m}$,

$$- R = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Gipskarton (2 rekenknopen):

$$- d = 0.012 \text{ m}, \rho = 1000 \text{ kg/m}^3, c = 840 \text{ J/kg/K}$$

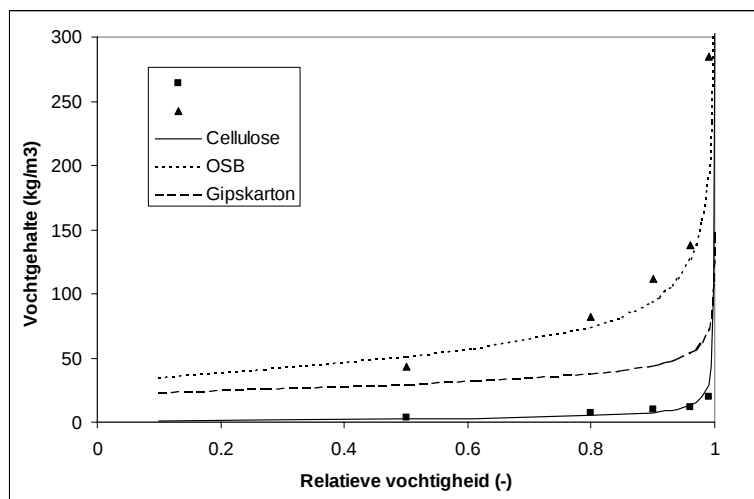
$$- \lambda = 0.095 + 0.003 \cdot w \text{ W/m/K}$$

$$- \mu = 1/(0.071 + 2.8 \cdot 10^{-3} \exp(4.1 \cdot \phi))$$

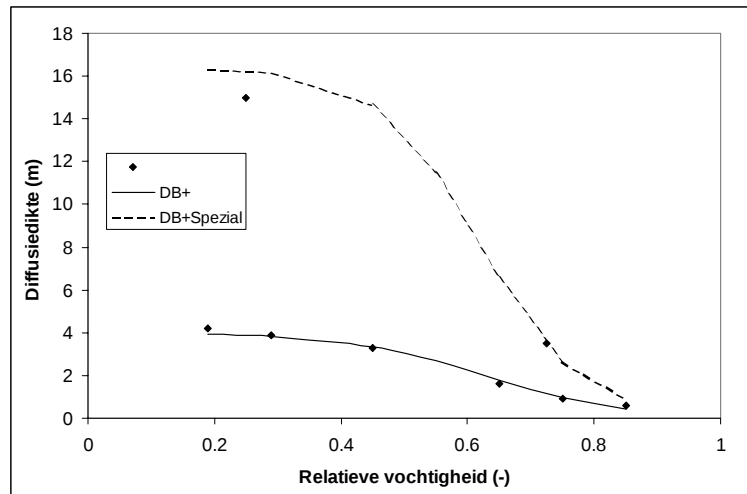
$$- w_H = 150 \cdot (1 - \ln \phi / 3 \cdot 10^{-4})^{-1/4.8} \text{ kg/m}^3$$

Hierbij is ρ de densiteit, c de specifieke warmtecapaciteit, λ de warmtegeleidingscoëfficiënt, μ het diffusieweerstandsgetal, ϕ de relatieve vochtigheid en w_H het hygroscopisch vochtgehalte.

De ontwerp-U-waarde van het dak is gelijk aan $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$, in de veronderstelling dat het vochtgehalte van de lagen in evenwicht is met de relatieve vochtigheid van de omgeving.



Figuur 20: Hygroscopisch vochtgehalte van OSB-plaat, gipskarton en cellulose-isolatie



Figuur 21: Diffusiedikte μ_d van dampscherm pro clima als functie van relatieve vochtigheid

6.3.3 Randvoorwaarden (Figuur 9 en Figuur 10)

Buitenklimaat:

- TRY Ukkel (uurgemiddelde waarden van temperatuur, vochtigheid en bezonning)
- Helling 0° , geen beschaduwing.
- $e = 0.9$ (emissie langgolvig), $a = 0.8$ (absorptie zonnestraling)

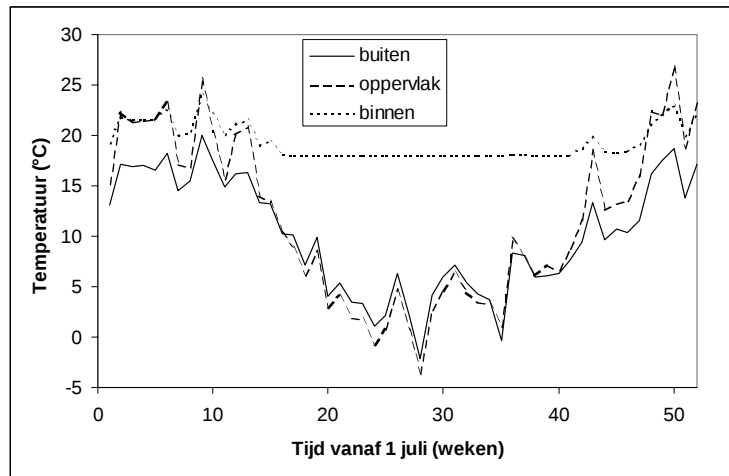
Binnenklimaat (Referentie 6):

- Binnentemperatuur $\theta_i = \max(18^\circ\text{C}, 8^\circ\text{C} + 0.8 \cdot \theta_e)$
- Klimaatklasse 2: Dampdruk binnen $p_i = p_e + 436 - 22 \cdot \theta_e$ Pa (gemiddelde vochtbelasting in woning: 50%-grens)
- Klimaatklasse 3: Dampdruk binnen $p_i = p_e + 713 - 22 \cdot \theta_e$ Pa (hoge vochtbelasting in woning: 95%-grens)

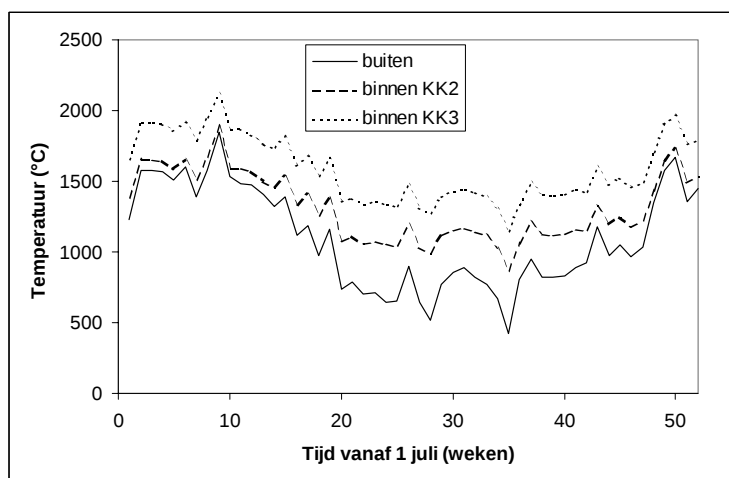
Beginvoorwaarden:

- OSB-plaat: $w = 100 \text{ kg/m}^3$, $\varphi = 0.9$
- Andere materialen: $\varphi = 0.8$

Dit laatste uitgangspunt impliceert dat de cellulose-isolatie droog wordt ingebracht (beschutte stockage op de werf) en dat het dampscherm pas wordt aangebracht als het vochtgehalte van de bebording kleiner is dan 15%.



Figuur 22: Weekgemiddelde waarden van temperatuur in binnen- en buitenklimaat, en van oppervlaktetemperatuur van de afdichting (invloed zon- en hemelstraling): verloop vanaf 1 juli



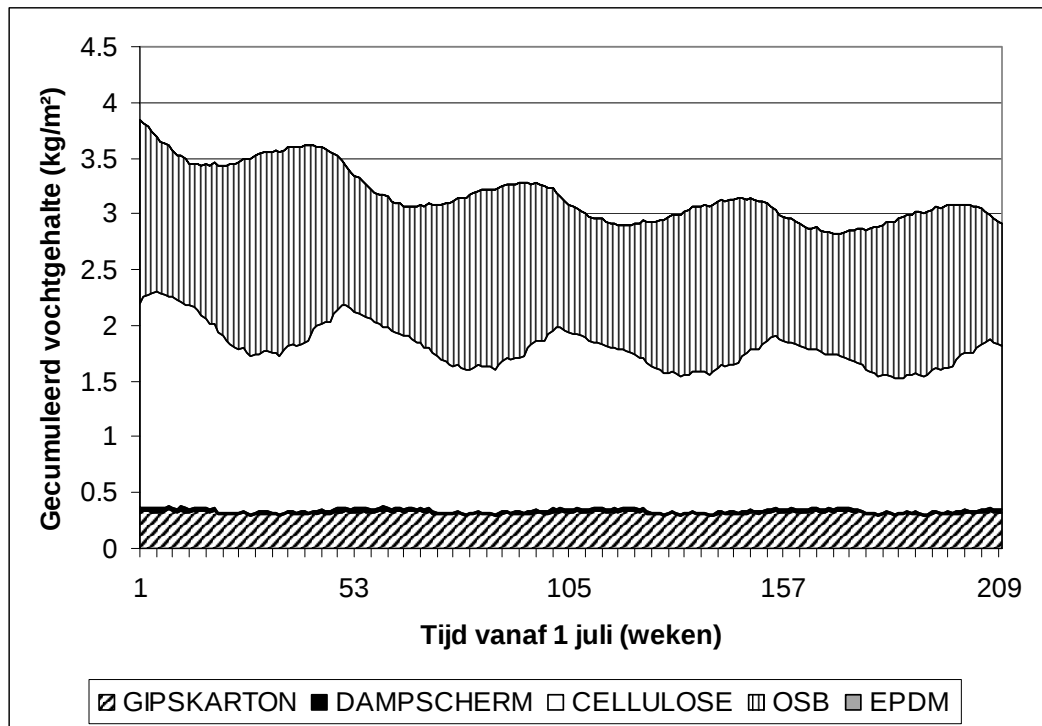
Figuur 23: Weekgemiddelde waarden van de dampdruk in binnen- en buitenklimaat, en voor twee binnenklimaatklassen: verloop vanaf 1 juli

6.3.4 Beoordeling resultaten

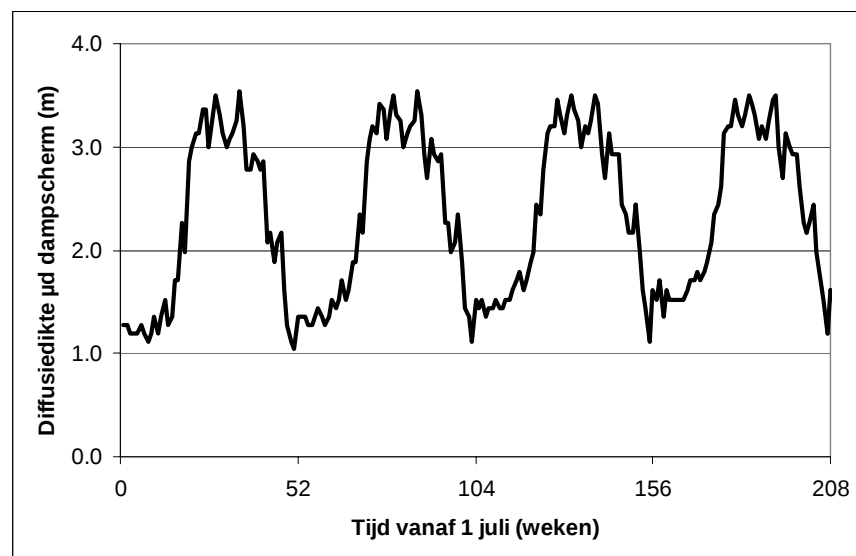
De resultaten hebben betrekking op 6 verschillende gevallen. De prestaties van het dak werden beoordeeld bij toepassing van drie dampschermen, en dit telkens voor de twee binnenklimaatklassen waaronder woongelegenheden worden gecatalogeerd. Ter illustratie van de resultaten en van de methodiek van beoordelen van het vochtgedrag,

wordt eerst het oorspronkelijk voorgestelde dakontwerp besproken, namelijk met het dampscherm pro clima DB+. Als binnenklimaat wordt klimaatklasse 2 verondersteld. Een periode van 4 jaar werd gesimuleerd, startend van 1 juli. Een typisch resultaat van de berekening wordt voorgesteld in Figuur 24. De figuur stelt het verloop van het vochtgehalte van de verschillende materiaallagen voor in functie van de tijd. Hierop zijn volgende evoluties merkbaar:

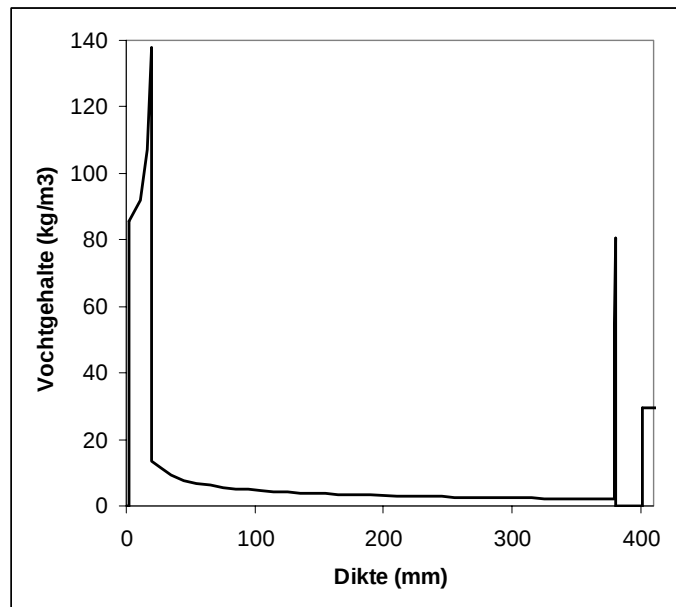
1. Het totale beginvochtgehalte van het dak neemt af van de oorspronkelijke waarde van 3.9 kg/m^2 naar 3.0 kg/m^2 op het einde van de rekenperiode. Op geen enkel ogenblik treedt condensatie tegen de EPDM-dakbedekking op. De vochtgehalten van de materialen blijven in het hygroscopisch gebied.
2. Wanneer het overschot aan vocht uit het dak is gedroogd evolueert het vochtgehalte van het dak naar een evenwichtssituatie, gekenmerkt door een zich jaarlijks hernemende cyclus van bevochtiging in de winter en droging in de zomer. Deze schommeling (rond 3.0 kg/m^2) is het gevolg van damptransport vanuit het binnenklimaat naar het dak, en omgekeerd. Tegelijk vindt een migratie van (hygroscopisch) vocht plaats van de cellulose-isolatie naar de OSB-plaat in de winter, en omgekeerd in de zomer.
3. Gekoppeld aan de bevochtiging-drogingscyclus schommelt de diffusiedikte van het pro clima dampscherm tussen een lage waarde in de zomer (hierdoor wordt droging bevorderd) en een hoge waarde in de winter (hierdoor wordt bevochtiging vertraagd). Dit is duidelijk op Figuur 25.



Figuur 24: Verloop van het vochtgehalte van de materiaallagen (Dampscherm DB+, KK2)



Figuur 25: Tijdsverloop van de weekgemiddelde diffusiedikte van het dampscherm DB+ (KK2).



Figuur 26:Verdeling van het vochtgehalte in de verschillende daklagen (0 = buitenoppervlak) bij maximaal vochtgehalte in de OSB-plaat (Jaar 1, week 28)

Bij de beoordeling van het vochtgedrag worden twee criteria geëvalueerd:

1. Kan het bij aanvang aanwezige vocht uit het dak drogen?
2. Blijven tijdens dit droogproces, en tijdens de uiteindelijk bereikte evenwichtssituatie, de vochtgehalten in het dak voldoende laag om biologische degradatie tegen te gaan?

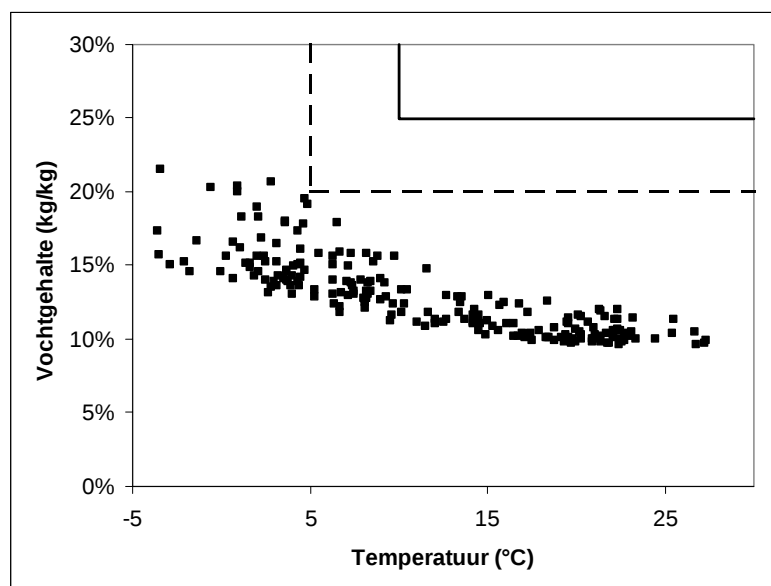
De tweede vraag heeft belang voor de OSB-plaat, dit is het materiaal dat aan de hoogste vochtgehalten onderworpen wordt (Figuur 26). Om dit te beoordelen wordt gebruik gemaakt van duurzaamheidscriteria, afgeleid voor onbehandeld naaldhout (referenties 7 en 8). Voor OSB-plaat zijn in de literatuur geen duurzaamheidscriteria gedocumenteerd, maar algemeen wordt aangenomen dat de criteria voor onbehandeld hout het strengst zijn. Bij elke simulatie wordt het aantal uren berekend waarbij het meest kritische punt in de OSB-plaat (de spouwzijde) aan bepaalde condities van temperatuur en vochtigheid is blootgesteld:

1. TOW 20/5 (TOW = ‘Time of Wetness’): Aantal uren dat de spouwzijde van de OSB-plaat zowel een vochtgehalte heeft hoger dan 20% kg/kg en een temperatuur boven 5°C. Wanneer het materiaal langdurig (meerdere maanden) in deze toestand blijft geldt een beperkt risico op schimmelontwikkeling. We

eisen dat deze toestand zich in totaal nooit langer dan 1 maand per jaar mag voordoen: $TOW\ 20/5 < 720\ h/jaar$;

2. $TOW\ 25/10$: Aantal uren dat de spouwzijde van de OSB-plaat zowel een vochtgehalte heeft hoger dan 25% kg/kg en een temperatuur boven 10°C. Wanneer het materiaal enige tijd (meerdere weken) in deze toestand blijft geldt een significant risico op schimmel- en houtrotontwikkeling. We eisen dat deze toestand zich nooit langer dan 1 week per jaar mag voordoen: $TOW\ 25/10 < 168\ h/jaar$.

Wanneer hetzij vochtgehalte hetzij temperatuur kleiner zijn dan resp. 20% kg/kg en 5°C, is het risico op biologische degradatie te verwaarlozen. In Figuur 27 worden de duurzaamheidscriteria grafisch geïllustreerd: hieruit blijkt dat bij toepassing van dampscherm DB+ in binnenklimaatklasse 2 er geen risico op biologische degradatie bestaat.



Figuur 27: Duurzaamheidsbeoordeling: vergelijking tussen de berekende weekgemiddelde vochtgehalten aan de spouwzijde van de OSB-plaat (dampscherm DB+, KK2) en de kritische condities voor temperatuur en vochtgehalte.

6.3.5 Globale beoordeling

Tabel 7 geeft een overzicht van de resultaten voor de zes varianten (drie dampschermen/ 2 klimaatklassen). Volgende parameters worden opgesomd:

- Het gecumuleerde vochtgehalte M_{tot} (kg/m²) op het einde van het eerste jaar (J1) en op het einde van de volledige rekenperiode (J4). Deze waarde laat toe na te gaan of er resulterend droging optreedt in het dak.
- Het maximaal weekgemiddeld vochtgehalte u_{max} (%kg/kg) dat optreedt in de OSB-plaat in jaar 1 of 4. Dit komt doorgaans overeen met het vochtgehalte aan de spouwzijde van de plaat tijdens de koudste week van het jaar.
- TOW 20/5 in jaar 1 en 4 (h/jaar)
- TOW 25/10 in jaar 1 en 4 (h/jaar)

De resultaten die niet voldoen aan één van de hoger vooropgestelde criteria in verband met droging of duurzaamheid worden gearceerd weergegeven in de tabel.

Hieruit blijkt dat het veronderstelde binnenklimaat een bepalende factor is om een veilige dakoplossing af te leiden. De onderzochte dampschermen zorgen elk voor een veilig vochtgedrag van het dak zolang het gebouw tot binnenklimaatklasse 2 behoort.

Dampscherm:	Pro clima DB+		Pro clima DB+S		PE-folie (µd 10m)	
Klimaatklasse:	KK2	KK3	KK2	KK3	KK2	KK3
M_{tot} (kg/m ²)* J1	3.4	4.0	3.6	3.8	3.7	3.9
J4	3.0	4.0	3.1	3.7	3.4	4.0
u_{max} (%kg/kg)* J1	21.5	27.9	24.5	26.8	25.7	27.3
(weekgemiddeld) J1	15.2	27.1	16.9	23.4	20.9	29.9
J4						
TOW 20/5 (h) J1	24	136	297	572	389	613
J4	0	640	0	247	15	665
TOW 25/10 (h) J1	0	0	0	0	0	0
J4	0	0	0	0	0	19

* Beginvoorwaarden (juli): $M_{\text{tot}} = 3.9 \text{ kg/m}^2$; $u_{\text{max}} = 15 \text{ \%kg/kg}$

Tabel 7: Overzicht van de rekenresultaten

Bij een vochtiger binnenklimaat (KK3) zorgt enkel het dampscherm ‘pro clima DB+SPEZIAL’ voor een voldoende snelle uitdroging van het dak, en een voldoende evenwicht tussen bevochtiging en droging, zodat aan de duurzaamheidscriteria wordt voldaan. Bij de twee andere dampschermen treedt een jaarlijks resulterende bevochtiging van de dakstructuur op. Statistisch kan niet uitgesloten worden dat één van de flats die zich onder het onderzochte koud dak bevinden tot binnenklimaatklasse 3 kan behoren. Daarom is toepassing van het ‘DB+SPEZIAL’-dampscherm aan te raden om een veilig vochtgedrag van het koud dakontwerp te garanderen.

6.3.6 Belang van een droge bebording

De bovenstaande beoordeling ging uit van een beginsituatie met een relatief droge bebording (15 %kg/kg). In de bouwpraktijk is het niet uitgesloten dat bij slechte weersomstandigheden de bebording een hoger vochtgehalte heeft op het ogenblik dat de dakbedekking wordt aangebracht.

Om de gevoeligheid van het vochtgedrag van het dak voor deze parameter na te gaan werden daarom aanvullende berekeningen uitgevoerd voor de dakopbouw met dampscherm 'pro clima DB+SPEZIAL', en met hogere waarden van het beginvochtgehalte in de OSB-plaat. De resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel.

De simulaties tonen aan dat het vochtgedrag van het dak in de evenwichtssituatie (vierde jaar) ongevoelig is voor de waarde van het beginvochtgehalte: het dak droogt relatief snel uit, zodat in de evenwichtssituatie aan de duurzaamheidscriteria voldaan wordt. Zoals te verwachten valt wordt het vochtgedrag van het dak tijdens het eerste jaar wel sterk beïnvloed door het oorspronkelijk vochtgehalte van de bebording. Een waarde van 17.5% komt uit de berekeningen naar voren als een grenswaarde voor het beginvochtgehalte van de bebording zodat ook tijdens het eerste jaar een veilige vochthuishouding van het dak gegarandeerd wordt.

Beginstoestand:	$M_{\text{tot}} = 4.2 \text{ kg/m}^2$ $u_{\text{max}} = 17.5 \text{ \%kg/kg}$		$M_{\text{tot}} = 4.5 \text{ kg/m}^2$ $u_{\text{max}} = 20.0 \text{ \%kg/kg}$		$M_{\text{tot}} = 5.1 \text{ kg/m}^2$ $u_{\text{max}} = 25.0 \text{ \%kg/kg}$	
Klimaatklasse:	KK2	KK3	KK2	KK3	KK2	KK3
$M_{\text{tot}} \text{ (kg/m}^2\text{)}$	J1	3.9	4.1	4.1	4.3	4.6
	J4	3.2	3.8	3.4	3.9	4.1
$u_{\text{max}} \text{ (\%kg/kg)}$ (weekgemiddeld)	J1	29.9	32.6	35.9	38.6	49.4
	J4	18.4	25.3	19.9	27.3	24.3
TOW 20/5 (h)	J1	663	926	1259	1574	1851
	J4	0	422	0	609	312
TOW 25/10 (h)	J1	19	35	75	87	329
	J4	0	0	0	0	32

Tabel 8: Invloed van een hoger beginvochtgehalte (dampscherm DB+SPEZIAL)

6.4 Besluit

Uit de studie is gebleken dat een goed vochtgedrag van de in de inleiding voorgestelde dakopbouw kan gerealiseerd worden, mits toepassing van het membraan 'pro clima DB+SPEZIAL' als dampscherm. Bij gebruik van dit materiaal behoudt het dak een goede vochthuishouding ook bij toepassing boven een ruimte met binnenklimaatklasse 3.

Net als alle daken van het type 'koud dak' is ook het vochtgedrag van het hier voorgestelde dak echter gevoelig aan werf- en uitvoeringsomstandigheden. Volgende maatregelen zijn daarom essentieel om deze gevoeligheid te verminderen en de kwaliteit van het dak te waarborgen:

1. Toepassing van een luchtschersysteem (hier: type 'pro clima') en uitvoering van een luchtdichtheidstest om de uitvoeringskwaliteit na te gaan;
2. Controle van het vochtgehalte van de bebording: lucht/dampscherm en isolatie mogen pas aangebracht worden als het vochtgehalte van de OSB-platen gemiddeld kleiner is dan 17.5 gewichtsprocenten.

6.5 Referenties

- WTCB. 2002. *Technische Voorlichting 215*. Het platte dak: opbouw, materialen, uitvoering, onderhoud. Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, Brussel.
- Janssens, A. 2001. 'Advanced numerical models for hygrothermal research: 2DHAV model description' *Moisture analysis and condensation control* (H.R. Trechsel, editor). ASTM Manual 40. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, ISBN 0-8031-2089-3, 177-178.
- Trechsel, H.R. (ed.) 2001. *Moisture analysis and condensation control*. ASTM Manual 40.
- Pedersen, C.R. 1990. Combined heat and moisture transfer in building constructions. Thermal insulation laboratory, Technical University of Denmark, Report nr 214.
- Prüfprotokoll pro clima DB+ en DB+ SPEZIAL, Materialforschungs- und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig. 1998.

- Janssens, A. 1999. Inwendige condensatie: oorzaken, constructieve maatregelen, ontwerpregels. Syllabus van de *Studiecyclus 'Vocht in de bouw'*, Deel 3. TI-KVIV, 18 november 1999, Antwerpen, 18 pp.
- Fazio, P et al. (Concordia University Montreal) 1998. Testing of flat roofs insulated with cellulose fiber. Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII Conference. ASHRAE Special Publications, Atlanta, 3-13.
- Viitanen, H. 1996. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material: effect of humidity, temperature and exposure time. Dissertation, University of Uppsala.

Hoofdstuk 7 Evaluatie van de Passiefhuiscriteria op gebouwniveau

Het belangrijkste criterium voor Passiefhuizen is de bepaling dat het jaarlijks verbruik voor ruimteverwarming maximaal 15 kWh/m² nuttige vloeroppervlakte per jaar mag bedragen. Dit criterium moet voor elk gebouw gecontroleerd worden aan de hand van een gestandaardiseerde berekening.

Om na te gaan in hoeverre het wandsysteem dat onderwerp uitmaakt van deze innovatiestudie kan ingezet worden voor de constructie van Passiefhuizen, werd de energiebehoefte voor verwarming berekend voor 3 typegebouwen. De berekeningen gebeurden met de softwaretool PHPP (PassivHaus ProjekterungsPakket), de berekeningswijze is conform de Europese Norm EN 832 voor de berekening van energieprestaties van gebouwen.

7.1 Beschrijving van de typegebouwen

De energieprestatieberekening werd getoetst op 3 typegebouwen:

- Open bebouwing (OB)
- Halfopen bebouwing (HOB)
- Gesloten bebouwing (GB)

Voor elk typegebouw werd een voorbeeld gezocht van een project dat effectief ontworpen en/of gerealiseerd werd.

7.2 Berekening van de netto energiebehoefte voor verwarming

Deze gestandaardiseerde berekening werd uitgevoerd voor de 3 typewoningen:

7.2.1 Open bebouwing (OB)

Eerst worden de transmissieverliezen berekend, rekening houdend met de oppervlakten en de isolatiewaarden van de bouwdeelen en de typische klimaatfactoren voor België:

Passivhaus-Projektierung ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME									
Klima: Ukkel									
Objekt: Open bebouwing		Gebäudetyp/Nutzung: woning + bureel							
Standort:		Energiebezugsfläche A _{EB} : 255,7 m ²							
		Standard-Personenbelegung 4 Pers pro m ² Energiebezugsfläche							
Bauteile	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _t	G _t kWh/a	kWh/a				
1. Vloer	154,1	0,131	0,5	72	=	728			
2. Overgang vloer-gevel	0,0	0,144	0,5	72	=	0			
3. Gevels	282,1	0,125	1,0	72	=	2544			
4. Dak	154,1	0,105	1,0	72	=	1168			
5.					=				
6.					=				
7. Voordeur	0,0	0,800	1,0	72	=	0			
8. Fenster	52,3	0,800	1,0	72	=	3016			
Transmissionswärmeverluste Q_T					Summe	7457	29,2 kWh/(m ² a)		

Vervolgens worden de ventilatieverliezen berekend, rekening houdend met de eisen voor luchtdichtheid en het gebruik van een aardwarmtewisselaar en warmterecuperatie:

Lüftungsanlage:		wirksames Luftvolumen V _L		A _{EB} m ²		lichte Raumhöhe m		m ³	
Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmetauschers	η _{WRG} 80%			255,7	*	2,50	=	639	1/h
Wärmebereitstellungsgrad des Erreichwärmetauschers	η _{EW} 20%								
		Φ _{WRG}		Φ _{WRG}		Φ _{WRG}			
		n _{L,Anlage} 1/h		n _{L,Anlage} 1/h		n _{L,Anlage} 1/h			
		0,300		0,300		0,300			
		energetisch wirksamer Luftwechsel n _L		energetisch wirksamer Luftwechsel n _L		energetisch wirksamer Luftwechsel n _L			
		0,090		0,090		0,090			
		V _L m ³		V _L m ³		V _L m ³			
		639		639		639			
		n _L 1/h		n _L 1/h		n _L 1/h			
		0,090		0,090		0,090			
		C _{Luft} Wh/(m ³ K)		C _{Luft} Wh/(m ³ K)		C _{Luft} Wh/(m ³ K)			
		0,33		0,33		0,33			
		G _t kWh/a		G _t kWh/a		G _t kWh/a			
		72		72		72			
Lüftungswärmeverluste Q_L									
639 * 0,090 * 0,33 * 72 =					1370	5,4 kWh/(m ² a)			

De totale warmteverliezen zijn hierdoor gekend:

Summe Wärmeverluste Q _V		Q _T kWh/a		Q _L kWh/a		Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenend-absenkung		kWh/a		kWh/(m ² a)	
		7457	+	1370	*	1,0	=	8826	34,5		

Vervolgens worden de warmtewinsten berekend, bestaande uit zonnewinsten en interne warmtewinsten. Er wordt rekening gehouden met een benuttingsfactor:

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m²a)	kWh/a	
1. Ost	0,45	0,50	10,6	203	485	
2. Süd	0,45	0,50	18,6	309	1293	
3. West	0,45	0,50	11,3	203	515	
4. Nord	0,45	0,50	11,8	145	384	
5. Horizontal				285		
Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S					Summe	2677
						10,5
		Länge Heizzeit d/a	spezif. Leistung q _i W/m²	A _{EB} m²	kWh/a	kWh/(m²a)
Interne Wärmequellen Q_I		0,024	2,1	255,7	2899	11,3
Freie Wärme Q _F				Q _S + Q _I	5577	21,8
Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten				Q _F / Q _V	0,632	
Nutzungsgrad Wärmegewinne η _G				(1 - (Q _F /Q _V) ⁵) / (1 - (Q _F /Q _V) ⁶)	0,960	
Wärmegewinne Q_G				η _G * Q _F	5356	20,9

Door de warmtewinsten af te trekken van de warmteverliezen, rekening houdend met gelijktijdigheden, bekomt men het jaarlijks verbruik voor ruimteverwarming:

Heizwärmebedarf Q_H		Q _V - Q _G	3470	13,6
Anforderung Bauwerksart (ankreuzen)	☒ Grenzwert	kWh/(m²a)	15	Anforderung erfüllt? ☒ ja

Het resultaat van de berekening, namelijk het jaarlijks verbruik voor ruimteverwarming, moet lager zijn dan 15 kWh/m² nuttige vloeroppervlakte. Indien dit niet het geval is, moeten ingrepen gebeuren (bv. isolatiewaarden verhogen, beglazing anders oriënteren, bouwvorm optimaliseren...).

Aandachtspunten en conclusies bij deze berekeningen:

- Aangezien het verbruik steeds per m² nuttige vloeroppervlakte wordt berekend, is de correcte bepaling van deze oppervlakte belangrijk. Het is de som van alle netto oppervlakten van alle ruimten binnen het beschermd volume, waarbij vides niet worden meegerekend en waarbij trappen telkens voor slechts 1 bouwlaag worden meegeteld. Oppervlakten waarvan de hoogte kleiner is dan 1,5 m mogen ook niet worden meegerekend.
- Voor het ventilatieverlies wordt standaard met een temperatuurrendement van 80 % gerekend voor de balansventilatie. Het rendement voor de warmtewisselaar bedraagt standaard 20 %. Het infiltratieverlies van 0,042 h-1 onderstelt dat het criterium voor luchtdichtheid gehaald wordt.
- Aangezien op basis van de ontwerpplannen de exacte raaminbouwdetails nog niet beschikbaar waren, hebben we standaard gerekend met een reductiefactor van 45 %. In werkelijkheid kan deze waarde gunstiger of minder gunstig zijn.

- Via trial and error worden U-waarden ingevuld voor de verschillende bouwdelen. In de eerste plaats wordt gestart met de grenswaarden en vervolgens worden deze verstrengd totdat het criterium van 15 kWh/m² gehaald wordt. Hierbij worden volgende prioriteiten gevolgd:

1. Voor ramen en deuren wordt een U-waarde van 0,8 W/m²K genomen.
 2. Voor de vloer werd gerekend met een U-waarde van 0,131 W/m²K. Deze waarde wordt gehaald met een isolatie van 15 cm gespoten PUR.
 3. Voor het dak en voor de gevels worden U-waarden geselecteerd die met het wandsysteem kunnen gehaald worden. Daarbij wordt in de eerste plaats de U-waarde van het dak verbeterd aangezien het eenvoudiger is om het dak met enkele cm te verhogen dan de gevel met enkele cm te verbreden. Vaak is immers de buitenoppervlakte gelimiteerd waardoor een dikkere muur resulteert in een kleinere binnenoppervlakte.
- Aan de eis van 15 kWh/m² wordt voldaan indien het dak wordt opgebouwd uit een wandsysteem met I-liggers van 40 cm, en de muur wordt opgebouwd uit een wandsysteem met I-liggers van 30 cm en waarbij de leidingspouw geïsoleerd wordt.

7.2.2 Halfopen bebouwing (HOB)

De halfopen bebouwing werd bestudeerd voor 3 scenario's, namelijk 1 scenario voor een gunstige oriëntatie (zuidoriëntatie) en 2 scenario's voor een ongunstige oriëntatie (noordoriëntatie).

■ Halfopen bebouwing – zuidoriëntatie

Passivhaus-Projektierung									
ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME									
Klima:		Ukkel							
Objekt:		Halfopen bebouwing (zuidoriëntatie)							
Standort:									
		Gebäudetyp/Nutzung:		Eengezinswoning					
		Energiebezugsfläche A_{EB} :		156,6		m ²			
		Standard-Personenbelegung		6		Pers		pro m ² Energiebezugsfläche	
Bauteile	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f_t	G_t kWh/a					
1. Vloer	95,9	0,140	0,5	72	=	483			
2. Overgang vloer-gevel	0,0	0,000	0,5	72	=	0			
3. Gevels	148,7	0,124	1,0	72	=	1325			
4. Dak	115,8	0,118	1,0	72	=	986			
5.					=				
6.					=				
7. Voordeur	0,0	0,800	1,0	72	=	0			
8. Fenster	38,9	0,781	1,0	72	=	2194			
Transmissionswärmeverluste Q_T						Summe	4989	kWh/(m ² a)	31,9
Lüftungsanlage:		wirksames Luftvolumen V_L		A_{EB} m ²	lichte Raumhöhe m	m ³			
				156,6	2,50	391			
Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmetauschers		η_{WRG}	80%						
Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmetauschers		η_{EWT}	33%						
		$n_{L,Anlage}$ 1/h	Φ_{WRG}	$n_{L,Inltr.}$ 1/h					
energetisch wirksamer Luftwechsel n_L		0,460	(1 - 0,87)	0,042	0,104				
Lüftungswärmeverluste Q_L		V_L m ³	n_L 1/h	C_{Luft} Wh/(m ³ K)	G_t kWh/a	=	966	kWh/(m ² a)	6,2
		391	0,104	0,33	72	=	966		
Summe Wärmeverluste Q_V		Q_T kWh/a	Q_L kWh/a	Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenend-absenkung	Q_V kWh/a	=	5955	kWh/(m ² a)	38,0
		4989	966	1,0	5955	=			
Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a)	kWh/a				
1. Ost	0,45	0,50	0,0	202	=	0			
2. Süd	0,48	0,50	12,3	320	=	947			
3. West	0,46	0,50	16,5	203	=	766			
4. Nord	0,34	0,50	7,2	144	=	174			
5. Horizontal	0,45	0,50	2,9	285	=	187			
Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S						Summe	2075	kWh/(m ² a)	13,2
Interne Wärmequellen Q_i		k_{hid}	Länge Heizzeit d/a	spezif. Leistung q_i W/m ²	A_{EB} m ²	=	1776	kWh/(m ² a)	11,3
		0,024	225	2,1	156,6	=	1776		
Freie Wärme Q_F						$Q_S + Q_i$	=	3850	kWh/(m ² a)
Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten						Q_F / Q_V	=	0,647	
Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G						$(1 - (Q_F / Q_V)^5) / (1 - (Q_F / Q_V)^6)$	=	0,957	
Wärmegewinne Q_G						$\eta_G * Q_F$	=	3684	kWh/(m ² a)
Heizwärmebedarf Q_H						$Q_V - Q_G$	=	2271	kWh/(m ² a)
Anforderung Bauwerksart (ankreuzen)		X	Grenzwert	kWh/(m ² a)					
			Zielwert	15					
Anforderung erfüllt?					(ja/nein)	ja			

Aandachtspunten en conclusies bij deze berekeningen:

- In dit voorbeeld werd aangenomen dat het rendement van de warmtewisselaar 33 % bedraagt, dit is haalbaar met een goed gedimensioneerde warmtewisselaar. Indien in dit voorbeeld met een rendement van 20 % zou gerekend worden, zou de energiebehoefte voor verwarming stijgen tot 15,1 kWh/m².
- In dit voorbeeld werd de U-waarden van de ramen nauwkeurig uitgerekend op basis van de oppervlakte en de wandinbouw, hetgeen resulteert in een iets gunstigere gemiddelde U-waarde (0,781 W/m²K ipv 0,800 W/m²K). Anderzijds blijkt de reductiefactor te variëren tussen 0,34 en 0,48.
- Voor het dak wordt een wandsysteem gekozen met I-liggers van 35 cm en voor de muren wordt een wandsysteem gekozen met I-liggers van 24 cm met 5 cm extra spouwmuurisolatie én met leidingspouwisolatie.

- Halfopen bebouwing – noordoriëntatie 1

Passivhaus-Projektierung

ENERGIEKENNWERTE HEIZWÄRME

Klima:
 Objekt:
 Standort:

Gebäudetyp/Nutzung:
 Energiebezugsfläche A_{EB}: m²
 Standard-Personenbelegung: Pers pro m² Energiebezugsfläche

Bauteile	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _i	G _i kWh/a		
1. Vloer	95,9	0,140	0,5	72	=	483
2. Overgang vloer-gevel	0,0	0,000	0,5	72	=	0
3. Gevels	148,7	0,107	1,0	72	=	1148
4. Dak	115,8	0,105	1,0	72	=	877
5.					=	
6.					=	
7. Voordeur	0,0	0,800	1,0	72	=	0
8. Fenster	38,9	0,781	1,0	72	=	2194
Summe						4703

kWh/(m²a)

Transmissionswärmeverluste Q_T 30,0

Lüftungsanlage:
 Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmetauschers η_{WRG}
 Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmetauschers η_{EWt}
 energetisch wirksamer Luftwechsel n_L

wirksames Luftvolumen V_L m³
 lichte Raumhöhe m
 A_{EB} m²
 Wärmebereitstellungsgrad Φ_{WRG}
 n_{L,Anlage} 1/h
 n_{L,Infiltr.} 1/h

= m³
 = 1/h
 = 1/h

V _L m ³	n _L 1/h	C _{Luft} Wh/(m ³ K)	G _i kWh/a		
391	0,104	0,33	72	=	966

kWh/(m²a)

Lüftungswärmeverluste Q_L 6,2

Summe Wärmeverluste Q_V (4703 + 966) * 1,0 = 5668

kWh/a 36,2

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a)		
1. Ost	0,45	0,50	0,0	202	=	0
2. Süd	0,38	0,50	7,2	330	=	456
3. West	0,46	0,50	16,5	203	=	766
4. Nord	0,43	0,50	12,3	145	=	387
5. Horizontal	0,45	0,50	2,9	285	=	187
Summe						1797

kWh/(m²a)

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S 11,5

kh/d
 Länge Heizzeit d/a
 spezif. Leistung q_i W/m²
 A_{EB} m²

kWh/a
 kWh/(m²a)

Interne Wärmequellen Q_I

Freie Wärme Q_F Q_S + Q_I = 3573

kWh/a 22,8

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten Q_F / Q_V = 0,630

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G (1 - (Q_F / Q_V)⁵) / (1 - (Q_F / Q_V)⁶) = 0,961

Wärmegewinne Q_G η_G * Q_F = 3433

kWh/a 21,9

Heizwärmebedarf Q_H Q_V - Q_G = 2236

kWh/a 14,3

Anforderung Bauwerksart (ankreuzen) ☒ Grenzwert ☐ Zielwert kWh/(m²a)

Anforderung erfüllt? (ja/nein)

Aandachtspunten en conclusies bij deze berekeningen:

- In dit voorbeeld werden alle randvoorwaarden van het scenario zuidoriëntatie overgenomen. Aangezien de energiebehoefte voor verwarming steeg tot 16.0 kWh/m² omwille van deze ongunstige oriëntatie, werd de keuze van wanden en daken gewijzigd om aan de gestelde eis te voldoen.
- Voor het dak wordt een wandsysteem gekozen met I-liggers van 40 cm en voor de muren wordt een wandsysteem gekozen met I-liggers van 30 cm met 5 cm extra spouwmuurisolatie én met leidingspouwisolatie.

■ Halfopen bebouwing – noordoriëntatie 2

Passivhaus-Projektierung											
ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME											
Klima: Ukkel											
Objekt: Halfopen bebouwing (noordoriëntatie 2)		Gebäudetyp/Nutzung: Eengezinswoning									
Standort:		Energiebezugsfläche A _{EB} : 156,6 m ²									
		Standard-Personenbelegung 6 Pers pro m ² Energiebezugsfläche									
Bauteile	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _i	G _i kWh/a	=	kWh/a					
1. Vloer	95,9	0,140	0,5	72	=	483					
2. Overgang vloer-gevel	0,0	0,000	0,5	72	=	0					
3. Gevels	148,7	0,124	1,0	72	=	1330					
4. Dak	115,8	0,118	1,0	72	=	986					
5.					=						
6.					=						
7. Voordeur	0,0	0,800	1,0	72	=	0					
8. Fenster	38,9	0,781	1,0	72	=	2194					
Transmissionswärmeverluste Q_T						Summe	4994	31,9	kWh/(m ² a)		
Lüftungsanlage: wirksames Luftvolumen V_L 156,6 m² * 2,50 m = 391 m³ A_{EB} m² lichte Raumhöhe m											
Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmetauschers η_{WRG} 90% Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmetauschers η_{EWt} 33%											
n_{L,Anlage} 1/h Φ_{WRG} n_{L,Infiltr.} 1/h											
energetisch wirksamer Luftwechsel n _L 0,460 * (1 - 0,93) + 0,042 = 0,073 1/h											
V_L m³ n_L 1/h C_{Luft} Wh/(m³K) G_i kWh/a kWh/a kWh/(m²a)											
Lüftungswärmeverluste Q_L						391	0,073	0,33	72	679	4,3
Q_T kWh/a Q_L kWh/a Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenend-absenkung kWh/a kWh/(m²a)											
Summe Wärmeverluste Q_V						(4994 + 679)	1,0	=	5672	36,2	

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a)	=	kWh/a					
1. Ost	0,45	0,50	0,0	202	=	0					
2. Süd	0,38	0,50	7,2	330	=	456					
3. West	0,46	0,50	16,5	203	=	766					
4. Nord	0,43	0,50	12,3	145	=	387					
5. Horizontal	0,45	0,50	2,9	285	=	187					
Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S						Summe	1797	11,5	kWh/(m ² a)		
Länge Heizzeit d/a spezif. Leistung q_i W/m² A_{EB} m² kWh/a kWh/(m²a)											
Interne Wärmequellen Q_I						0,024	225	2,1	156,6	1776	11,3
Freie Wärme Q _F						Q _S + Q _I =		3573	22,8	kWh/(m ² a)	
Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten						Q _F / Q _V =		0,630			
Nutzungsgrad Wärmegewinne η _G						(1 - (Q _F / Q _V) ⁵) / (1 - (Q _F / Q _V) ⁶) =		0,961			
Wärmegewinne Q_G						η _G * Q _F =		3432	21,9	kWh/(m ² a)	
Heizwärmebedarf Q_H						Q _V - Q _G =		2235	14,3	kWh/(m ² a)	
Anforderung Bauwerksart (ankreuzen)		☒ Grenzwert	Zielwert 15		Anforderung erfüllt?		ja				

Aandachtspunten en conclusies bij deze berekeningen:

In dit voorbeeld werden alle randvoorwaarden van het scenario zuidoriëntatie overgenomen. In plaats van de keuze van muren en dak te wijzigen, werd het temperatuurrendement van de balansventilatie verhoogd van 80 % naar 90 %. Het eindresultaat is hetzelfde als in scenario noordoriëntatie 1.

7.2.3 Gesloten bebouwing (GB)

De gesloten bebouwing werd bestudeerd voor 2 scenario's, in scenario GB1 werden dezelfde isolatiewaarden gehanteerd als voor de noordoriëntatie van de HOB nodig bleken. In scenario GB2 werden de randvoorwaarden gezocht waarbij de energiebehoefte net onder de 15 kWh/m² blijft.

■ **Scenario GB1**

Passivhaus-Projektierung									
ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME									
Klima: Ukkel									
Objekt: Gesloten bebouwing (scenario GB1)		Gebäudetyp/Nutzung: Eengezinswoning							
Standort:		Energiebezugsfläche A _{EB} : 156,6 m ²							
		Standard-Personenbelegung: 6 Pers pro m ² Energiebezugsfläche							
Bauteile	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _t	G _i kWh/a					
1. Vloer	95,9	0,140	0,5	72	=	483			
2. Overgang vloer-gevel	0,0	0,000	0,5	72	=	0			
3. Gevels	81,4	0,124	1,0	72	=	725			
4. Dak	115,8	0,118	1,0	72	=	986			
5.					=				
6.					=				
7. Voordeur	0,0	0,800	1,0	72	=	0			
8. Fenster	29,0	0,777	1,0	72	=	1628			
Transmissionswärmeverluste Q_T					Summe	3822	24,4 kWh/(m ² a)		
Lüftungsanlage:		wirksames Luftvolumen V _L		A _{EB} m ²	lichte Raumhöhe m				
		80%		156,6	2,50	=	391 m ³		
Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmetauschers		η _{WRG}							
Wärmebereitstellungsgrad des Erreichwärmetauschers		η _{EW}							
		η _{L-Anlage}	Φ _{WRG}	η _{L-Infiltr.}					
		1/h	1/h	1/h					
energetisch wirksamer Luftwechsel n _L		0,460	* (1 - 0,84) +		0,042	=	0,116 1/h		
		V _L m ³	n _L 1/h	C _{Luft} Wh/(m ³ K)	G _i kWh/a	=	1077 kWh/a		
Lüftungswärmeverluste Q_L		391	0,116	0,33	72	=	1077 kWh/a		
						=	6,9 kWh/(m ² a)		
Summe Wärmeverluste Q_V		(3822 + 1077)		Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenend-absenkung		1,0	=	4900 kWh/a	
							=	31,3 kWh/(m ² a)	
Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a)					
1. Ost	0,45	0,50	0,0	202	=	0			
2. Süd	0,38	0,50	12,3	330	=	782			
3. West	0,59	0,50	6,6	203	=	394			
4. Nord	0,43	0,50	7,2	145	=	226			
5. Horizontal	0,45	0,50	2,9	285	=	187			
Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S					Summe	1589	10,1 kWh/(m ² a)		
Interne Wärmequellen Q_I		kh/d	Länge Heizzeit d/a	spezif. Leistung q _i W/m ²	A _{EB} m ²	=	1776 kWh/a		
		0,024	225	2,1	156,6	=	11,3 kWh/(m ² a)		
Freie Wärme Q _F					Q _S + Q _I	=	3365 kWh/a		
Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten					Q _F / Q _V	=	0,687		
Nutzungsgrad Wärmegewinne η _G					(1 - (Q _F / Q _V) ⁵) / (1 - (Q _F / Q _V) ⁶)	=	0,947		
Wärmegewinne Q_G					η _G * Q _F	=	3185 kWh/a		
						=	20,3 kWh/(m ² a)		
Heizwärmebedarf Q_H					Q _V - Q _G	=	1715 kWh/a		
						=	11,0 kWh/(m ² a)		
Anforderung Bauwerksart (ankreuzen)		☒ X	Grenzwert	kWh/(m ² a)					
			Zielwert	15					
Anforderung erfüllt?					(ja/nein)	ja			

Aandachtspunten en conclusies bij deze berekeningen:

- In dit voorbeeld werden alle randvoorwaarden van het scenario halfopen bebouwing - zuidoriëntatie overgenomen. De energiebehoefte voor verwarming van daalt van 14,5 kWh/m² naar 11,0 kWh/m² omwille van het gegeven dat het om een gesloten bebouwing gaat.

■ Scenario GB2

Passivhaus-Projektierung

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima:

Objekt:

Standort:

Gebäudetyp/Nutzung:

Energiebezugsfläche A_{EB}: m²

Standard-Personenbelegung: Pers pro m² Energiebezugsfläche

Bauteile	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _t	G _t kWh/a	Q _t kWh/a
1. Vloer	95,9	0,150	0,5	72	519
2. Overgang vloer-gevel	0,0	0,000	0,5	72	0
3. Gevels	81,4	0,150	1,0	72	881
4. Dak	115,8	0,150	1,0	72	1253
5.					
6.					
7. Voordeur	0,0	0,800	1,0	72	0
8. Fenster	29,0	0,850	1,0	72	1781

Transmissionswärmeverluste Q_T

Summe

kWh/(m²a)

Lüftungsanlage:

wirksames Luftvolumen V_L m³ * 1/h = m³

Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmetauschers η_{WRG} 1/h

Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmetauschers η_{EWt} 1/h

energetisch wirksamer Luftwechsel n_L 1/h * (1 -) + 1/h = 1/h

V _L m ³	n _L 1/h	C _{Luft} Wh/(m ³ K)	G _t kWh/a	Q _L kWh/a
391	0,134	0,33	72	1248

Lüftungswärmeverluste Q_L

kWh/(m²a)

Summe Wärmeverluste Q_V

(+) * = kWh/a

kWh/(m²a)

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a)	Q _s kWh/a
1. Ost	0,45	0,50	0,0	202	0
2. Süd	0,48	0,50	12,3	320	947
3. West	0,59	0,50	6,6	203	394
4. Nord	0,34	0,50	7,2	144	174
5. Horizontal	0,45	0,50	2,9	285	187

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_s

Summe

kWh/(m²a)

Interne Wärmequellen Q_i

0,024 kh/d * 225 d/a * W/m² * m² = kWh/a

kWh/(m²a)

Freie Wärme Q_F Q_s + Q_i = kWh/a

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten Q_F / Q_V =

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G (1 - (Q_F / Q_V)⁵) / (1 - (Q_F / Q_V)⁶) =

Wärmegewinne Q_G

η_G * Q_F =

kWh/(m²a)

Heizwärmebedarf Q_H

Q_V - Q_G =

kWh/(m²a)

Anforderung Bauwerksart ☒ Grenzwert ☐ Zielwert kWh/(m²a)

Anforderung erfüllt? (ja/nein)

Aandachtspunten en conclusies bij deze berekeningen:

- In dit voorbeeld werden de U-waarden verhoogd tot de maximaal toelaatbare U-waarden voor Passiefhuizen. Voor het temperatuurrendement van de balansventilatie wordt 80 % aangenomen. Er wordt verondersteld dat er geen aardwarmtewisselaar wordt toegepast (rendement bedraagt 0%). Toch blijft de energiebehoefte voor verwarming lager dan 15 kWh/m².
- Voor het dak volstaat een wandsysteem met I-liggers van 30 cm ruimschoots en voor de muren kan een wandsysteem met I-liggers van 22 cm met 5 cm extra spouwmuurisolatie én met leidingspouwisolatie volstaan.

7.3 Conclusies

- Voor alle typewoningen kan het criterium voor de energiebehoefte voor verwarming gehaald worden, mits voldaan wordt aan de voorgestelde randvoorwaarden.
- In de voorontwerpfase is het vaak niet mogelijk om de exacte invloed van ramen te berekenen, omdat de juiste inbouwwijze nog niet gekend is. Ook installatie-afhankelijke eigenschappen zoals het temperatuurrendement van de balansventilatie kunnen het eindresultaat sterk beïnvloeden, maar zijn in de voorontwerpfase nog niet altijd gekend. Daarom is het verstandiger om in deze keuzes niet te optimistisch te zijn.
- Afhankelijk van typologie, oriëntatie, bouwvorm... zullen andere wandsamenstellingen nodig zijn om aan de eis te voldoen. Daarom is het belangrijk dat er een ruim aanbod in het wandsysteem wordt aangeboden, zodat in functie van de behoefte een geschikte keuze kan gemaakt worden.

Hoofdstuk 8 Materiaalstudie

8.1 Inleiding

Het is de bedoeling om in dit hoofdstuk kort in te gaan op enkele materialen die aangewend zullen worden in de standaard passiefhuiswandaansluitingen. Op die punten waar de opbouw of het materiaalgebruik niet afwijkt van de klassieke houtskeletbouw, of waar het materiaalgebruik zo projectgebonden is, wordt in het volgende deel niet behandeld. We hebben gekozen om de belangrijkste basismaterialen kort te bespreken.

8.2 FJI

De volgens de modernste technologie gefabriceerde FinnJoist-ligger (FJI) is voorzien van Kerto-S (LVL)-flenzen en een OSB-kern. Door hun ideale verhouding in gewicht en sterkte, lenen deze liggers zich bij uitstek voor snelle, probleemloze en hoogst economische constructies van extra lange overspanningen.

Na berekening naar stabiliteit en dimensionering kan de meest economische keuze gemaakt worden uit de verschillende secties. Verschillende lengtes tot 14m zijn beschikbaar.

De FJI-liggers vinden hun toepassingen in de nieuwbouw en renovatie bij de opbouw van vloeren, wanden en daken. De bijhorende types ophangschonen zijn eveneens beschikbaar.

De belangrijkste voordelen kunnen als volgt opgesomd worden:

- geen krimp
- uniform en maatvast
- geen vervorming
- geen hoogteverschillen
- een groot akoestisch comfort, 'kraakt' niet
- perfect en juist berekenbaar (bij massief hout dient met subjectief rekening te houden met kwaliteit, vocht, kwasten, barsten,...)
- een vlugge en juiste plaatsing
- relatief beperkte hoogtes in verhouding met de overspanning
- geeft de mogelijkheid om goed te isoleren tussen de FJI's en het plaatsen van kabels, buizen,...is eveneens geen probleem



Figuur 28: Toepassing van FJI's bij een wandopbouw

8.3 LVL-Kerto

Dankzij zijn stevigheid en maatvastheid is Kerto, vervaardigd uit vurenstammen volgens een modern productieproces, de ideale oplossing voor zwaar belaste, dragende constructies bij renovaties of nieuwbouw.

Kerto bestaat uit fineerlagen van 3mm en de balken of platen kunnen één-of tweezijdig geschuurd geleverd worden. Ook freeze en boren, traditioneel of CNC-gestuurd, zijn mogelijk.

Bij Kerto S loopt de draad van alle fineerlagen in dezelfde lengterichting en biedt op die manier uitmuntende mogelijkheden in constructies die een grote spanwijdte en een minimale doorbuiging vereisen zoals balken, gordingen, lentelen en roosteringen.

Bij het verlijmen van de 3,3 mm dikke, gedroogde fineren uit vuren- en/of grenenhout wordt uitsluitende fenollijm toegepas.



Figuur 29: Kerto S - balken als gording



Figuur 30: Kerto S randbalk en Kerto S en FJI's als vloerliggers

Naast de standaardsecties zijn andere secties tot een lengte van 13,5m leverbaar.

De fineerlagen bij Kerto-Q liggen voor ongeveer 20% kruislings gelijmd, zodat dit materiaal zeer geschikt is voor panelen waarbij de grote afmetingen een bijzonder voordeel bieden.

Platen zijn leverbaar met een breedte van 1,8m of 2,5m met een lengte tot 13m.

Meer info: <http://www.spanten.com>.

8.4 Celit 3D-4D

Celit 4D is een isolerende houtvezelplaat, gemaakt van afvalhout van houtzagerijen zonder toevoeging van bindmiddelen, regenbestendig gemaakt met behulp van een bitumenemulsie.

De plaat biedt heel wat voordelen:

1. de plaat is waterdicht door zijn uitgekiende vierzijdige tand- en groefverbinding; dank zij de vorm van deze verbinding (de langse voeg bijzonder scherp, de kopse voeg plat aan de bovenzijde) blijven de naden waterdicht bij dakhellingen vanaf 18°, zelfs bij het uiteenschuiven van de platen over meerdere mm; het niveauverschil tussen de kopse voeg en de langsvog zorgt er voor dat water dat doordringt in de kopse voeg onderaan de plaat opnieuw wordt afgeleid naar het oppervlak en aldus verhinderd wordt binnen te dringen
2. de plaat is door zijn tand- en groefverbinding winddicht, en gaat daardoor het isolerend effect van de onderliggende isolatie sterk opdrijven
3. de plaat geeft een basisisolatie ($\lambda = 0,055 \text{ W/m.K}$)
4. de koudebruggen gevormd door de timmer worden onderbroken
5. Celit 4D is in de zomer het equivalent van 120 mm minerale wol door zijn belangrijke bijdrage aan de demping van de temperatuurschommelingen en aan de faseverschuiving
6. bijzonder goede geluidsisolatie
7. sterk dampdoorlatend en daardoor geschikt, volgens de Duitse normen, voor toepassing als onderdak bij onbehandeld constructiehout
8. handig formaat en goed beloopbaar, en daardoor gewaardeerd door dakwerkers.



Figuur 31: Toepassing Celit bij de bouw van een passiefhuis

8.5 OSB-3

Het betreffen hier platen voor dragende toepassingen in een vochtig klimaat. Dergelijke OSB- platen worden overeenkomstig de norm EN 300 vervaardigd uit zorgvuldig vervaardigde houtspaanders die met behulp van synthetische lijm en was onder hoge temperatuur en druk worden samengeperst. De houtspaanders worden in de buitenste twee lagen in de lengterichting en in de kernlaag haaks daarop gestrooid en geperst tot een plaat met een drielagenstructuur waarvan stijfheid en sterkte gelijkmatig is verdeeld zodat een plaat ontstaat met een grote overspanningscapaciteit.

De meeste leveranciers van OSB gebruiken bij de fabricage van hun platen tenminste 90% hout uit duurzaam beheerde bossen.

De meeste OSB-platen werden overeenkomstig EN 120 getest en goedgekeurd en voldoen aan het extraheerbare formaldehyde gehalte <8mg/100g.

8.6 Afdichtingstapes

Pro clima omvat een uitgebreid gamma van luchtdichtingsmaterialen: dampremmen, folies, lijm, kit, kleefbanden enz.

Luchtdichtheid is een belangrijk om diverse redenen:

1. zonder luchtdichtheid gaan in de winter de warmteverliezen door de convectiestromingen spectaculair de hoogte in, ook bij lage windsnelheden
2. hetzelfde fenomeen treedt op in de zomer, waarbij er overdag te veel warme lucht het gebouw binnendringt met ongewenste opwarming tot gevolg
3. in extreme gevallen kunnen ongewenste tochtverschijnselen optreden
4. de overmatige en ongecontroleerde ventilatie kan ook extra stof, vezels en ongewenste geuren binnenbrengen
5. de vochtindringing in de isolatie ingevolge convectie is een veelvoud van de die ingevolge diffusie; condensatie heeft bijna nooit te maken met toepassing van materialen die te weinig dampdicht zouden zijn, wel met het voorkomen van kieren, spleten en doorboringen
6. een gebrek aan luchtdichtheid drijft het ventilatievoud op, waardoor de binnenlucht in de winter te droog wordt
7. ook op geluidsisolatie heeft een gebrek aan luchtdichtheid een negatieve invloed
8. een balansventilatie met warmterecuperatie, zoals die meestal wordt toegepast in passiefhuiswoningen, kan slechts behoorlijk werken zo het gebouw voldoende luchtdicht is; bij gebrek aan luchtdichtheid ontstaan er kortsluit-luchtstromen tussen met de buitenomgeving, waardoor het rendement sterk daalt en er geen doorstroming van de diverse vertrekken meer is, en er bijgevolg evenmin voldoende ventilatie kan worden gegarandeerd.

8.7 Isofloc

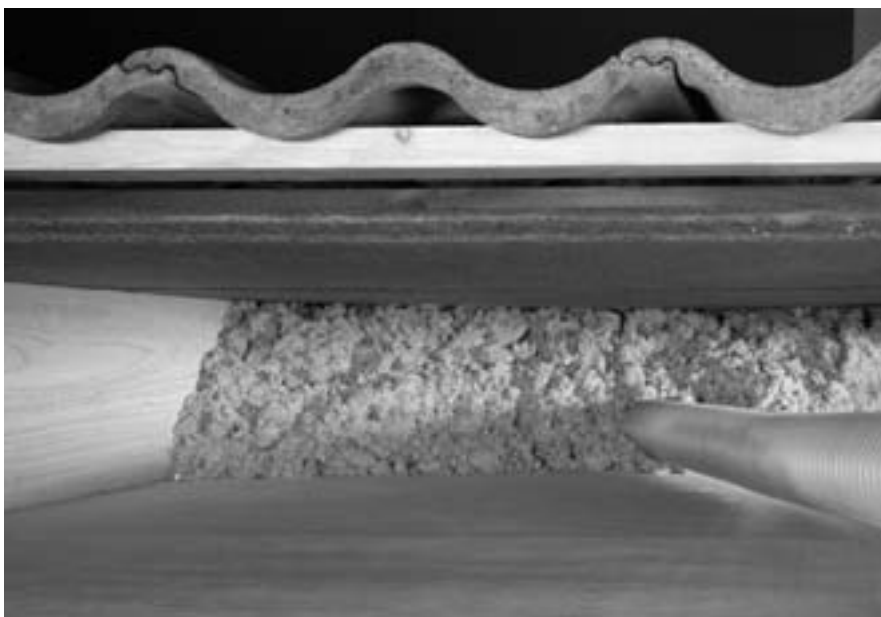
Isofloc cellulosevlokken, gemaakt van gerecycleerd krantenpapier waaraan 8 % boorzout en –zuur werd toegevoegd als bescherming tegen schimmels, insecten, knaagdieren en brand, worden door daartoe opgeleid personeel met speciale inblaasmachines en –koppen in de te isoleren compartimenten ingeblazen. De daartoe vereiste inblaasopeningen worden vervolgens gedicht met kleefbanden uit het gamma van pro clima.

De vereiste densiteit, nodig voor een zettingszekere isolatie, is ondermeer afhankelijk van de dikte van de te isoleren compartimenten. Een dikte van 350 mm, zoals vooropgezet in dit onderzoeksproject, vormt hierbij zeker geen bovengrens.

De belangrijkste voordelen van isofloc in houtskeletbouw in het algemeen en in het concept met FJI-liggers in het bijzonder zijn:

1. de vlokken nemen, mits het respecteren van een aantal regels, probleemloos de vorm aan van het te isoleren compartiment; van uitsnijdingen en afval is geen sprake
2. het inblazen gaat bijzonder vlug; een ploeg van 2 personen kan in drie tot vier dagen een volledige woning isoleren; met de inzet van 3 personen en twee inblaasmachines gebeurt het isoleren nog voordeliger; de kostprijs is in dergelijke toepassingen normaal beduidend lager dan die bij aanwending van andere isolatiematerialen
3. zoals alle producten afgeleid van hout heeft cellulose een hoge warmteopslagcapaciteit, wat resulteert in een sterke amplitudedemping en faseverschuiving van de constructies; dit verhoogt het comfort in zomeromstandigheden
4. uit tientallen geluidsproeven uitgevoerd in onder meer Duitsland en België blijkt dat isofloc bijzonder goed scoort op het vlak van geluidsisolatie; gemiddeld halen opbouwen geïsoleerd met isofloc een geluidsisolatie die die van dezelfde constructie met minerale wol 1 tot 2 dB overstijgt
5. ook op het vlak van brandweerstand zijn constructies met isofloc meestal superieur; dit is onder meer te wijten aan de toegevoegde boraten, het hygrisch vocht en de hoge weerstand tegen temperatuursschommelingen
6. in vele toepassingen biedt het feit dat isofloc een capillair en sterk hygroscopisch materiaal is belangrijke voordelen; ook de toegevoegde boraten hebben een positieve invloed op de duurzaamheid van de constructies
7. tenslotte zijn er de diverse bio-ecologische voordelen.

In de loop der jaren heeft isofloc een paar honderd proefrapporten verzameld betreffende duurzaamheid, vocht- en brandgedrag, geluidsisolatie en invloed op mens en milieu.

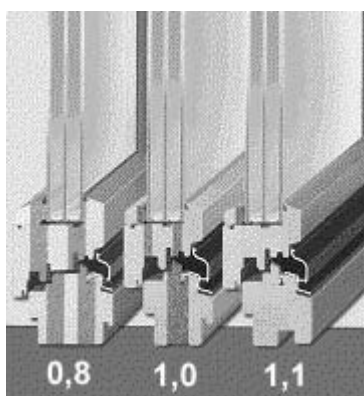


Figuur 32: Inblazen van Isofloc tussen Celit en Pro Clima

8.8 Buitenschrijnwerk

MB Benelux heeft vandaag 2 innovatieve technieken in huis die goed kunnen ingepast worden in de problematiek van het buitenschrijnwerk in een passiefwoning: EWITHERM®, houten ramen uit hout en kurk en CARATHERM®, kunstoframen met een 5-kamer profiel.

In het kader van dit rapport beperken we ons tot een korte bespreking van EWITHERM®. De raamstijlen zijn van hout, met een isolatiekern van kurk, een combinatie die op dit moment uniek is op de markt. Beide zijn natuurlijke grondstoffen die constant bewaakt en gecontroleerd worden en de tijd krijgen om weer aan te groeien. Dat maakt van EWITHERM® een bijzonder milieubewust raam.



Figuur 33: EWITHERM® profielen

Voor de houten gedeelten wordt uitsluitend spar gebruikt. Dat hout staat bekend om zijn uitzonderlijke dichtheid. Voor de rest van het raam kiest MB voor hoogkwalitatieve Portugese kurk. Met zijn buitengewone dichtheid en vormvastheid is dat ontegensprekelijk de beste ter wereld. Bovendien is het materiaal volledig recycleerbaar en kan het telkens opnieuw verwerkt worden.

Ook voor de afwerking wordt uitsluitend milieuvriendelijke verf gebruikt.

EWITHERM® is ook gekend voor zijn uitstekende isolerende eigenschappen. Energieverspilling is een probleem dat zich op verschillende gebieden laat voelen. Niet alleen brengt het voor de consument een kost met zich mee die gemakkelijk vermeden kan worden, bovendien heeft het milieu er erg onder te lijden. Veel is te wijten aan onvoldoende of gebrekkige isolatie. Vooral via de ramen gaat dagelijks enorme hoeveelheden warmte verloren. Niet zo bij EWITHERM®. Met k-waarden van maximaal 1,1 tot minder dan 0,8 zijn deze ramen meer dan in orde met de wettelijk vastgelegde normen. Die uitstekende isolerende kwaliteiten heeft EWITHERM® te danken aan de natuurlijke dichtheid van zijn materialen. Vooral kurk is op dat gebied onovertroffen. Geen enkel natuurproduct isoleert zo goed. Bovendien is het materiaal erg duurzaam en bestand tegen temperatuurschommelingen, zodat de eigenschappen vele jaren blijven gelden, bij om het even welke klimaatgrillen.

Zoals alle MB-producten is EWITHERM® verkrijgbaar in verschillende uitvoeringen, grootten en kleuren. De ramen zijn met andere woorden aangepast aan de individuele wensen van elke bouwer of verbouwer.

EWITHERM® wordt vervaardigd met beproefde constructie-elementen, maar volgens innovatieve technologieën, die onafhankelijke onderzoeksbureaus aan de strengste tests hebben onderworpen. Op die manier blijven kwaliteit, functie en werking perfect op elkaar afgestemd.

8.9 Thermisch behandeld hout

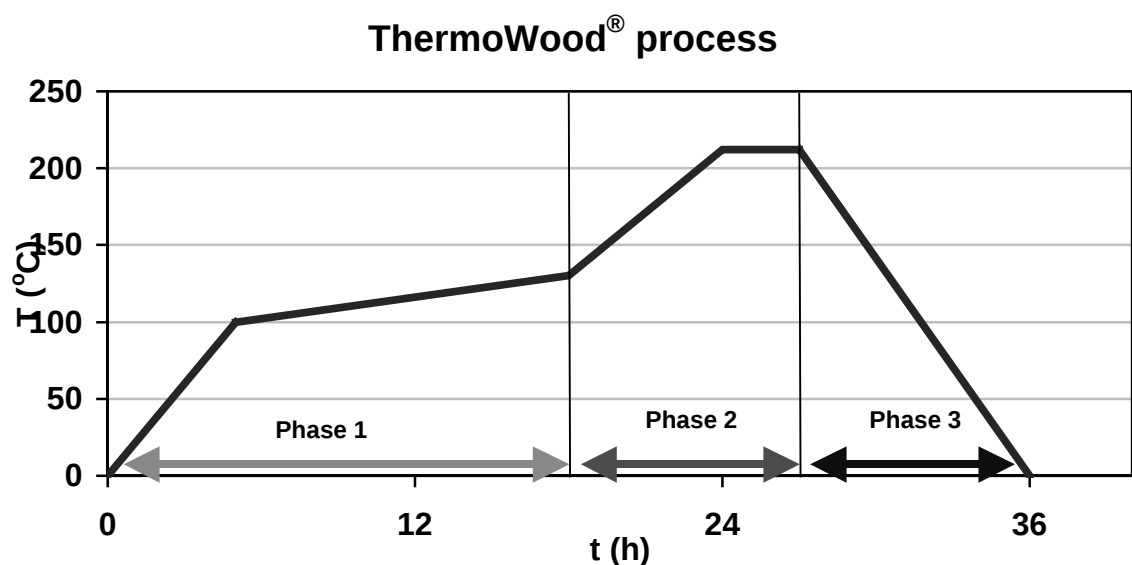
ThermoWood® wordt geproduceerd door middel van een methode die ontwikkeld is door het Finse VTT. Het hout wordt minimaal opgewarmd tot een temperatuur van 180° C terwijl stoom er voor zorgt dat het niet barst of scheurt. De stoom zorgt niet alleen voor bescherming van het hout, maar zorgt tegelijkertijd voor een chemische verandering van de houtstructuur. Dit thermisch behandelingsproces leidt tot het

ecologisch verantwoorde Finnforest ThermoWood®. Het thermisch behandelde hout krijgt een donkere kleur, is duurzamer dan onbehandeld hout in vochtige omstandigheden en de thermische isolatie-eigenschappen verbeteren aanzienlijk. Wanneer de behandelingstemperatuur voldoende hoog wordt opgevoerd, is het hout zelfs grotendeels bestand tegen rottingsverschijnselen.

Afhankelijk van de maximale behandelingstemperatuur onderscheiden we twee behandelingsklassen bij ThermoWood®, Thermo S en Thermo D. Als de temperatuur slechts wordt opgedreven tot 190°C, dan hebben we te maken met Thermo S, waar de letter S staat voor ‘Stabiliteit’. De relatief lichte kleur is één van de belangrijkste eigenschappen. In de praktijk gaan we bijna altijd Thermo D gebruiken. De D staat hier voor Duurzaamheid. Doordat de temperatuur hier wordt opgedreven tot 212°C, verkrijgen we naast een donkere kleur ook nog een grotere duurzaamheid, wat het gebruik in buitentoepassingen zoals gevelbekleding en terrasplanken nog verbetert.

Het Finse VTT heeft samen met de Finse houtindustrie een thermisch houtbehandelingsproces ontwikkeld dat toepasbaar is op industriële schaal. Dit ThermoWood® proces wordt onder strikte voorwaarden in licentie uitgegeven aan de leden van de Finse ThermoWood® Associatie waar Finnforest deel van uitmaakt.

Het ThermoWood® proces kan onderverdeeld worden in drie hoofdfases (Zie Figuur 34):



Figuur 34: Fases bij het thermisch productieproces

1. Fase 1: Temperatuursverhoging en het drogen op hoge temperaturen

Door het gebruik van hitte en stoom wordt de temperatuur van de oven zeer snel tot 100° C opgevoerd. Vanaf dan stijgt de temperatuur geleidelijk aan tot 130° C. Gedurende deze fase vindt het drogen bij hoge temperatuur plaats en wordt de vochtigheidsgraad van het hout praktisch teruggebracht tot nul.

2. Fase 2: Thermisch behandelingsproces

Zodra het drogen op hoge temperatuur is voltooid, wordt de temperatuur in de oven verhoogd tot 185° C of 215°C, afhankelijk van de duurzaamheid die bereikt wil worden. Wanneer de gewenste temperatuur bereikt is, wordt deze gedurende 2 tot 3 uur gehandhaafd, afhankelijk van de gewenste specificatie.

3. Fase 3: Afkoeling en het vochtigheidsgehalte op peil brengen

Tijdens de laatste fase van het ThermoWood® proces wordt de temperatuur terug naar beneden gebracht door het hout te besproeien met water. Zodra de temperatuur gestabiliseerd is tussen de 80 en 90° C, wordt er nog meer vocht toegevoegd om het vochtigheidsgehalte van het hout opnieuw naar het gebruikelijke niveau van 4 à 7 % te brengen.

Door het ThermoWood® proces verkrijgt het hout een evenwichtige vochtbalans met een vochtigheidsgraad die tot de helft lager ligt in vergelijking met onbehandeld hout. De duurzaamheid van het hout neemt aanzienlijk toe dankzij de afbraak van een groot percentage van de aanwezige hemicelluloses. Deze vormen bij hout dat niet thermisch behandeld is de ideale voedingsbodem voor rot, schimmels en bacteriën.

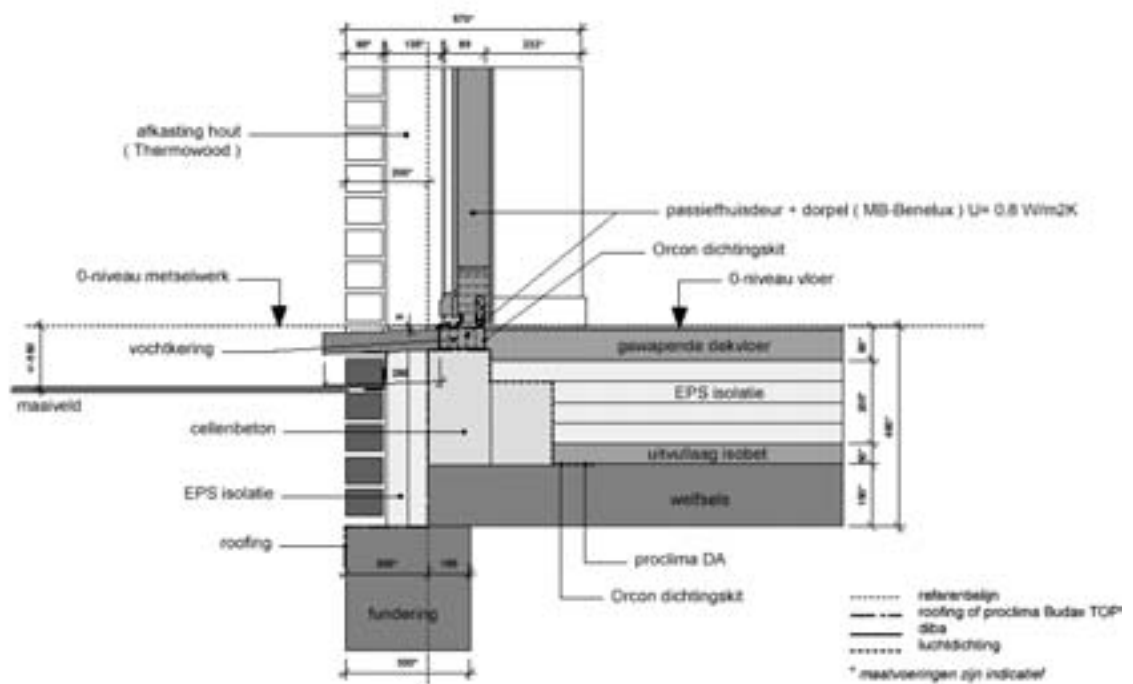
Ze er duurzaam	Duurzaam	Matig duurzaam	Weinig duurzaam	Niet duurzaam
Teak	Ceder	Lariks	Vuren	Berk
Iroko	Eik	Douglas	Grenen	Espen
	Meranti	Mahonie		Populier
				Els
	ThermoWood® grenen			

Tabel 9: De verschillende duurzaamheidsklassen

Zoals hierboven aangeduid (Zie Tabel 9) bevindt Finnforest ThermoWood® zich in duurzaamheidsklasse 2 en 3.

- De breedte van de luchtsponw bedraagt 8,8 cm, zodat er de mogelijkheid bestaat om aan de sponwzijde nog een bijkomende thermische isolatie (5 cm) aan te brengen.
- Aan de binnenzijde wordt de HSB-wand met een leidingensponw uitgevoerd. Hierdoor zijn er geen penetraties nodig in de luchtdicht afgewerkte OSB-plaat voor leidingen van elektriciteit, sanitair en andere technieken.
- Eventueel kan deze leidingensponw bijkomend thermisch geïsoleerd worden.

9.2 Aansluiting fundering – deur

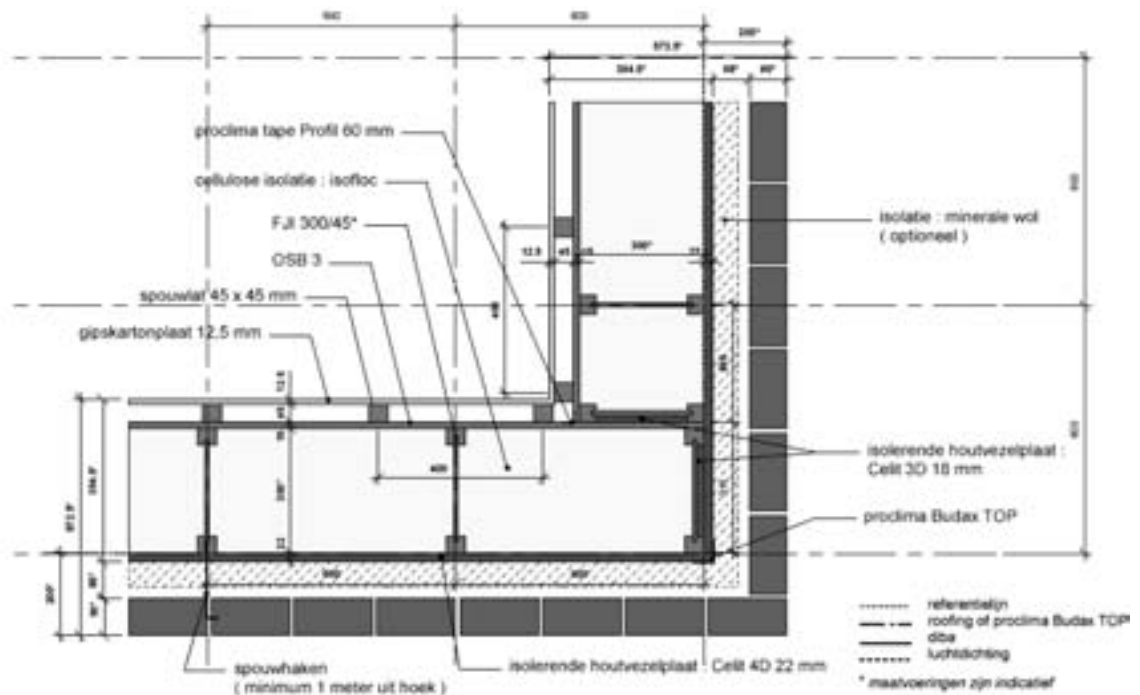


Figuur 36: Aansluiting fundering – deur

- De passiefhuis deur met een minimum U-waarde van $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ wordt met de onderregel in de dekvloer verwerkt. Op deze wijze kan aan de onderzijde van de deur een perfecte luchtdichting voorzien worden. Er is dan wel een kleine opstand van ca. 1 à 1,5 cm t.o.v. de afgewerkte vloer.
- De onderregel kan steunen op een strook cellenbeton met een breedte van 10 cm.
- Op deze cellenbetonblok kan ook de dorpel in blauwe steen gedragen worden.
- Onder de dekvloer ter hoogte van de deur loopt een strook isolatie door om de koudebrug te minimaliseren.

- De onderregel en de deur worden samen met de HSB-constructie luchtdicht afgewerkt, zoals beschreven op de details 1, 7 en 8.

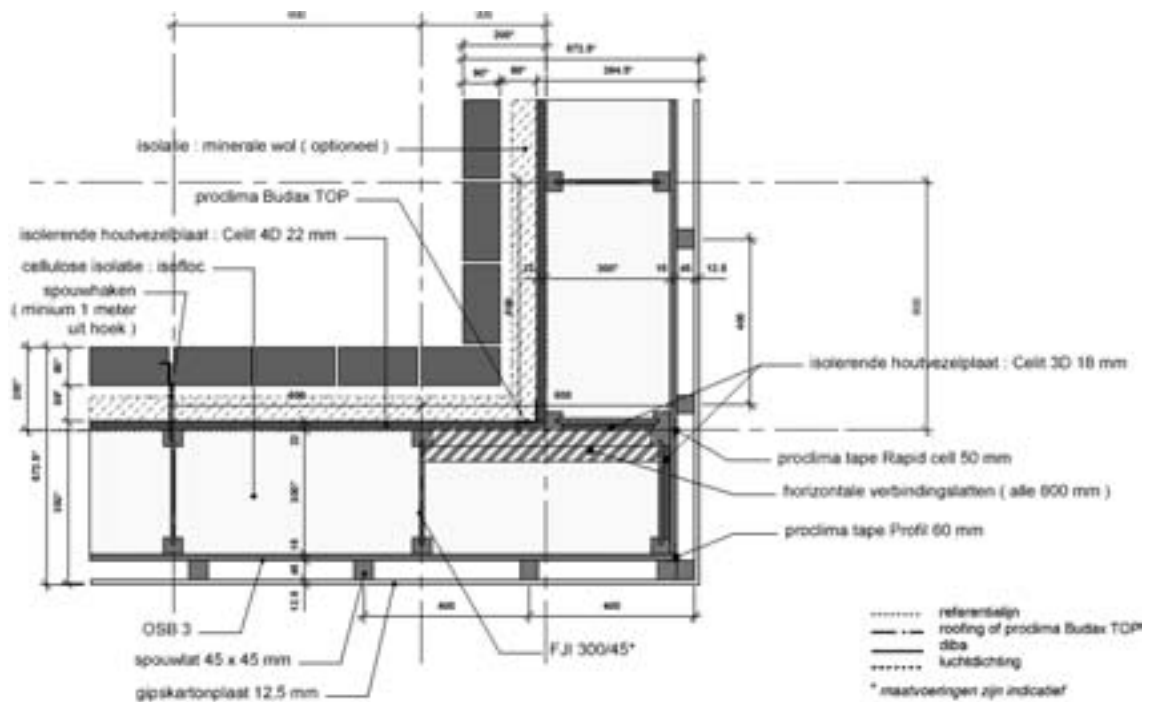
9.3 Horizontale snede buitenhoek



Figuur 37: Horizontale doorsnede buitenhoek

- Het ontwerpraster van de draagstructuur bedraagt 60 cm.
- De OSB-platen moeten elkaar overlappen in de hoeken, zodat het aanbrengen van de kleeftanden op eenvoudige wijze de luchtdichting verzekert.
- Aan de FJI-balken van de hoekconstructie wordt de holle ruimte tussen het lijf en de OSB-plaat met een isolerende houtvezelplaat van 18 mm opgevuld.
- Bij buitenhoeken kan de aansluiting van de Celit-platen aan de spouwzijde met kleeftand pro clima BUDAX TOP extra dicht gemaakt worden.
- De latten van de leidingenspouw worden zodanig geplaatst, dat ze niet in het verlengde van de FJI-liggers liggen.

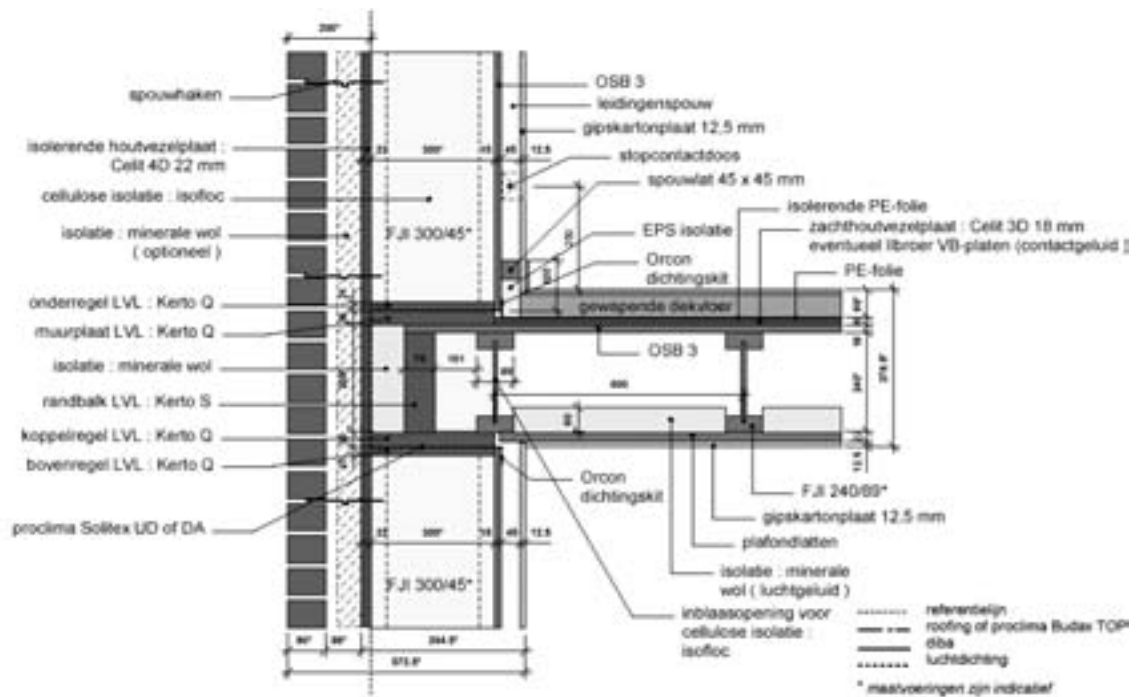
9.4 Horizontale snede binnenhoek



Figuur 38: Horizontale doorsnede binnenhoek

- Het ontwerpraster van de draagstructuur is ook hier 60 cm.
- Om de twee wanden aan elkaar te koppelen worden er bij één wandelement horizontale verbindingsslatten geplaatst.
- De wanden worden op de werf geleverd als een half-open-wandsysteem. De OSB-plaat aan de binnenzijde wordt reeds in de productiehal gemonteerd.
- De Celit-platen aan de buitenzijde worden op de werf aangebracht.
- Bij binnenhoeken kan de aansluiting van de Celit-platen aan de spouwzijde eveneens met kleefband pro clima BUDAX TOP extra dicht gemaakt worden.
- Na aanbrengen van de kleefband wordt ter plaatse van de binnenhoek aan de spouwzijde een steunlatje aangebracht als extra bevestiging van de Celit-platen. Tussen de horizontale verbindingsslatten worden extra verticale latten aangebracht voor het bevestigen van de Celit-platen.
- Ter hoogte van de koppeling van de twee prefab-wanden wordt de naad tussen de OSB-platen met kleefband pro clima RAPID CELL afgekleefd, zodat de luchtdichting verzekerd is.

9.5 Verticale snede wand – balkenlaag-1

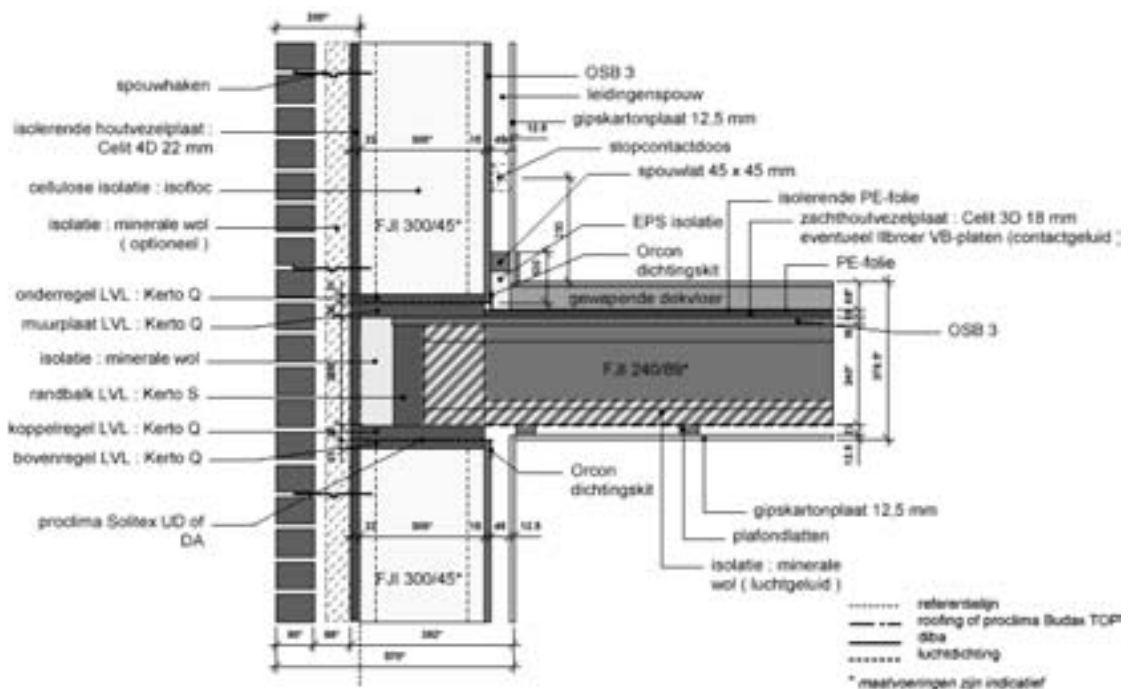


Figuur 39: Verticale snede wand – balkenlaag

Bij dit detail loopt de draagrichting van de vloer evenwijdig met de muur.

- De eerste FJI-ligger wordt geplaatst net onder de muur, zodat de wand nog een bijkomende steun heeft.
- In het lijf van deze FJI-ligger kan men vervolgens openingen aanbrengen om de holle ruimte vol te blazen met isofloc.
- De Kerto S is een randbalk die rondom rond ter hoogte van de verdiepingsvloer wordt gemonteerd. De OSB-vloerplaat loopt door tot op de Kerto S-balk. Op deze wijze kan de muurplaat gemakkelijk aangebracht worden.
- De holle ruimte tussen de Kerto S en de Celit-plaat wordt opgevuld met rotswol. Dit dient te gebeuren na het aanbrengen van de muurplaat en vóór het plaatsen van de luchtdichtingsfolie.
- Om de luchtdichting ter hoogte van de vloer te garanderen, wordt de weersbestendige pro clima SOLITEX UD-folie van op de OSB-plaat aan de binnenzijde van de onderliggende wand onder de koppelregel naar de buitenzijde van de constructie gebracht. Vervolgens wordt de folie over de muurplaat van de verdiepingswand weer naar binnen gebracht en met pro clima ORCON F gelijmd op de OSB-plaat boven de verdiepingsvloer.

9.6 Verticale snede wand – balkenlaag-2

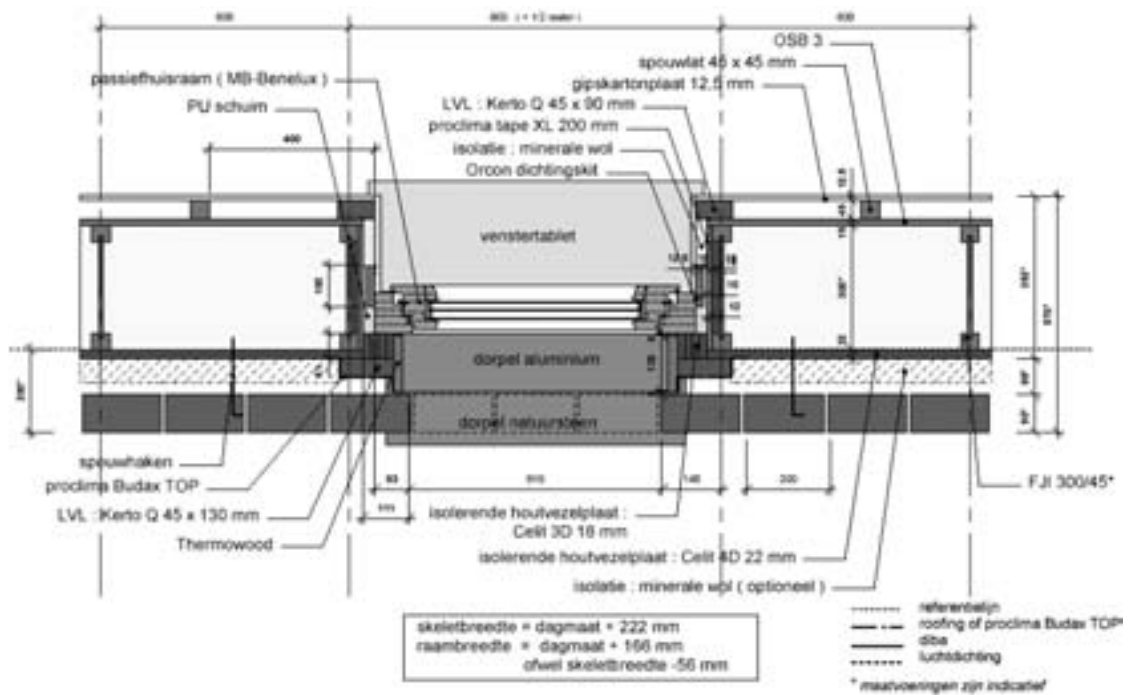


Figuur 40: Verticale snede wand – balkenlaag

Bij dit detail zijn de FJI-vloerbalken dragend in de buitenmuur verwerkt.

- Ook hier wordt de luchtdichting tussen vloer en wanden verzekerd via de pro clima SOLITEX UD-folie. De folie wordt op de OSB-plaat van de wanden gelijmd met pro clima ORCON F.
- De holle ruimte tussen de Kerto S-ringbalk en de Celit-plaat wordt opgevuld met minerale wol.
- Aan de binnenzijde tussen de koppen van de liggers moet er minimum tot de dikte van de wanden zorgvuldig minerale wol worden aangebracht.
- Boven de plafondlatten kan ook nog een laag minerale wol worden aangebracht om de luchtgeluidsisolatie te verbeteren.

9.7 Horizontale snede raamaansluiting

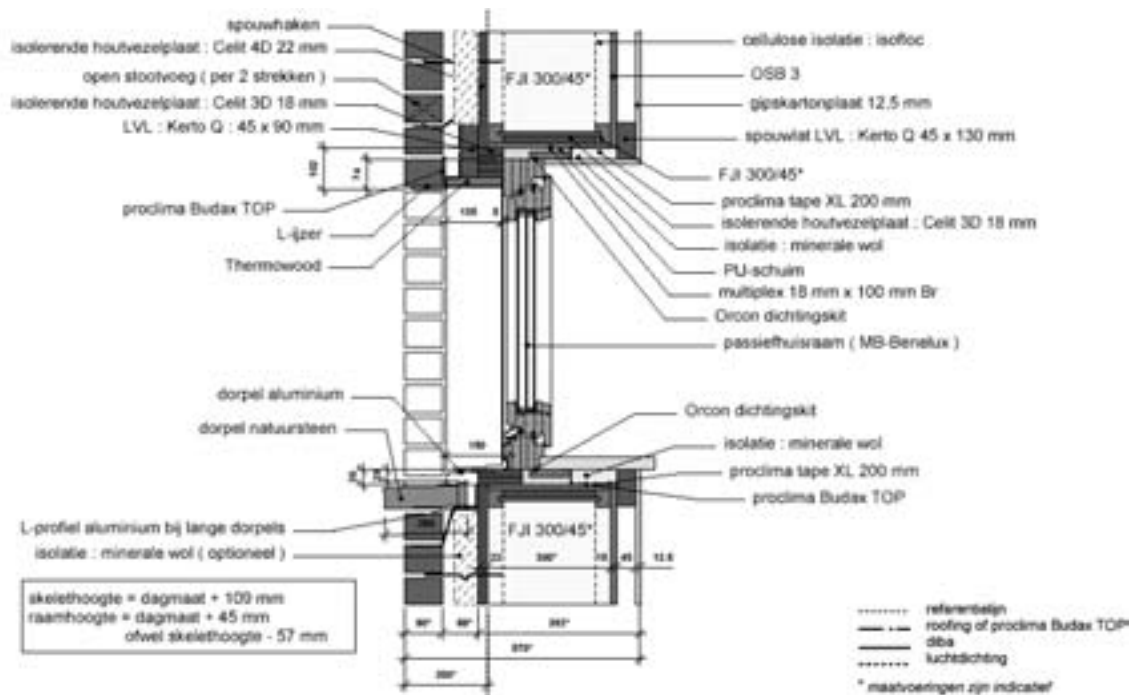


Figuur 41: Horizontale snede raamaansluiting

- Beschrijving passief-raam: zie info MB-BENELUX
- Om een U-waarde van 0,8 W/m²K te bereiken, moet het passief-raam op een weldoordachte manier in de constructie geplaatst worden.
- Aan de gevelzijde moet het passief-raam achter een rabat van 4 cm thermische isolatie geplaatst worden om de vereiste U-waarde te bekomen.
- Aan de binnenzijde wordt aan de randen van het passief-raam een strook multiplex aangebracht. Tussen raam en multiplex wordt dichtingskit pro clima ORCON F aangebracht. Het multiplex kader wordt na montage van het raam met pro clima TAPE PROFIL luchtdicht verbonden met de OSB, bevestigd op de zijkanten van de FJI-liggers. Ook de aansluiting tussen de OSB in de dagkanten en de OSB geplaatst aan de binnenzijde van het skelet wordt met pro clima TAPE PROFIL afgekleefd. Tenslotte worden de vier hoeken van het multiplex kader en de vier hoeken van de dagkanten in OSB aan de binnenzijde afgekleefd met kleefband pro clima ELASTO.
- De holle ruimte tussen het HSB-kader en het raam wordt met PU-schuim (lage expansie) opgespoten.

- De ramen worden bij voorkeur op een veelvoud van het raster van 60 cm geplaatst en dit om een optimaal materiaalgebruik te realiseren. Te veel supplementaire stijlen in een wand moet men vermijden. Op deze manier verkrijgen we de maximale isolatie-waarde.

9.8 Verticale snede raamaansluiting

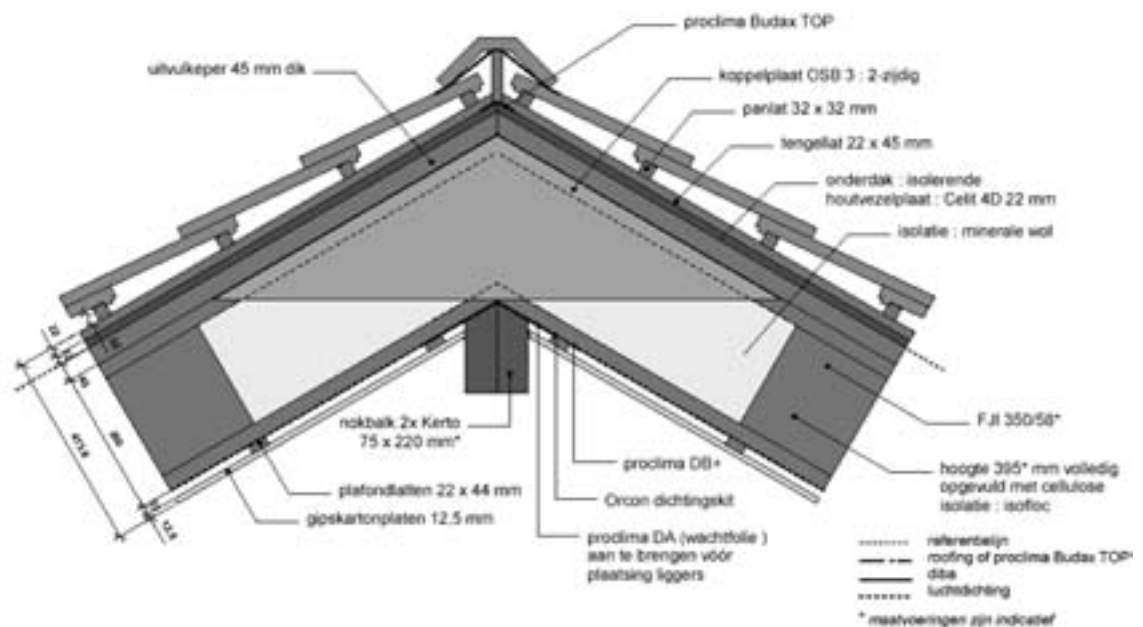


Figuur 42: Verticale snede raamaansluiting

- Het passief-raam wordt bij voorkeur ingeplant op maximum 1/3 van de dikte van de geïsoleerde HSB-wand, zodat de isothermen (lijnen van gelijke temperatuur) van 10°C bij een ΔT van 20°C in het midden van het 3-voudige glas loopt.
- De gevelsteen wordt in half-steens verband gemetst. Om de aansluiting met het raam te realiseren, wordt de spouw afgedicht met een plank in Thermowood.
- De randisolatie van 4 cm voor het raam wordt op deze wijze gegarandeerd.
- Aan de onderzijde van het raam wordt de klassieke oplossing met de dorpel in blauwe hardsteen moeilijk te realiseren.

- Om de koudebrug hier te minimaliseren wordt er ter hoogte van de spouw eerst een aluminium profiel geplaatst (kleur blauwe hardsteen benaderend). Onder dit aluminium profiel kan dan nog thermische isolatie aangebracht worden.
- Het aluminium profiel komt tot voorbij de verticale afkasting in Thermowood.
- De blauwe hardstenen dorpel wordt onder de aluminium dorpel geplaatst en heeft dezelfde breedte als de aluminium dorpel.
- Tussen het venstertablet en de bovenzijde van de HSB-wand is er nog de mogelijkheid om bijkomend thermische isolatie aan te brengen, zodanig dat op het zwakste punt van de aansluiting tussen raam en HSB-kader het warmteverlies toch nog beperkt blijft.

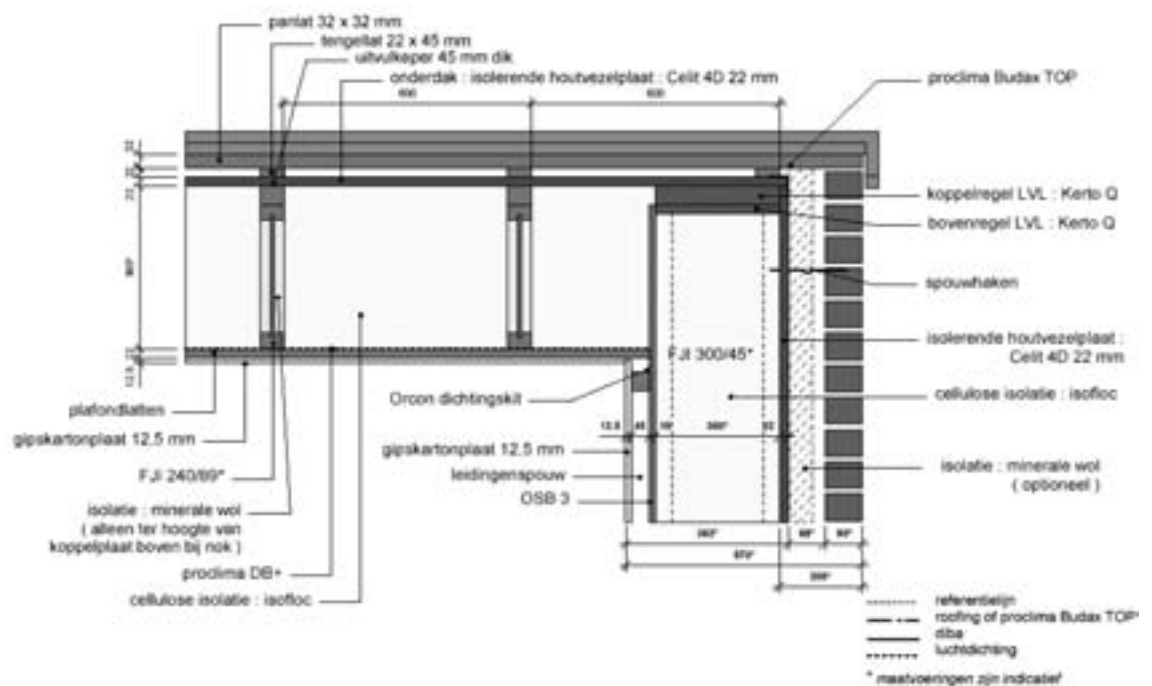
9.9 Aansluiting nok



Figuur 43: Aansluiting nok

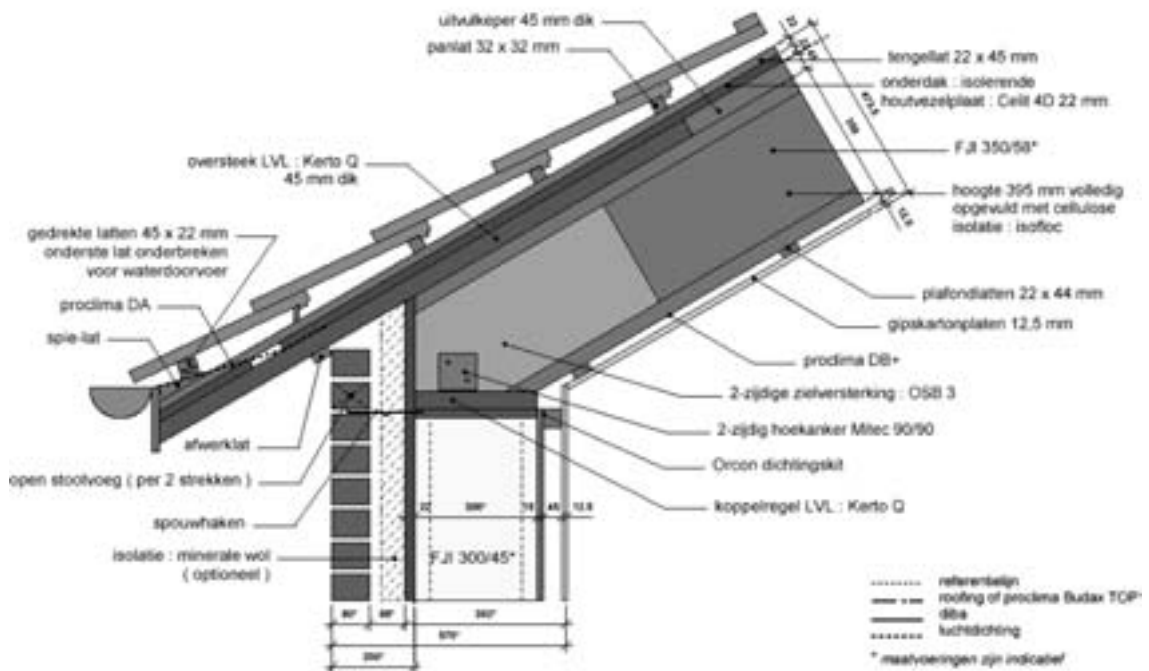
- Gezien in de daken FJI-liggers van minimum 30 cm voorzien zouden moeten worden om een voldoende dikke thermische isolatie te verkrijgen, dragen de FJI-liggers meestal van nok naar buitenmuur.

- De Kerto nokbalk wordt onder de FJI-liggers geplaatst, zodat de isolatie tot in het hoogste nokpunt verzekerd is. Aan de bovenzijde wordt de Kerto-balk afgeschuind, zodat er een groter draagoppervlak ontstaat voor de FJI-liggers.
- Alvorens de FJI's te plaatsen op de nokbalk, wordt eerst een weersbestendige damprem pro clima DA geplaatst. Aan deze folie kan later de pro clima DB+ luchtdicht aangewerkt worden.
- De FJI-liggers worden in de nok met driehoekige OSB-platen aan weerszijden aan elkaar gekoppeld. Tussen de ziel van de FJI-balk en de OSB-koppelplaat wordt de holle ruimte voor het monteren van de koppelplaat opgevuld met een minerale wol.
- Na het plaatsen van het onderdak aan de bovenzijde en de luchtdichting en de plafondlatten aan de onderzijde kan de isofloc-isolatie ingeblazen worden.



Figuur 44: Doorsnede dak - tipgevel

9.10 Aansluiting wand – dak



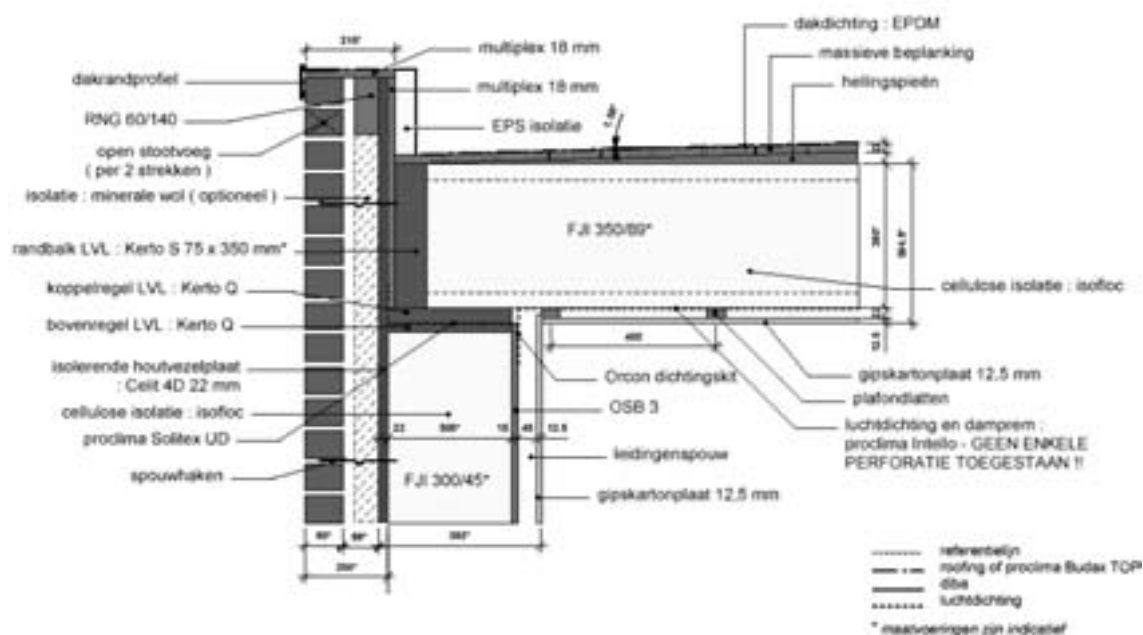
Figuur 45: Aansluiting wand – dak

- Om oververhitting van de binnenruimte door bezonning in de zomermaanden te vermijden, kunnen dakoverstekken een mogelijke oplossing bieden.
- De oversteek is geconstrueerd met een zelfdragende LVL Kerto Q-plaat. De dikte van deze plaat kan variëren in functie van de lengte van de oversteek. Het gebruik van deze plaat laat toe om de daksporen binnen het gebouw te houden. Op deze wijze kan de winddichte Celit-plaat aan de buitenzijde van de HSB-wand op een snelle en efficiënte wijze worden aangebracht. Deze plaat loopt dan in het verlengde van de wand door tot tegen de Kerto-plaat. Een andere oplossing is het aanbrengen van een multiplex of OSB-plaat aan de binnenzijde van de Celit-plaat. Deze kan langs de bovenzijde afgeschuind worden i.f.v. de hellingshoek en desnoods nog gelijkmd tegen de oversteek (Kerto Q, 45 mm dik). Dan steunt het laatste gedeelte van de Celit tegen een volle plaat.
- Op deze wijze ontstaat na het plaatsen van de pro clima DB+ en de plafondlatten een gesloten cassette die vervolgens met isofloc vol geblazen kan worden.
- De Celit-platen lopen ter hoogte van de dakoversteek door boven op de Kerto Q-platen tot tegen de boordplank. De Celit-platen worden onderaan plaatselijk

onderbroken om het mogelijke water van op het onderdak via een Diba-folie in de zinken hanggoot te laten lopen.

- Aan de binnenzijde wordt de luchtdichtingsfolie bij de aansluiting van dak en wand op de OSB-plaat gelijmd met pro clima ORCON F.
- De leidingen voor elektriciteit kunnen in het dakgedeelte ter hoogte van de holle ruimte tussen de luchtdichtingsfolie en de gipskartonplaat naar de gewenste plaats geleid worden zonder de folie te doorboren.
- Ter hoogte van de aansluiting van de FJI-ligger met de HSB-wand worden de zielen van de FJI-liggers 2-zijdig met een OSB-plaat 15 mm versterkt. Vervolgens worden de liggers 2-zijdig met hoekankers bevestigd aan de muurplaat.

9.11 Aansluiting wand – plat dak



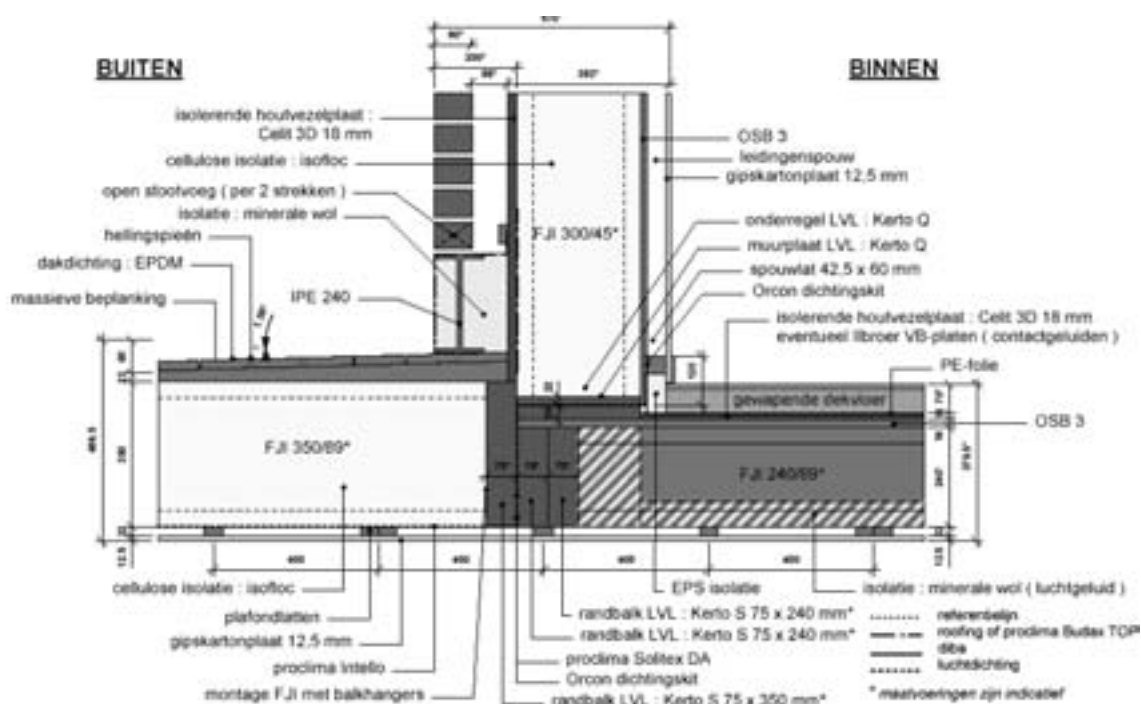
Figuur 46: Aansluiting wand - plat dak

- Omdat bij platte daken de thermische isolatie ook minimum 35 cm moet bedragen, gaan we deze isolatie aanbrengen tussen de daksporen.
- Om een constructie te bekomen die een hoge veiligheid biedt t.o.v. vocht, wordt de onderzijde van het dak perfect luchtdicht afgewerkt met de vochtgestuurde

damprem pro clima DB+ die dampdichter is in een droge omgeving (winteromstandigheden), dan in een vochtige (zomeromstandigheden).

- Langs de bovenzijde is het aan te raden om deze constructie met gedrenkte massief houten beplanking af te timmeren en niet met een OSB-plaat. Het betere hygroscopisch gedrag van massief hout geeft geen vochtproblemen, op voorwaarde dat de holle ruimte tussen de bruggen volledig met isofloc isolatie wordt gevuld en op voorwaarde dat de luchtdichting perfect wordt uitgevoerd.
- Als men inbouwspots wil plaatsen bij deze platdakconstructie, is het aan te raden om dit uit te voeren met een verlaagd plafond.

9.12 Aansluiting verdiepingsvloer – plat dak



Figuur 47: Aansluiting verdiepingsvloer - plat dak

- Bij de aansluiting van de verdiepingsvloer met de constructie van het platte dak moet er extra aandacht besteed worden aan de luchtdichting ter hoogte van de verdiepingswand. Bij detail 5/12 en 6/12 wordt ter hoogte van de verdiepingsvloer de luchtdichtingsfolie van binnen naar buiten geleid om op de verdiepingswand weer op de OSB-plaat gekleefd te worden.

- Om de luchtdichting te verzekeren ter hoogte van de aanzet bij het platte dak, moet ook hier deze pro clima SOLITEX UD geplaatst worden. Aan de onderzijde van het plafond kan deze folie dan later aan de pro clima DB+ van het platte dak verkleefd worden. Aan de bovenzijde wordt de folie op de OSB-plaat van de verdiepingswand gekleefd. Op deze wijze loopt ter hoogte van de verdiepingsvloer de luchtdichting rondom rond door.
- Het I-profiel om de gevelsteen van de verdiepingswand te laten dragen, wordt buiten de geïsoleerde lucht- en winddichte constructie geplaatst.
- Het I-profiel wordt minstens langs de spouwzijde opgevuld met thermische isolatie, beter nog langs beide zijden.

Hoofdstuk 10 Economische relevantie

Hieronder volgt een voorbeeld van een meetstaat die zou kunnen gevolgd worden bij het ontwerp van een passiefhuiswoning. Het betreft hier een ontwerp van architect Bart Cobbaert waar de verschillende partners, elk afhankelijk van hun invalshoek en specialiteiten, instaan voor de levering / plaatsing van materialen, detailtekeningen, aansluitdetails,...

Batech Construct staat in voor de algemene montage van deze woning. Voor deze woning is ter vergelijking de meetstaat opgesteld zoals die zou opgebouwd worden bij een traditionele houtskeletbouw en zoals die zou bestaan bij een passiefhuiswoning.

10.1 Voorbeeld meetstaat traditionele houtskeletbouw

					munteenh.: euro
	OMSCHRIJVING VAN WERKEN EN LEVERINGEN	meet- eenh.	voorz. hoev.	eenh.- prijs	totaal bedrag
	01. VOORBEREIDING DER BOUWWERKEN				
	<i>Inrichten vd bouwplaats; uitzetten vd woning; plaatsing & keuring werfkast; werfverzekering; werfsanitair</i>	ff	1,0		
	<i>Plaatsen van stelling</i>	m ²	276,6		
	<i>Stortcontainer bouwpuin</i>	st	1,0		
	Totaal				5.596,55 euro
	02. GRONDWERKEN				
	02.20 Grondwerken voor fundering met kruipruimte				
	<i>Graafwerk bouwput</i>	ff	1,0		
	<i>Graafwerk sleuven</i>	m ³	10,7		
	<i>Aanaarding nivelleren</i>	ff	1,0		
	Totaal				1.873,41 euro

03. FUNDERINGEN					
03.00 Allerlei					
PVC folie	m²	110,4			
Aardingslus	m	66,0			
Wachtbuizen	m	32,0			
03.20 Fundering met kruipruimte					
Zuiverheidsbeton	m³	4,5			
Betonsleuven	m³	9,6			
MW betonblokken 19 cm (incl.berapen & bitumen)	m³	3,2			
MW betonblokken 29 cm (incl.berapen & bitumen)	m³	11,0			
Verluchting 160 met alu rooster	st	5,0			
03.50 Fundering voor tuinmuur, carport, ...					
Meten, bekisting funderingsmuur	m	2,0			
Betonsleuven	m³	0,3			
MW betonblokken 19 cm	m³	0,5			
Totaal				7.039,43 euro	
04. RIOLERING					
04.10 Riolering: ondergronds net					
Machinaal graafwerk riolering	m	50,0			
Riolering 110	m	66,0			
Riolering 160	m	8,0			
Controleput PVC	st	4,0			
Septische put	st	0,0			
Siphonput	st	1,0			
04.20 Riolering: regenwaterput					
Regenwaterput 5000 l	st	0,0			
Regenwaterput 10000 l - incl. pomp	st	1,0			
Meerprijs zelfregelende waterpomp	st	1,0			
Totaal				6.196,83 euro	
HSB-RUWBOUW					
05. DRAAGVLOER GELIJKVLOERS					
Welfsels (13 cm; max.4m80)	m²	105,1			
Kraanwerk welfsels	h	1,6			
Randbekisting	m	47,2			

Voegvulling welfsels (22l/m²)	m³	2,8		
Wapening druklaag (150/5/150/5)	kg	315,4		
Druklaag (4 cm)	m³	4,2		
Betonpomp	st	1,0		
Totaal			4.204,53 euro	
06. DRAGENDE WANDEN				
06.00 Allerlei				
Lichte montagekraan	dag	2,0		
06.10 Aanzetlaag GV				
Cellenbetonblokken	m³	1,1		
Diba folie onder stelregels	m	82,1		
06.20 Verankering				
Ankers M12 Buitenwanden GV	st	69,0		
06.30 HSB Wanden: wandelementen				
Stelregels 9 cm	m	82,1		
HSB Buitenwandelementen	m²	194,2		
HSB Binnenwandelementen	m²	141,1		
Meerprijs schuine of afgeronde elementen	m²	45,6		
Koppelregels	m	82,1		
Isolatie rotswol 9 cm	m²	326,3		
Binnenbeplating OSB 15 mm TG4	m²	326,3		
Wind- en regenscherm Delta-Vent N	m²	295,7		
Pavatex Unger Diffutherm 6cm (tbv bepleistering)	m²	129,0		
06.40 Dagkanten ramen				
Binnenbeplating	m	105,4		
Totaal			30.693,79 euro	
07. TUSSENVLOER				
07.10 Tussenvloer: Structuur				
07.11 Hoofdliggers en kolommen (nivo 1&2)				
Houten kolom - Kerto S 90/90	st	6,0		
Gelamelleerde ligger - Kerto S 90/300	m	16,2		
07.12 Houten roostering (incl. tussenschotten)				
FJI 45/300	m	217,9		

07.13 Randbalken en randplaten				
Randplaat - Kerto 75/300	m	37,7		
Randplaten -Pavatex Isolair 22mm	m²	16,8		
07.20 Tussenvloer: Draagvloer				
Vloerbeplating (OSB 18 mm TG4)	m²	84,0		
07.30 Tussenvloer: Isolatie				
Plafondisolatie glaswol 8 cm	m²	84,0		
07.40 Tussenvloer: Bevestigingsmateriaal				
Bevestigingsmateriaal (schroeven, bouten, nagels, lijm)	st	1.342,6		
L-profiel of beugels voor dragen van FJI (aan ligger)	m	90,0		
Totaal			7.588,75 euro	
08. DAKEN				
08.10 Hellend dak				
08.11 Dakconstructie				
Daktimmer	m²	177,1		
Meerprijs kapconstructie kielgoot	m	11,6		
08.13 Dakbedekking				
Kielgootafwerking in zink	m	11,6		
Grijze kunstleien 60*32 - Alterna (incl. panlatten en afwerking aan randen en nokken)	m²	133,5		
08.14 Isolatie en damp scherm				
Dampscherm	m²	144,1		
Isolatie glaswol 16 cm	m²	131,0		
08.30 Dakoversteken - afwerking				
Boordselfplanken voor dakgoten	m	43,2		
Afwerking oversteek in gegroefde mpx	m²	28,8		
Balkon/terras				
08.50 Goten en aflopen				
Goten zink	m	23,2		
Aflopen zink	m	24,0		
Totaal			27.155,40 euro	
09. GEVELMETSSELWERK EN GEVELBEKLEDING				
09.10 Gevelbekleding				

Beploistering (op Pavatex Diffutherm 6cm - zie 6.30)	m²	129,2		
Grijze kunstleien 60*32 - Alterna (incl. panlatten en afwerking aan randafwerking)	m²	97,0		
Kitten ramen	m	81,7		
Vochtwering aanzet gebouw	m	56,0		
Catnicprofielen ramen	m	0,0		
09.40 Dorpels en natuursteen				
Arduinen plint (bovenzijde = 0-pas)	m	56,0		
Totaal			22.567,22 euro	
10. GEVELSLUITINGEN				
10.10 Ramen en deuren				
Gevelsluitingen in PVC of hout	m²	44,2		
Aluminium raamdorpels	m	27,4		
Totaal			14.545,02 euro	
TECHNIEKEN				
11. VERWARMINGSINSTALLATIE				
11.20 Centrale verwarming op aardgas				
Algemeen				
Keuring van de installatie	ff	1,0		
Standaard radiator/convactor GV	st	4,0		
Standaard radiator/convactor 1V	st	4,0		
Putconvactor 34 x 200 cm	st	2,0		
Ketels				
Gaswandketel Ariston met boiler 60 l	st	1,0		
Regeling (progr. kamerthermostaat)	st	1,0		
Totaal			9.435,71 euro	
12. SANITAIRE INSTALLATIE				
12.10 Toevoeren en afvoeren				
Aansluiting water	st	1,0		
Gelijkvloers				
Collector gelijkvloers	st	1,0		

Toevoer K en afvoer WC	st	1,0		
Toevoer K en afvoer handwas	st	1,0		
Toevoer W + K en afvoer lavabo	st	2,0		
Toevoer W + K en afvoer spoeltafel	st	1,0		
Toevoer K en afvoer uitgietbak, ...	st	0,0		
Dubbeldienstkraan	st	2,0		
Toevoer W + K en afvoer douche	st	1,0		
Verdieping				
Collector verdieping	st	1,0		
Toevoer K en afvoer WC	st	1,0		
Toevoer W + K en afvoer lavabo	st	1,0		
Toevoer W + K en afvoer bad	st	1,0		
Totaal			1.262,88 euro	
12.20 Toestellen (zonder toevoer- en afvoerleidingen)				
Gelijkvloers				
WC	st	1,0		
Handwasbakje	st	1,0		
Lavabo badkamer	st	2,0		
Verdieping				
WC	st	1,0		
Lavabo badkamer	st	2,0		
Ligbad	st	1,0		
Klassieke douche + kraan (excl. betegeling)	st	1,0		
12.99 Andere, diversen				
Dubbeldienstkraan (was- en afwasmachine)	st	2,0		
Bijkomende dubbeldienstkraan buiten (met afsluitkraan)	st	1,0		
Totaal			2.396,91 euro	
13. ELEKTRISCHE INSTALLATIE				
11.10 Electriche installatie				
Basis elektriciteit (incl. keuring van de installatie)	st	1,0		
Meterkast + scheider 125 A + meetmodule	st	1,0		
Stopcontacten (excl. vaste toestellen)	st	27,0		
Lichtpunten (excl. armaturen)	st	21,0		
Schakelaars	st	28,0		
Aansluitpunt TV-distributie	st	2,0		
Aansluitpunt telefoon	st	2,0		
Bel	st	1,0		

Vaste aansluiting verwarmingsketel	st	1,0		
Vaste aansluiting ventilatie	st	1,0		
Vaste aansluitingen keuken	st	6,0		
Vaste aansluitingen wasmachine + droogkast	st	2,0		
Extra stopcontact (ook TV en tel)	st	2,0		
Totaal			4.401,34 euro	
14. VENTILATIE				
14.10 Dubbele flux met warmterecuperatie				
WHR 91 B / rend.90% / hoog debiet / by-pass	st	1,0		
Kanaalwerk (excl. buisisolatie)	ff	1,0		
Totaal			4.777,91 euro	
AFWERKING				
15. BINNENSCHRIJNWERK				
15.10 Binnendeuren				
15.12 Binnendeuren gelijkvloers				
Binnendeur (schilderdeur tubespaan of Moralt)	st	5,0		
15.13 Binnendeuren verdieping				
Binnendeur (schilderdeur tubespaan of Moralt)	st	4,0		
15.20 Raamtabletten				
Raamtabletten wit marmer of arduin	m	20,3		
Totaal			4.003,77 euro	
16. TRAPPEN - LEUNINGEN - BORSTWERINGEN				
16.10 Trappen				
Beuken steektrap (gesloten - kwartslag)	st	1,0		
16.20 Leuning en balustrades				
Houten muurgreep	st	5,5		
Totaal			4.388,51 euro	

17. VLOEREN - VLOERBEKLEDING				
17.10 Dekvloer en vloerisolatie				
<i>17.11 Gelijkvloers</i>				
<i>Isolatie vloerplaat GV (PUR 6 cm, gespoten)</i>	m²	88,0		
<i>Chape gelijkvloers (8 cm)</i>	m²	88,0		
<i>17.12 Verdieping en dakverdieping</i>				
<i>Akoestische isolatiemat 0.5mm & chape 6cm</i>	m²	61,9		
<i>Waterdichting vloer badkamer 1V + DV</i>	m²	12,2		
17.20 Vloer - Tapijt - Parket				
<i>Keramische vloer 30x30 (incl. plinten)</i>	m²	88,0		
<i>Vloermat</i>	st	1,0		
Totaal			9.643,15 euro	
18. WAND- EN PLAFONDAFWERKING				
18.10 Wandafwerking Gyproc				
<i>Dampscherm</i>	m²	245,8		
<i>Gyproc (12.5 mm) incl. egalisatie, klaar voor de schilder</i>	m²	453,5		
<i>Gyproc afwerking dagkanten ramen</i>	m	62,6		
18.20 Plafondafwerking Gyproc				
<i>18.21 Gyproc plafonds</i>				
<i>Gyproc (12.5 mm) incl. lattenwerk, egalisatie en elastische voeg</i>	m²	174,3		
<i>18.22 Gyproc afkasting liggers en afwerking trapgat/vide</i>				
<i>Meerprijs vochtbestendige gyproc in badkamer</i>	m²	65,6		
18.40 Wandbetegeling				
<i>Wandtegels (standaard 15x15)</i>	m²	53,0		
Totaal			16.905,92 euro	
19. VASTE UITRUSTINGEN (Keuken, Badkamer,...)				
19.10 Vaste uitrustingen				
<i>Keuken - standaard (excl. toestellen en spoeltafel)</i>	m			
<i>Aansluiting dampkap (=afvoerbuiss + rooster + bekabeling)</i>	st	1,0		
<i>Kast badkamer MW</i>	m			
Totaal			209,97 euro	

<table> <tr> <td colspan="4"> BATECH construct nv Kanaalstraat 16 3560 LUMMEN telefoon: (011) 30 39 90 - telefax: (011) 30 39 99 batech@vanhout.be </td><td> Netto-verkoopprijs (euro) </td><td> 184.887,00 </td></tr> <tr> <td colspan="4"></td><td> B.T.W.-bedrag </td><td> 0,21 38.826,27 </td></tr> <tr> <td colspan="4"></td><td> Verkoopprijs incl. B.T.W. (euro) </td><td> 223.713,27 </td></tr> <tr> <td colspan="4"></td><td> Totaal bedrag, uitgedrukt in BEF: </td><td> 9.024.571 </td></tr> </table>						BATECH construct nv Kanaalstraat 16 3560 LUMMEN telefoon: (011) 30 39 90 - telefax: (011) 30 39 99 batech@vanhout.be				Netto-verkoopprijs (euro)	184.887,00					B.T.W.-bedrag	0,21 38.826,27					Verkoopprijs incl. B.T.W. (euro)	223.713,27					Totaal bedrag, uitgedrukt in BEF:	9.024.571
BATECH construct nv Kanaalstraat 16 3560 LUMMEN telefoon: (011) 30 39 90 - telefax: (011) 30 39 99 batech@vanhout.be				Netto-verkoopprijs (euro)	184.887,00																								
				B.T.W.-bedrag	0,21 38.826,27																								
				Verkoopprijs incl. B.T.W. (euro)	223.713,27																								
				Totaal bedrag, uitgedrukt in BEF:	9.024.571																								
Deze prijsofferte is een uniek en persoonlijk document en vervangt alle voorgaande.																													

10.2 Voorbeeld meetstaat passiefhuiswoning

SAMENVATTENDE MEETSTAAT EN PRIJSOFFERTE						
Bouwheer: MEETSTAAT PASSIEFHUIS -					munteenh.: euro	
	OMSCHRIJVING VAN WERKEN EN LEVERINGEN	meet- eenh.	voorz. hoev.	eenh.- prijs	totaal bedrag	
01. VOORBEREIDING DER BOUWWERKEN						
Inrichten vd bouwplaats; uitzetten vd woning; plaatsing & keuring werfkast; werfverzekering; werfsanitair		ff	1,00			
Plaatsen van stelling		m²	276,61			
Stortcontainer bouwpuin		st	1,00			
Totaal					5.596,55 euro	
02. GRONDWERKEN						
02.20 Grondwerken voor fundering met kruipruimte						
Graafwerk bouwput		ff	1,00			
Graafwerk sleuven		m³	10,69			
Aanaarding nivelleren		ff	1,00			
Totaal					1.873,41 euro	
03. FUNDERINGEN						
03.00 Allerlei						
PVC folie		m²	110,38			
Aardingslus		m	66,00			
Wachtbuizen		m	32,00			
03.20 Fundering met kruipruimte						
Zuiverheidsbeton		m³	4,55			
Betonsleuven		m³	9,59			
MW betonblokken 19 cm (incl.berapen & bitumen)		m³	3,24			
MW betonblokken 29 cm (incl.berapen & bitumen)		m³	10,95			
Verluchting 160 met alu rooster		st	5,00			

03.50 Fundering voor tuinmuur, carport, ...					
	<i>Meten, bekisting funderingsmuur</i>	m	2,00		
	<i>Betonsleuven</i>	m³	0,28		
	<i>MW betonblokken 19 cm</i>	m³	0,48		
Totaal				7.039,43 euro	
04. RIOLERING					
04.10 Riolering: ondergronds net					
	<i>Machinaal graafwerk riolering</i>	m	50,00		
	<i>Riolering 110</i>	m	66,00		
	<i>Riolering 160</i>	m	8,00		
	<i>Controleput PVC</i>	st	4,00		
	<i>Septische put</i>	st	0,00		
	<i>Siphonput</i>	st	1,00		
04.20 Riolering: regenwaterput					
	<i>Regenwaterput 5000 l</i>	st	0,00		
	<i>Regenwaterput 10000 l - incl. pomp</i>	st	1,00		
	<i>Meerprijs zelfregelende waterpomp</i>	st	1,00		
Totaal				6.196,83 euro	
HSB-RUWBOUW					
05. DRAAGVLOER GELIJKVLOERS					
	<i>Welfsels (13 cm; max.4m80)</i>	m²	105,12		
	<i>Kraanwerk welfsels</i>	h	1,58		
	<i>Randbekisting</i>	m	47,20		
	<i>Voegvulling welfsels (22l/m²)</i>	m³	2,80		
	<i>Wapening druklaag (150/5/150/5)</i>	kg	315,36		
	<i>Druklaag (4 cm)</i>	m³	4,20		
	<i>Betonpomp</i>	st	1,00		
Totaal				4.204,53 euro	
06. DRAGENDE WANDEN					
06.00 Allerlei					
	<i>Lichte montagekraan</i>	dag	2,00		

06.10 Aanzetlaag GV					
Cellenbetonblokken	m³	5,82			
06.20 Verankering					
Ankers M12 HSB-wanden GV	st	69,00			
06.30 HSB Wandelementen					
<i>PH-buitenwandelementen</i>					
Stelregel - Kerto Q 36/300	m	56,00			
Diba folie onder stelregels	m	56,00			
*** Variante***Roofing gebrand omtrek woning	m	0,00			
Wanden 1 x OSB 15 - FJI 300 - Celit 3D	m²	194,21			
Meerprijs voor schuine wanden	m²	45,60			
Koppelregel - Kerto Q 36/300	m	56,00			
Isolatie - isofloc (zonder hulp)	m²	53,56			
Isolatie - isofloc (met hulp van bouwheer)	m²	0,00			
Pavatex Isolair 22mm (tbv gevelleien)	m²	97,00			
Pavatex Unger Diffutherm 6cm (tbv bepleistering)	m²	129,00			
<i>HSB-binnenwandelementen</i>					
Stelregels	m	26,10			
Diba folie onder stelregels	m	26,10			
Wanden SLS 89 - OSB 15	m²	141,09			
Koppelregels	m	26,10			
Meerprijs voor schuine wanden	m²	12,00			
Isolatie rotswol 9 cm	m²	124,08			
Binnenbeplating - OSB 15	m²	124,08			
06.40 Dagkanten ramen					
Binnenbeplating	m	105,40			
Totaal				38.602,92 euro	
07. TUSSENVLOER					
07.10 Tussenvloer: Structuur					
<i>07.11 Hoofdliggers en kolommen</i>					
Houten kolom - Kerto S 90/90	st	6,00			
Gelamelleerde ligger - Kerto S 90/300	m	16,20			
<i>07.12 Houten roostering (incl. tussenschotten)</i>					
FJI 45/300	m	217,87			
<i>07.13 Randbalken en randplaten</i>					

	Randplaat - Kerto 75/300	m	37,70		
	Isolatie rotswol 9 cm	m²	16,80		
	Randplaten -Pavatex Isolair 22mm	m²	16,80		
	07.20 Tussenvloer: Draagvloer				
	Vloerbeplating (OSB 18 mm TG4)	m²	83,96		
	07.30 Tussenvloer: Isolatie				
	Plafondisolatie glaswol 8 cm	m²	84,00		
	07.40 Tussenvloer: Bevestigingsmateriaal				
	Bevestigingsmateriaal (schroeven, bouten, nagels, lijm)	st	1.342,60		
	L-profiel of beugels voor dragen van FJI (aan ligger)	st	90,00		
	Totaal			7.753,49 euro	
	08. DAKEN				
	08.10 Hellend dak				
	08.11 Dakconstructie				
	Stelregel - Kerto Q 36/300	m	56,00		
	FJI 58/350	m	348,18		
	Zielversterkingen - 2 zijdig OSB 3	st	53,00		
	Hoekankers	st	53,00		
	Nokbalk - Kerto S 75/220	m	23,20		
	Nokbalk koppelplaat 2 zijdig - OSB 3	st	53,00		
	Dakoversteek randbalk - Kerto S 75/300	m	34,80		
	Dakoversteek randbalk - Kerto S 27/300	m	0,00		
	Dakoversteek dakplaat - Kerto Q 45	m²	0,00		
	Dakoversteek - roostering	m	50,90		
	Hoekankers	st	112,00		
	08.12 Onderdak				
	Pavatex Isolair 22mm	m²	148,50		
	Tengellatten 18x38	m	287,88		
	08.13 Dakbedekking				
	Kielgootafwerking in zink	m	11,58		
	Grijze kunstleien 60*32 - Alterna (incl. panlatten en afwerking aan randen en nokken)	m²	133,50		
	08.14 Isolatie				
	Isolatie rotswol 16 cm (rond nok)	m²	13,92		
	Isolatie - isofloc (zonder hulp klant)	m³	40,02		
	Isolatie - isofloc (met hulp klant)	m³	0,00		

	08.30 Dakoversteken - afwerking				
	<i>Boordselplanken voor dakgoten</i>	m	43,20		
	<i>Afwerking oversteek in gegroefde mpx</i>	m²	28,76		
	<i>Balkon/terras</i>				
	08.50 Goten en aflopen				
	<i>Goten zink</i>	m	23,20		
	<i>Aflopen zink</i>	m	24,00		
	Totaal			31.967,37 euro	
	09. GEVELBEKLEDING				
	09.10 Gevelbekleding				
	<i>Bepleistering (op Pavatex Diffutherm 6cm - zie 6.30)</i>	m²	129,23		
	<i>Grijze kunstleien 60*32 - Alterna (incl. panlatten en afwerking aan randafwerking)</i>	m²	97,00		
	<i>Kitten ramen</i>	m	81,70		
	<i>Vochtwering aanzet gebouw</i>	m	56,00		
	<i>Catnicprofielen ramen</i>	m	0,00		
	09.40 Dorpels en natuursteen				
	<i>Arduinen plint (bovenzijde = 0-pas)</i>	m	56,00		
	Totaal			22.567,22 euro	
	10. GEVELSLUITINGEN				
	10.10 Ramen en deuren				
	<i>Ramen en deuren in hout -PH-uitvoering - volledig afgelakt - incl beglazing</i>	sog	1,00		
	<i>Aluminium raamdorpels</i>	m	27,40		
	Totaal			24.020,07 euro	
	TECHNIEKEN				
	11. VERWARMINGSINSTALLATIE				
	NVT				
	Totaal			euro	

	12. SANITAIRE INSTALLATIE				
	12.10 Toevoeren en afvoeren				
	<i>Aansluiting water</i>	st	1,00		
	<i>Gelijkvloers</i>				
	<i>Collector gelijkvloers</i>	st	1,00		
	<i>Toevoer K en afvoer WC</i>	st	1,00		
	<i>Toevoer K en afvoer handwas</i>	st	1,00		
	<i>Toevoer W + K en afvoer lavabo</i>	st	2,00		
	<i>Toevoer W + K en afvoer spoeltafel</i>	st	1,00		
	<i>Toevoer K en afvoer uitgietskraan, ...</i>	st	0,00		
	<i>Dubbeldienstkraan</i>	st	2,00		
	<i>Toevoer W + K en afvoer douche</i>	st	1,00		
	<i>Verdieping</i>				
	<i>Collector verdieping</i>	st	1,00		
	<i>Toevoer K en afvoer WC</i>	st	1,00		
	<i>Toevoer W + K en afvoer lavabo</i>	st	1,00		
	<i>Toevoer W + K en afvoer bad</i>	st	1,00		
	Totaal			1.262,88 euro	
	12.20 Toestellen (zonder toevoer- en afvoerleidingen)				
	<i>Gelijkvloers</i>				
	<i>WC</i>	st	1,00		
	<i>Handwasbakje</i>	st	1,00		
	<i>Lavabo badkamer</i>	st	2,00		
	<i>Verdieping</i>				
	<i>WC</i>	st	1,00		
	<i>Lavabo badkamer</i>	st	2,00		
	<i>Ligbad</i>	st	1,00		
	<i>Klassieke douche + kraan (excl. betegeling)</i>	st	1,00		
	12.99 Andere, diversen				
	<i>Dubbeldienstkraan (was- en afwasmachine)</i>	st	2,00		
	<i>Bijkomende dubbeldienstkraan buiten (met afsluitkraan)</i>	st	1,00		
	Totaal			2.396,91 euro	
	13. ELEKTRISCHE INSTALLATIE				

11.10 Electrische installatie					
<i>Basis elektriciteit (incl. keuring van de installatie)</i>		st	1,00		
<i>Meterkast + scheider 125 A + meetmodule</i>		st	1,00		
<i>Stopcontacten (excl. vaste toestellen)</i>		st	27,00		
<i>Lichtpunten (excl. armaturen)</i>		st	21,00		
<i>Schakelaars</i>		st	28,00		
<i>Aansluitpunt TV-distributie</i>		st	2,00		
<i>Aansluitpunt telefoon</i>		st	2,00		
<i>Bel</i>		st	1,00		
<i>Vaste aansluiting verwarmingsketel</i>		st	1,00		
<i>Vaste aansluiting ventilatie</i>		st	1,00		
<i>Vaste aansluitingen keuken</i>		st	6,00		
<i>Vaste aansluitingen wasmachine + droogkast</i>		st	2,00		
<i>Extra stopcontact (ook TV en tel)</i>		st	2,00		
Totaal				4.401,34 euro	
14. VENTILATIE					
14.10 Dubbele flux met warmterecuperatie					
<i>Balansventilatie met warmterecuperatie en warmtepomp</i>		st	1,00		
<i>Warmwaterproductie met zonneboiler 190l</i>		st	1,00		
Totaal				14.334,69 euro	
AFWERKING					
15. BINNENSCHRIJNWERK					
15.10 Binnendeuren					
<i>15.12 Binnendeuren gelijkvloers</i>					
<i>Binnendeur (schilderdeur tubespaan of Moralt)</i>		st	5,00		
<i>15.13 Binnendeuren verdieping</i>					
<i>Binnendeur (schilderdeur tubespaan of Moralt)</i>		st	4,00		
15.20 Raamtabletten					
<i>Raamtabletten (materiaalkeuze nog te bepalen)</i>		m	20,30		
Totaal				4.003,77 euro	
16. TRAPPEN - LEUNINGEN - BORSTWERINGEN					

16.10 Trappen				
<i>Beuken steektrap en bijhorende balustrade</i>	st	1,00		
16.20 Leuningen en balustrades				
<i>Houten muurgreep</i>	st	5,50		
Totaal	4.388,51 euro			
17. VLOEREN - VLOERBEKLEDING				
17.10 Dekvloer en vloerisolatie				
<i>17.11 Gelijkvloers</i>				
<i>Uitvullaag Isobet</i>	m²	88,00		
<i>Isolatie vloerplaat GV - EPS 20 cm</i>	m²	88,00		
<i>Chape gelijkvloers (8 cm)</i>	m²	88,00		
<i>17.12 Verdieping</i>				
<i>Akoestische isolatiemat 0.5cm & chape 6cm</i>	m²	61,86		
<i>Waterdichting vloer badkamer verdieping</i>	m²	12,24		
17.20 Vloer - Tapijt - Parket				
<i>Keramische vloer 30x30 (incl. plinten)</i>	m²	88,00		
<i>Vloermat</i>	st	1,00		
Totaal	13.146,45 euro			
18. WAND- EN PLAFONDAFWERKING				
18.10 Wandafwerking Gyproc				
<i>Leidingenspouw - montagelatten 22*45 mm</i>	m	502,40		
<i>Isolatie in leidingenspouw</i>	m²			
<i>Gyproc (12.5 mm) incl. egalisatie, klaar voor de schilder</i>	m²	453,52		
<i>Gyproc afwerking dagkanten ramen</i>	m	62,60		
18.20 Plafondafwerking Gyproc				
<i>18.21 Gyproc plafonds</i>				
<i>Leidingenspouw - montagelatten 22*45 mm</i>	m	0,00		
<i>Isolatie in leidingenspouw</i>	m²			
<i>Gyproc (12.5 mm) incl. lattenwerk, egalisatie en elastische voeg</i>	m²	174,27		
<i>18.22 Gyproc afkasting liggers en afwerking trapgat/vide</i>				
<i>Meerprijs vochtbestendige gyproc in badkamer</i>	m²	65,60		
18.40 Wandbetegeling				

Wandtegels (standaard 15x15)		m²	53,00		
Totaal			17.334,44 euro		
19. VASTE UITRUSTINGEN (Keuken, Badkamer,...)					
19.10 Vaste uitrustingen					
Keuken - standaard (excl. toestellen en spoeltafel)		m	0,00		
Aansluiting dampkap (=afvoerbuis + rooster + bekabeling)		st	1,00		
Kast badkamer MW		m	0,00		
Totaal			209,97 euro		
20. LUCHTDICHTING					
Aansluiting OSB/betonplaat (pro clima DA & Orcon F)		m	56,00		
OSB-naden (Rapid Cell)		m	1.728,00		
Tussenvloer (pro clima Solitex UD +Orcon F)		m	56,00		
Nokbalk (pro clima Solitex UD +Orcon F)		m	12,00		
Dakvlak (pro clima DB+)		m²	125,00		
Doorboringen (verluchtungskokers , schouwen, trekkers, ...)		m	3,00		
Rond buitenschrijnwerk - openingen < 1,5m²		m	2,00		
Rond buitenschrijnwerk - openingen > 1,5m²		m	13,00		
Blowerdoor-test		sog	1,00		
Totaal			4.576,68 euro		

BATECH construct nv		Netto-verkoopprijs (in euro)		215.877,46
Kanaalstraat 16		B.T.W.-bedrag		0,21
3560 LUMMEN		Verkoopprijs incl. B.T.W. (in euro)		261.211,73
telefoon: (011) 30 39 90 - telefax: (011) 30 39 99				
batech@vanhout.be		Totaal bedrag, uitgedrukt in BEF:		10.537.254,90

Deze prijsofferte is een uniek en persoonlijk document en vervangt alle voorgaande.

10.3 Kostprijsstechnisch

Aan de hand van de vergelijking van bovenstaande offerten krijgen we een beter inzicht op de prijsniveaus die meespelen voor bouwheren die willen overgaan tot het bouwen volgens de passiefhuisstandaarden.

Om een goed vergelijkingspunt te hebben zijn we ervan uitgegaan dat de bouwheer niets zelf doet.

In de praktijk weten we dat de niche-doelgroep van de bouwheren die een passiefhuis willen bouwen, maar al te graag een handje toesteken. Dit element, gecombineerd met het feit dat de woning op basis waarvan we een vergelijkende kostprijsberekening hebben opgesteld geen alledaags ontwerp was, moet het prijsverschil dat er op dit moment zit tussen een klassieke houtskelet en een passiefhuis, zeker nuanceren.

De betreffende woning heeft ongeveer een bruto-oppervlakte van 200m². Omgerekend geeft dit ongeveer voor een gewone houtskeletbouw 924 euro/m² en voor het concept uitgewerkt in passiefhuisstandaard 1093 euro/m². De meerkost in dit ontwerp van een passiefhuis ten opzichte van een klassieke houtskeletbouw bedraagt omgerekend tussen de 15 à 20 %.

Na een vergelijking van het totaal kostenplaatje loont het zeker en vast de moeite om de verschillende kostenposten van naderbij te bekijken.

Zo zijn er een groot aantal kostenposten die ongewijzigd blijven: voorbereiding van de bouwwerken, grondwerken, funderingen, tussenvloeren, afwerkingen,...

De meerkost zit hem voor een deel in de dragende wanden, de dakconstructie, het buitenschrijnwerk, de ventilatiepost en het verzorgen van de luchtdichting.

De extra winsten die men kan maken door kosten van installatie van een verwarming, stookkosten,...te vermijden zijn niet in deze studie opgenomen. Samen met het monetair waarderen van levenskwaliteit, gezondheid,... zijn dit elementen die buiten het bestek van dit innovatierapport vallen, maar niettemin van groot belang zijn in het beslissingsproces van een dergelijke kosten- batenanalyse.

Tot slot willen we nog de aandacht vestigen dat een zekere meerprijs in de buitenwanden op het einde van de rit weggewerkt kan worden als we ervan uitgaan dat met een passiefhuiswandopbouw met verticale FJI-liggers zoals onderzocht in dit rapport men onmiddellijk de nodige isolatiedikte verkrijgt en het ontdubbelen van een traditionele structuur met de nodige meerkosten van plaatsing, isoleren en luchtdicht maken, wegens niet meer op tegen een geprefabriceerde passiefhuiswand.

Hoofdstuk 11 Kantoorgebouw Wagner & Co. Solartechnik GmbH

11.1 Algemeen: Eerste kantoorgebouw ooit in passiefhuis-standaard

Enkele jaren geleden gaf de firma Wagner & Co. groen licht aan het Passivhaus-Institut Darmstadt om een energieconcept uit te werken i.s.m. architectenkantoor Stamm uit Schweinsberg.

In 1998 werd dan het eerste, volgens de passiefhuis-standaard gebouwde, kantoorgebouw door de firma Wagner Solartechnik GmbH te in gebruik genomen.



Figuur 48: Eerste kantoorgebouw volgens de passiefhuisstandaarden

De eerder in de passiefhuizen opgedane ervaring diende nog vertaald naar specifieke toepassing in kantoorbouw en grotere gebouwen met meerdere bouwlagen:

1. het sterk isoleren, het koudebrugvrij bouwen, en het luchtdicht bouwen moesten hier in complexere omstandigheden worden gerealiseerd;

2. rationele productieprocessen voor gevel en dakstructuren dienden nog te worden ontwikkeld en ook het verzekeren van de gewenste luchtdichtheidsgraad op dergelijke grootte-orde stond nog in de kinderschoenen;
3. gezien de verschillende gebruiksfuncties (bureaus, workshops, cafetaria,...) ook diverse en specifieke eisen stellen inzake bouw- en installatietechniek (andere omgevingstemperaturen, ventilatiedebieten,...), heeft dit zowel impact op de eigenlijke installaties als op de regeltechniek;
4. daarbij zijn de door mens en machine veroorzaakte interne warmtelasten merkelijk hoger dan in woningbouw en dient extra aandacht besteed aan brandnormen, akoestiek, daglichtniveau, keukenapparatuur (koelcel, oven, dampkap),...

Het project is heden op allerlei vlakken een interessant voorbeeld: het efficiënt gebruik van daglicht en kunstlicht, de toepassing van bodem-lucht-warmtewisselaars, de toepassing van een hoge graad van isolatie, de innovatieve wijze van het gebruik van houtbouwsystemen, de nachtelijke koeling, het gebruik van een zonne-installatie en zonwering... Sedert het begin was duidelijk dat het gebouw zeer goed presteerde: de medewerkers juichten de goede luchtkwaliteit toe, de heldere lokalen en de aangenaam koele temperaturen in de zomer. De firma zelf is zeer tevreden met de openbare interesse voor het gebouw, waarmee een reclame-effekt van de firma verbonden is.

Het gebouw werd gedurende een lange periode gemonitord door de universiteit Marburg. Onlangs bevestigden bijkomende studies nog dat dit gebouw ook in zomersituaties uitmuntend presteert. Het gemeten energiegebruik voor verwarming (12,5 kWh/m².jaar) stemt goed overeen met het berekende verbruik (11 kWh/m².jaar), dat in eigen beheer via een zonne-installatie wordt geleverd.

Het gebouw vergt minder dan 10% van het anders gebruikelijke voor verwarming; dit ten gevolge een hoog-efficiënte thermische isolatie en energietechniek.

De bouwkosten bleken uiteindelijk vergelijkbaar te zijn met die van een normaal nieuw kantoorgebouw.

11.2 Gebouwbenutting

Het in een ontwikkelingsgebied van de gemeente Cölbe gelegen gebouw, huisvest de centrale beheersfuncties van het bedrijf Wagner & Co Zonnetechnologie GmbH. Behalve landschaps- en cellulaire kantoren voor de 40 werknemers omvat het project

verder onder meer klaslokalen, een refter en de nodige ruimtes voor tentoonstellingen en workshop.

11.3 Vormgeving/ architectuur

Het rechthoekig grondplan werd aan de westzijde tot een halve cirkelvorm uitgebouwd. De langse gevels zijn zuid en noord georiënteerd. De trap, de lift en de sanitaire ruimten vormen over alle verdiepingen een aparte ruimte-eenheid aan de noordzijde van het gebouw.



Figuur 49: Grondplan kantoorgebouw

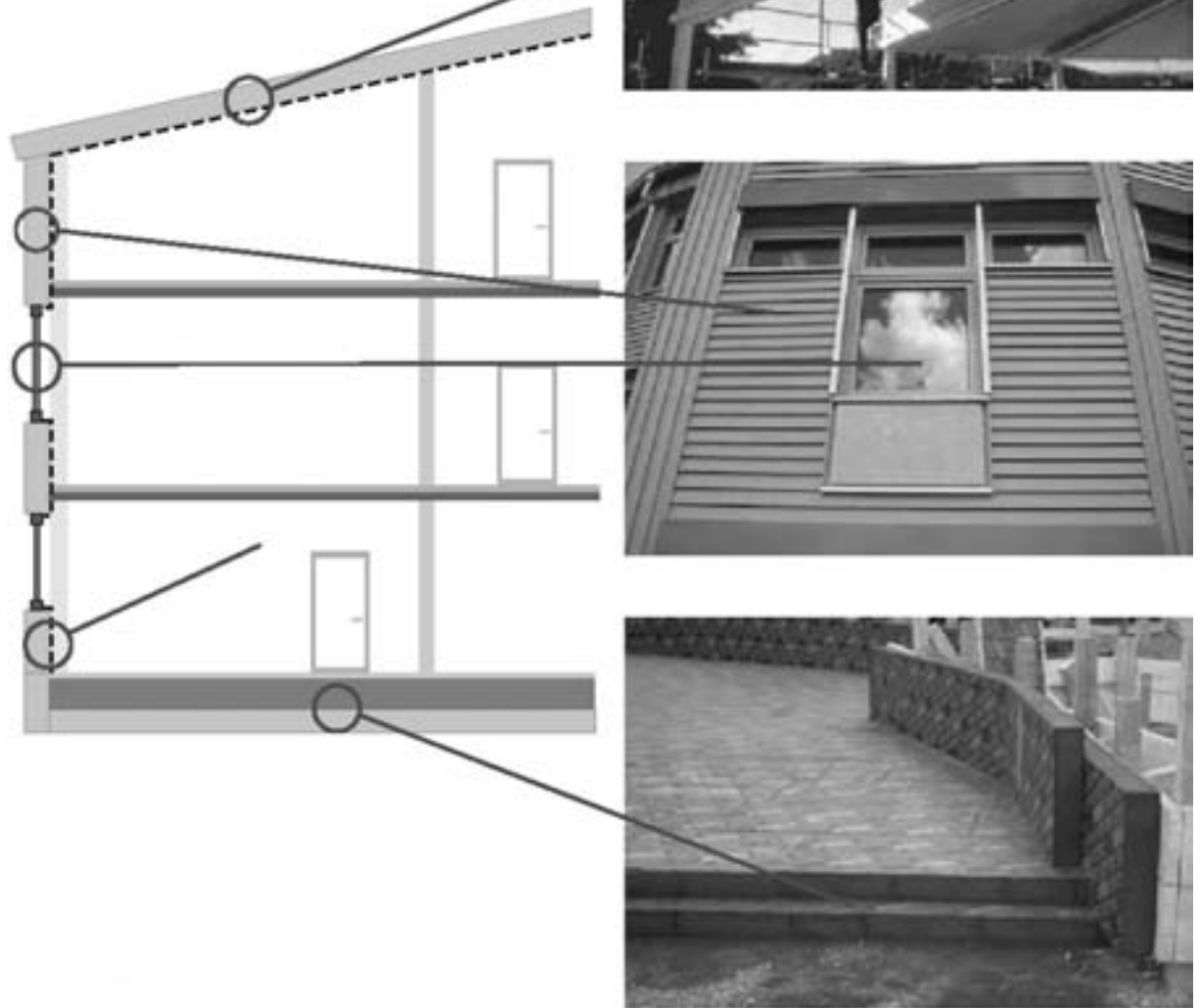
11.4 Warmteverliezen beperken

Met een compactheid van 2.78 m heeft het gebouw een gunstige verhouding tussen warmteverliezend oppervlak en beschermd volume. De warmtedoorgangscoefficienten van de onderscheiden wanddelen overschrijden de maximum opgelegde U-waarde van 0.15W/m²K niet. De skeletstructuur en de betonnen grondplaat zijn integraal met thermische isolatie omhuld.

De gevels en het dak zijn opgebouwd uit geprefabriceerde lichte houtbouwelementen die volledig aan de buitenzijde van de dragende structuur zijn gelegen.

De wanden zijn met minerale wol geïsoleerd tot 30cm; het dak tot 40cm.

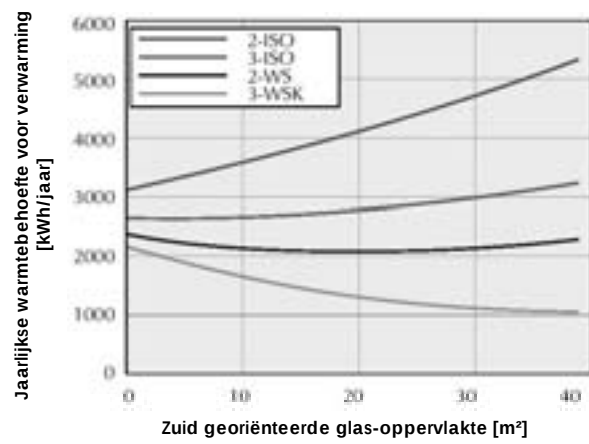
Het houten buitenschrijnwerk met polyurethaan thermische onderbreking heeft een U-waarde van $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Het is uitgerust met drievoudige beglazing met edelgasvulling met dezelfde warmtedoorgangscoefficient.



Onder de volledige grondplaat werd een 24 cm dikke, dragende isolerende laag in cellenglas isolatie geplaatst. Aan de randen sluit deze perfect aan met de gevelisolatie.

11.5 Passieve winsten

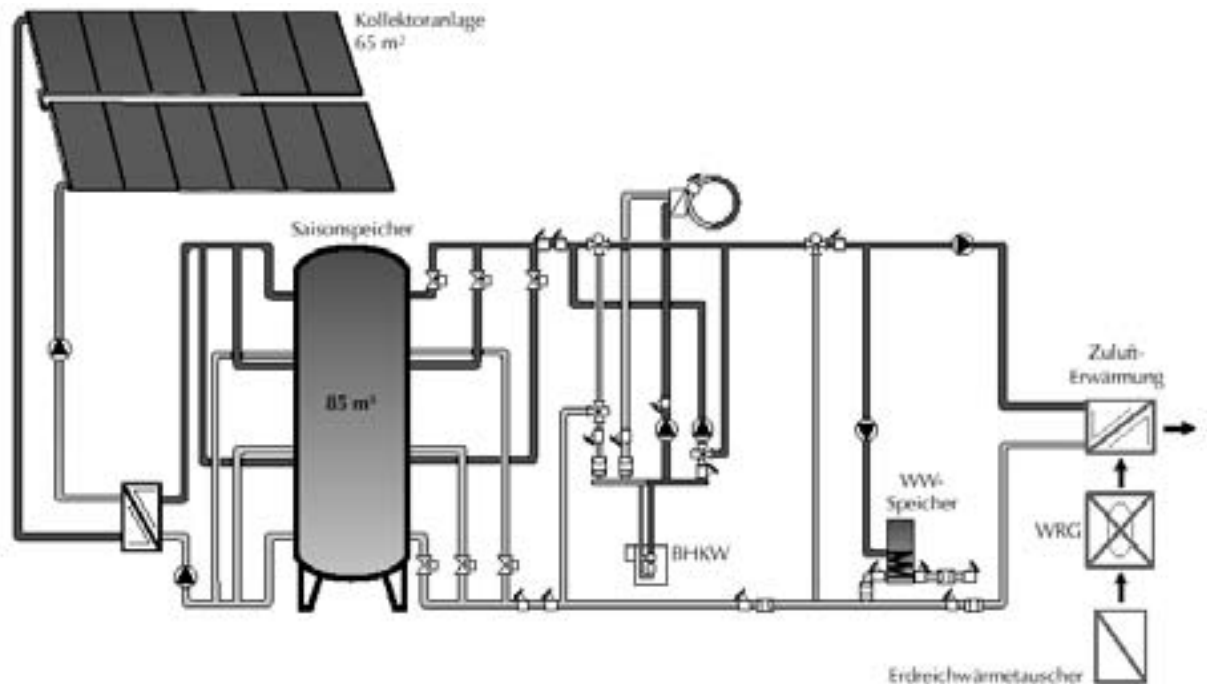
Het warmteverlies doorheen het buitenschrijnwerk en de beglazing is kleiner dan de opbrengst aan passieve zonne-energie; zo ook in winter-situatie.



Figuur 50: Vergelijking warmteverlies en zonnwinst

11.6 Verwarming

De energiebehoefte voor verwarming van zo'n 10 kWh/m².jaar wordt voor het grootste deel met zonne-energie opgevangen.



Figuur 51: Warmtecirculatie in een passiefwoning

De in de zomertijd op de ca 65m² collectoroppervlakte invallende zonne-energie wordt bewaard voor de winter in een buffervat. Dit 85 m³ grote buffervat voor de seizoenopslag van zonne-energie krijgt een expressieve architecturale uitstraling. Het plaatselijk doorbreken van de tussenvloeren laat toe het buffervat ruimtelijk te ervaren en creëert ter zelfder tijd een verticale schacht die in de zomer nachtelijke koeling door natuurlijke ventilatie mogelijk maakt.

Gezien op het einde van de zomerperiode de watertemperatuur is opgelopen tot 90 à 95°C, is een stevige isolerende mantel voorzien van 50cm dikte. De boiler is op drie niveaus aangesloten om een gelaagde lading en ontlading met optimale regelstrategie mogelijk te maken.



Figuur 52: Buffervat in een passiefwoning



Figuur 53: Geprefabriceerde dakelementen

Op het dak werd gebruik gemaakt van grote geprefabriceerde kosten-efficiënte collector-elementen.

Het nog resterende deel van de energiebehoefte voor verwarming, dat niet door passieve en/of actieve zonne-winsten kan worden ingevuld, wordt opgewekt door een kleine warmtekrachtkoppelingsinstallatie (WKK).



Figuur 54: Warmtekrachtkoppelingsinstallatie

De door de motor opgewekte warmte levert ofwel aan het vat voor seizoensopslag ofwel rechtstreeks aan het warmteregister. Gelijktijdig dekt de installatie de basisbehoefte aan stroom voor de kantoorapparatuur, verlichting en diensten.

11.7 Ventilatie

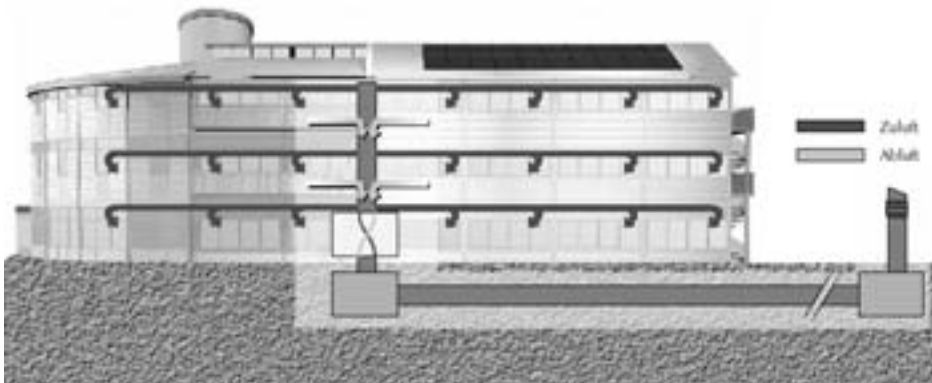
De ventilatie-installatie is gedimensioneerd op maximaal één luchtwisseling per uur; doch meestal is 0.3 à 0,5 luchtwisselingen per uur voldoende. De toe- en afvoer van de lucht zijn uitgebalanceerd zonder luchtrecirculatie. De luchttoevoer gebeurt ter hoogte van de buitenwanden; de afvoer in het centrale gedeelte via de technische ruimtes en het sanitair.

Hoog-efficiënte warmtewisselaars recupereren het grootste deel van de energie uit de afgevoerde lucht en brengen meer dan 80% van de thermische energie naar de vers aangeleverde lucht over.

De vers aangezogen buitenlucht wordt, vooraleer het de warmtewisselaar kan bereiken, vóór-geconditioneerd door een aardwarmtewisselaar. Deze bestaat uit 4 ca 35m lange, 150 cm diep in de grond gelegen, betonnen buizen met een diameter van 50 cm. De buizen liggen voor de helft onder het gebouw. De aardwisselaar verzorgt een vóórverwarming in wintersituatie en vóórkoeling in de zomer.



Figuur 55: Betonnen buizen voor luchtcirculatie



Figuur 56: Toevoerkanalen ventilatielucht

De geringe warmtevraag wordt niet beantwoord door een conventioneel verwarmingssysteem doch door een eenvoudige temperatuurstijging van de vers aangeleverde ventilatielucht. In de toevoerkanalen van de mechanische ventilatie zijn daartoe kleine verwarmingsregisters ingebouwd die per gebouwzone afzonderlijk kunnen worden geregeld. De beperkte warmtebehoefte laat toe het benodigde aan te

leveren zonder verhoging van de beperkte en noodzakelijke volumestroom voor hygiënische ventilatie.

11.8 Zomercomfort

Het gebouw is niet uitgerust met een airconditioningsinstallatie met actieve koeling. De keuze voor het passiefhuis concept maakt het mogelijk een aanvaardbaar binnenklimaat te realiseren zonder energieverblindende, dure en complexe installaties.

De vensters van de oost-, zuid- en westgevels werden aan de buitenzijde uitgerust met automatisch gestuurde zonneblinden.



Figuur 57: Automatisch gestuurde zonnewering

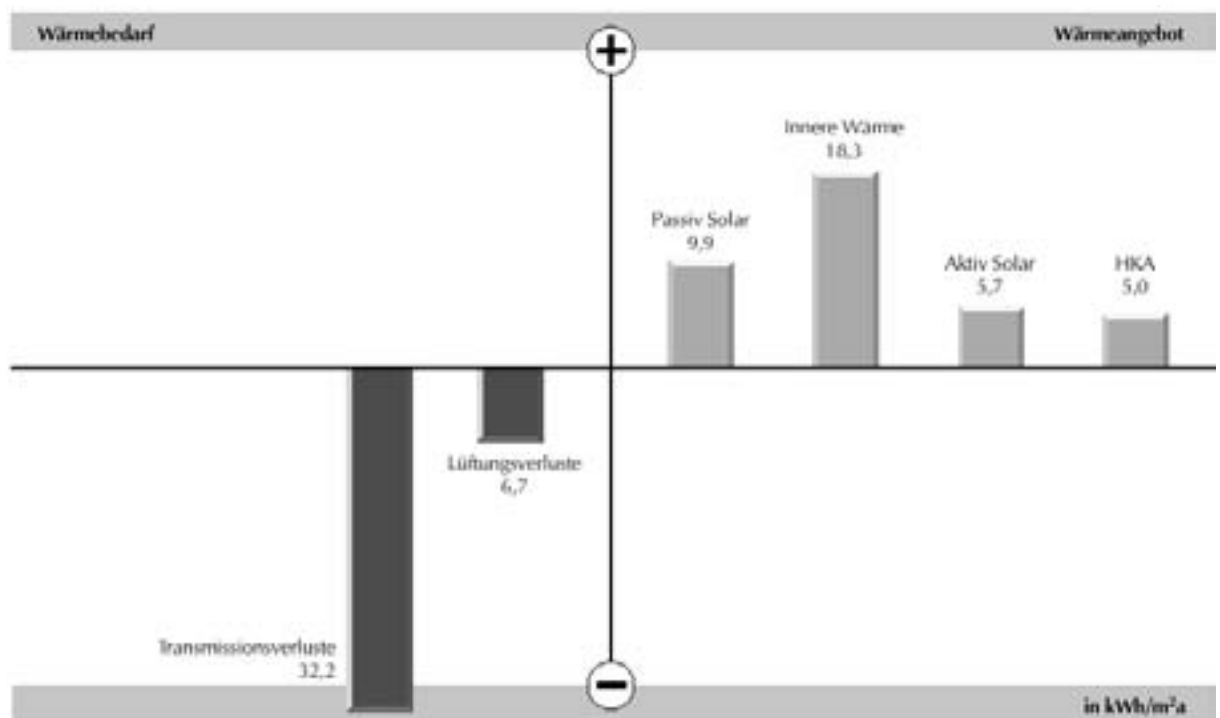
Als de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur heeft het in contact brengen van ventilatielucht met de thermische massa van het gebouw, die overdag een teveel aan warmte buffert, een koelende werking. De 's nachts ontladen buffer kan de volgende dag weer de warmtepieken van de buitentemperatuur afvlakken en de

binnentemperatuur temperen. Indien nodig kunnen in zomersituatie 's nachts bovenvensters in de gevel en dakventielen worden geopend. Aldus ontstaat door het principe van thermische trek, via de open vloeren rond de seizoensbuffer, een adequate nachtelijke koeling.

De warmtewisselaar op de mechanische ventilatie kan worden kortgesloten door een bypass.

11.9 Energiebalans

Er werd een consequent energieconcept gerealiseerd. Het energieverbruik werd niet alleen drastisch verminderd door de thermische isolatie en warmteterugwinning, maar ook door de minimalisatie van de elektriciteitsbehoefte voor de diverse bouwdiensten, verlichting e.a.



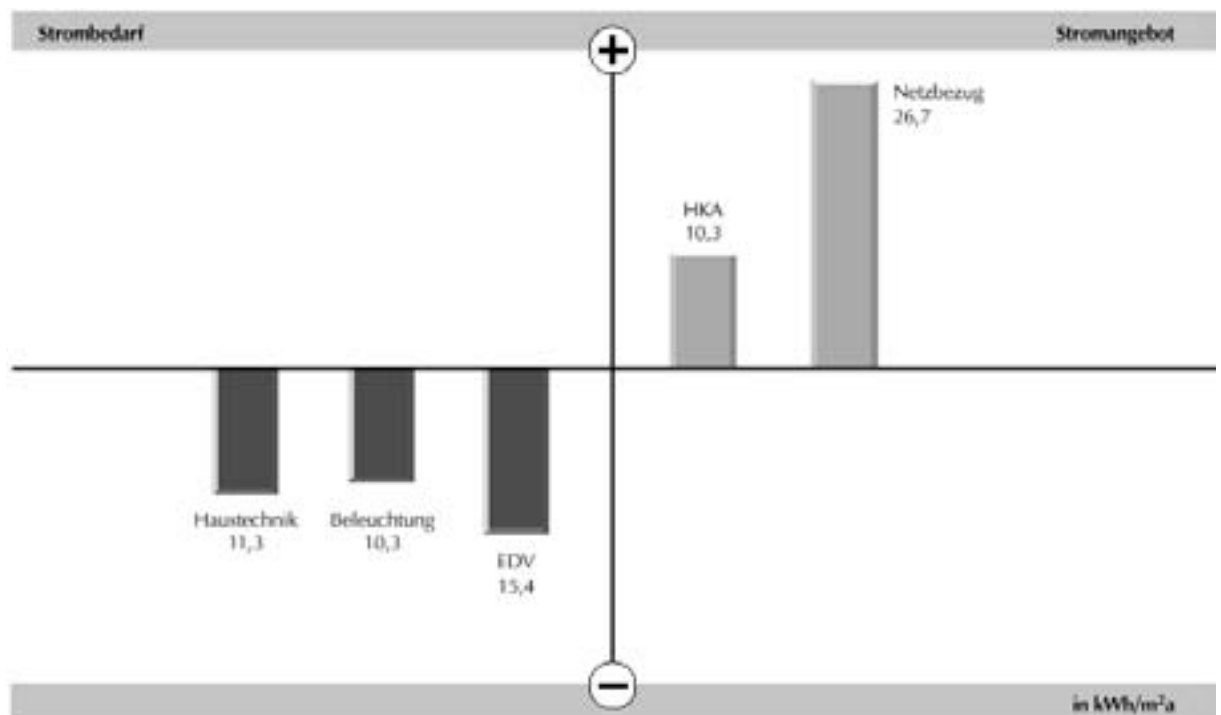
Figuur 58: Warmtebalans

Het berekende energieverbruik voor verwarming Q_H bedraagt 10,7 kWh per m² netto vloeroppervlakte per jaar (of 8.8 kWh per m² bruto vloeroppervlakte per jaar).

Het resterend deel energiebehoefte voor verwarming, dat niet door passieve en/of actieve zonne-winsten wordt geleverd, bedraagt nauwelijks 5kWh/m².jaar. Dit wordt dan geleverd door de aardgasgestookte WKK.

Het totale elektriciteitsverbruik voor verlichting en gebouwdiensten bedraagt ± 22 kWh/m².jaar. Bij het ontwerp werd het verbruik voor de specifieke gebruiksapparaten (zoals bureaumateriaal enz...) geraamd op 15 à 20 kWh/m².jaar (deze cijfers zijn gebaseerd op aannemelijke, doch zeker niet geminimaliseerde schattingen).

Aangezien het bestaand gebouw, die zich naast dat passieve zonnekantoor bevindt, ook in de warmtelevering van de WKK wordt omvat, noteert deze zo'n 3.500 - 4.000 verrichtingsuren. Daardoor kan de installatie, met ongeveer 17.000 à 20.000 kWh een wezenlijke stroombijdrage leveren.



Figuur 59: Electriciteitsbalans

11.10 Bronnen

- “Das Passiv-Solar-Haus von Wagner & Co”, 8124 H700 08/99, Klaus Schweitzer Wagner & Co, Cölbe;
- “Passive Strategien zur sommerlichen Kühlung im Passiv-Bürogebäude Cölbe: Praxiserfahrungen und Simulationsergebnisse”, Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut, Darmstadt;
- “Energieeffiziente Bürogebäude”, II/00, ISSN 1436-2066, BINE Informationsdienst, Bonn;

- “Verwaltungsgebäude Wagner Solartechnik”, BINE Portrait nr3 02/2000;
- http://www.wagner-solartechnik.de/passiv/b_passiv.html

11.11 Fiche

Project

- Adres: Zimmermannstr 12, 35091 Cölbe (Marburg);
- Bouwjaar: 1998;

Bouwteam:

- Opdrachtgever : Wagner & Co, Cölbe;
 - o Contactpersoon: de heer Schweitzer;
- Architectuur: Architect Stamm, Sweinberg;
- Interieur-architectuur: Design Studio Horst Barthel, Großseelheim;
- Energie-concept: Passivhaus-Institut, Darmstadt;
- Installaties :
 - o Zonnetechniek, verwarming, sanitair: Wagner & Co, Cölbe;
 - o Ventilatie, elektriciteit: IGH GmbH, Marburg;
- Monitoring: Universiteit Marburg, Fachbereich Physik;

Benutting:

- Gebruikstijden: ma-vr: 8-18u;
- Bezetting: 40 werknemers;

Gebouw:

- Aantal bouwlagen: 3; niet onderkelderde;
- Gemiddelde verdiepingshoogte: 3.5m;
- Compactheid (V/A): 2.78m’;
- Bebouwde terreinoppervlakte : 727m² ;
- Bruto vloeroppervlakte : 2180m² ;
- Netto vloeroppervlakte: 1948m² ;
- Nuttige vloeroppervlakte
- Bruto volume: 8533m³;

Isolatiegraad

- buitenwanden: 30cm minerale wol; $U = 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- dak: 40cm minerale wol; $U = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- vloer: 24cm cellenglas; $U = 0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$;

- vensters;
 - o beglazing: $U = 0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$;
 - o buitenschrijnwerk: $U = 0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$;
 - o totaal: $U = 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$;

Luchtdichtheid

- n50: 0.4 h^{-1} ;

Passieve winsten

- aandeel vensteroppervlakte in gevel
 - o noord: 50%;
 - o oost: 37%;
 - o zuid: 69%;
 - o west: 17%;
- verhouding vensteroppervlakte / netto vloeroppervlakte: 0.25;
- beglazing:
 - o g-waarde: 42%;

Ventilatie

- Constantvolumestroom: 0.3 h^{-1} ;
- Warmteterugwinning:
 - o Wisselaar: kruisstroom;
 - o Rendement: 80%;
- Regeling: traploos;
- Aardwarmtewisselaar: grondbuizen;
 - o Aantal: 4;
 - o Lengte: elk 32m;
 - o Diameter: 50cm;
 - o Diepte: 1.5m;
 - o Helling: 0.5%;
 - o Volumestroom:
 - Totaal: $3000\text{-}6000 \text{ m}^3/\text{u}$;
 - Specifiek: $14\text{-}28 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$;
 - o Luchtsnelheid: $1\text{-}2 \text{ m/s}$;
 - o Filters: aan in- en uitlaat;

Verwarming

- Zonne-installatie:
 - o Type: seizoenopslag;
 - o Collector:
 - Type: vlakke plaat;
 - oppervlakte: 64m²;
 - Helling: 28°;
 - Orientatie: Zuid 10°;
 - o Zonneboiler:
 - Model: staand;
 - Afmetingen: hoogte 13.8, diameter 2.9m;
 - Inhoud: 87m³;
 - isolatiedikte: 50cm;
- WKK:
 - o Vermogen: 12kW_{therm}; 5kW_{elek};
 - o Type: asynchroonmotor, 1 cilinder capaciteit 580cm³, 4 takt, watergekoeld;
- warmtebehoefte: ca 10kWh/m².jaar (PHPP berekening);
- maximale warmtelast: 20kW;

Elektrische apparatuur

- kunstlicht
 - o dimbare, op 500lux daglichtgestuurde, fluorescentielampen met elektronisch voorschakeling voor kantoorwerkplekken;
 - o Spaarlampen;
- Ventilatoren met gering stroomverbruik en frequentie-regeling;
- Stroombesparende keukeninrichting met zo veel mogelijk apparaten op gas;

Zomercomfort

- Nachtelijke koeling:
 - o Ventilatie: d.m.v. venstermotoren;
 - o Toegankelijke thermische massa: plafond, vloer, binnenwand;
- Zonnewering:
 - o Plaatsing: buiten;
 - o Regeling: automatisch;

→ Bypass warmtewisselaar ventilatie

Regenwatergebruik

→ Tank:

o Materiaal: beton;

o Volume: 11.5m³;

→ Filter: 2 wervel fijnfilters;

→ Pomp: dompel- met drukpomp

→ Aansluiting: 13 wc's;

Hoofdstuk 12 Besluit

Waar we in de eerste hoofdstukken vooral aandacht hebben besteed aan de algemene achtergrond van het passiefhuisconcept, hebben we ons vanaf hoofdstuk vijf specifiek toegelegd op een technische bespreking van de verschillende eisen waaraan een huidige passiefhuiswoning in Vlaanderen moet aan voldoen.

In hoofdstuk vijf hebben we getracht om de lezer inzicht te verschaffen in de thermische kwaliteit van een bouwsysteem. Aan de hand van het softwarepakket 'Bisco' hebben we verschillende simulaties uitgevoerd om uiteindelijk een type passiefhuiswand te kunnen fabriceren die zou voldoen aan de nodige vereisten op thermisch, hygrisch en akoestisch vlak. Afhankelijk van de behoefte kan men een variant kiezen qua wandopbouw in functie van de U-waarde (zie Tabel 6).

Na een programma van eisen te hebben bekeken en getracht voldaan te hebben aan bovenstaande vereisten, hebben we een aantal type-bebouwingen beoordeeld aan de hand van het 'Passivhaus Projeterungs Pakket' en onderzocht met welke variabelen 'gespeeld' kan worden om het jaarlijkse ruimteverbruik van 15 kWh/m² nuttige vloeroppervlakte niet te overschrijden.

Na een korte materiaalstudie volgden in hoofdstuk negen een aantal uitgewerkte aansluitingsdetails die kunnen helpen bij het ontwerp en realisatie van een passiefhuis.

Tot slot hebben we ondervonden dat er wel degelijk een prijskaartje hangt aan de bouw van een woning volgens de passiefhuisstandaarden, maar dat die onmiddellijk moet genuanceerd worden en afhankelijk is van ontwerp tot ontwerp.

Na het afronden van deze innovatiestudie hebben we met de verschillende partners zeker en vast een groot stuk kennis opgebouwd die ons binnenkort moet helpen om passiefhuisbuitenwanden en bijhorende dakconstructies met nog meer succes aan de klant te leveren.

We beseffen maar al te goed dat we doorheen deze innovatiestudie op bijkomende en nieuwe problemen zijn gebotst.

Zo is het behandelde onderwerp, namelijk de ontwikkeling van een innovatief bouwsysteem op basis van houten FJI-liggers maar één aspect van het totaalconcept dat bouwen volgens een passiefhuisstandaard inhoudt. Meer en meer wordt de post technieken een onderdeel waar nog veel technische vooruitgang mogelijk is.

Verder mogen we in de nabije toekomst bijkomende kennisopbouw omtrent brand, stabiliteit en akoestiek niet schuwen.

Nu onze studie afgerond is, begint voor elk van de verschillende partners het grote werk: de verkregen theoretische inzichten moeten nu op een economische manier, conform de gangbare regelgeving omgezet worden in de praktijk.

Zonder lang na te denken duiken al verschillende zaken op waar we binnenkort moeten mee omgaan: Hoe worden de passiefhuiswanden op de beste manier geprefabriceerd, en in hoever gaan we daar in? Beperken we ons tot een skelet in FJI's éénzijdig bekleed met OSB, of worden de Celit-platen aan de buitenzijde ook al vooraf bevestigd? Worden de wanden ter plaatse of op de werf ingespoten met Isofloc? Hoe worden de wanden op de beste manier getransporteerd en/of geplaatst, en tot welke afmetingen blijven deze wanden verhandelbaar?

Voor complexe problemen bestaan nu éénmaal geen gemakkelijke antwoorden...maar we hopen dat deze innovatiestudie de aanzet kan geven - voor iedereen die betrokken is bij het bouwen van een passiefhuiswoning - tot het bereiken van een succesvol resultaat.

Lijst met figuren

Figuur 1: Nederige energiewoning Keip & Partner	10
Figuur 2: Opbouw en uitleg bij aansluitingdetails Borsch-Laaks.....	11
Figuur 3: Borsch-Laaks beantwoordt vragen van de verschillende partners	11
Figuur 4: Eén van de maquettes met een passiefhuiswandopbouw	13
Figuur 5: Proto-type passiefhuiswand.....	15
Figuur 6: Passiefhuiswand met raamopeningen en deuropening-	15
Figuur 7: Passiefhuis-wandopbouw te Heusden-Ledeberg (arch. Bart Cobbaert), constructie zonder toepassing van FJI-liggers	19
Figuur 8: Huidige toepassing van FJI-liggers in de vloer (arch. Bart Cobbaert).....	20
Figuur 9: Belangrijke aspecten van het binnenklimaat	28
Figuur 10: Horizontale wanddoorsnede in bitmap-formaat	41
Figuur 11: Horizontale wanddoorsnede na triangulatie	41
Figuur 12: Horizontale wanddoorsnede: weergave via isofluxlijnen	42
Figuur 13: Horizontale wanddoorsnede: weergave via isothermen.....	43
Figuur 14: Temperatuurverloop nodig om een passief-huis certificaat te behalen.....	46
Figuur 15: Horizontale raaminbouw in de wand	49
Figuur 16: Verticale raaminbouw in de wand.....	50
Figuur 17: Overgang wand-tussenvloer	51
Figuur 18: Overgang fundering-vloer-wand	52
Figuur 19: Samenstelling van de basiswand	53
Figuur 20: Hygroscopisch vochtgehalte van OSB-plaat, gipskarton en cellulose-isolatie	63
Figuur 21: Diffusiedikte μd van dampscherm pro clima als functie van relatieve vochtigheid.....	64
Figuur 22: Weekgemiddelde waarden van temperatuur in binnen- en buitenklimaat, en van oppervlaktetemperatuur van de afdichting (invloed zon- en hemelstraling): verloop vanaf 1 juli	65
Figuur 23: Weekgemiddelde waarden van de dampdruk in binnen- en buitenklimaat, en voor twee binnenklimaatklassen: verloop vanaf 1 juli.....	65
Figuur 24: Verloop van het vochtgehalte van de materiaallagen (Dampscherm DB+, KK2).....	67
Figuur 25: Tijdsverloop van de weekgemiddelde diffusiedikte van het dampscherm DB+ (KK2).	67
Figuur 26:Verdeling van het vochtgehalte in de verschillende daklagen (0 = buitenoppervlak) bij maximaal vochtgehalte in de OSB-plaat (Jaar 1, week 28)	68

Figuur 27: Duurzaamheidsbeoordeling: vergelijking tussen de berekende weekgemiddelde vochtgehalten aan de spouwzijde van de OSB-plaat (dampscherm DB+, KK2) en de kritische condities voor temperatuur en vochtgehalte.....	69
Figuur 28: Toepassing van FJI's bij een wandopbouw	89
Figuur 29: Kerto S - balken als gording.....	90
Figuur 30: Kerto S randbalk en Kerto S en FJI's als vloerliggers	90
Figuur 31: Toepassing Celit bij de bouw van een passiefhuis	92
Figuur 32: Inblazen van Isofloc tussen Celit en Pro Clima	95
Figuur 33: EWITHERM® profielen.....	95
Figuur 34: Fases bij het thermisch productieproces.....	97
Figuur 35: Aansluiting fundering – wand	100
Figuur 36: Aansluiting fundering – deur.....	101
Figuur 37: Horizontale doorsnede buitenhoek.....	102
Figuur 38: Horizontale doorsnede binnenhoek.....	103
Figuur 39: Verticale snede wand – balkenlaag	104
Figuur 40: Verticale snede wand – balkenlaag	105
Figuur 41: Horizontale snede raamaansluiting	106
Figuur 42: Verticale snede raamaansluiting.....	107
Figuur 43: Aansluiting nok	108
Figuur 44: Doorsnede dak - tipgevel.....	109
Figuur 45: Aansluiting wand – dak.....	110
Figuur 46: Aansluiting wand - plat dak	111
Figuur 47: Aansluiting verdiepingsvloer - plat dak	112
Figuur 48: Eerste kantoorgebouw volgens de passiefhuisstandaarden.....	133
Figuur 49: Grondplan kantoorgebouw	135
Figuur 50: Vergelijking warmteverlies en zonnewinst	137
Figuur 51: Warmtecirculatie in een passiefwoning	138
Figuur 52: Buffervat in een passiefwoning.....	139
Figuur 53: Geprefabriceerde dakelementen	139
Figuur 54: Warmtcrachtkoppelingsinstallatie.....	140
Figuur 55: Betonnen buizen voor luchtcirculatie.....	141
Figuur 56: Toevoerkanalen ventilatielucht	141
Figuur 57: Automatisch gestuurde zonnewering	142
Figuur 58: Warmtebalans.....	143

Figuur 59: Electriciteitsbalans.....	144
--------------------------------------	-----

Lijst met tabellen

Tabel 1: Grenswaarden voor de ventilatiedebieten in ruimtes.....	31
Tabel 2: Grenswaarden voor de ventilatiedebieten benodigd voor goede verbranding..	32
Tabel 3: Kwantificering van de eisen inzake maximum CO ₂ -gehalte in binnenlucht (CR 1752)	33
Tabel 4: Lambda-waarden van voorkomende materialen.....	45
Tabel 5: U _{sim} voor varianten zonder leidingspouwisolatie.....	57
Tabel 6: U _{sim} voor varianten met leidingspouwisolatie	57
Tabel 7: Overzicht van de rekenresultaten.....	70
Tabel 8: Invloed van een hoger beginvochtgehalte (dampscherm DB+SPEZIAL)	71
Tabel 9: De verschillende duurzaamheidsklassen.....	98