

UNIVERSITEIT
GENT

Ontwerpgids

PRO³-Prefab Renovatie Oplossingen voor de tertiaire sector

Ontwerpgids

PRO³

Prefab Renovatie Oplossingen
voor de tertiaire sector

Katrien Maroy

Wouter De Corte

Marijke Steeman

Nathan Van Den Bossche

Cover: Grondplan met aanduiding houten gevelpanelen, Hotel met Zorg Zuienkerke,
Jonckheere Projects en Algemene Bouwwerken Maes



In 2050 moet de CO₂-uitstoot 90% kleiner zijn dan het niveau in 1990 (Europese Commissie). Van de huidige hoeveelheid CO₂-uitstoot, wordt maar liefst 23% veroorzaakt door de verwarming van gebouwen (MIRA, 2014). Vlaanderen wil de renovatiegraad opkrikken van 1% naar 2,5% om de Europese Energiedoelstellingen te halen. Er moet dus beroep gedaan worden op snellere bouwmethodes dan de markt vandaag de dag aanbiedt (Vlaamse Overheid, 2015).

Geprefabriceerde gevelelementen bieden een groot potentieel om repetitieve gebouwen, zoals scholen, ziekenhuizen, kantoor- en appartementsgebouwen snel en efficiënt energetisch te renoveren. De systemen combineren functies als thermische isolatie, akoestische bescherming, brandweerstand, lucht- en waterdichtheid en esthetiek.

Gezien de werfactiviteit beperkt is tot het plaatsen van de elementen, is er een beperkte hinder tijdens de werken voor de gebruiker. Bovendien bieden de systemen de mogelijkheid om technieken zoals ventilatie, elektrische leidingen en zonnewering te integreren.

Aan de andere kant vergen prefab systemen een grotere voorbereidingstijd en verhindert het gebrek aan ervaring dat prefab oplossingen op grote schaal toegepast worden. Er is te weinig kennis aanwezig om het volle potentieel uit prefab systemen te halen.

Vandaag is er al heel wat onderzoek uitgevoerd naar het gebruik van prefab systemen voor renovatie, zowel in binnen- en buitenland. Daarnaast biedt de huidige Belgische markt heel wat prefab oplossingen, die momenteel niet direct gerelateerd worden aan renovatie.

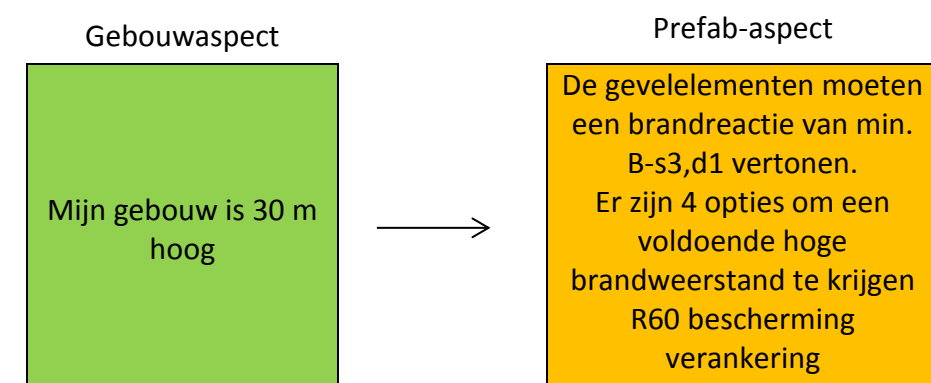
‘Prefab + Renovatie = heel wat extra eisen’

- technisch vlak:
hygrothermie, gemakkelijke lucht- en waterdichtheid, integratie technieken,...
- economisch vlak:
keuze scenario, geen extra in-situ werk, transport, duurzaamheid, onderhoud,
- procesmatig:
nauwkeurige opmeting, kostprijs, communicatie, coördinatie

Deze ontwerpgids verbindt de resultaten uit eerdere onderzoeksprojecten met de systemen die vandaag de dag aangeboden worden op de markt.

De ontwerpgids bestaat uit twee delen:

- In het deel **'Terreinverkenning'** krijgt de lezer een overzicht van wat er bestaat op vlak van prefab renovatie. Welke thema's werden onderzocht in de verschillende onderzoeksprojecten? Welke prefab producten worden aangeboden op de markt? Welke randvoorwaarden kunnen we typisch verwachten bij tertiaire gebouwen?
- In het tweede deel **'Paneel'** wordt aan de slag gegaan met alle informatie uit de onderzoeksprojecten. Dit deel behandelt hoofdzakelijk technische aspecten. Welk prefab concept past het best bij mijn situatie? Welk materiaal kan ik plaatsen tussen het prefab paneel en de bestaande gevel? Hoe kan ik verankeren? Er wordt telkens vertrokken vanuit een specifieke randvoorwaarde. Van daaruit worden verschillende prefab-opties aangereikt (Figuur 1).



Figuur 1 Illustratie werkwijze in Deel 2 'Paneel'

Deze ontwerpgids laat toe om snel de krijtlijnen van een prefab paneel vast te leggen. **Aanvullend** op dit document, toont de **Prefabgids** de mogelijkheden van prefab systemen in Vlaanderen. Voor specifieke informatie, bv. rond brandveiligheid, akoestiek of stabiliteit, wordt de lezer doorverwezen naar **de onderzoeksrapporten van PRO³** en publicaties van het WTCB. Deze ontwerpgids wil drempelverlagend werken voor zowel architecten, voorschrijvers als producenten en aannemers van prefab projecten.

Dit project werd mogelijk gemaakt dankzij de steun en inhoudelijke input van de volgende bedrijven en organisaties:

Algemene Bouwwerken Maes, Alpas NV, Belga Plastics NV, Belgo Metal, Besix, BJW wonen, Buro II, Confederatie Bouw, CRH, Decomo, Dow Corning, Exel Composites, FEBE, Foamglas, Gijbels, GO!, Hevadex, Jonckheere Projects nv, Loveld, Machiels Building Solutions, NAV, Pixii, Promat, Recticel, Renotec NV, Renson, Scheldebouw NV, Schüco Belgium nv, Siniat nv, Universiteit Gent Dienst Gebouwen en Facilitair Beheer, Unilin, Ursus, Verhelst Bouwmaterialen, Verheyen nv, VK Engineering en Vorrsselmans.

Inhoud

1 Terreinverkenning	5
1.1 Klemtoon eerdere onderzoeksprojecten.....	6
1.2 Bestaande prefab systemen in Vlaanderen en België	9
1.3 Prefabwijzer	11
1.4 Typologiewijzer.....	16
2 Paneel	19
2.1 Welk prefab-concept kiezen we?.....	21
2.2 Ontmoetingslaag prefab- bestaand gebouw	23
2.3 Integratie technieken	24
2.4 Stabiliteit	29
2.5 Aansluitingen aan andere gebouwonderdelen	32
2.6 Lucht- en waterdichtheid tussen panelen.....	35
Bibliografie	38

1 Terreinverkenning

De tweespalt tussen enerzijds het grote potentieel en anderzijds de beperkte toepassing van prefab elementen in renovatie is geen nieuw probleem. In de voorbije jaren probeerden verschillende onderzoeksprojecten deze kloof te dichten. Daarbij werd zowel gekeken naar de technische aspecten van prefab systemen via het ontwerp van prefab modules en het uitvoeren van cases, als naar de verbetering van het bouw- en het industrialisatieproces. Er werd ook ingezet op het toegankelijker maken van prefab renovatie (E2BA, 2012).



1.1 Klemtoon eerdere onderzoeksprojecten

Welke thema's uit PRO³ werden behandeld in eerdere onderzoeksprojecten?

Case: Demonstratie via casestudy. **Paneel:** Demonstratie via Ontwerp Paneel, **Lit:** Overzicht via Literatuur/Overzicht bestaande systemen, **Ond:** Eigen onderzoek/ontwikkeling

*Nog lopend

	TES Energy Façade	Annex 50	MORECONNECT *	SchoolVent-Cool + Renew School	AIM-ES	E2EREBUILD	BERTIM *	SQUARE	Nul op de meter *	Cost-Effective	EASEE	BEEM-UP
Doel	Richtlijnen gevelrenovatie met houten prefab elementen	Ontwerpgids Stappenplan Kostenevaluatie	One-shop approach optimalisatie industrialisatie prefab paneel	Vervolg Annex 50	Ontwerpgids gebaseerd op eerdere onderzoeksprojecten	Vervolg Annex 50 Optimalisatie bouwproces, kostenefficiëntie en communicatie	Ontwikkeling van een totaaloplossing voor prefab renovatie	Kwaliteitskader prefab renovatie (focus op niet-technische drempels)	Ontzorging bouwheer, Aanreiken financieringskanalen One-shop approach met lokale energieadviseurs + comité	Beslissingstools voor bouwheren Businessmodellen voor renovatie	Ontwerpgids Beslissingstools	Kostenoptimale renovatiestrategieën
Type gebouwen		Collectieve woonvormen (appartementen)	Identieke eengezinswoningen (NL) en collectieve woonvormen (flat)	Scholen	Collectieve woonvormen (BXL)	Collectieve woonvormen (appartementen)		Collectieve woonvormen (appartementen)	Identieke eengezinswoningen (NL)	Collectieve woonvormen (appartementen)	Collectieve woonvormen (appartementen)	Collectieve woonvormen (appartementen)
Demo's	2 Casestudies	4 prefab panelen	1 prefab paneel Casestudies	Casestudies		7 cases verspreid over 8 Europese landen	Eigen paneel (HSB) en cases		Paddepoel, Groningen (voorbeeld) Zie ook: Blok voor Blok	Cases (nadruk op energieopwekking via gevel)	7 casestudies (zowel prefab renovatie, binnenisolatie en navulsystemen)	3 cases waarvan 1 met prefab renovatie
Bouwfysische aspecten												
Hygrothermie Adaptielaag	Lit, Case	Paneel	Case		Lit							
Lucht- en waterdichtheid	Lit	Paneel			Lit							
Integratie technieken	Lit	Paneel	Paneel/Case	Case	Lit							
Nieuwe Materialen												Case
Structurele aspecten												
Bevestiging gevelement	Lit	Paneel	Paneel		Lit						Ond	
Bevestiging uitbreiding	Lit				Lit							
Fundering	Lit	Paneel			Lit							
Akoestiek en brandveiligheid												
Akoestiek	Lit		Paneel		Lit							
Brandveiligheid	Lit	Paneel	Paneel		Lit							
Planning, opmeting, bouwproces en kost												
Afweging scenario's		Ond		Ond	Lit	Lit/Ond				Lit/Case	Lit	Lit/Case
Stappenplan	Lit	Paneel			Lit							
Opmeting	Lit		Ond/Case		Lit							
Optimalisatie industrialisatieproces			Ond/Paneel/Case				Ond				Ond/Case	
Ontzorging bouwheer			Lit/Ond/Paneel/Case						Case			
Communicatie gebruikers						Case			Case			Case
Kostenoptimaliteit		Ond	Paneel/Case						Case	Lit/Case		Case
Kwaliteitsgarantie					Lit	Case		Lit	Case	Lit/Case	Case	Case
Meer informatie?												
Website	www.tesenergyfacase.com	www.ecbs.org/annexes/annex50.htm	www.moreconnect.eu	http://schoolventcool.eu/node/6	www.brusselsretrofit.be/projects/aim-es/	www.e2rebuild.eu	http://www.bertim.eu/	http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/square	http://nulopdemeter.eu/over-ons/ons-concept http://paddepoelenergie.nl	http://www.cost-effective-renewables.eu/publications.php?type=brochure	www.easee-project.eu/	www.beem-up.eu

TOELICHTING

Annex 50 en TES Energy Façade zijn de bekendste buitenlandse onderzoeksprojecten, waarin verschillende aspecten van prefab renovatie bekeken werden. In **Annex 50** werd het potentieel van prefab renovatie voor appartementsgebouwen gedemonstreerd. Deze maken volgens het IEA (International Energy Agency) ongeveer 40% van het Europees patrimonium uit. Concreet werden 4 verschillende prefab panelen ontworpen (Figuur 2). Vanuit deze ervaring werd een ontwerpgids voor modules, een stappenplan voor de renovatie en een kostenevaluatiemethode opgemaakt. Daarnaast werd ook een keuzetool voor renovatiestrategieën ontwikkeld: de Retrofit Advisor (IEA ECBCS Annex 50, 2011).

Volgend op Annex 50 kwam **SchoolVentCool**, waarin de aanpak uit Annex 50 voor residentiële meergezinswoningen vertaald werd naar een renovatiestrategie voor schoolgebouwen. Daarbij legt SchoolVentCool de nadruk op de integratie van ventilatiesystemen. Bij schoolgebouwen is dit doorgaans complexer omwille van de grotere debieten en de wisselende bezettingsgraad van lokalen. Momenteel vormt Renew-school een vervolgtijdstip van SchoolVentCool, waarin een keuzetool voor beheerders van schoolgebouwen werd ontwikkeld (zie online op http://schoolrenovatie.be/be/01_homepage-be/).



Figuur 2 De 4 verschillende prefab systemen uit Annex 50 (a) Een houtskeletmodule waar ventilatiekanalen rondom het raam geïntegreerd is (b) Volledig gevelement in houtskelet (c) Staalframe-gevelement (d) Prefab-staalpaneel met een aparte stalen draagstructuur.

TES Energy Façade is een onderzoeksproject binnen het WoodWisdom-platform (in samenwerking met de houtsector), waarin gestreefd werd naar een algemene gevelrenovatiestrategie gebaseerd op grootschalige houtskeletelementen. In het onderzoek werd gefocust op gebouwen opgetrokken tussen 1950 en 1980, met in het bijzonder gebouwen die een ingrijpende renovatie vragen in de nabije toekomst. Het onderzoeksproject liep tussen 2008 en 2010 en resulteerde in een reeks aanbevelingen rond gevelrenovatie, optopping en uitbreiding van gebouwen met HSB-elementen. Daarbij kwamen constructieve en bouwfysische aspecten aan bod. Er was ook aandacht voor brandveiligheid van de HSB-panelen, integratie van ventilatiekanalen en PV-panelen en opmeting van bestaande gebouwen.

E2ReBuild is een vervolgtijdstip op Annex 50 en TES Energy Façade. De focus in het project lag op de renovatie van grootschalige appartementsgebouwen. Inhoudelijk werd vooral ingezet op de optimalisatie van het bouwproces, kostenefficiëntie en communicatie met de huurders. Het project had drie doelstellingen:

- Investeren, promoten en demonstreren van kosten-efficiënte,

geavanceerde renovatiestrategieën die een bijkomende waarde creëren voor de gerenoveerde woningen.

- Demonstreren van duurzame renovatie-oplossingen die het energieverbruik verminderen tot voldaan is aan de norm voor nieuwbouw.
- Creëren van een holistisch geïndustrialiseerd proces dat de technische en sociale hinder tijdens de renovatiewerken tot een minimum beperkt voor huurders.

Eén van de concrete resultaten is de doorontwikkeling van de Retrofit Advisor uit Annex 50. Concreet werden er richtlijnen voor de opmeting van gebouwen, productie en montage en omgang met de eindgebruiker (huurder en gebouwbeheerder) opgemaakt. Daarnaast werden een 7-tal casestudies geanalyseerd over heel Europa, waaronder de Kroeven in Nederland (Figuur 3a) (E2ReBuild, 2010).

In het **BERTIM** project wordt een prefab-oplossing ontwikkeld specifiek voor renovatie. In grote lijnen zet het project in op de ontwikkeling van een HSB-module en de opmaak van een design tool dat BIM en CAD/CAM tools combineert en CNC machines aanstuurt. Anders dan in de rest van de onderzoeksprojecten, richt BERTIM zich ook tot de houtindustrie, waar het fabricageproces plaatsvindt. Zo is er bv. ook onderzoek naar een installatiesysteem-kit om HSB-panelen te prefabriceren (Figuur 3b).



Figuur 3 (a) De Kroeven, NI, analyse van het proces in E2REBUILD (b) BERTIM, focus op fabricage houtskelet modules voor prefab renovatie

In het onderzoeksproject **AIM-ES** (Architectural Industrialized Multifunctional Envelope Systems) werd een ontwerpgids samengesteld, gebaseerd op eerdere onderzoeksprojecten zoals Annex 50, TES Energy Façade en E2Rebuild. In de ontwerpgids werd hoofdzakelijk gekeken naar houtskeletbouwelementen, omdat vele bouwbedrijven in België reeds vertrouwd zijn met deze bouwtechniek (Dubois & De Bouw, 2015). Daarnaast concentreert het project zich op de geïndustrialiseerde renovatie van typische Brusselse stadswoningen zoals tuinvijken en sociale woningen. In het project wordt benadrukt dat door prefabricatie, modulatie en integratie van nieuwe technologieën van het gevelsysteem, het renovatieproces versneld kan worden. Hierdoor wordt de impact groter, schadegevallen kleiner en kan er geprofiteerd worden van de kostenefficiëntie door de grote schaal.

AIM-ES kadert binnen een groter kennisplatform 'Brussels Retrofit XL' en wordt gecoördineerd vanuit het WTCB. In het kennisplatform worden alle onderzoeksprojecten rond renovatie en retrofitting in het Brussels gewest gebundeld. Daarnaast is het BBRI ook betrokken bij Mutatie+ en Ecoren. In

beide proeftuinen ligt de nadruk op het renoveren van sociale woningen (rijhuis-typologie) in een zo kort mogelijke tijd. In Mutatie+ werd een woning op 10 dagen tijd volledig gerenoveerd tot een Bijna-Energie-Neutrale woning (Figuur 4). De bouwschil werd vervangen door houtskeletpanelen, de woning werd uitgebreid met een containermodule en de opwekkingsystemen werden vervangen door één compact apparaat dat voorziet in sanitair warm water, warmtewisselaars voor ventilatie en een warmtepomp voor de centrale verwarming (MutatiePlus, 2015). De gevelafwerking werd echter ter plaatste opnieuw gemetst en ook de badkamer werd volledig ter plaatste vervangen. In de zomer van 2017 is een tweede renovatie van start gegaan.



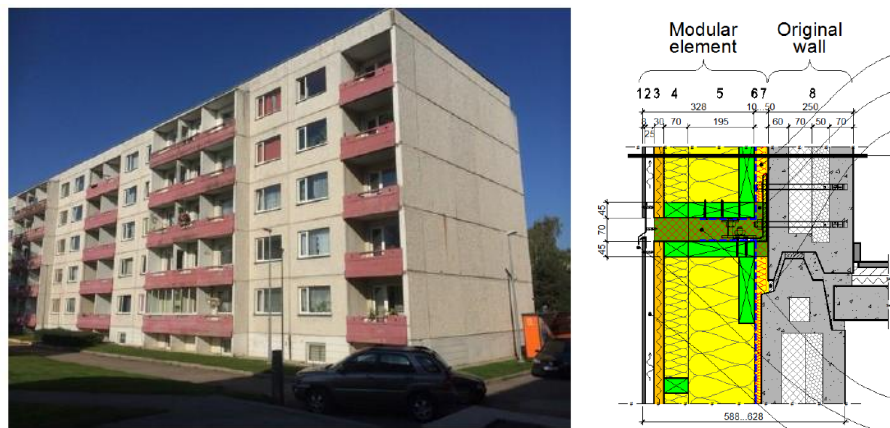
Figuur 4 Mutatie+, demonstratiewoning in de IJzerstraat.

SQUARE is een Europees onderzoeksproject dat staat voor 'A System for Quality Assurance when Retrofitting Existing Buildings to Energy Efficient Buildings'. Binnen het project is een algemeen kwaliteitskader ontwikkeld dat de kwaliteit van de renovatie aftoetst op basis van de kwaliteit van het binnenklimaat. Het kwaliteitskader is gericht op de prefab renovatie van appartementsgebouwen. De doelgroepen in het project zijn: sociale huisvestingsmaatschappijen, private eigenaars van appartementen en coöperatieven, aannemers in prefab renovatie, huurders en buurtwerkingen die gezamenlijk een prefab renovatie willen uitvoeren.

Volgens SQUARE zijn er een heel aantal niet-technische barrières (economisch, subsidies, wetgeving, gedrag en cultuur in organisaties) die (prefab)renovatie verhinderen. De projectpartners in SQUARE vermelden dat een aanpassing van de wetgeving, pakket-oplossingen, goede voorbeelden, opleiding en individuele metingen van het energieverbruik zouden helpen om deze niet-technische drempels te overwinnen.

In het Europees onderzoeksproject **MORE-CONNECT** wordt op zoek gegaan naar een integrale oplossing voor een energie-neutrale renovatie, met het gebruik van massaproductie-concepten. Er wordt ingezet op innovatie aan de productiezijde, maar ook aan de proceszijde. Daarbij wordt vertrokken van de eindgebruiker die multifunctionele prefab elementen kan kiezen, combineren en samenstellen zoals hij/zij een auto zou kiezen (incl. gevel- en dakelementen met plug-and-play technische installaties). Daarbij wordt ingezet op het ONE-STOP-SHOP concept. De klant hoeft maar één partij aan te spreken die de hele renovatie (voorstudie over productie en montage tot onderhoud) regelt.

Daarnaast wordt in MORE-CONNECT onderzocht hoe de keuze van de eindgebruiker kan ingevoerd worden in een BIM-model, zodat met deze gegevens het productieproces kan gecontroleerd worden. Op die manier kunnen toch project-specifieke modules geproduceerd worden met alle voordelen van massa-prefabricatie. Ten slotte wordt er in het project ook onderzoek gedaan naar hygrothermische aspecten, opmeting en integratie van ventilatieleidingen. Dit onderzoek is gebaseerd op de 7 casestudies in het project, verspreid over heel Europa om de aanpak van MORE-CONNECT te demonstreren (MORE-CONNECT, 2017) (Figuur 5). Momenteel wordt een appartementsblok in Estland gerenoveerd. De werken zijn live te volgen op <https://www.youtube.com/watch?v=CMwy67zezSk>.



Figuur 5 More-Connect (Case in Estland) waar het hygrisch effect van de uitdroging van de betonpanelen nagekeken werd (Pihelo, Lelumees, & Kalamees, 2016)

In 'Nul Op De Meter' wordt eveneens gefocust op de ontzorging van de bouwheer. Het project voorziet in een lokale structuur, professioneel advies en goedkope financiering op niveau van een dorp of wijk. Op die manier zijn huiseigenaren in staat om op korte termijn een energiebesparing en verduurzaming van hun woning te realiseren. Met 'Nul Op De Meter' kan een particulier uit een betrokken wijk via een lokale stichting goedkope financiering krijgen om energiebesparende maatregelen uit te voeren. De gemeente of een lokale investeerder subsidieert deze lokale stichting. In deze stichting kunnen energiecoördinatoren opgeleid worden om bv. bij bewoners thuis de energiebesparende maatregelen te inventariseren. 'Nul Op De Meter' is niet specifiek gericht op prefab renovatie, maar de principes (toegankelijke financiering en ontzorging) kunnen wel interessant zijn om de drempel naar prefab renovatie te verlagen. Het project richt zich zowel op particulieren als op gemeentes (Nul op de Meter, 2017).

Daaraan gekoppeld startte de Nederlandse Overheid met het project 'Blok voor Blok', waarin een beweging op gang gebracht wordt om op grote schaal energie te besparen in het bestaande bouwpatrimonium. Dit gaat zowel over een integrale aanpak (volledige renovatie) als over een eenmalige ingreep (ketel vervangen). In het project wordt nagegaan of het mogelijk is om via een marktaanpak met commerciële partners tot een grootschalige energiebesparing in de woningbouw te komen en eigenaren van koopwoningen te verleiden tot het energiezuiniger maken van hun woning. Momenteel zijn er 14 projecten in uitvoering waarin het de ambitie is om

minimaal 1500-2000 woningen in één gemeente flink energiezuiniger te maken. Dit gebeurt door consortia van marktpartijen, gemeenten en bewoners (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Juni 2014). Tot 2014 werd door deze aanpak circa 15.000 woningen energiezuinig gemaakt. Een integrale aanpak voor energiebesparing op grote schaal is dus mogelijk in de sociale huursector. Via buurtambassadeurs en wijkverenigingen werd het grootste aandeel bewoners bereikt. Aan de andere kant blijkt dat het wel moeilijk is om eigenaren van koopwoningen te verleiden voor een seriematige aanpak. De integrale energiebesparing op grote schaal is vooral mogelijk in de sociale huursector. Voor particulieren is er echter behoefte aan maatwerk. Daarnaast blijken renovatieprojecten met eigenaren van koopwoningen niet winstgevend te zijn. De projecten in 'Blok voor Blok' werden grotendeels gefinancierd door de lokale overheid (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Juni 2014).

Ten slotte zijn er nog onderzoeksprojecten geweest rond kostenoptimaliteit waarbij ook een beslissingstool voor bouwheren ontwikkeld werd. In **Cost-Effective** werden bovendien verschillende businessmodellen ontwikkeld voor de renovatie van appartementsgebouwen. In **BEEM-UP** werden eveneens kostenoptimale renovatiestrategieën ontwikkeld. In het project werden drie demoprojecten (in Nederland, Frankrijk en Zweden) uitgevoerd om de aanpak te demonstreren. Het uiteindelijke energieverbruik werd gemonitord om een concreet zicht te krijgen op de behaalde prestaties (en meerwaarde).

In **EASEE** ten slotte werden prototypes ontwikkeld voor renovatie aan de binnenkant, bij spouwmuren en aan de buitenkant van bestaande gebouwen. Hieruit werd ook een ontwerpgids opgesteld die het gehele bouwproces omvat (opmeting, BIM, uitvoering, ontwerp panelen). Daarnaast werd in EASEE ook een beslissingstool voor bouwheren ontwikkeld.

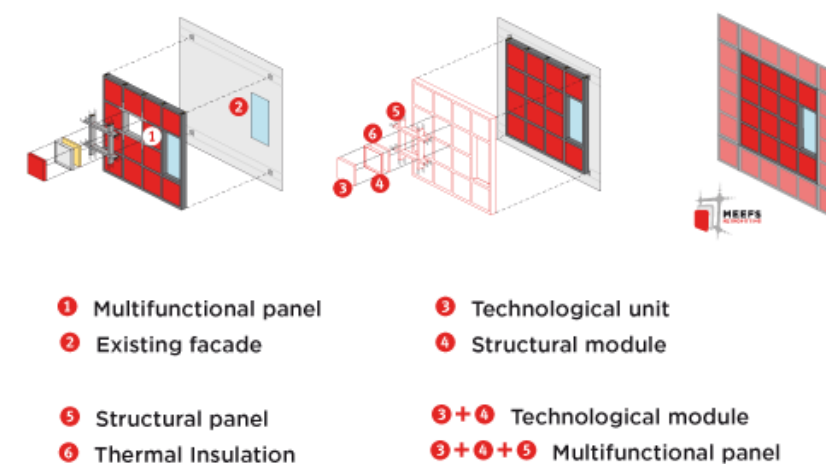
FOCUS OP TECHNISCHE ASPECTEN

Ten slotte zijn er ook enkele onderzoeksprojecten die focussen op één technisch aspect, bv. de integratie van een nieuw materiaal of de optimalisatie van verankeringen in betonsandwichpanelen. Een greep uit het aanbod is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht projecten die focussen op één materiaalaspect

Project	Resultaat	Website
NanoInsulate	Nano-gebaseerde isolatiematerialen (VIP's, aerogel, nanofoams)	www.nanoinsulatie.eu
NANOPCM	Ontwikkeling, productie en demonstratie van PCM's in prefab componenten voor bestaande gebouwen	
COOL-Coverings	Ontwikkeling van een coating voor gevels op basis van PCM's	www.coolcoverings.org
Nanofoam	Ontwikkeling van isolatie op basis van nanotechnologie	
Aerocoins	Ontwikkeling van prefab componenten met aerogel	www.aerocoins.eu
MEEFS	Ontwikkeling van een multifunctioneel gevelsysteem met vezelversterkte polymeren	www.meefs-retrofitting.eu
SEBSE	Lichtgewicht sandwichpaneel met vezelversterkt beton en polymeer verankering	

Een buitenbeentje hiervan is het MEEFSproject, waarin een high-tech gevelmodule ontworpen werd. Het bestaat uit een structureel rooster van vezelversterkt kunststof, met invulpanelen met zonnecollectoren, beglazing, zonnewering en gevelbekleding met planten (Figuur 6). Via software worden de technische units in het structureel raster aangestuurd (MEEFS, 2016)



Figuur 6 Panelen ontwikkeld in het MEEFS project (www.meefsretrofitting.eu).

1.2 Bestaande prefab systemen in Vlaanderen en België

Indeling gebaseerd op (WRAP, 2007) – Voorbeelden uit de bouwpraktijk

Lage prefabricatiegraad- componenten

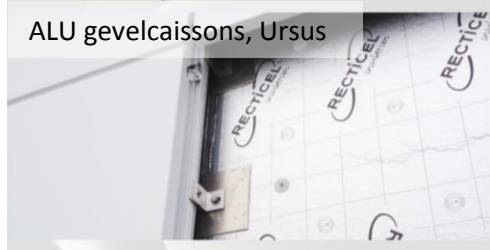
Gemiddeld- Modulair bouwen

Hoge prefabricatiegraad-Modules

Afwerking

Enkelschalig betonelement, steenstrips, composiet-panels

ALU gevelcaissons, Ursus



Structuur

CLT, staalframe, houtskeletframes, enkelschalig betonpaneel



Staalframe (Pro-Fil)



Prefab gemetste wand bij Heijmans

Thermisch

Zelfdragende isolatiepanelen met aanzet voor verdere afwerking

L-ments Recticel



Structuur + Thermisch



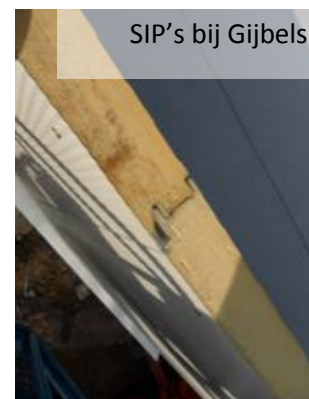
Unilin bij Homesweetsystems

SIP's met dampdicht scherm, (aanzet) voegstelsel

HSB-panels met isolatie en EPDM scherm

Staalframe met prefab geplaatste isolatie en OSB-panels

Afwerking + Structuur + Thermisch



SIP's bij Gijbels



SIP's met architectonisch beton Loveld



Houtskeletelement met steenstrips Machiels Building Solutions



Elementgevel Schüco

SIP's in staal, architectonisch beton en hout met gevelafwerking
HSB en staalframe met gevelafwerking
Elementgevels

Afwerking + Structuur + Thermisch + Volume

Afgewerkte 3D-modules (met integratie technieken) in staalframe, staalskelet, CLT, Houtskelet, SIP's...



Warsco Unit (Mutatie+)



ALHO



Logus, prefab badkamer-units

Prefab -volume om de badkamer te vergroten (31 woningen, Renovatie Cuijk)



TOELICHTING

LAGE PREFABRICATIEGRAAD-COMPONENTEN

Met de term 'componenten' worden de bouwelementen bedoeld die één functie opnemen: het element dient als gevelbekleding, (zelf)dragend element of isolatie. Met deze componenten kan de doorlooptijd op een werf al gevoelig versneld worden en is de afvalberg in-situ veel kleiner.

Het grote voordeel is dat deze componenten nog steeds aanpasbaar zijn op de werf, waardoor ze in de huidige bouwpraktijk al goed inzetbaar zijn. Een zelfdragende isolatieplaat kan door een particulier nog bijgesneden worden om te passen in het geheel. Een prefab gelijmde metselwerkmuur (Figuur 7) kan nog gemakkelijk aangepast worden op de werf, maar zorgt toch voor een propere werkomgeving omdat er geen mortel meer nodig is om de snelbouwstenen te metsen (Prefabgids PRO³, 2017).



Figuur 7 Ondanks dat het product maar één functie (dragende) opneemt, zal de bouwsnelheid al gevoelig verhogen. Door de lage prefabricatiegraad zijn aanpassingen in-situ nog steeds gemakkelijk te realiseren (Prefabgids PRO³, 2017).

Dikwijls is het mogelijk om deze systemen verder te ontwikkelen naar een gemiddelde prefabricatiegraad door een laag (bv. isolatie, afwerking) toe te voegen of het materiaal groter te dimensioneren (structureel), of te combineren met andere materialen (structureel, thermisch). In deze categorie zijn dus heel wat mogelijkheden voor innovaties gericht op de industrialisering van het bouwproces.

GEMIDDELDE PREFABRICATIEGRAAD-MODULAIR BOUWEN

In deze categorie vinden we bouwcomponenten terug die minimum twee van de functies (gevelafwerking, structuur of thermisch) combineren. Om het potentieel van deze systemen maximaal te benutten, is een prefab gericht ontwerpproces onontbeerlijk. Modulair bouwen vraagt immers een andere aanpak vanaf het begin, waarbij het vertrekpunt van het gebouwontwerp gebaseerd is op de afmetingen en eigenschappen van het gekozen prefab materiaal. De bouwheer moet dus al ruim op voorhand deze bouwmethode kiezen en op basis van die keuze een architect of aannemer benaderen.

Een resultaat van deze aanpak is te vinden in Lokeren, waar een volledige woning werd opgetrokken uit SIP's (Prefabgids PRO³, 2017) (Figuur 8). De bouwheer benaderde een architect die ervaring had met het materiaal en wilden van in het begin met prefab elementen werken om de bouwsnelheid te verhogen en zo huurkosten te besparen. Een ander voorbeeld is te vinden in Waimes, waar een aannemer zich specialiseerde in het bouwen van

woningen met houtskelet en SIP's en enkel deze methode aanbiedt aan potentiële klanten (SweetHomeSystem, 2014) (Prefabgids PRO³, 2017).



Figuur 8 Eengezinswoning uit SIP's met polyurethaan en multiplex (Prefabgids PRO³, 2017)

In de praktijk wordt echter nog te vaak op een in-situ manier omgegaan met prefab producten, waardoor de perceptie gevoed wordt dat prefab complex en duur is. Een voorbeeld hiervan is het Marconi-project waar de leverancier van de betonpanelen pas in de uitvoeringsfase betrokken werd. Mocht van in het begin rekening gehouden zijn met een sandwichpaneel in architectonisch beton, konden de betonnen kolommen die tegen het binnenspouwblad staan perfect vermeden worden door een dikker binnenspouwblad te nemen (Figuur 9) (Prefabgids PRO³, 2017). Met deze simpele aanpassing had de kraan efficiënter en sneller kunnen werken. Modulaire systemen vergen dus vooral een andere ontwerpaanpak om het volle potentieel uit deze systemen te halen.



Figuur 9 Architectonisch beton (Prefabgids PRO³, 2017)

De innovatiemogelijkheid bij modulaire systemen ligt in verschillende aspecten, afhankelijk van het basismateriaal. Bij SIP's in beton wordt onderzoek gedaan naar thermische optimalisatie van verankeringen tussen dubbelschalige elementen. Bij houtbouw en staalframebouw situeren de innovaties zich eerder op akoestisch en brandtechnisch vlak, alsook op de lucht- en waterdichtheid van de voegen, standaardisering van verankeringen, enz. Daarnaast is het integreren van technieken zoals ventilatie, elektrische leidingen en zonnewering voor alle materiaaltypes een mogelijke innovatiepiste om de snelheid op de bouwplaats te verhogen.

HOGЕ PREFABRICATIEGRAAD-MODULES

Als voorbeeld voor bouwcomponenten met de hoogste prefabricatiegraad wordt de 'module' vooropgezet. Naast een combinatie van de drie functies (gevelafwerking, structureel en thermisch) komt er ook het element 'Volume' bij. Tegenwoordig is de functionaliteit van 3D-modules uitgebreid: snelle uitbreiding van scholen en zorginstellingen, tijdelijke zorgunits voor een

inwonende bejaarde, hotelbouw, badkamer- en keukenunits voor studentenkoten, appartementen en studio's. Een belangrijke impuls voor deze prefab-bouwmethode is dat het aandeel 'Technieken' in belang toeneemt in bouwprojecten, en dit zowel qua budget als tijds kader. In het licht van deze trend kan het bouwproces er alleen maar baat bij hebben om technieken te integreren in prefab modules.

In Mutatie+ werd het potentieel van modules geïllustreerd bij renovatie: de woonoppervlakte van een sociale huurwoning werd er op één dag mee uitgebreid. Als de behoefte aan extra woonruimte wegvalt, kan de module weer gemakkelijk verwijderd worden. In Nederland werd de badkamer van 31 m² in oppervlakte verdubbeld d.m.v. een prefab module aan de gevel (Renovatie Cuijk).

BELEIDSMAKERS EN BOUWSECTOR KIJKEN OOK NAAR PREFAB

Het beleid in Vlaanderen is gericht op industrieel, flexibel en demontabel bouwen (Wille, 2015), waarbij prefabricatie een belangrijke rol speelt in het verminderen van de afvalberg in de bouwsector. (Janssen, et al., 2010) gaf aan dat innovatieve uitvoeringstechnieken zullen gestimuleerd worden door de toegenomen kost voor het afvoeren van bouw- en sloopafval en door de toename van projecten in verstedelijkte gebieden (waar de tijd en ruimte die een werf kan innemen beperkt is). Daarnaast zet het WTCB in op digitalisering (de 4^{de} revolutie) en industrialisatie van het bouwproces, omdat dit de enige manier is om de vele uitdagingen (klimaatverandering, stijgende bevolking en verstedelijking, beperkte ruimte, toenemend belang van LCA) aan te kunnen (WTCB, 2017). Naarmate BIM-technieken couranter gebruikt worden, zal het ontwerpproces veel gedetailleerder zijn en kunnen de huidige prefab systemen hun volle potentieel bereiken.

Ook de bouwsector zelf ziet de voordelen van prefab bouwen in. Volgens een SWOT-analyse op basis van een enquête bij aannemers, architecten, materiaalproducenten en gebouwbeheerders is het grote voordeel van dynamisch en aanpasbaar bouwen dat de levensduur van gebouwen verlengd kan worden. Hierdoor stijgt de marktwaarde van het vastgoed en zal de milieu-impact en LCA-kost op lange termijn dalen. In praktisch opzicht zal de werforganisatie efficiënter verlopen en tot minder overlast leiden, eens het gebouwontwerp prefab benaderd wordt. In deze SWOT-analyse wordt echter ook aangehaald dat de kosten op arbeid en relatieve lage materiaalkosten momenteel verhinderen dat dynamisch bouwen prijstechnisch interessant wordt in de nabije toekomst. De kostenbesparing is op dit moment ook moeilijk in te schatten. Strikte demonteerbaarheid, wat één van de kernzaken van IDF-bouwen is, is momenteel ook niet mogelijk met het huidige productaanbod (Wille, 2015). De meeste hindernissen op de weg naar de industrialisatie van het bouwproces kunnen echter weggewerkt worden door in te zetten op innovatie van bouwmaterialen, -systemen en processen en een prefab-ontwerpbenadering.

1.3 Prefabwijzer

Modulaire systemen uit de literatuur en casestudies: Wat zijn eerder toegepaste systemen in renovatie? Welke prefab systemen hebben potentieel hiervoor?

Systemen met navul isolatie

1.1
Houten caisson met cementgebonden spaanplaat



1.2
Houten caisson met gipskartonplaat



1.3
Houten caisson met vezelplaat en geventileerde gevel



1.4
Houten caisson met houtvezelplaat en ventilatiekanalen



Systemen met isolatie Plaat

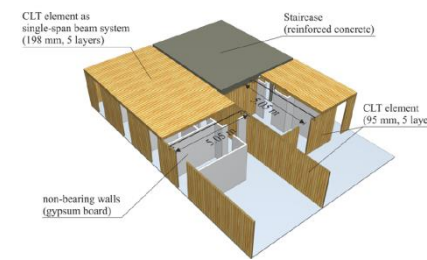
2.1
SIP's met architectonisch beton



2.2
Enkelschalig betonelement met minerale wol



2.3
CLT als dragende wand- en vloerelementen



Systemen met isolatie Frame

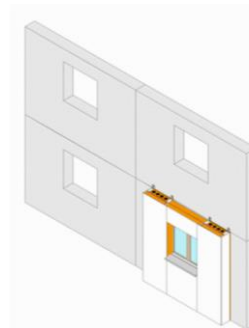
3.1
Houtskeletelement met gevelafwerking en ventilatie-unit met warmtewisselaar



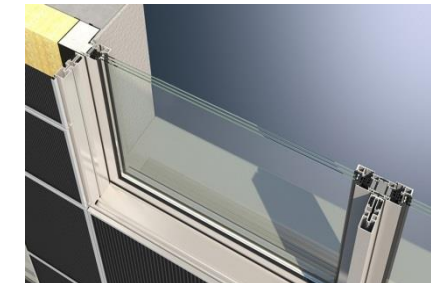
3.2
Houtskeletelement



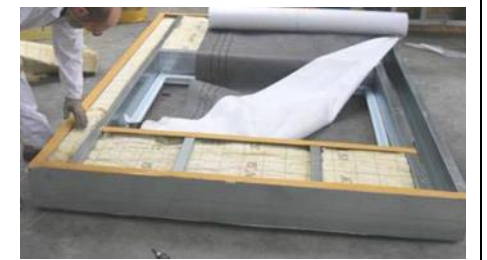
3.3
Houtskeletelement – raammodule met ventilatiekanalen



3.4
Gordijngevelprofielen met raam en gevelmodules



3.5
Staalframe met isolatie en luchtdichte laag



Systemen met isolatie (SIP's)

4.1
SIP met multiplexlagen als wand- en gevelafwerking



4.2
SIP met bekleding in verzinkt staal






4.3
Isolatieplaat met meerlaagse aluminium bekleding



4.4
SIP met vezelcementbeplating



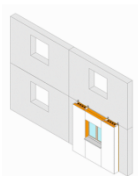







Systemen met navul isolatie	1.1 Cementgebonden spaanplaat op houten caisson met houten substructuur (75 x 200), inblaascellulose en geventileerde gevel (in-situ)	1.2 houten caisson met gipskartonplaat (prefab) en geventileerde gevel (in-situ)	1.3 houten caisson met medium vezelplaat en geventileerde gevel (prefab)	1.4 Houten caisson met vezelcementplaat en houtvezelplaat. Pleister gevel op houtvezelplaat (in-situ)
				
U-waarde	0.15 W/m²K	0.15 W/m²K	0.11 W/m²K	0.18 W/m²K
Aandachtspunten thermische prestaties	Houten structuur & oneffenheden gevel	Verankering	Houten structuur	Houten Structuur, ventilatieleidingen
Isolatie	Ingeblazen cellulose	Ingeblazen cellulose	Ingeblazen cellulose	Ingeblazen cellulose Geveloppervlak was onregelmatig
Vlak dampscherm Vlak Luchtdichtheid	Bestaande gevel en dampdichtheidsfolie aan raamaansluiting	Bestaande gevel	Bestaande gevel + tape en PU-schuim aan raamaansluiting	Bestaande gevel
Vlak waterdichtheid	Cementgebonden spaanplaat en luchtdichte tape	In-situ geplaatst regen- en windscherm	Houtvezelplaat	Vezelcementplaat
Verankeringen en verbindingen	Windankers per verdiep Verticale belasting over panelen	Gelijke verdeling belastingen over de verdiepingen (verticaal paneel) Plaatsing op uitlijningsbalk onderaan + bijkomende ankers voor kantelen	Verankering per verdieping	Windankers per verdiep Panelen dragen op elkaar af
Draagstructuur	Substructuur per paneel, verankerd met L-ijzers	Paneel wordt rechtstreeks verankerd op speciaal scharnier-systeem met deuvels	Paneel wordt rechtstreeks verankerd op speciaal scharnier-systeem: deel aan gebouw, deel aan paneel, schuiven in elkaar	Substructuur met houten balken en L-ijzers
Gewicht	2150 ± 20 kg	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend
Stijfheid systeem	Cementgebonden spaanplaat	Gipskartonplaat	Medium vezelplaat (hout)	Vezelcementplaat
Brandreactie	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend
Brandweerstand	Brandstops in rotswol rondom raam (achter raamkader) en in de aansluiting tussen twee panelen => EI 30 raamaansluiting	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Rotswol-bekleding rondom ventilatiekanalen in het paneel
Akoestische maatregelen	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend
Oppervlakte paneel	3.5 x 12.9 m	Tot 12 m lengte (over drie verdiepingen)	In overeenstemming met breedte gebouw	Tot 10 m lengte, 3 m hoog
Richting	Horizontaal	Verticaal (door structuur met balkon)	Horizontaal	Horizontaal
Dikte	tussen 254 en 399 mm (deels door zware profilering gevel)	173 mm	446 mm	250 mm
Totale prijs /m² gevel (incl. manuren)	618 €/m²	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend
Schaal	Kantoorgebouw, 6 verdiepingen, Oppervlakte ≈ 25 x 15 m	Appartementsblok met 7 verdiepingen	Renovatie en uitbreiding van een eengezinswoning (2 verdiepingen)	Renovatie en uitbreiding van een klein appartementsgebouw (3 verdiepingen + zolder).
Schilddeel	Gevel	Gevel	Gevel	Gevel
Integratie technieken	Integratie zonnewering Beste keuze: decentrale ventilatie-eenheden in de ramen PV-cellen op zuidgevel mogelijk interessant	Zonneschermen in de ramen Data en elektrische leidingen en kabels in de luchtsponw achter de gevelbekleding	Zonneschermen in de ramen (in-situ) PV-panelen	Zonneschermen Ventilatiekanalen
Integratie ramen?	Ja	Ja (viervoudig)	Ja (drievoudig)	Ja ($U_w = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$)
Uitbreiding?	Neen	Integratie balkon	Extra verdieping en horizontale uitbreiding (balkon en woonruimte)	Extra verdieping en horizontale uitbreiding (afbraak dak)
Installatie werf	Inblaasmachine (bereikbare hoogte?)	Inblaasmachine, hoogtewerker, mobiele kraan	Inblaasmachine, mobiele kraan	Kraan, stelling, Inblaasmachine
Werken binnen?	Vervanging raam (2 uur per raam)	Na-vulwerken van binnenuit en luchtdichte aansluiting ramen met tape	Na-vulwerken van binnenuit en luchtdichte aansluiting ramen met tape en PUR	Aansluiting ventilatie
Bron	(Tijskens, 2015)	(Dubois & De Bouw, 2015)	(Dubois & De Bouw, 2015) (Lang, et al., 2007)	(Dubois & De Bouw, 2015) (Annex 50)

Systemen met isolatie Plaat	2.1 SIP's, architectonisch beton	2.2 Enkelschalige betonelementen	2.3 Vloerplaten, dragende wanden en gevel in CLT
			
U-waarde	0.22* W/m²K	0.14* W/m²K	0.20** W/m²K
Aandachtspunten thermische prestaties	RVS ankers: 0.02 W/m²K	Bevestiging isolatie+ brede voegen tussen panelen	Verbinding buitenste isolatie en CLT
Isolatie	PIR	Rotswol	Minerale wol
Vlak dampscherm	Binnenblad	Bestaand binnenblad (120 mm)	CLT paneel
Vlak luchtdichtheid	Binnenblad, ingestorte slab	Niet bekend: Voegen en in connectie ramen met prekader	CLT paneel
Vlak waterdichtheid	Buitenblad (kitvoeg)	Niet bekend: Voegen	CLT paneel en voeg
Verankeringen en verbindingen	Verstijfing aan de onderkant van de panelen	Opgehangen aan de bestaande binnenwand (na afbraak origineel buitenblad en isolatie)	L-profiel tussen beton en CLT en staalplaat tussen CLT panelen
Draagstructuur	Wachtwapening in de achterliggende vloer. Vloer = steunbalk gevel Binnenblad was 12 cm, buitenblad 7 cm om gewicht te besparen.	Afdragen op elkaar via verstijfing. Er werd een bijkomende fundering voorzien	Horizontale belasting naar betonnen trappenkoker Verticale lasten via CLT naar betonnen fundering Voldoende grote uitzettingsvoeg tussen vloerplaat in CLT en betonkoker
Gewicht	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	80 kg /m² (excl. CLT)
Stijfheid systeem	Betonpanelen	Buitenblad	CLT paneel
Brandreactie	Betonelement A1	Betonelement A1	Niet vermeld/niet gekend
Brandweerstand	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	REI 30**
Akoestische maatregelen	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	R _w = 44 dB**
Oppervlakte paneel	Op oorspronkelijk maatvoering gevel (2 m vrije hoogte)	Op oorspronkelijk maatvoering gevel	3 m hoog (gevelwanden) 5.5 m lang (vloerplaten)
Richting	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal
Dikte	34 mm	38.5 mm + 120 mm bestaand binnenblad	5-laagse CLT: 198mm (vloerplaat) en dragende muren: 95 mm
Prijs	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	CLT was 20% van de totale kostprijs
Schaal	103 wooneenheden over 6 varianten van panelen met zelfde afmetingen	350 woningen gebouwd met beton SIP's, bouwjaar 1975	22 woningen, verdeeld over twee blokken van 3 bouwlagen
Schildelen	Gevel	Gevel	Gevel, binnenwanden, dak en vloer
Integratie technieken	Neen	Ventilatieleiding in kunststof op oud binnenspouwblad	Mogelijk in spouw tussen gispkarton en CLT
Integratie ramen	Ja	Drievoudige beglazing en deuren	Neen-openingen gevel even hoog als CLT paneel om cut-out afval te vermijden
Uitbreiding	Neen	Ja (aparte module in hout op het dak)	Nieuwbouw
Installatie werf	Kraan met evenaar zodat de panelen enkel verticaal belast werden + hijsankers tussen de ramen	Verplaatsbare stelling met schuine ondersteuning en kraan	Niet vermeld/niet gekend
Werken binnen?	Volledige renovatie badkamer, keuken en nieuwe akoestische bekleding woonunits	Aansluiting raam (met prekader)	Nieuwbouw
Bron	(FEBE) (Febe, 2014)	(Dejaeghere & Pauwels, 2015) (Kristensen, 2017)	(Binderholz, 2014) (Ringhofer & Schickhofer, 2013)

* Zelf afgeleid/berekend/... op basis van materiaaleigenschappen




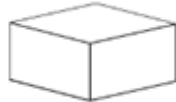
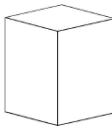

**Gebaseerd op standaardopbouw technische fiche (zoveel mogelijk dezelfde opbouw als aangegeven in het project)

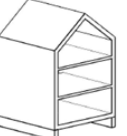





Systemen met isolatie Frame	3.1 Houtskeletpaneel met rotswol en solar comb als gevelafwerking (geïntegreerd-cellulose)	3.2 Case: Renovatie studentenwoningen met 2 bouwlagen met houtskeletpaneel	3.3 Prototype raampaneel –ruimtes tussen raam plaatselijk opvullen Gehele gevelbekleding in-situ	3.4 Schüco ERC 50: systeem voor renovatie van kantoorgebouw-typologie (bandramen, gevel met invulelementen)	3.5 Recolci-module met staalframe
					
U-waarde	~0.18 W/m²K (door gevelsysteem met solar comb) Systeem zonder solar comb heeft $U_{so} = 0.21$ W/m²K en $U_{frame} = 0.38$ W/m²K	0.21 W/m²K	$U_{iso} = 0.09$ W/m²K $U_{frame} = 0.13$ W/m²K $U_{raamkader} = 0.16$ W/m²K	Niet vermeld/niet gekend	0.25 W/m²K met stalen bevestigingshaken 0.22 W/m²K met thermisch onderbroken haken
Aandachtspunten thermische prestaties	Houten stijlen aan de isolatielaag	Opbouw in twee lagen om thermische brug stijlen compenseren	Houten stijlen (opbouw in twee lagen om thermische brug stijlen compenseren)	Verbinding bevestigingsvleugel en substructuur (Onderbreking MW-laag)	Stalen frame: er zit een doorlopende laag in glaswol van 10 cm dikte tussen de bestaande gevel en de module
Isolatie	Minerale wol	Minerale wol	Minerale Wol	Minerale wol	Glaswol
Vlak dampscherm	Bestaande wand	Bestaande wand	Bestaande wand en raamaansluiting	Bestaande wand en raamaansluiting	Binnenkant staalframe en bestaande gevel
Vlak luchtdichtheid	Voorpaneel in OSB	Bestaande wand (er werd een extra laag cement aangebracht voor de installatie van de panelen)	Raamaansluiting + gevel in-situ	Bestaande wand en raamaansluiting	Binnenkant staalframe en bestaande gevel
Vlak waterdichtheid	Tand en groef voegen met rubberprofiel + afdekprofiel als bescherming tegen regeninval	Voegen achter geventileerde gevel?	Gevel in-situ	Folie aan raamaansluiting-buitengevel en over isolatielaag	EPDM folie aan buitenkant paneel + gevel is in-situ aangebracht
Verankeringen en verbindingen	Bevestiging aan houten substructuur	Verankering met L-profielen aan substructuur en bestaande wand	Substructuur met staalplaten (halve verdieping) met gaten en sleuven om te verankeren (aantal afhankelijk van ondergrond)	Stalen substructuur (rechthoekige holle doorsnede) waarin de ramen geklikt zitten en waarop de gevelpanelen bevestigd worden (geprofileerde voegen)	L-ankers om staalframestructuur aan bestaande wand te bevestigen (horizontale lasten) Verticale lasten worden van paneel op paneel overgedragen
Draagstructuur	Panelen dragen op elkaar, op houten balk onderaan met L-ijzers	Panelen dragen op elkaar af, op bijkomende fundering onderaan	Panelen dragen onafhankelijk Opbouw in twee lagen waarbij tweede laag via houten structuur aan laag 1 (met ventilatie en raam) hangt	Stalen substructuur met bevestigingsbeugel aan verdiepingvloer. Isolatie tussen de beugel en de substructuur, in raamvlak	Staalframe zelf Dimensionering zo dat er nog een extra verdieping kan toegevoegd worden.
Gewicht	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	400 kg per module
Systeem Stijfheid	OSB beplating houten frame	Beplating houten frame (gipskarton en multiplex)	Gipskartonplaat achterkant panelen	Stalen substructuur	Staalframe
Brandreactie	B-s2,d0 (paneel met 60 mm rotswol)	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend
Brandweerstand	Minerale wol in de adaptielaag en houtskeletelement	Minerale wol in adaptielaag en houtskeletelement	EI30 met minerale wol bekleding rondom ventilatie + gipskarton (15 mm) rondom EI60 met gipskartonplaat (15 mm) tussen leidingen	Minerale wol achter opake delen (onderbroken door verankering, zie aansluitingsdetails)	Doorlopende adaptielaag in glaswol Glaswol in staalframe
Akoestische maatregelen	$R_w = 50$ dB** (Houtskeletelement met solar comb systeem)	Niet vermeld/niet gekend	Paneel per appartement om geluidtransport tussen units te vermijden	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend
Oppervlakte paneel	12 x 3	10 x 3.5 m	2.8 m x 2.8 m	I.f.v. ramen en tussenruimte panelen	2.7 m breed, twee verdiepingen hoog
Richting	Horizontaal	Horizontaal	Vierkante module rondom raam	n.v.t.	Verticaal
Dikte	239 mm + 60 mm adaptielaag met substructuur	315 mm + 50 mm adaptielaag	360 mm (incl. gevelafwerking en ventilatieleidingen)	Substructuur profielen zijn maximaal 190 mm diep	300 mm (excl. gevelbekleding)
Prijs		Panelen = 16% totale kostprijs + 6% site kost	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	163 €/m² (excl. gevelbekleding)
Schaal	126 + 5 blokken met 16 appartementen	8 appartementen verdeeld over blokken met 2 bouwlagen	Appartementen gebouwen zonder balkon, gelijke raamafmetingen	Kantoorgebouwen met repetitieve gevel (bv. bandramen)	Gebouwen tot 7 bouwlagen
Schilddeel	Gevel + Dak	Gevel + Dak	Gevel (dakmodule ook mogelijk)	Gevel	Gevel + Dak
Integratie technieken	Ventilatiekanaal met warmtewisselaar naast raam Oppervlakte-opwekking met solar comb Warm water leidingen voor verwarming in de adaptielaag en PV-panelen op de zuidgevel	Geen integratie van technieken	Ventilatieleidingen in de structurele laag. Door laag erbovenop is de koude brug werking verminderd	Gedecentraliseerde ventilatiekanalen met warmterecuperatie, zonnewering, PV-panelen... Elektrische bekabeling in holle substructuur	Zonnewering raam
Integratie ramen	Ja, alsook alle gevelafwerking	Ja	Ja	Ramen en gevelpaneel apart. Ramen zitten achter de substructuur, gevelpanelen ervoor	Prékader om in een latere fase het nieuwe raam gemakkelijk te installeren
Uitbreiding	Inpakken balkon	Nieuwe balkons en overhang dak in staal (onafhankelijk van rest gebouw)	Verticale uitbreiding met module mogelijk (laag 1 zwaarder dimensioneren)	Niet van toepassing	Ja, doorsnede staalframe aanpassen
Installatie werf	Mobiele kraan	Hoogtewerker en mobiele kraan + originele gevel werd verwijderd Folie over de geplaatste modules later de geventileerde gevel te monteren.	Mobiele of hangende stelling (installatie gevel) en mobiele kraan Plaatsing op een uitgelijnde lat (die geen structurele werking heeft)	Stelling	Stelling, mobiele kraan
Werk binnen	Aansluiting ventilatiesysteem en afbraak oud raam + luchtdichte verbinding naar nieuw raam	Volledige vernieuwing interieur (keuken, badkamer...) en technische installaties	Raamaansluiting luchtdicht uitvoeren	Oud raam verwijderen en nieuw raam luchtdicht aansluiten na installatie gevelsysteem	Vervanging oud raam en luchtdichte aansluiting creëren.
Bron	(Dubois & De Bouw, 2015) (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011) (IBS, 2007)	(Dubois & De Bouw, 2015) (E2ReBuild, 2010)	(Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)	(Schüco)	(Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)

	4.1 Case: SIP's met houten plaatmateriaal (Unilin)	4.2 Case: SIP's met staalplaat (Joriside)	4.3 Case: Isolerende stijve dakplaat (Recticel)	4.4 SIP met PIR en vezelcementplaat (Ecohomepanel)
Gesloten systemen (SIP's)				
U-waarde	$U_{180} = 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{60\text{mm}} = 0.39 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{80\text{mm}} = 0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{100\text{mm}} = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{120\text{mm}} = 0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{150\text{mm}} = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$	U zonder schroeven! $U_{145\text{mm}} = 0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{160\text{mm}} = 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{180\text{mm}} = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{200\text{mm}} = 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{80\text{mm}} = 0.39 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{200\text{mm}} = 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$
Aandachtspunten thermische prestaties	Schroefverbinding met substructuur	Tand- en groef voeg met verborgen verbinding	Schroeven	Niet vermeld/niet gekend
Isolatie	PUR	PUR of PIR	PIR	Niet vermeld/niet gekend
Vlak dampscherm	Dampdichte metaalfolie tussen de OSB en de isolatielaag	Binnenoppervlak en zwelband in de tand- en- groef voeg	Geïntegreerde luchtdichte folie en aftapen voegen, gebruik van zwelband, wachtfolie of tape om andere gebouwcomponenten te verbinden	Cementvezelplaat binnenkant en zwelband/PUR/opvoegspecie voeg
Vlak luchtdichtheid	Binnenbeplating en tand-en-groef voegsysteem met veer en PVC-foam (PUR-schuim in sponning voeg of aftapen naden)	Binnenoppervlak en zwelband in de tand-en-groef voeg		Cementvezelplaat binnenkant en zwelband/PUR/opvoegspecie voeg
Vlak waterdichtheid	EPDM folie (in-situ aan te brengen)	Buitenvlak, verborgen verbinding, zwelband in de voeg en druiplijst onderaan	Dakbedekking paneel	Gevelafwerking (in-situ): crépi of geventileerde gevel
Verankeringen en verbindingen	Schroefverbinding doorheen plaat op substructuur	Verborgen verbinding met staalschroef bovenaan en onderaan paneel	Schroefverbinding door houten ribben in draagstructuur dak	Plaatsing in voegmontageprofiel Onderlinge verbinding met slot-as systeem Ringbalk per verdieping waaraan verdiepingsvloeren verankerd worden
Draagstructuur	Zelfdragende plaat die afsteunt op substructuur – Bij verticale platen is verdiepingshoge ondersteuning ok	Zelfdragend op substructuur	Zelfdragend op substructuur, van nok tot goot Overspanningen van 2.78m tot 3 m mogelijk op twee steunpunten. Overspanning van 3.42m tot 3.69 m op drie steunpunten	Panelen zelf
Gewicht	21.7 kg/m ²	Niet vermeld/niet gekend	9.50 kg/m ² (dikte 145 mm) tot 11.30 kg/m ² (dikte 200 mm)	41.04 kg/m ³ (paneel met 200 mm isolatie en 2 x 12 mm cementvezelplaat)
Systeem Stijfheid	Platen van 12 mm in OSB en Multiplex	Verzinkte staalplaat binnen- en buitenblad	Houten ribben	Cementvezelplaat 12 mm
Brandreactie	D-s2, D0 (Multiplex)	Ds3d0 (PUR) of Bs2d0 (PIR)	Niet gekend	B-s1-d01
Brandweerstand	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	EI30 met cementvezelplaat van 12 mm, uitbreidbaar naar EI60 met extra cementvezelplaat
Akoestische maatregelen	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	Niet vermeld/niet gekend	R _w = 35 dB (Plaat van 100 mm)
Oppervlakte paneel	Breedte: 1200mm Lengtes: 2400mm tot 8000mm	Min lengte 2.5m, Max 13m Breedte: 1 m	Vaste breedte: 1190 m Lengtes: 5.4 tot 6,5m	Breedte: maximaal 1200 mm of veelvoud 300 mm Lengte: Maximaal 3000 mm
Richting	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Dikte	204mm	60-80-100-120-150 mm	145mm, 160mm, 180mm, 200mm	80-100-120-140-180-200 mm
Prijs	Niet vermeld/niet gekend	43.25€/m ²		261 €/m ² incl. gevel
Schaal	Eengezinswoning	Industriële gebouwen	Eengezinswoning, particulier	Eengezinswoningen
Schildelen	Gevel + dak	Gevel en dak (andere variant op geometrie paneel)	Hellend dak	Gevel + Dak
Integratie technieken	Neen	Neen	Neen	Elektroleidingen of holtes voor ventilatieleiding
Integratie ramen	Neen	Neen	Holte voor dakraam kan eruit gezaagd worden in-situ	Nee, mogelijk om een blokkader te voorzien
Uitbreiding	Ja	Ja	Neen	Ja
Installatie werf	Mobiele kraan – stelling	Mobiele kraan, hoogwerker	Kraan	Kraan
Werken binnen	Neen	Neen	Neen	Dichten voeg met pleister
Bron	(ATG 14/2538, 2014)	(Joriside, 2015)	(Recticel Insulations, 2015)	(Isobar, 2013)

1.4 Typologiewijzer

Randvoorwaarden bij tertiaire gebouwen. Inhoud tabel gebaseerd op (Dubois & De Bouw, 2015) (TES EnergyFaçade, 2010-2013) (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011) en (SchoolVenCool, 2010)

Gebouw				
Onderbreking mogelijk?	Nooit (zorginstelling, hotel, winkel, supermarkt...)	2 tot 7 dagen (winkel, supermarkt, kantoor, hotel...)	7 tot 31 dagen (scholen, kantoor)	31 dagen en langer
Doelstelling	Renoveren gevel en schrijnwerk	Vervanging gevel (afbraakwerken)	Renovatie met kleine uitbreiding (bv. balkons)	Renovatie met grote uitbreiding (bv. extra verdieping, extra ruimte)
Locatie	Goed bereikbaar (zwaar verkeer mogelijk) en veel ruimte rondom (bv. industriezone)	Goed bereikbaar, weinig ruimte (bv. lintbebouwing aan een rijksweg)	Slecht bereikbaar, veel ruimte (bv. landelijk gebied)	Slecht bereikbaar en nauwelijks tot geen ruimte rondom (bv. centrum stedelijk gebied)
Schaal	1 gebouw (bv. < 4 verdiepingen of 5 units) 	1 gebouw (bv. > 4 verdiepingen of 20 units) 	1 gebouwgroep 	
Geometrie	 < 10 m	 10 – 25m	 > 25m	
Wetgeving - locatie	Geen beperkingen gebouwomtrek		Beperkingen gebouwomtrek (bv. rooilijn respecteren)	

Gevel			
Draagstructuur	Massief, dragende gevel 	Invulelementen, dragende gevel 	Gordijngevel, dragende kern met stijve vloerplaten 
Vlakheid Lay-out	Vlakke gevel Horizontaal	Geprofileerde gevel Verticaal	Balkons of Loggia's Mengeling
Toestand openingen	Ramen presteren nog goed/werden recent vervangen ≥ 3 variaties	Ramen zijn aan vervanging toe Blinde zijgevels en gelijke voorgevels Alle gevels gelijk (bv. winkel)
Repetitiviteit			
Maatafwijking	Afwijking van enkele cm's, op te vangen met voegmateriaal	Spouwmuur	Afwijkingen vanaf 10 cm waardoor volledig prefab paneel niet mogelijk is
Wandopbouw +toestand (U, vocht)	Massieve muur	Aanwezig-slechte staat	Gordijngevel
Voegen bestaand gebouw	Niet aanwezig	Aanwezig-goede staat	Aanwezig-goede staat

Integratie Ventilatie	
Gebruik Ventilatie	Variërende debieten per unit, individuele sturing
Systeem Ventilatie	Geen centrale uitrusting of volledige vervangen bestaande installaties
	Constante debieten per unit, centrale sturing
	Centrale invoer en/of afvoersystemen aanwezig (of plaats hiervoor)

TOELICHTING

Het gebouwpatrimonium kan op heel veel verschillende manieren gecategoriseerd worden, afhankelijk van het uitgangspunt. Bestaande typologiestudies van het Belgisch gebouwpatrimonium zijn gericht op de potentiële energiebesparing van residentiële gebouwen. In het Tabula Rasa-project van het VITO bijvoorbeeld werden woningen gecategoriseerd op basis van het bouwjaar (gangbare bouwpraktijk uit die tijd) en de mate waarin de residentie blootgesteld is aan het buitenklimaat. Deze uitgangspunten zijn echter ontoereikend indien we type-oplossingen voor prefab renovatie willen koppelen aan een gebouwtypologie. Bovendien is tot op dit moment geen studie gedaan naar de typologieën in de tertiaire sector in België. Dit is ook onmogelijk, omdat onder de noemer 'tertiaire sector' heel wat functies vallen zoals kantoren, winkels, scholen, zorginstellingen met elk heel uiteenlopende bouwstijlen.

In de meeste bestaande onderzoeksprojecten rond prefab renovatie ligt de focus op appartementsgebouwen, waardoor al een hele reeks typologieën (bv. schoolgebouwen, sporthallen, supermarkten...) wegvallen. Desondanks blijkt het toch niet evident te zijn om een eenduidige typologiestudie aan te wenden bij het ontwerp van prefab gevelelementen. In TES Energy Façade wordt per typologie-aspect bekeken wat de gevolgen zijn voor de prefab module. Zo wordt bv. bij het advies voor een verankeringsysteem het gebouwpark opgedeeld in types met een dragende gevel en met skeletstructuur en types met een kelder boven of gelijk met het maaiveld (TES EnergyFaçade, 2010-2013). In SchoolVentCool wordt de typologie-studie van schoolgebouwen ook op die manier opgesplitst: er wordt enerzijds gekeken naar de globale structuur van het gebouw (horizontaal-lang, horizontaal-hoog, verticaal,...) maar ook de lay-out van de gevel (vlak, geprofileerd, mix...) was een houvast om verschillende ontwerppistes te definiëren.

De typologiewijzer op de vorige bladzijde werd samengesteld op basis van de belangrijkste bouwparameters opgesomd in (Dubois & De Bouw, 2015) (TES EnergyFaçade, 2010-2013) (SchoolVenCool, 2010) en (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011). Hieronder wordt iedere categorie toegelicht.

GEBOUW

ONDERBREKING MOGELIJK?

De mate waarin de werking van een gebouw kan onderbroken worden, is doorslaggevend voor de graad van prefabricatie, maar ook voor bouwtechnische zaken zoals de locatie van de lucht- en waterdichte lagen en de mogelijkheid om technieken te integreren (binnenwerken nodig). Indien de gebouwfunctie een onderbreking toelaat, kunnen binnenwerken plaatsvinden om de bestaande technieken aan te passen of het bestaande schrijnwerk luchtdicht af te sluiten.

Voor zorginstellingen zoals ziekenhuizen en rusthuizen wordt de functionaliteit idealiter nooit onderbroken. Voor winkelruimtes ligt dit

moeilijker. Voor een grote supermarkt in de stad kan een weekend sluiten resulteren in een hoog omzetverlies, waardoor sluiting best vermeden wordt. Andere winkelruimtes kennen een zekere mate van sluitingsperiode, net zoals scholen en kantoorgebouwen, waardoor in die periode ruimte is voor renovatiewerken.

LOCATIE

De locatie van het gebouw bepaalt hoe de werf kan ingericht worden, maar ook of het mogelijk is om prefab elementen te stockeren en wat de maximale transporteerbare grootte is van de modules.

Een werf op de zeedijk bv. kan enkel in de wintermaanden van stellingen voorzien worden. Het in-situ aanbrengen van gevelbekleding wordt dus best vermeden in de zomer. Een kraan heeft plaats nodig om te manoeuvreren, met een hoogtewerker kunnen enkel kleine elementen geïnstalleerd worden. Indien de prefab panelen uitzonderlijk grote afmetingen hebben, moet een speciale route uitgestippeld worden naar de locatie om de panelen daar te krijgen (bv. iGent, (Prefabgids PRO³, 2017)).

De grootte, bereikbaarheid en aard van de locatie bepaalt dus ook mee de grootte en graad van prefabricatie van de prefab elementen.

SCHAAL

De schaal van een gebouw is bepalend voor de economische rendabiliteit van prefab elementen. Het spreekt voor zich dat componenten met een hoge prefabricatiegraad voor één gebouw (bv. één woning in een sociale woonwijk) economisch niet interessant zijn, maar als dat gebouw tientallen keren voorkomt (Figuur 10) kan de prijs van prefab elementen met geïntegreerde technieken wel concurreren met traditionele bouwmethododes (Zie PRO³-Onderzoeksrapport Kostprijscalculatie).



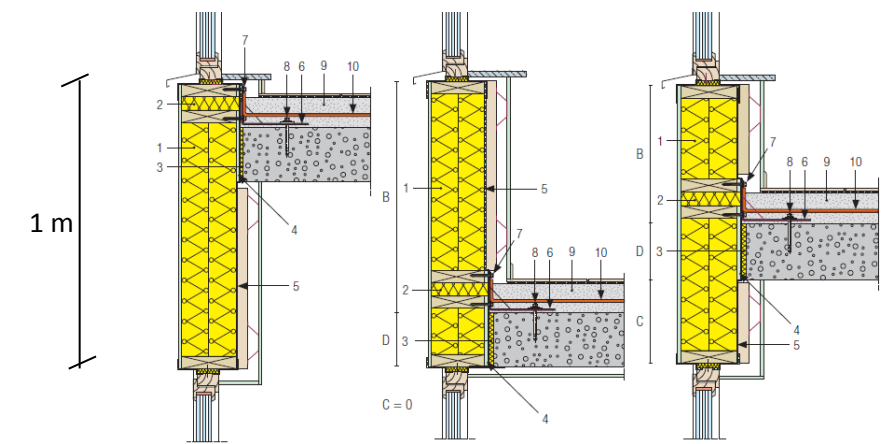
Figuur 10 Sociale Woonwijk Malem, 345 eengezinswoningen en 73 appartementen in dezelfde sobere stijl en configuratie (Inventaris Onroerend Erfgoed, 2013). Op deze schaal wordt een hoge prefabricatiegraad wel interessant.

GEOMETRIE

De geometrie van een gebouw bepaalt welke eisen voor brandveiligheid gelden. Bijgevolg heeft de hoogte en breedte van een gebouw een impact op de modulatie van de panelen (horizontale of verticale), de verankering van prefab componenten en de lagenopbouw.

Zo geldt voor gebouwen vanaf 10 m hoogte dat het risico op uitwendige brandoverslag beperkt moet worden (Martin Y., 2015). Meestal kan dit

bereikt worden door een vlamdicht gevelement van 1 m te voorzien ter hoogte van de compartimenteringsvloer (Figuur 11). Indien gekozen wordt voor deze oplossing, moet die 1 m als latei, borstwering of combinatie van beide uitgevoerd worden. Deze eis zal dus ook doorslaggevend worden voor de modulatie van de gevelpanelen.



Figuur 11 Drie mogelijke configuraties om het vlamdicht element van 1m te realiseren bij het ontwerp van de gevelpanelen, voor gebouwen vanaf 10 m (Martin Y., 2015).

WETGEVING - LOCATIE

De grootste beperking in de stedenbouwkundige voorschriften is de mate waarin de rooilijn overschreden mag worden. Volgens het rooilijndecreet mag maximum 14 cm zijn (Bonnarens, 2011), waardoor beroep moet gedaan worden op bv. superisolerende materialen. De integratie van ventilatiekanalen in het gevelement is dan mogelijks verhinderd. Andere voorbeelden van stedenbouwkundige beperkingen zijn: respecteren van de bouwhoogte omgeving, geen volumes die het zicht en zonlicht van de burens ontnemen, enz.

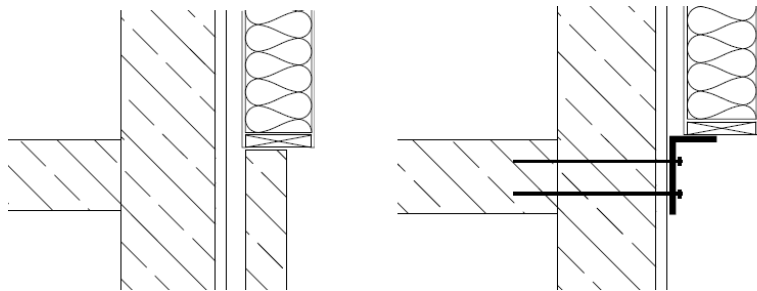
GEVEL

DRAAGSTRUCTUUR

De draagstructuur van de gevel bepaalt in welke mate je de gevel (deels) kan afbreken. Bij een gebouw met een massieve, dragende gevel zal een lichtgewicht prefab element of een prefab ETICS-systeem de enige optie zijn. In het geval de gevel bestaat uit een dragend skelet met invulelementen kunnen deze laatste weggenomen worden en is er daar mogelijk plaats voor integratie van technieken zoals ventilatievoorzieningen. In het geval de gevel volledig bestaat uit zelfdragende elementen, kunnen deze weggenomen en gelden dezelfde randvoorwaarden als nieuwbouw (SchoolVenCool, 2010). De mate waarin een gevel kan afgebroken worden, wordt natuurlijk ook bepaald door de functie van het gebouw en de mogelijkheid om de functionaliteit te onderbreken.

Naast het toegelaten gewicht van de prefab elementen, is ook de modulatie en de manier waarop de belastingen afgedragen worden naar de fundering beïnvloed door de draagsterkte van de oorspronkelijke gevel (of de structuur erachter). In het geval van metselwerk met onvoldoende draagkracht moet

een extra fundering aangebracht worden voor de prefab panelen (Figuur 12a), zodat de oorspronkelijke gevel enkel de windbelastingen opvangt. In het geval van een betonstructuur kan het prefab element op het gelijkvloers verankerd worden zoals een prefab element op een verdieping: met een L-profiel en dragende balk (Figuur 12b) (TES EnergyFaçade, 2010-2013) (Dubois & De Bouw, 2015). De ruimte onder de stelregel en verankering kan dan in-situ afgewerkt worden.



Figuur 12 De aanwezigheid van een kelder (met venster) bepaalt hoe de prefab elementen hun belasting kunnen afdragen (TES EnergyFaçade, 2010-2013)

VLAKHEID

De lay-out van de gevel slaat op de oppervlaktestructuur van de gevel: is de gevel vlak of geprofileerd? Zitten raam- en deuropeningen in het vlak of niet? Zit de dakoversteek in het vlak of niet? Hoeveel openingen zitten er in de gevel? (TES EnergyFaçade, 2010-2013) (SchoolVenCool, 2010). Dit zijn allemaal zaken die bepalend zijn voor de graad van prefabricatie (geprofileerde gevels vereisen meer in-situ werk indien de profilering behouden moet blijven), dimensies van de gevelpanelen en de manier waarop de prefab elementen gemoduleerd worden. Bij een vlakke gevel is het doorgaans ook gemakkelijker om koudebruggen te elimineren (SchoolVenCool, 2010).

LAY-OUT

De lay-out van de gevel slaat op de positie van openingen in de gevel. In een aantal gebouwen kan er een verticale ritmiek te zien zijn, bij andere een horizontale of een combinatie. Vaak volgt de ritmiek van de gevel uit de draagstructuur van het gebouw. Afhankelijk van de werfmogelijkheden (hebben we ruimte om verticale elementen die horizontaal geleverd worden te kantelen?) en de draagstructuur van de gevel kan de lay-out een uitgangspunt vormen voor de modulatie van gevelpanelen (Dubois & De Bouw, 2015) (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011).

TOESTAND OPENINGEN

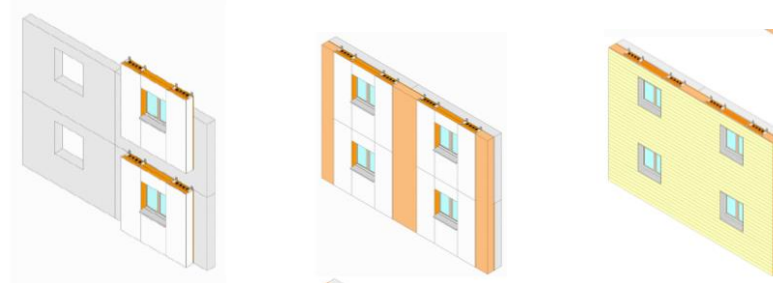
Indien het schrijnwerk recent vervangen werd, is het minder interessant om een renovatie met prefab elementen uit te voeren. Naar kosten toe is het niet optimaal en bouwtechnisch gezien is het ook moeilijker om een prefab paneel aan te sluiten op een opening waarin het schrijnwerk behouden blijft (TES EnergyFaçade, 2010-2013) (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011).

REPETITIVITEIT

Indien de gevel volledig opdeelbaar is in gelijke delen (zie typologiewijzer), wordt prefab renovatie prijstechnisch interessanter (zie ook schaa)(Zie PRO³-Onderzoeksrapport Kostprijscalculatie).

MAATAFWIJKING

Met maatafwijking wordt aangeduid in hoeverre de regelmaat in de gevel afwijkt. Wijkt de afstand tussen raampartijen bv. \pm één cm af, dan zou dit nog kunnen opgevangen worden door de voegen tussen de panelen. Indien de afwijking enkele cm's tot 10 cm bedraagt, is het allicht interessanter om een semi-prefab-oplossing aan te wenden (bv. Figuur 13).



Figuur 13 Om de prefab-raammodule toepasbaar te maken op meerdere gebouwen, werd uitgegaan van een semi-prefab bouwmethode: waarbij de raammodule prefab is en de ruimte ertussen in-situ opgevuld wordt met isolatie (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)

WANDOPBOUW

De originele wandopbouw van de gevel bepaalt de lagenopbouw (adaptielaag) van het prefab element en de structuur van de verankering. Bij gebouwen met een geventileerde spouw zou het gevelparement bv. volledig afgebroken kunnen worden en vervangen worden door prefab elementen. De elementen kunnen in dat geval verankerd worden aan de vloerplaat en lateien boven ramen in het dragend binnenspouwblad indien het dragend metselwerk niet draagkrachtig genoeg is (zie Figuur 14). Aandachtspunt hierbij is dat de vloeren dan ook dik genoeg moeten zijn om verankeringen in aan te brengen.



Figuur 14 (Links) Lateien boven het raam waar de HSB-elementen aan verankerd kunnen worden. (Rechts) Houten stelregel om prefab elementen op te plaatsen, op nieuw metselwerk onderaan het gebouw (Zitteblokveld, Machiels Building Solutions)

In andere gevallen kan niets afgebroken worden en moet de adaptielaag (cellulose of rotswol) anticiperen op het hoge vochtgehalte door regen in de

bestaande wand. Daarnaast moeten beschadigde onderdelen (bv. gebarsten bakstenen in massieve wand, los pleisterwerk) verwijderd worden voor het prefab element kan geplaatst worden (TES EnergyFaçade, 2010-2013). (Dubois & De Bouw, 2015) benadrukken dat de bouwfysische staat van de gevel ten alle tijden moet nagekeken worden.

VOEGEN BESTAAND GEBOUW

In oude geprefabriceerde gebouwen zijn uitzettingsvoegen aanwezig. Bij een gevelrenovatie moet de functie van de bestaande voeg behouden blijven of overgenomen door het prefab element. Bijgevolg heeft locatie van voegen invloed op de modulatie van de panelen, de lagenopbouw, de aansluiting van de prefab module op de bestaande gevel en de aansluiting tussen prefab modules onderling (TES EnergyFaçade, 2010-2013).

INTEGRATIE VENTILATIE

De afweging om technieken zoals ventilatie al dan niet te integreren in het prefab paneel, bepaalt in grote mate de dikte en dus het gewicht, het verankeringssysteem en de lagenopbouw van een prefab paneel. De overweging moet dus in het begin van het ontwerp gemaakt worden.

GEBRUIK VENTILATIE

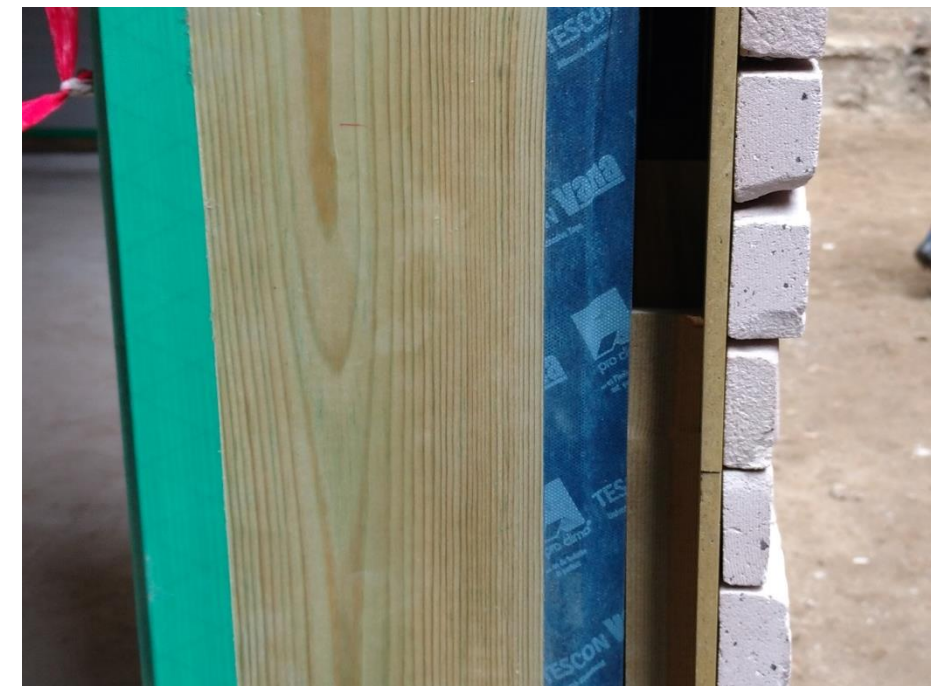
De manier waarop de ventilatie gebruikt wordt, zal invloed hebben op de voorzieningen in het prefab-element. Bij ruimtes met een grote bezetting, zal beroep gedaan moeten worden op centrale systemen. Bij ruimtes met een beperkte bezetting (bv. appartement) kan het gebruik van een decentraal systeem overwogen worden. Indien slechts een beperkte verhoging nodig is van het toevoerdebiet, kunnen toevoerroosters in het schrijnwerk volstaan. Indien een grote verhoging nodig is van het toevoerdebiet, zal bekeken moeten worden of het nodig is om leidingen in het paneel te voorzien.

Daarnaast moet afgewogen worden in welke mate de voorzieningen aan de gevelkant kunnen geplaatst worden. Indien bv. ook de elektrische leidingen aan vervanging toe zijn maar deze oorspronkelijk geplaatst zijn in een binnenwand, is het niet evident om plots alle elektrische bedrading af te leiden naar het gevelpaneel. De werking van de ruimte moet dan volledig veranderd worden, wat ook hinderlijk kan zijn voor de functionaliteit van het gebouw.

SYSTEEM VENTILATIE

De zonering en het huidige ventilatiesysteem in het gebouw zal in grote mate bepalen in hoeverre ventilatie-leidingen geïntegreerd moeten worden in een paneel (SchoolVenCool, 2010). Bij gebouwen waar al een centraal afvoerkanaal aanwezig is, kan zonder veel hinder in het gebouw zelf renovatiewerken plaatsvinden (waarbij het prefab paneel dan voorziet in toevoerkanalen of -rooster. Daarnaast bieden gebouwen met ongebruikte ruimtes (bv. zolder) mogelijkheden om centrale opwekkingssystemen te plaatsen (Ott, Loubus, Time, Homb, & Botsch, 2014).

2 Paneel



Welke deelaspecten komen aan bod?

Bij het ontwerp van een prefab gevelsysteem worden de volgende keuzes gemaakt:

1: Welk prefab-concept kiezen we?	Matrix
2: Ontmoetingslaag prefab-bestaand gebouw	Matrix, Aandachtspunten
3: Integratie technieken	Matrix, Aandachtspunten, Toelichting
4: Stabiliteit	Matrix
5: Aansluitingen aan andere gebouwonderdelen	Toelichting
6: Lucht- en waterdichtheid tussen panelen	Toelichting

Hoe gebruik ik de matrices?

De typologie- en prefabwijzer uit deel I vormen de bouwstenen voor alle overzichtsmatrices in dit deel. Het schema hiernaast legt uit hoe u de matrices kunt gebruiken.


Lay-out Matrix	
Gebouw-aspect	In deze rij worden de typologie-aspecten uit de typologiewijzer hernomen. U kunt met een balpen aanduiden welk aspect van toepassing is op uw gebouw



Paneel aspect	Hier worden de mogelijkheden/beperkingen gegeven aan de hand van het typologie-aspect
Voorbeelden	Verwijzingen naar één of meerdere voorbeelden uit de prefabwijzer



TOELICHTING
Bij sommige deelaspecten is extra uitleg nodig. Onder de kop 'toelichting' vindt u tekst en uitleg om bepaalde aspecten te verduidelijken
Bv. Welke oplossingen bestaan er voor luchtdichtheid? Waar moet ik op letten bij de toepassing?

Voorbeeld	
Repetitiviteit	≥ 3 variaties 



Graad van prefabricatie Modulatie	Aanpasbare module nodig, met lage prefabricatiegraad Afwegen of integratie van ramen prijstechnisch interessant is Indien één bepaald patroon (bv identieke raamopeningen) met variabelen (bv. variabele hoogte) → semi prefab overwegen
Voorbeeld	3.3; 4.1, 4.2,4.3

2.1 Welk prefab-concept kiezen we?

(Dubois & De Bouw, 2015) (Martin Y. , 2015) (Martin Y. , 2016) (Martin Y. , 2013)

HOE GEBRUIK IK DEZE MATRIX?

In deze stap is de keuze voor een grondige renovatie met prefab componenten al gemaakt. Het te renoveren gebouw voldoet niet meer aan de huidige wetgeving op het gebied van energieprestaties, leefkwaliteit en brandveiligheid. Er zijn de voorbije jaren ook geen kleine ingrepen gebeurd, zoals het vervangen van ramen of ventilatiesystemen, na-isolatie...

Duid het **gebouwaspect** aan dat bij uw situatie past en leid hieruit af welke **paneelaspecten** dit oplevert. Bij elk aspect staan voorbeelden uit de prefabwijzer (deel 1 Terreinverkenning), die u kunnen inspireren bij de keuze van een basismateriaal en afmeting.

Uiteraard zal niet ieder gebouwaspect van toepassing zijn op uw situatie, maar de matrix stelt u in staat om de krijtlijnen van het paneel vast te leggen.

TOELICHTING: Hoe bepaal ik de juiste renovatiestrategie?

Renovatie met prefab elementen is niet altijd de beste oplossing.

In onderzoeksprojecten zoals Annex 50 en E2ReBuild is een keuzetool ontwikkeld om af te wegen welke aanpak ('niets doen' – 'kleine ingrepen' – 'grote ingrepen') het meest kostenoptimaal is.

LINK: <http://era.empa.ch/faces/wizard.xhtml>

Voor scholen werd eveneens een keuzetool ontwikkeld waarmee de strategie kan bepaald worden. Naast bouwtechnische aspecten wordt ook aandacht besteed aan de waarde van een schoolgebouw. Dit wordt bepaald door de ligging, gebruik (naast onderwijs) en bereikbaarheid met het openbaar vervoer.

LINK: http://schoolrenovatie.be/be/01_homepage-be/

Doel	Renoveren gevel en schrijnwerk	Vervanging gevel (afbraakwerken)	Renovatie met kleine uitbreiding (bv. integratie balkons)	Renovatie met grote uitbreiding (bv. extra verdieping, extra ruimte)
Aandachtspunten	Fundering controleren, Adaptielaag: Vochtigheid gevel?	Draagkracht vloerplaten controleren Strategie brandweerstand gevel?	Fundering controleren Extra ondersteuning voorzien aan balkon?	Fundering controleren Veranderen de eisen op het gebied van brand, circulatie, verplichte voorzieningen?
Voorbeeld	1.1;1.2;1.3;1.4;2.2;3.1;3.2;3.3;3.4;3.5	2.1;2.3;3.1;3.2;3.5;4.1;4.2;4.4	1.2;3.1;3.2	1.3;1.4;2.3;3.3;3.5;4.1;4.2;4.3;4.4

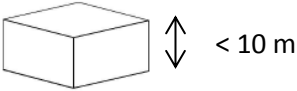
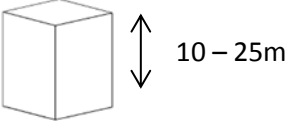
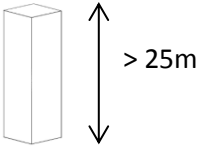
Functie (Onderbreking mogelijk?)	Nooit (zorginstelling, hotel, winkel, supermarkt...)	2 tot 7 dagen (winkel, kantoor, hotel)	7 tot 31 dagen (scholen, kantoor)	31 dagen en langer
Graad van prefabricatie Integratie Technieken Open of Gesloten systemen?	Hoge graad van prefabricatie Geen binnenwerken mogelijk Open systeem → gevelafwerking moet volledig in-situ aangebracht worden	Hoge graad van prefabricatie Binnenwerken zijn mogelijk, maar beperkt (bv. aansluiten ventilatiekanalen)	Gemiddelde graad van prefabricatie Binnenwerken mogelijk (bv. navullen van binnenuit)	Gevel kan afgebroken worden Binnenwerken mogelijk (bv. navullen van binnenuit, binnenaafwerking in-situ voorzien)
Voorbeeld	1.1;2.2, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4	2.2, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4	1.1;1.2;1.3;1.4;2.2;3.1;3.2;3.3;3.4;3.5	2.1;2.3;3.1;3.2;3.3;3.5;4.1;4.2;4.3;4.4

Locatie	Goed bereikbaar (zwaar verkeer mogelijk) en veel ruimte rondom (bv. industriezone)	Goed bereikbaar, weinig ruimte (bv. kantoor aan een rijksweg)	Slecht bereikbaar, veel ruimte (bv. landelijk gebied)	Slecht bereikbaar en nauwelijks tot geen ruimte rondom (bv. centrum in stedelijk gebied)
Werfvoorziening	Stelling mogelijk: gevel kan in-situ Aanleveren grote elementen mogelijk Stockeren grote elementen mogelijk Plaatsen kraan mogelijk Kantelen elementen mogelijk	Aanleveren grote elementen mogelijk Just-in-time levering Stelling niet mogelijk, hoogtewerker wel Indien ja, gevelafwerking kan deels in-situ Kantelen kan mogelijk niet.	Stelling mogelijk: gevel kan in-situ Levering en stockage kleine elementen mogelijk Maximale grootte elementen op traject? Kantelen elementen mogelijk	Maximale grootte elementen op traject? Snelle installatie noodzakelijk Grote prefabricatiegraad, gevel prefab Kantelen niet mogelijk
Voorbeeld	Alle	Alle	1.1-1.4,3.3,3.4,3.5,4.1,4.2,4.3,4.4	2.1,2.2,2.3,3.1,4.2




Schaal	1 gebouw (bv. < 4 verdiepingen of 5 units)	1 gebouw (bv. > 4 verdiepingen of 20 units)	1 gebouwgroep
Graad van prefabricatie	Lage prefabricatiegraad nodig Materialen die gemakkelijk in-situ aan te passen zijn	Gemiddelde tot hoge prefabricatiegraad Modulatie mogelijk in gelijke geveldelen? Maatafwijkingen?	Hoge prefabricatiegraad Modulatie mogelijk in gelijke geveldelen? Maatafwijkingen?
Voorbeeld	1.1,3.3,4.1,4.2,4.3,4.4	1.2,1.3,1.4,2.1,2.2,2.3,3.1,3.2,3.3,3.4,3.5	1.2,1.3,1.4,2.1,2.2,2.3,3.1,3.2,3.5

Repetitiviteit	<p>≥ 3 variaties</p> 	<p>Blinde zijgevels en gelijke voorgevels</p> 	<p>Alle gevels gelijk(bv. winkel)</p> 
Graad van prefabricatie Modulatie	<p>Aanpasbare module nodig, met lage prefabricatiegraad Afwegen of integratie van ramen prijstechnisch interessant is Indien één bepaald patroon (bv identieke raamopeningen) met variabelen (bv. variabele hoogte) → semi prefab overwegen</p>	<p>2 verschillende elementen Verder diversifiëren? Bv één paneel per unit met alle opwekkingsapparatuur?(ketel, luchtgroep, verdeelkast)</p>	<p>Identieke modules mogelijk in maatvoering nieuwe panelen? Toleranties opvangen?</p>
Voorbeeld	3.3,4.1,4.2,4.3,4.4	1.2,1.3,1.4,2.1,2.2,2.3,3.1,3.2,3.4,3.5	

Wetgeving - locatie	Geen beperkingen gebouwtrek	Beperkingen gebouwtrek (bv. rooilijn respecteren)
Dikte Integratie Technieken Uitbreidingen	Geen beperkingen op leidingdiameters ventilatiekanalen Horizontale uitbreidingen mogelijk	Beperkingen op leidingdiameters ventilatiekanalen Nood aan superisolerende materialen om U-waarde te halen? Open systemen waarin de adaptielaag de hoofdisolatielaag is? Geen horizontale uitbreiding mogelijk
Aandachtspunt	Bij uitbreidingen: verandering eisen voor brand, circulatie, voorzieningen gebouw?	
Voorbeeld	2.2;3.1;3.2;3.3;3.5	1.1;1.2;1.3;1.4;2.1;2.3;3.4;4.1;4.2;4.3;4.4

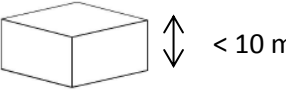
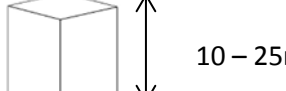
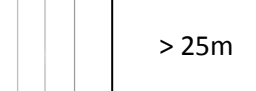



Geometrie			
Brandreactie	Gevelbekleding en -systeem : min. D-s3, d1	Gevelbekleding en -systeem: min. B-s3,d1	
Brandweerstand	Inwendig: EI 60 aansluiting vloer-gevel (enkel indien voegbreedte > 20 mm)	Inwendig: EI 60 aansluiting vloer-gevel	Inwendig: EI60 aansluiting vloer-gevel
	Uitwendig: geen eisen, tenzij bij rusthuis, ziekenhuis, school – raadpleeg brandweer	Uitwendig: Vlamdicht gevelement E60 met min. 1 m hoogte ter hoogte van compartimentsvloer OF: gevel vlamdicht E30 over de volledige hoogte OF: compartimenten aan de gevel met sprinklerinstallatie	
Voorbeeld	1.1;1.3;1.4;2.1;2.2;2.3;3.1;3.2;3.3;3.4;4.1;4.2;4.3;4.4	1.2;1.3;1.4;2.1;2.2;2.3;3.1;3.2;3.3;3.4;3.5;4.1;4.2;4.3;4.4;4.5	1.2;1.3;1.4;2.1;2.2;2.3;3.1;3.2;3.3;3.4;3.5;4.1;4.2;4.3;4.4;4.5

Vlakheid	Vlakke gevel	Geprofileerde gevel	Balkons of Loggia's
Oppervlakte paneel	Grote modules mogelijk	Opdeling in kleine modules of mogelijk om de profilering uit te vlakken?	Mogen balkons afgebroken worden? Mogen loggia's/balkons binnenruimte worden? Zo ja: grotere module mogelijk Zo nee: Vervanging balkon door systeem met thermische onderbreking
Voorbeeld	1.2;1.3;1.4;2.1;2.2;2.3;3.1;3.2;3.4;3.5	1.1;3.3;4.1;4.2;4.3;4.4	3.2 (nieuw balkon met aparte draagstructuur van staal)

Draagstructuur	<p>Massief, dragende gevel</p> 	<p>Invulelementen, dragende gevel</p> 	<p>Gordijngevel, dragende binnenstructuur</p> 
Gewicht paneel en draagstructuur	<p>Controle op draagkracht metselwerk Verspreiding puntlasten over meerdere verankeringspunten Grote kans op extra fundering voor gevelmodules</p>	<p>Invulelementen af te breken? Controle op draagkracht vloerplaten en dragende structuur gevel Zonder afbraak, extra fundering voor gevelmodules?</p>	<p>Gevelgordijn af te breken? Controle op draagkracht vloerplaten en dragende structuur gevel Zonder afbraak, extra fundering voor gevelmodules?</p>
Voorbeeld	Lichte systemen rechtstreeks dragend op massieve gevel: 1.1;1.2;1.3;1.4;3.1;3.3;3.4;3.5		Systemen met extra fundering, geen afbraak originele gevel: 2.2;3.2

2.2 Ontmoetingslaag prefab- bestaand gebouw




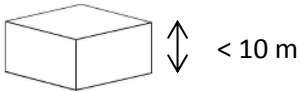
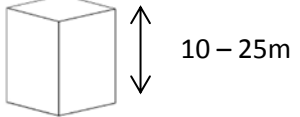
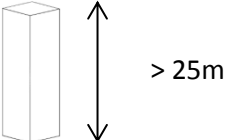
(Dubois & De Bouw, 2015) (TES EnergyFaçade, 2010-2013) (Martin Y. , 2013) (Martin Y. , 2015)

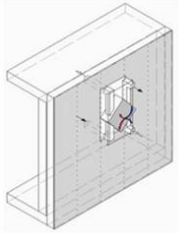
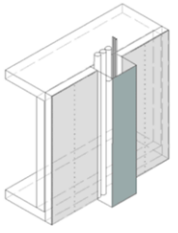
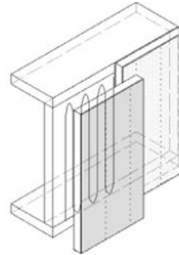
Geometrie	 < 10 m	 10 – 25m	 > 25m
Locatie-Wetgeving	Beperkte overschrijding rooilijn	Geen beperkingen	
Adaptielaag Mogelijke varianten			
Voorbeelden	Open systeem Adaptielaag = hoofdisolatielaag 1.1, 1.2, 1.3, 1.4	Gesloten systeem met substructuur 3.1;3.2;3.2;3.3;3.4;3.5	Gesloten structuur met adaptielaag 2.2

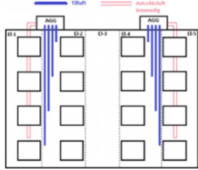
Aandachtspunten			
Volledige opvulling?	Bij grotere oneffenheden (bv. profilering, gevel uit lood) is het belangrijk om alle holtes op te vullen indien: ⇒ het gebouw ongelijk verwarmd wordt bv. gangruimte vs. verwarmd appartement ⇒ het prefab systeem zelf niet luchtdicht uitgevoerd wordt De adaptielaag verhindert dat er luchtrotaties achter het prefab paneel ontstaan door luchtlekken van buitenaf <i>Meer info : PRO³ -Testverslag: Luchtrotaties in de adaptielaag</i>		
Hygrothermie	Staat de gevel vochtig? In dat geval regendichte, dampopen folie noodzakelijk + dampscherm integreren in module + afdekken tussen afbraak en installatie nieuw paneel <i>Meer info: PRO³ -Testverslag: Hygrothermische evaluatie – Risico's bij plaatsing prefab element voor bestaande wand</i>		
Brandreactie	Bijdrage voor min. D-s3, d1 in samenstelling gevelpaneel Tenzij de laag beschermd is door een plaat met klasse K ₂ 10	Bijdrage voor min. B-s3,d1 in samenstelling gevelpaneel Tenzij de laag beschermd is door een plaat met klasse K ₂ 10	
Brandweerstand	EI60 aansluiting gevelement-compartimentsvloer (enkel als voegbreedte > 20 mm) Brandstops per bouwlaag of vlamdicht element niet verplicht, maar kan een eis zijn van de brandweer. Raadpleeg brandweer bij toepassing op rusthuis, ziekenhuis, school	EI 60 aansluiting gevelement-compartimentsvloer Brandstops in de adaptielaag is niet verplicht, maar kan een eis zijn van de brandweer Als de bestaande wand behouden blijft en voldoende vlamdicht is (bv. metselwerk, betonwand) dan hoeft de adaptielaag en prefabelement geen deel uit te maken van het vlamdicht element om uitwendige brandoverslag te vermijden	
Uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Hoogtebeperking door installatie voor navulling. Bij gebouwen hoger dan 10m moet de inblaasapparatuur mogelijks binnen opgesteld worden. Controleer bij de uitvoerder! • Positie navulopeningen te bepalen op basis van nauwkeurige opmeting onregelmatigheden gevel • Folie rondom raamopeningen en aan de rand van de panelen voor luchtdichtheid en goede opvulling met • Densiteit volgens de technische fiche isolatiemateriaal (WTCB TV 246, 2012) 	<ul style="list-style-type: none"> • Substructuur versnelt de plaatsing van de panelen zelf. • De vloerplaten van het gebouw zijn bij voorkeur bereikbaar voor de installatie van de substructuur. • Indien navullen van holte: binnenwerken noodzakelijk + nauwkeurige meetdata onregelmatigheden voor bepaling navulopeningen • Densiteit inblaasisolatie volgens technische fiche (WTCB TV 246, 2012) • Densiteit (matten) tussen 20 en 30 kg/m³ (Langmans, 2013) 	Adaptielaag met variabele dikte Voldoende compressiekracht gebruiken bij plaatsing ρ (matten) tussen 20 en 30 kg/m ³ (Langmans, 2013)

2.3 Integratie technieken

(TES EnergyFaçade, 2010-2013) (Dubois & De Bouw, 2015) (Martin Y. , 2015) (Zemitis, Borodinecs, Geikins, Kalamees, & Kuusk, 2016)

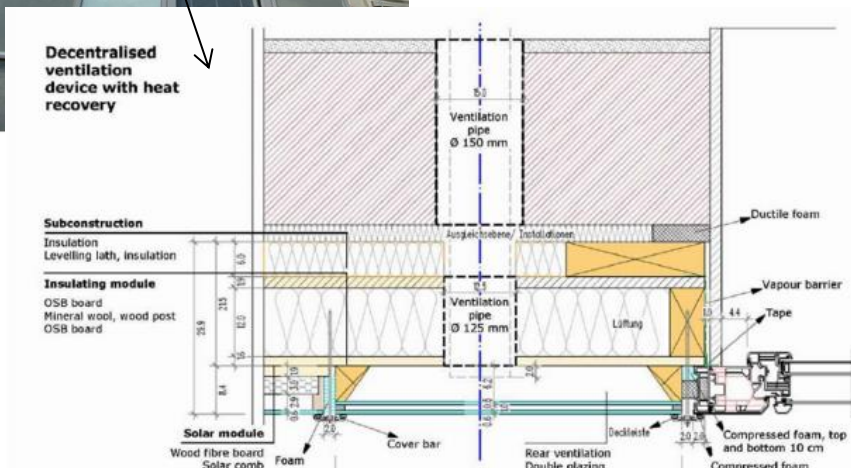
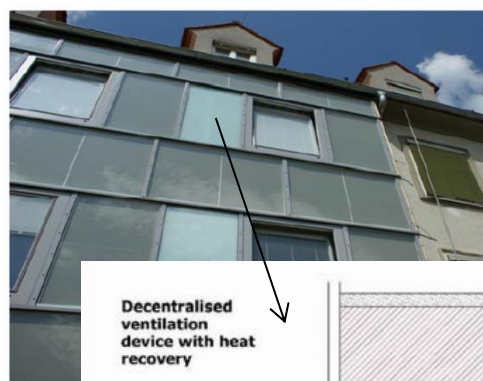
Functie (Onderbreking mogelijk?)	Woningen, gebouw met aparte units Beperkte binnenwerken (aansluiting apparaat)	Woningen, scholen, ziekenhuis Beperkte binnenwerken (aansluiting leidingen)	Scholen, Kantoorgebouwen, ziekenhuis
Schaal	1 gebouw (bv. > 4 verdiepingen of 20 units) 	1 gebouwgroep  	
Geometrie	 < 10 m	 10 – 25m	 > 25m
Toestand technische installaties	Variërende en beperkte debieten per unit, individuele sturing	Constante, beperkte debieten per unit, centrale sturing	
Systeem Ventilatie	Geen centrale uitrusting of volledige vervangen bestaande apparaten	Centrale invoer en/of afvoerapparaten aanwezig (of plaats hiervoor)	

Mogelijke concepten	Concept 1: Decentraal unit-module	Concept 2 : Leidingen en centrale opwekking	Concept 3: Oppervlakte – opwekking en/of afgifte
	bv. kleine warmtewisselaar, boiler, luchtgroep, condensatieketel, ... 	Kanalen voor ventilatie, elektro (aansturing zonnepanelen) en datakabels 	Afgifte: Leidingen voor warm-water (wandverwarming via leidingen in de adaptielaag of in een voorzetwand) Opwekking: fotovoltaïsche cellen 

Aandachtspunten			
Maatafwijking	Beperkte maatafwijking toegelaten + afmetingen aansluitingen binnen noodzakelijk		
Configuratie leidingen (Ingenieur Technieken mee in het bouwteam!)	Korte leidinglengtes mogelijk door nabije afstand opwekkingsapparaten	 Horizontale vertakkingen vermijden (Ott, Loubus, Time, Homb, & Botsch, 2014)	Hogere gebouwen → hoger rendement PV-installatie want minder kans op schaduw
Uitvoering	Bij integratie in module: dikte modules beperken met superisolerende materialen Bij aparte module: Dikte afhankelijk van de randvoorwaarden (afwijking in paneeldikte toegelaten?)	Dikkere isolatie of super-isolerende materialen: Ja, indien risico op condensatie in de leidingen Neen, indien randvoorwaarden lokale verdikking toelaten	Indien er cv-leidingen in de adaptielaag zitten: goede aansluiting rondom om luchtholtes te vermijden
Leidinglengte – en diameter	n.v.t.	Leidinglengte afwegen t.o.v. verlies rendement bv. bij systeem D $\varnothing_{\text{kanaal}} = \text{Breedte isolatielaag} - 2 \cdot 60 \text{ mm}$ (Ott, Loubus, Time, Homb, & Botsch, 2014)	Bij afgiftepanelen: weegt de afstand van opwekkingsunit naar afgiftepunt op t.o.v. verlies rendement
Brandoverslag door leidingen	n.v.t.	Koppeling naar binnen: maatregelen vereist indien binnen 1 m vlamdicht element Leidingen in de lengte van het paneel, binnen vlamdicht element: dikte rotswol moet 19 cm blijven, excl. ruimte leidingen	
Akoestiek aandachtspunten	Installatiegeluid, omgevingsgeluid	Bij woningen: Aansluiting per appartement om onderlinge geluidsoverdracht te verhinderen. Mogelijks kan de luchtsnelheid hoger liggen door de integratie in het gevelement (als de gevel behouden blijft) Watertoevoerleidingen in massieve wand: met kunststofmantel of in leidingenspouw tussen wand en voorzetwand (De Geetere, 2015) Waterafvoerleidingen in panelen geven meer geluidsoverlast, af te raden in paneel (De Geetere, 2016)	

Concept 1: Unit-module

Annex 50 – GAP solution – Graz (voorbeeld 3.1)



Figuur 15 Snede decentraal ventilatiesysteem (TES EnergyFaçade, 2010-2013)

In Graz staan 11 identieke woonblokken van 4 bouwlagen uit de jaren 50. De gebouwen waren in slechte staat: geen isolatie, enkel glas en plaatselijke elektrische verwarming. Een renovatie drong zich op, maar er was geen mogelijkheid om de huurders elders te huisvesten. Prefab renovatie was hier de juiste oplossing om de woonblokken aan te pakken.

De panelen werden uitgerust met een decentraal ventilatiesysteem met warmterecuperatie (rendement 75%). Per kamer is een toe- en afvoerkanal voorzien, naast het raam (Figuur 15, Figuur 16a). De gaten werden tijdens de installatie van de adaptielaag aangebracht, hoewel de muur niet volledig doorboord werd. Na de montage werd het boorgat langs de binnenkant vervolledigd en afgewerkt.

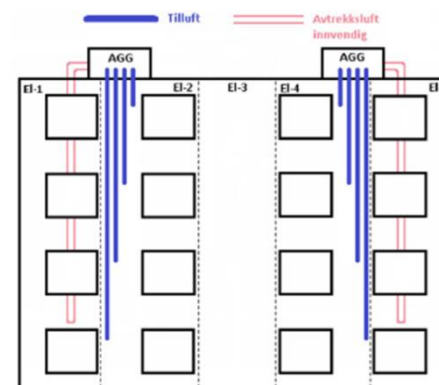
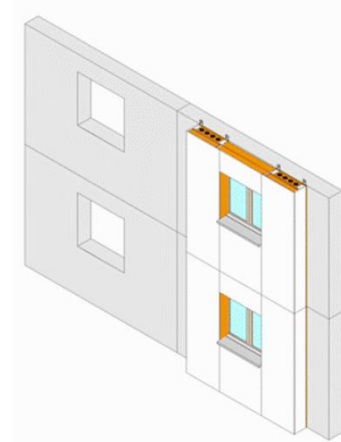
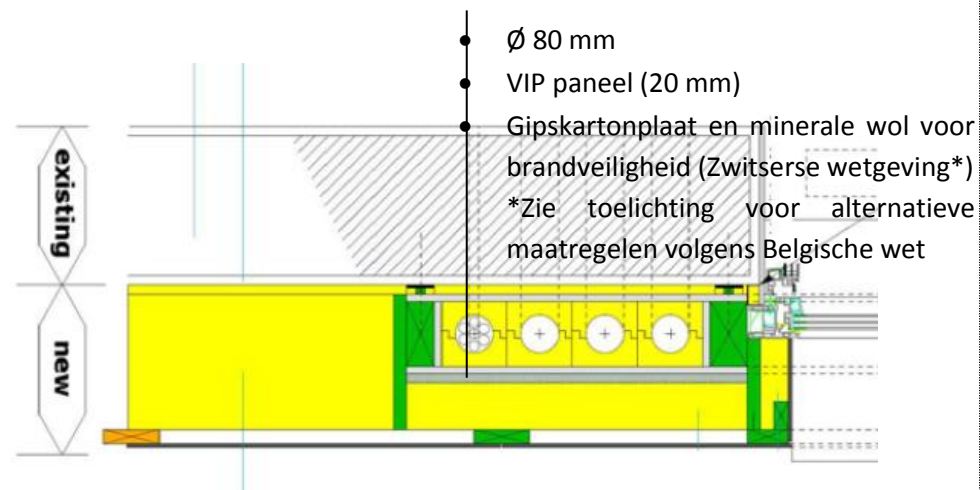
In het paneel werden wel al kanalen voorzien voor toe- en afvoerlucht (Figuur 16b).



Figuur 16 (a)Gaten in de bestaande gevel voor de aansluiting van de compacte warmtewisselaar.(b) Leiding naast het schrijnwerk in het paneel (TES EnergyFaçade, 2010-2013)

Concept 2: Leidingen

Annex 50-Zwitserse module (voorbeeld 3.3)



Gebruik van rotswol rondom de ventilatieleidingen voor brandveiligheid (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)



Verbinding met Push-fit systeem (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)



Concept 3: Oppervlakte-opwarming en/of afgifte

Annex 50 – GAP solution – Afgifte (voorbeeld 3.1)

Verwarming via gevelement
Zonnecollectoren met zuidoriëntatie + warmtepomp per blok (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)



Verwarming via de gevel



Zonnepanelen voor Huishoudelijk warm water (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)

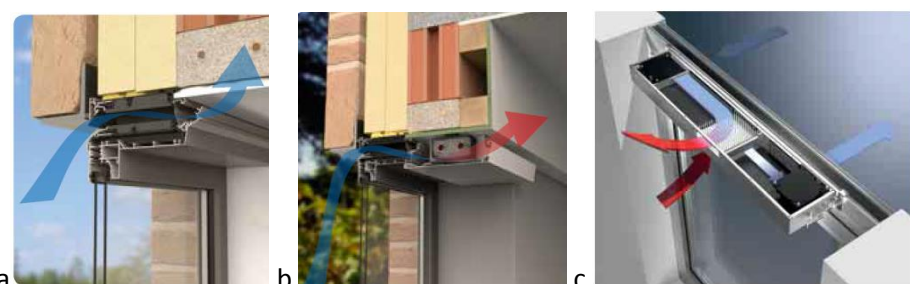


TOELICHTING: Integratie oplossingen uit de Vlaamse bouwsector en onderzoeksprojecten

COMPACTE BRON- EN AFGIFTE APPARATEN

Ventilatie

Voor compacte ventilatie-apparaten biedt de markt verschillende oplossingen. De meest gekende is allicht het gebruik van een toevoerrooster boven of naast een raam. Met een eenvoudige klep aan het rooster kan het toevoerdebiet verhoogt of verlaagt worden wat bv. interessant is voor leslokalen of landschapskantoren (Figuur 17a). Sommige roosters zijn voorzien van een zelfregelende klep, waardoor het debiet in verschillende winddrukken toch constant blijft (Renson, 2016). Toevoerroosters kunnen ook uitgerust worden met een voorverwarmingssysteem (Figuur 17b) (Renson, 2016) of een warmtewisselaar (Figuur 17c) (Schüco, 2016). In combinatie met mechanische afvoer (bv. via bestaande centrale koker naar het dak in vochtige ruimtes) kan ventilatiesysteem C gerealiseerd worden.



Figuur 17 (a) Toevoer-unit met manuele klep (Renson, 2016) (b) Toevoer-unit met voorverwarmingssysteem (Renson, 2016). (c) Decentraal ventilatie-unit boven ramen met warmterecuperatie van Schüco (Schüco, 2016) (toepasbaar met voorbeeld 3.4)

Voor afvoerapparaten in het ventilatiesysteem zijn eveneens compacte oplossingen beschikbaar op de markt. Een voorbeeld van een zeer compact systeem heeft een volume van 700 x 600 x 180 mm³ en een maximaal ventilatiedebiet is 325 m³/h bij 200 Pa (Figuur 18a) (Renson, 2016).

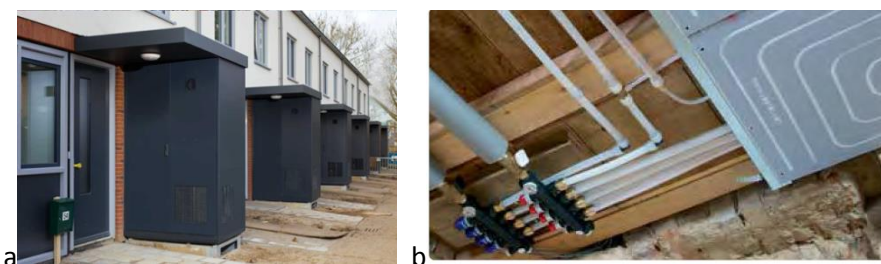


Figuur 18 (a) compacte luchtgroep (Renson, 2016) (b) Klep voor mechanische afvoer met CO₂ en H₂O detectie voor een vraag gestuurde afvoer (c) Decentraal ventilatiesysteem met een compact in- en afvoerapparaat met warmterecuperatie (Schüco, 2016).

Er zijn ook afvoerapparaten die tussen twee leidingen kunnen geïntegreerd worden en zo voorzien in een vraaggestuurde mechanische afvoer (CO₂ en H₂O detectie)(Figuur 18b) (Renson, 2016). Voor integratie in gevels ontwikkelde Schüco een mechanisch in- en afvoerapparaat met warmterecuperatie(Figuur 18c). De afmetingen bedragen 860 x 710 x 140 mm³ en het biedt een maximum ventilatiedebiet van 100 m³/h aan (Schüco, 2016).

Verwarming, water en elektriciteit

Naargelang de staat van de bestaande technische installaties kan het interessant zijn om één module te voorzien waarin de voornaamste opwekkingsapparatuur in zit: bijvoorbeeld een warmtepomp, een buffervat en een warmterecuperatie-unit voor de ventilatie. Door integratie in een aparte module zijn deze apparaten vanaf de buitenkant toegankelijk waardoor het onderhoud in de toekomst de gebruiker ook niet langer hindert. Ook indien er geen plaats is voor een centraal systeem, kunnen deze plug-and-play modules een oplossing bieden (Nathan, 2016) (Figuur 19a).



Figuur 19 (a) Energiemodule van Nathan met Hr-ketel en tellers voor water en elektriciteit (Nathan, 2016) (b) aansluiting wandverwarming, systeem (Uponor Renovis, 2016).

Voor verwarming bestaan er dunne wandelementen die tijdens de prefabricatie aan het binnenoppervlak van het paneel kunnen geplaatst worden. Indien de verwarmingsbuizen direct aan de binnenruimte grenzen (bestaande gevel werd afgebroken), kunnen ze ongeveer 120 W/m² afgeven, op bedrijfstemperaturen van 35°C. Deze systemen kunnen ook ingezet worden voor koeling. De leidingen zitten geïntegreerd in panelen van 15 mm dik (Uponor Renovis, 2016)(Figuur 19b).

AFMETINGEN EN DOORSNEDES LEIDINGEN IN PANELEN

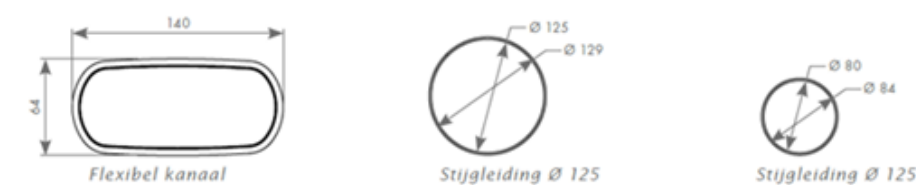
Ventilatie

In TES Energy Façade wordt aangeraden om de doorsnede van ventilatiekanalen rechthoekig en zo compact mogelijk te nemen. Als een houten frame 200 mm breed is, kunnen er leidingen met 80 mm doorsnede geïntegreerd worden. De leidingen moeten immers minimaal 50 mm geïsoleerd zijn van het buitenklimaat om de warmteverliezen onder 0.10 W/mK per lopende meter kanaal te krijgen (Ott, Loubus, Time, Homb, & Botsch, 2014).

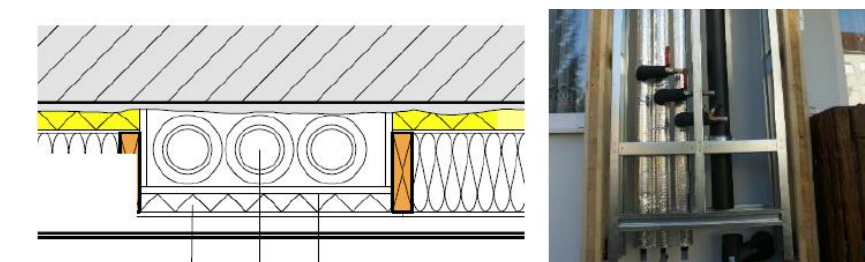
Indien we deze principes toepassen op de beton SIP's uit voorbeeld 2.1 (15 cm PIR), dan mogen de diameters/breedtes slechts 30 mm omvatten. Bovendien zijn de ankers tussen het binnen- en buitenspouwblad in een nauw raster geplaatst (typisch 500 x 500 mm) wat maakt dat de ventilatiekanalen niet eender waar kunnen geplaatst worden. Bij smallere ventilatiekanalen zal de luchtsnelheid in de ventilatiekanalen zeer hoog liggen en moet gecontroleerd worden in hoeverre een betonplaat of een CLT-plaat het lawaai

kunnen dempen. Bij integratie in het binnenspouwblad (standaard 120 mm dik) is er bij beton een dekking van 30 mm vereist op de wapening en is de locatie van het kanaal afhankelijk van de plaatsing van de wapening in de plaat (Van Mieghem, 2015).

Op de markt worden doorgaans ronde of ovale kanalen aangeboden (Figuur 20) (Renson, 2016). Daarbij wordt ook gestreefd naar een compacte vorm om integratie in vloeren en wanden mogelijk te maken. Indien de leidingdiameters te groot worden, is er nog altijd een optie om leidingkanalen tussen de prefabpanelen te voorzien. Dit vergemakkelijkt het onderhoud, maar vergt meer in-situ werk omdat in die gevallen (een gedeelte van) de gevelbekleding achteraf moet geplaatst worden (Figuur 21).



Figuur 20 Compacte leidingdiameters voor een systeem dat kan geïntegreerd worden in vloeren of een voorzetwand (Renson, 2016).



Figuur 21 Ventilatieleidingen tussen prefab panelen in (Dubois & De Bouw, 2015)

Verwarming

Buisdiameters voor cv-installaties met stalen buizen variëren tussen 12,5 mm tot 159,3 mm (WTCB Rapport nr 14, 2013). Hoe smaller de diameter, hoe groter de drukverliezen waardoor de circulatiepomp ook hogere debieten moet leveren.

Voor sanitair warm water-leidingen moet de snelheid beperkt van het water beperkt worden tot 2 m/s om corrosie te vermijden (WTCB TV 245, 2012). De inwendige diameter wordt als volgt berekend:

$$d = 4.6 \times \sqrt{\frac{q}{v}}$$

d = inwendige diameter (mm)

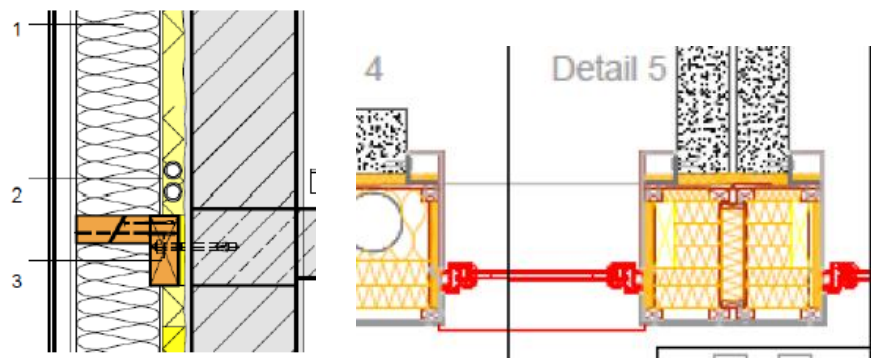
q = piekdebiet (l/mm)

v = watersnelheid (2 m/s)

Elektro

Wegens de beperkte diameters, kunnen elektrische leidingen heel gemakkelijk geïntegreerd worden, zowel in de substructuur (bv. holle profielen in systeem 3.4) als in de adaptielaag (3.5, Figuur 22a) of in de

dagkant van het raam (Van Mieghem, 2015). Daar kan bv. een kabelgoot van 200 x 60 mm in de dagkant van het raam voorzien worden, waarin 36 kabels met elk 12.2 mm doorsnede kunnen geplaatst worden (Figuur 22b). Dikwijls is dit nodig als er weergestuurde zonnewering voorzien is, of bij elektrische rolluiken. Ook PV-panelen kunnen hierop aangesloten worden.

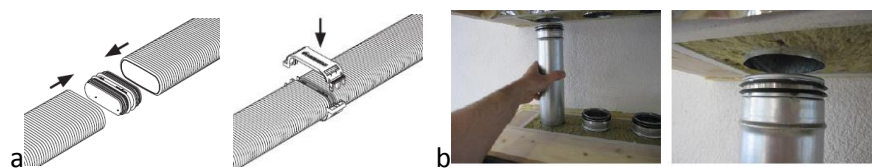


Figuur 22 (a) Beperkte leidingdiameters zoals bv. van elektro kunnen in de adaptielaag geïntegreerd worden (TES Energy Façade, 2008). (b) Kabelgoten kunnen in de dagkant van een raam verborgen worden (Van Mieghem, 2015)

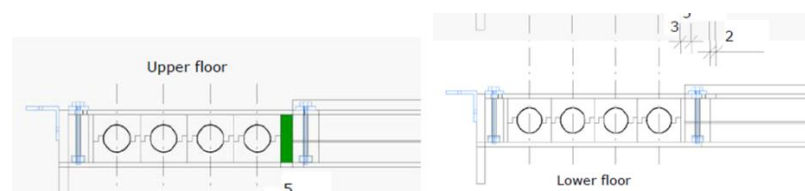
KOPPELING TUSSEN KANALEN

Ventilatie

Ventilatiekanalen zijn het vlotst te verbinden met een push-fit systeem. De leidingen kunnen hierbij zowel in elkaar schuiven (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011), maar het is ook mogelijk om een extern sluitingsstuk te klikken op de aansluiting tussen twee buizen (Renson, Easy Flex System, Figuur 23). Een belangrijk aandachtspunt is dat de leidingen perfect op elkaar gealigneerd zijn (bv Figuur 24) en dat de push-fit verbindingen een zekere tolerantie aanbieden zodat de leidingen van panelen die 2 mm te ver geplaatst zijn, toch mooi kunnen aansluiten op de leidingen van de panelen die al bevestigd zijn.



Figuur 23 (a) Push-fit systeem met een extern koppelstuk (Renson, 2016) (b) Push-fit systeem waarbij de leidingen in elkaar geschoven worden, voorbeeld 3.3 (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)



Figuur 24 Methode om toleranties op te vangen bij de aansluiting tussen ventilatiekanalen (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)

Verwarming

De TVN 245 laat enkel gesoldeerde koppelstukken of persfittingen toe voor koperen leidingen geïntegreerd in wanden, bij leidingen voor sanitair warm

water (Figuur 25). Bovendien moeten de aansluitingen de thermische uitzetting (ΔL) van de koperen leidingen opvangen. Die kan met de onderstaande formule berekend worden (WTCB TV 245, 2012).

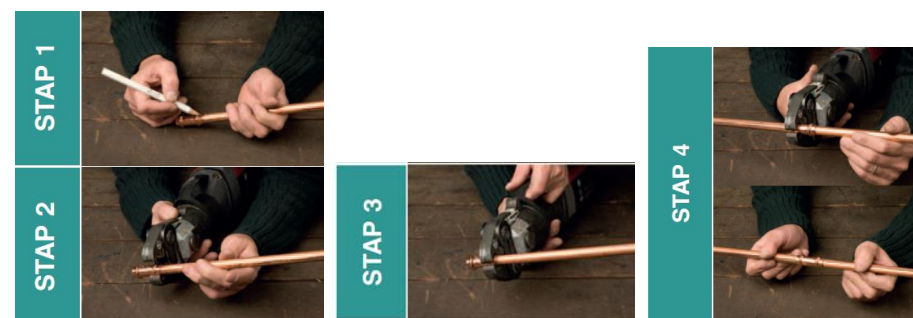
$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T$$

L = buislengte

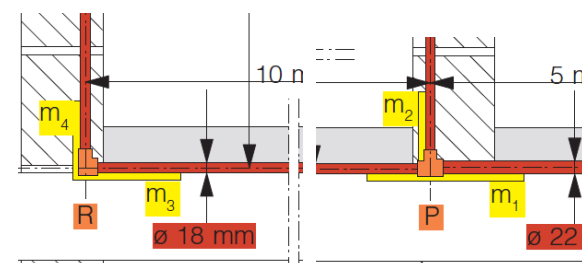
$\alpha = 0.01 \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$ (Lineaire thermische uitzetting koper)

ΔT = temperatuurverschil

De uitzettingsrichting kan gecontroleerd worden door op vaste punten voldoende ruimte te voorzien (Figuur 26). Die vaste ruimtes moeten bereikbaar blijven voor onderhoud. In het geval van prefab panelen kan dit bv. aan de raamaansluiting zijn of ter hoogte van een voeg (WTCB TV 245, 2012).



Figuur 25 Uitvoeringsstappen Persfitting koperen leidingen (WTCB TV 245, 2012).



Figuur 26 Voorbeeld van uitzettingspunten (WTCB TV 245, 2012)

Elektriciteit

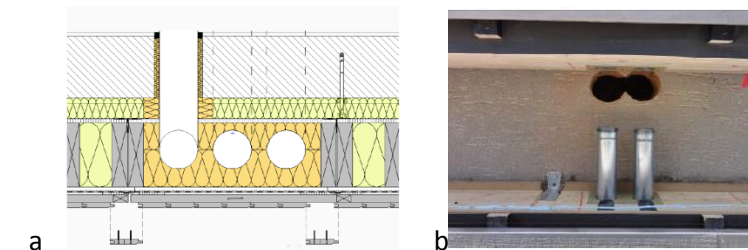
Bij elektrische kabels moeten de verbindingen te allen tijde toegankelijk blijven via een luik of een stopcontact. Bij zwakstroominstallaties (telefonie, internet) is toegankelijkheid van verbindingen niet nodig.

De meters moeten echter te allen tijde toegankelijk zijn en op een centrale plaats (in de gang, kelder) zodat de netbeheerder deze gemakkelijk kan inspecteren.

KOPPELING NAAR BINNEN

Bij de koppeling naar binnen is binnenwerk noodzakelijk. Bij de aansluiting van leidingen en bronapparaten op een afgifte-unit in een appartement of lokaal zullen de binnenwerken beperkt zijn tot het boren en afwerken van een gat en het plaatsen van het afgifte apparaat of verdeelbord/apparaat (Figuur 27). Het is ook mogelijk om leidingen verder te vertakken in de

binnenomgeving, indien dit toegelaten is. Op die manier is het aantal leidingen in het paneel beperkt.



Figuur 27 (a) Voorbeeld van een aansluiting naar binnen met omkasting van de ventilatieleiding in minerale wol om brandweerstandklasse EI30 te halen (b) gaten in de originele gevel (TES EnergyFaçade, 2010-2013)

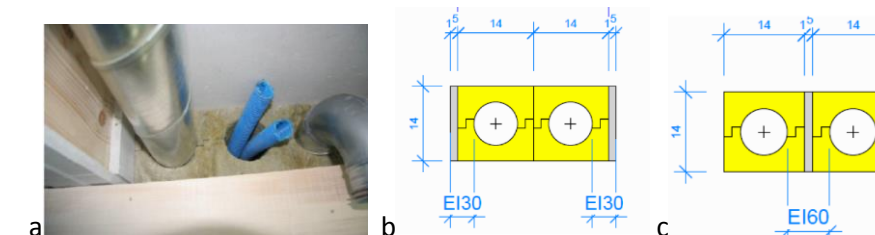
BRAND

Indien de leidingen of doorvoeringen naar binnen zich binnen het vlamdicht element van 1m hoog bevinden, moet de brandoverslag via de kanalen ook vermeden worden. Bij doorvoeringen naar binnen zijn de volgende maatregelen noodzakelijk (WTCB TV 254, 2015):

- Brandkleppen of manchettes voor ventilatiekanalen
- Opzwellende mof voor waterleidingen

Voor leidingen die in het paneel geïntegreerd zijn (concept 2), binnen het vlamdicht element, zijn de maatregelen afhankelijk van hoe het vlamdicht element samengesteld werd. Indien gerekend wordt op de isolatiematerialen om de vereiste brandweerstand te halen, moet een minimumdikte van 19 cm isolatie aanwezig zijn (excl. afmetingen van de kanalen). Bijkomend kunnen de kanalen voorzien zijn van brandwerende coatings of bekledingen, of kan het kanaal zelf opgebouwd worden uit een brandwerend kanaal met brandreactie A (WTCB TV 254, 2015).

In case 3.3 werden de kanalen geplaatst in een omkasting van minerale wol van 60 mm. Hiermee werd een brandweerstand van EI30 bereikt Tussenschotten in gipskarton (min. 12.5mm dik) kunnen de brandweerstand nog verder verhogen naar EI60 (Figuur 28) (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011) (TES EnergyFaçade, 2010-2013).



Figuur 28 (a) Leidingen zijn omhult door rotswol met aan de zijkant een plaat in gipskarton (b) brandweerstand EI 30 (c) Brandweerstand EI 60 (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011)

Bij de oplossing op Figuur 28 is er echter nog één belangrijke opmerking. Om te voldoen aan de eisen uit het Koninklijk besluit, moet een brandwerende klep in het kanaal voorzien worden als deze zich binnen het vlamdichte element van 1 m bevindt.

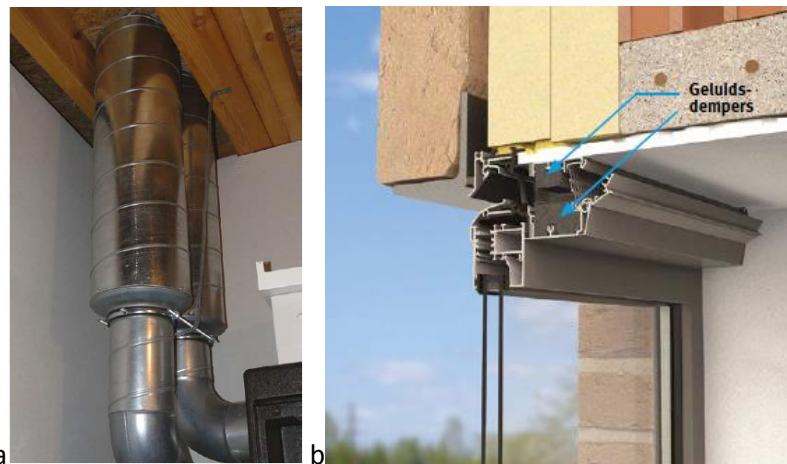
AKOESTIEK

Omwille van akoestische redenen is het aanbevolen om de water- of luchtsnelheid in leidingen te beperken. Voor waterleidingen wordt een maximumsnelheid van 1.5 m/s in verticale kokers gehanteerd (De Geetere, 2015). Voor luchtsnelheden in ventilatiekanalen moet de luchtsnelheid in de eindleiding (vertakking tussen paneel en binnenruimte) laag genoeg liggen zodat het ventiel ook niet teveel lawaai veroorzaakt. Tabel 2 geeft de richtwaarden weer.

Tabel 2 Aanbevolen en maximale luchtsnelheden in ventilatiekanalen (WTCB Rapport 15, 2015)

Luchtsnelheid (m/s)	Woningen		Kantoren/Scholen	
	Aanbevolen	Maximale	Aanbevolen	Maximale
Begingedeelte (Niet door bewoonde ruimten)	4	6	6	6
Gedeelte door bewoonde ruimten	3	4	4.5	6
Eindgedeelte	1.5	2	2	4

Indien er centrale luchtgroepen of lokale ventilatoren in het paneel geplaatst worden (zie bv. concept 1, p 25), kunnen geluidsdempers noodzakelijk zijn om de geluidshinder te beperken. Geluidsdempers voor centrale systemen worden bij voorkeur geplaatst waar het hoofdkanaal (komende van de luchtgroep) de technische ruimte doorboort. Met een lengte van 0.9 m en een absorberend materiaal van min. 50 mm dikte zou de geluidshinder voldoende beperkt moeten zijn (bv. Figuur 29a) Bij kleinere ventilatie-units wordt doorgaans gebruik gemaakt van geluidsabsorberende materialen rondom de opening (bv. Figuur 29b) (WTCB TV 258, 2016).



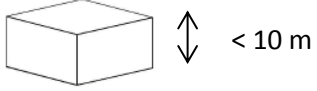
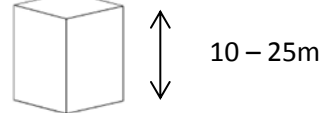
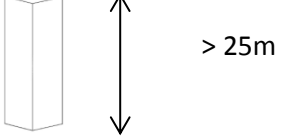
Figuur 29 (a) voorbeeld van een primaire geluidsdemper aan het hoofdkanaal (tussen centrale luchtgroep en verdeelkanalen) (b) voorbeeld van geluidsdempers in een lokaal toevoerrooster (WTCB TV 258, 2016)

In het onderzoeksproject PRO³ werd de integratie van ventilatiekanalen in een hout- en staalskeletelementen geëvalueerd. O.a. de kans op condensvorming in en aan de kanalen en de kans op schimmel aan het binnenoppervlak bij koude lucht werd geëvalueerd.




De resultaten zijn te lezen in het [PRO³-onderzoeksrapport 'Potentieel van integratie van HVAC in prefabpanelen'](#).

2.4 Stabiliteit

(Dubois & De Bouw, 2015) (TES EnergyFaçade, 2010-2013) (Martin Y. , 2013)

Aspect 1: Geometrie	 $< 10\text{ m}$	 $10 - 25\text{ m}$	 $> 25\text{ m}$
---------------------	---	---	--

KB 7/7/1994	Tertiaire gebouwen: De panelen moeten onafhankelijk verankerd worden aan de gevel OF aan een substructuur die ter hoogte van ieder bouwlaag verankerd wordt (Dimensionering windankers van de substructuur controleren in brandtoestand)		
Brandweerstand verankering	Alle wind- en steunankers R60 beschermd		

Aspect 2: Draagstructuur	Massief, dragende gevel 	Invulelementen, dragende gevel 	Gordijngevel, dragende binnen structuur 
--------------------------	---	---	--

Aandachtspunten	Draagsterkte onderzoeken van metselwerk en eventuele vloerplaten/raamlateien Kunnen de verticale lasten door de gevel opgevangen worden? Fundering onder de gevel sterk genoeg?	Mogen de invulelementen eruit? (functieonderbreking) Draagstructuur gevel sterk genoeg? Fundering onder de gevel sterk genoeg voor bijkomende belasting?	Mag de gevel afgebroken worden? (functieonderbreking) Draagstructuur vloerplaten sterk genoeg? Fundering sterk genoeg voor bijkomende belasting?
-----------------	---	--	--

Worst case
→
Best case

Opties Fundering	Fundering is te zwak (of) het is praktischer om een extra fundering te voorzien Extra fundering naast de oorspronkelijk		Fundering is sterk genoeg Gebruik een basislatei om de plaatsing van de panelen te vergemakkelijken + contact met de grond verhinderen	
Voorbeelden	2.2;3.2		1.1;1.2;1.3;1.4;2.1;3.1;3.3;3.4;3.5	
Opties Verankering	Gevel kan geen geconcentreerde belasting aan Horizontale lasten verspreiden via substructuur op de gevel Verticale lasten via substructuur op bijkomende fundering Let wel: Substructuur moet verankerd blijven aan de gevel bij brand. Dimensionering windankers controleren in brandtoestand.		Gevel kan enkel horizontale belasting aan Wind-ankers per paneel	
	Verticale lasten via paneel naar basislatei (bij sterke fundering)	Verticale lasten dragen af op substructuur naar bijkomende fundering Substructuur moet blijven staan tijdens brand	Gevel kan horizontale en verticale belasting aan Wind- en steunankers per paneel + basislatei onderaan de gevel voor de uitlijning	
Voorbeelden	1.1;1.2;1.4;2.2;3.4		3.2	
Voorbeelden	1.3;2.1;3.1;3.3;			

TOELICHTING

Bij het analyseren van de draagkracht van de originele fundering en gevel moet het bouwteam de volgende zaken al weten over het prefab paneel:

Basismateriaal paneel	Welk gewicht kan ik verwachten?
Oppervlakte paneel	Locatie verankeringspunten?
Dikte paneel	Moment op de verankering?

Met deze gegevens kan afgetoetst worden of de bestaande constructie de nieuwe panelen kan dragen. Om dit te analyseren kan er een visuele inspectie uitgevoerd worden met een endoscoop of pachometer (lokalisering wapening), of een destructief onderzoek. De originele uitvoeringsplannen zijn in deze fase goud waard, omdat deze representatiever zijn dan de architecturale plannen om de geometrie en vorm van de fundering te achterhalen (Dubois & De Bouw, 2015).

Naast de draagkracht van de originele structuur en fundering, moeten in deze fase ook de volgende gevelaspecten in kaart gebracht worden om de verankering te berekenen en te bepalen welke methode (puntsgewijs of lineair) van toepassing is.

Draagstructuur gevel	Behouden of afbreken?
Vlakheid gevel	Onregelmatige gevel?

Indien (delen van) de gevel niet afgebroken kunnen worden, moet het gevelmateriaal geïnspecteerd worden op trek- en druksterkte. De windbelasting kan naast drukkrachten ook zuigkrachten uitoefenen op de gevel. Indien de gevel geen geconcentreerde trek- of drukbelasting aankan, kunnen de lasten met een substructuur gelijkmatig verspreid worden over het geveloppervlak. Bij afbraak van (delen van) de gevel kunnen de vloerplaten gebruikt worden om te verankeren. Ook dan moet gekeken worden of de originele vloerplaten geconcentreerde horizontale trek- en druk en verticale belasting aankunnen.

Vermijd kolommen om gevelelementen in te verankeren. Kolommen zijn doorgaans ontworpen om verticale puntlasten op te nemen. De horizontale lasten worden via de vloerplaten overgedragen naar een stijve kern in het midden van het gebouw. Kolommen aan de gevel zijn doorgaans dus niet berekend op het moment dat een verankerd gevelelement kan opleggen (Cordy, 2016).

Het al dan niet vlak zijn van de gevel heeft vooral gevolgen voor de berekening van de ankers zelf. Standaard wordt met een tussenafstand van 40 mm gerekend tussen het paneel en de draagstructuur (breedte adaptielaag), maar in de praktijk kan dit een tussenafstand tussen 0 en 70 mm zijn. Hoe groter de tussenafstand, hoe groter het moment op de ankers (Cordy, 2016). Bij een gevel met een zeer onregelmatig oppervlak, zal er dus veel meer rekenwerk zijn omdat ieder anker een verschillend moment moet opvangen. In theorie kan gekeken worden of een standaardanker mogelijk is,

maar in de praktijk is het echter gangbaar om ieder ankerpunt apart uit te rekenen (Cordy, 2016).

STANDAARD ANKER MOGELIJK?

Typisch wordt in Vlaanderen voor het verankeren van houten prefab gevelpanelen van het caisson-type een individueel ontworpen Z-vormige steun gebruikt die op de rand van de vloerplaat wordt bevestigd. De steunen worden aangebracht op vaste afstanden licht uitkragend ten behoeve van de eisen voor brandveiligheid. Omwille van de noodzakelijke hoogteregeling worden deze individueel in 3 richtingen op de correcte positie afgeregeld.

Wanneer een uitvoerder op de werf geconfronteerd wordt met een groter dan verwachte uitkraging, dan zijn er verschillende mogelijkheden. Een eerste mogelijkheid voorziet in steunen met sleufgaten om een beperkte tolerantie op te vangen en een meer uitkragende plaatsing. Hierdoor vergroot de uitwendige hefboomsarm, maar blijft de inwendige hefboomarm, tussen drukpunt en ankerbouten gelijk. In een tweede mogelijkheid worden de steunen zonder meer met een grotere uitkraging geplaatst. Hierdoor vergroot de uitwendige hefboomsarm en verkleint tegelijk de inwendige hefboomarm tussen drukpunt en ankerbouten. Bij een derde mogelijkheid wordt de tolerantie opgevangen in de bovenste horizontale plaat. Deze wordt verlengd en eventueel voorzien van bijkomende boorgaten voor de verankering. Er dienen eventueel houten pastukjes voorzien. Bij deze oplossing vergroot het buigend moment de bovenste plaat en de uitwendige hefboomsarm. Tenslotte kan er gebruik worden gemaakt van een grotere steun, die in staat is om grotere toleranties, bijvoorbeeld tot 40mm op te vangen.

Hoe de ankerkrachten en de spanningen in verschillende kritieke punten van de verankering variëren in functie van de werkelijke uitkraging wordt aan de hand van een vereenvoudigd rekenmodel en een parameterstudie uitgelegd in het [PRO³-onderzoeksrapport 'Structurele aspecten'](#).

Uit deze studie blijkt duidelijk dat de in- en uitwendige krachtwervingen zeer snel toenemen (+50%) zelfs bij een beperkte toename van de uitkraging van 20 naar 40mm zonder verdere maatregelen (mogelijkheid 2). Veel beperkter toenames kunnen worden gerealiseerd bij oplossingen 1 en 3, alhoewel deze toenames altijd aanwezig zullen zijn en best opgenomen in het ontwerp. Oplossing 4 is uiteraard in alle gevallen toepasbaar maar zal de kostprijs per anker in grote mate doen toenemen.

Een alternatief voor dergelijke individueel berekende en geproduceerde ankers is een gordijngevel hoekijzer (bijv. ACW via <http://www.strongtie.be>). Dit voorziet in een mogelijkheid tot excentrische plaatsing evenwel tot een maximum van 30mm. Echter is het opzet van de montage fundamenteel verschillend. De elementen kunnen nu geen tijdelijke steun vinden op de horizontale plaat en er dient onderzocht hoe de verankering van een paneel op een onderliggende verdieping kan gebeuren.

VERANKERINGSWIJZE

Ten slotte zal het originele gevelmateriaal ook bepalen op welke wijze kan verankerd worden:

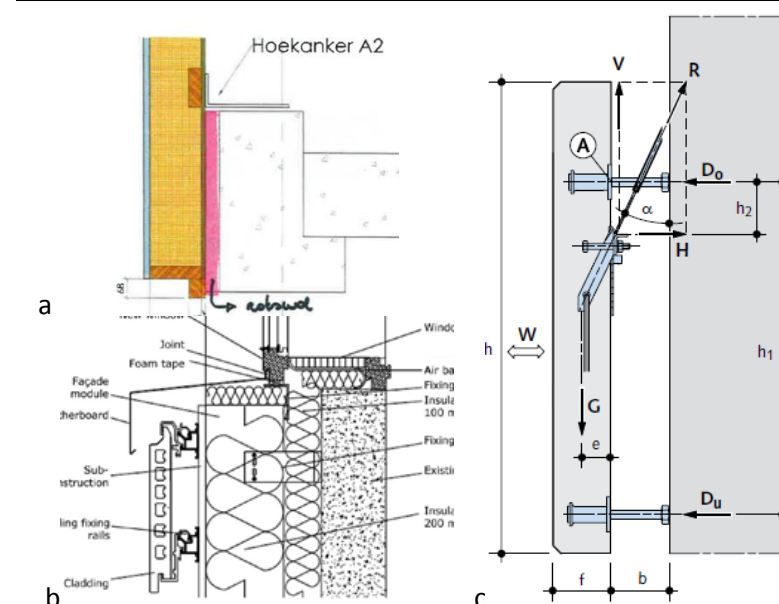
- Hout (substructuur): mechanisch – NBN EN 1995-1-1:2014
- Beton (vloerplaten, kolommen): mechanisch en chemisch – NBN CEN 1992-4-1:2011
- Metselwerk (gevel): chemisch - NBN EN 1996-1-1:1995 - deel 5.2 'Manieren om metselwerk te versterken'

PUNTSGEWIJZE VERANKERING

Bij een puntsgewijze verankering worden de panelen rechtstreeks via wind- en/of steunankers bevestigd aan de bestaande gevel of structuur. De methode van verankering is afhankelijk van het materiaal van de ondergrond en het prefab element (Tabel 3).

Tabel 3 Overzicht verankeringen (Halfen, 2016) (Bouwen met staal, 2014)

Ondergrond Prefab	Beton	Metselwerk
Hout - staal	Stalen anker (Figuur 30a en b) Ter hoogte van vloerplaat Sleufgaten om dilatatie op te vangen	Stalen anker. Lasten meer verspreiden Soms moeilijk te realiseren
Beton	Gevelplaatanker Afstoter onderaan Figuur 30.c	n.v.t.
Aandachtspunt	Horizontale en verticale lasten Controleer conditie beton en wapening	Enkel horizontale lasten (voorbeeld 3.2) Controleer/verstevig draagkracht metselwerk

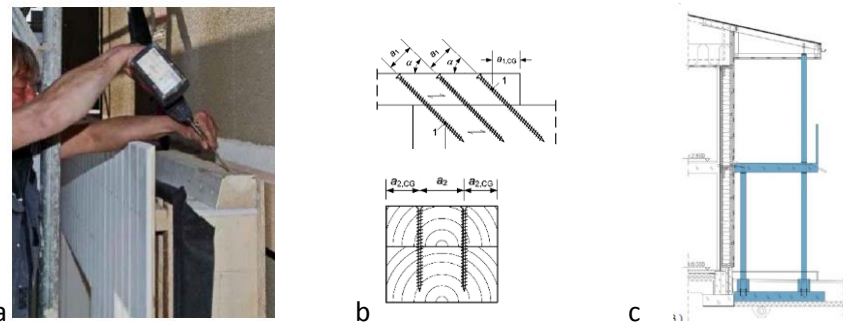


Figuur 30 (a) Klassiek verankering van houtskelpanelen op betonnen vloerplaat (De Preter, 2017) (b) Verankering van een staalframestructuur op een betonnen gevel met glaswolisolatie (voorbeeld 3.5) (c) Verankering enkelschalig betonnen gevelelement met gevelplaatanker (Halfen, 2016)

Voor de brandveiligheid bij houtskeletelementen en staalframewanden wordt rondom het anker en in de voegen van de panelen rotswol aangebracht. Op die manier is het anker R60 beschermd, wat verplicht is voor hoge en middelhoge gebouwen en lage gebouwen waar de voeg tussen de compartimentsvloer en de gevel groter is dan 20 mm.

LINEAIRE VERANKERING MET SUBSTRUCTUUR

Bij gevels met grote oneffenheden of een met beperkte draagkracht, is het verankeren aan een substructuur een interessantere piste (bv. Figuur 31a en b). De horizontale en verticale lasten worden dan lineair verspreid over de bestaande gevel. Daarnaast kan met een substructuur de oneffenheden van een bestaande gevel uitgevlakt worden en kunnen de lasten afgedragen worden op een bijkomende fundering (bv. Figuur 31c).

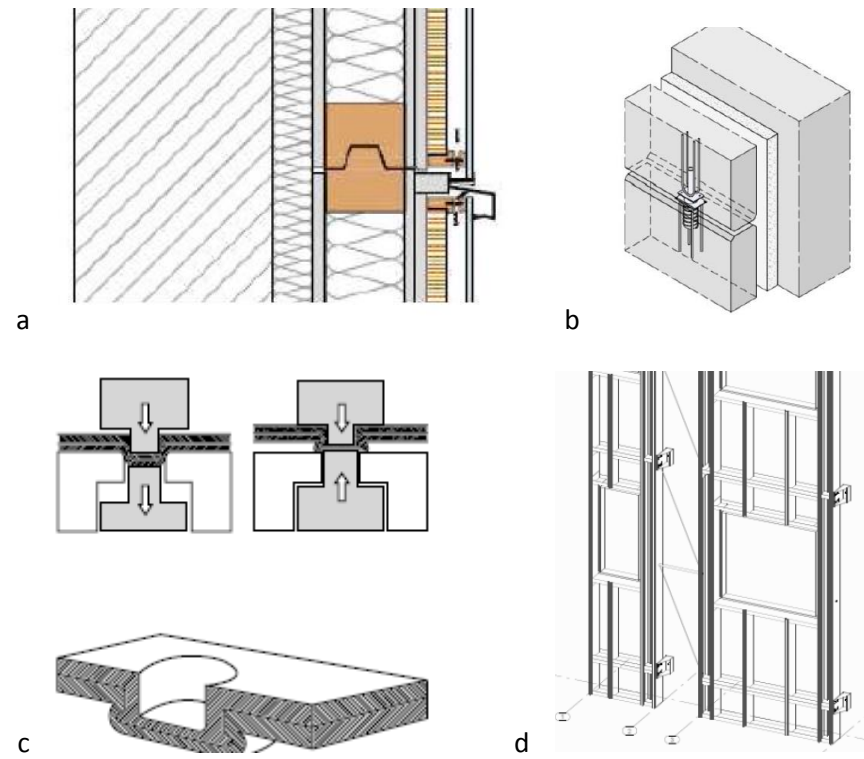


Figuur 31 (a) Schroefverbinding van houtskeletpaneel op substructuur (b) schroefverbinding hout op bout (c) Balkon onder bijkomende structuur, onafhankelijk van de oorspronkelijke fundering

STRUCTURELE VERBINDING TUSSEN PANELEN

In het geval de panelen op elkaar afdragen, is een structurele verbinding nodig tussen de panelen. De methode is afhankelijk van het gebruikte materiaal:

- Hout: In voorbeeld 3.1 werd gebruik gemaakt van een tand- en groefverbinding om de verticale lasten langs de panelen af te leiden, (zie Prefabwijzer) (Figuur 32a).
- Beton: Bij betonpanelen worden stiften voorzien indien panelen verticaal verbonden worden (Halfen, 2016)(Figuur 32b).
- Staal: Bij staalframebouw worden de onderdelen aan elkaar geclincht (drukvoegen) (Figuur 32c) of geschroefd (Bouwen met staal, 2014). Bij een grote tussenruimte tussen twee panelen (Figuur 32d), zijn er bijkomende steunregels in koudgevoerd staal voorzien.



Figuur 32 (a) tand-en-groef verbinding in hout (bv. 3.1) (b) Verstijfing in beton panelen om de verticale lasten over te te (Halfen, 2016) (c) Clinchen van twee staalframeprofielen (Bouwen met staal, 2014)(d) horizontale verbinding indien er een grote tussenruimte is bij staalframebouw (voorbeeld 3.5)

FUNDERING EN BASISLATEI: VOORBEELDEN

Bij de analyse van de originele fundering zijn er twee opties. In het eerste scenario voldoet de fundering en kan een basislateri onderaan de fundering bevestigd worden met stalen L-profielen (Figuur 33a). De dimensionering van de ankers is dan afhankelijk van de verankeringsmethode van de gevelpanelen. Indien ze op elkaar afdragen, zal de balk en de verankering zwaarder uitgevoerd worden (Voorbeeld 3.1, Figuur 33b).

Indien de fundering niet voldoet, is de eenvoudigste oplossing om te werken met een extra fundering die vlak voor de originele fundering aangebracht is, zoals bij voorbeeld 2.2 (Figuur 34). Indien de prefab panelen op elkaar afdragen, kunnen deze rechtstreeks op de nieuwe funderingsleuf geplaatst worden.

Bij hoge gebouwen kunnen de lasten via een substructuur overgedragen worden. Een andere oplossing bestaat erin de fundering lokaal te versterken via beschoeiingswerken, maar dit kan een grotere hinder voor de gebruikers met zich meebrengen.

VERANKERINGEN EN BRANDVEILIGHEID

De verankering kan zowel bovenop de compartimentsvloer, als tussen de vloer en het gevelement als onderaan de compartimentsvloer geplaatst worden (Figuur 35). Om inwendige brandoverslag te voorkomen, moet de aansluiting tussen de compartimentsvloer en de gevel EI 60 beschermd zijn voor middelhoge en hoge gebouwen en lage gebouwen waar de voeg tussen

de vloer en het element groter is dan 20 mm en er geen specifieke eisen van de lokale brandweer gelden (Martin Y. , 2013).

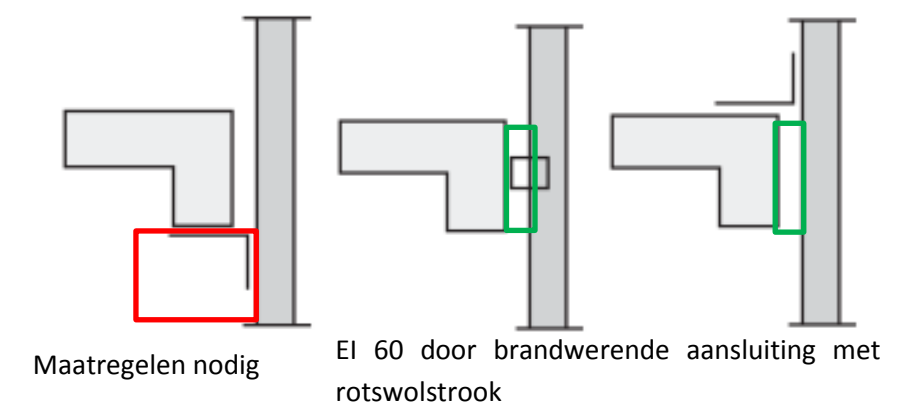
In het geval de bevestiging onder een balk of vloerplaat geplaatst wordt, moeten er speciale maatregelen genomen worden om het anker EI60 te beschermen. In het geval de verankering tussen of boven de compartimentsvloer bevestigd is, wordt de EI60-bescherming geleverd door de brandwerende aansluiting (meestal in rotswol) tussen de compartimentsvloer en de gevel (Figuur 35) (Martin Y. , 2013).



Figuur 33 (a) Basislateri gedimensioneerd om één verdiepingshoog open houtskeletelement te dragen (voorbeeld 1.1) (b) Substructuur op L-profielen die de verticale lasten van 4 verdiepingshoog panelen gaat opvangen (voorbeeld 3.1).



Figuur 34 Extra fundering voorbeeld 2.2



Figuur 35 Positie van de verankering bepaalt over er nog al dan niet maatregelen nodig zijn om EI60 te bereiken (Martin Y. , 2013)

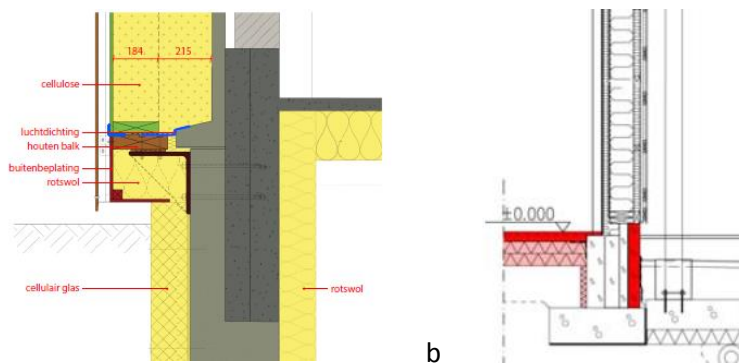
2.5 Aansluitingen aan andere gebouwonderdelen

MAAIVELD-KELDER

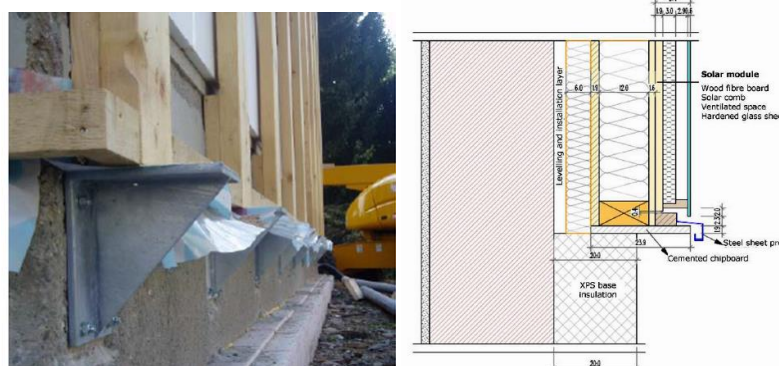
Onderaan de prefab componenten wordt een stelregel aangebracht. Deze wordt perfect horizontaal geplaatst zodat de plaatsing van de prefab elementen zelf vlotter verloopt. De stelregel kan uitgevoerd zijn in de vorm van:

- Een houten balk met L-ankers tegen de bestaande gevel bevestigd (Figuur 33, zie 2.4 Stabiliteit)
- De bovenkant van de bijkomende fundering (Figuur 34, zie 2.4 Stabiliteit)

In het geval van een stelregel met ankers wordt de isolatie dan rondom de verankering aangebracht (Figuur 36a, Figuur 37). Op Figuur 36a is het stalen L-profiel R60 beschermd door de omkasting in rotswol. Verder is er een luchtdichtheidsschermd aangebracht tussen de houten stelregel en het prefabpaneel (Figuur 36a, voorbeeld 1.1) (zie ook Figuur 37, voorbeeld 3.1). Onder de onderregel wordt een drukvast isolatiemateriaal geplaatst, zoals cellenglas of XPS. De keuze is afhankelijk van de opgelegde brandveiligheidseisen. Als het gedeelte onder de stelregel deel uitmaakt van het vlamdicht gedeelte, moeten de materialen daar ook instaan voor de EI60 bescherming. Meestal zal de stelregel zich echter vlakbij de grond bevinden, waardoor er geen specifieke brandeisen zijn voor de isolatie onder de stelregel. Indien de stelregel uitgevoerd is als een bijkomende fundering voor de gevelpanelen, kan de isolatie doorlopen tot op de fundering (Figuur 36b).



Figuur 36 (a) Aansluiting rondom houten stelregel met L-ankers (voorbeeld 1.1). (b) Aansluiting op nieuwe funderingsstrook (rood aangeduid, voorbeeld 3.2).

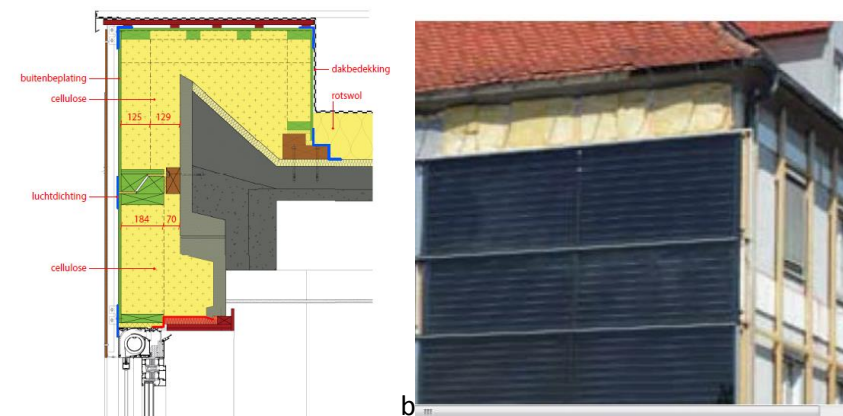


Figuur 37 Folie aan de onderkant van de substructuur om later een luchtdichte aansluiting aan de onderkant van de panelen te garanderen (voorbeeld 3.1).

AANSLUITING DAK

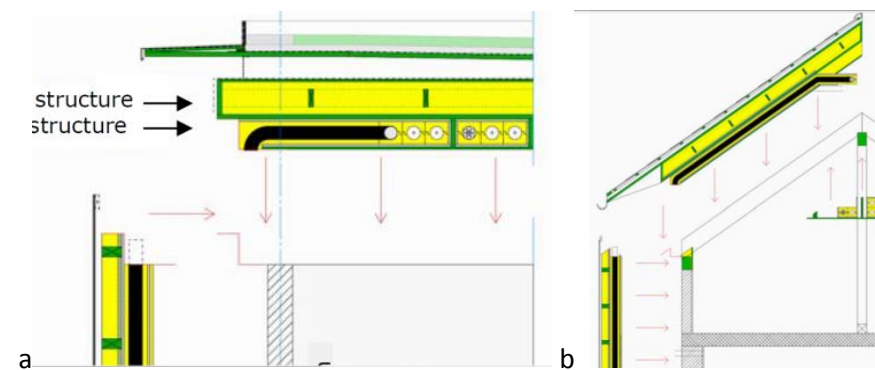
Indien de dakrand in het vlak van de gevel ligt, kan de aansluiting gemakkelijk opgevangen worden door de prefab elementen bovenaan te verlengen. Hier moet echter ook rekening gehouden worden met de toelaatbare transporthoogte. Zo werd in voorbeeld 1.1 een apart 3D-prefabelement ontworpen, omdat de standaardgevelpanelen zelf een hoogte van 3.7 m hadden (Figuur 38a). Dit is de maximale hoogte die op een normale manier te transporteren is. De onderkant van het 3D-element sloot aan tegen de prefab-gevelelementen. Op het dak werd een houten balk bevestigd om het 3D-prefab element aan te verankeren (Figuur 38a).

Indien er een dakoversteek aanwezig is, wordt de aansluiting best in-situ gemaakt zoals bij voorbeeld 3.1 (Figuur 38). In voorbeeld 3.1 werd een aparte kleinere module gemaakt, die na de plaatsing van de grote modules op de substructuur bevestigd werd (Figuur 38b).



Figuur 38 (a) 3D prefab-module om rondom de dakrand plaatsen (voorbeeld 1.1). (b) De aansluiting aan een dakoversteek wordt nog vaak in-situ opgelost, hier met kleinere prefab-gevelmodules (Voorbeeld 3.3).

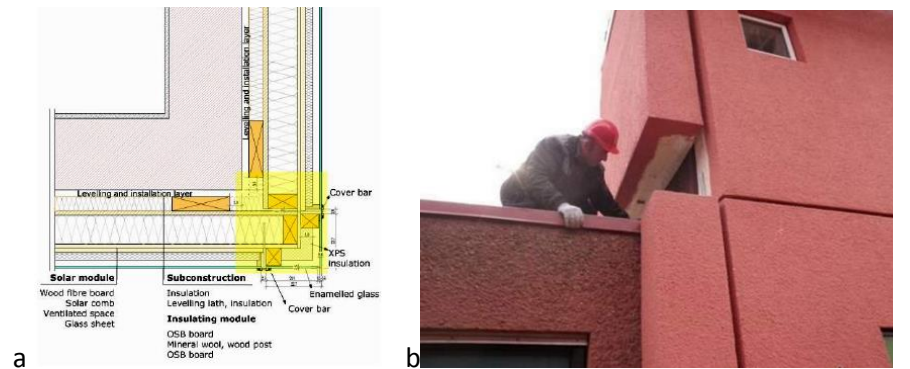
Indien het dak mee vervangen wordt of er wordt een uitbreiding voorzien op het dak, kan de aansluitingsvoeg tussen dak- en gevelelement in één beweging ontworpen worden, zoals bij voorbeeld 3.3 gebeurde (Figuur 39).



Figuur 39 (a) Oplossing voor de aansluiting op een prefab plat dak (b) Oplossing voor de aansluiting op een hellend prefab-dak (voorbeeld 3.3).

AANSLUITING HOEKEN

Een hoekaansluiting kan gedicht worden met een apart sluitstuk dat na de installatie van de panelen geplaatst wordt (Figuur 40a). Een tweede optie bestaat erin één paneel te laten doorlopen tegen het ander waardoor je één voeg overhoudt. Dit beïnvloedt de plaatsingsvolgorde van het gevelsysteem: de prefab panelen die niet overlappen met de hoeken worden dan eerst geplaatst (Figuur 40b).



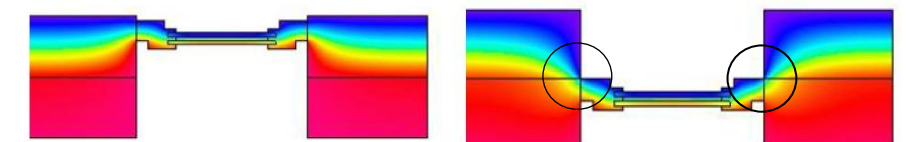
Figuur 40 (a) Hoekaansluiting uit voorbeeld 3.1. Hier werd het dampscherm van de panelen op de hoek in-situ verbonden en werd een apart gevelstuk gemonteerd. (b) Hoekaansluiting met doorlopend paneel (voorbeeld 2.2)

RAAMAANSLUITING

Voor het schrijnwerk zijn er verschillende scenario's mogelijk.

- Het schrijnwerk zit geïntegreerd in het gevelpaneel (meest optimaal, Figuur 41a).
- Het oude schrijnwerk wordt behouden (minst optimaal, Figuur 41b)
- Het schrijnwerk wordt in-situ geïnstalleerd in het paneel na de plaatsing van het gevelsysteem, om gewicht tijdens transport te verminderen (Figuur 41b).

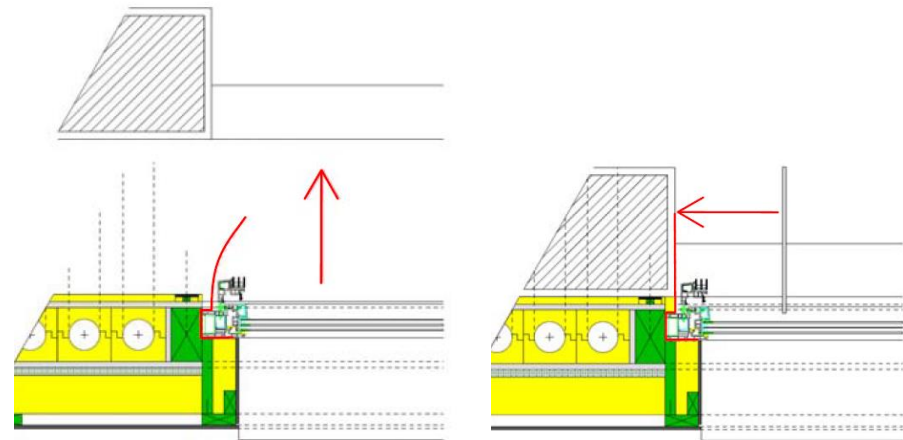
Het eerste scenario heeft als voordeel dat koudebruggen verhinderd worden. Het schrijnwerk zit immers best ter hoogte van de laag met de grootste thermische weerstand (Figuur 41).



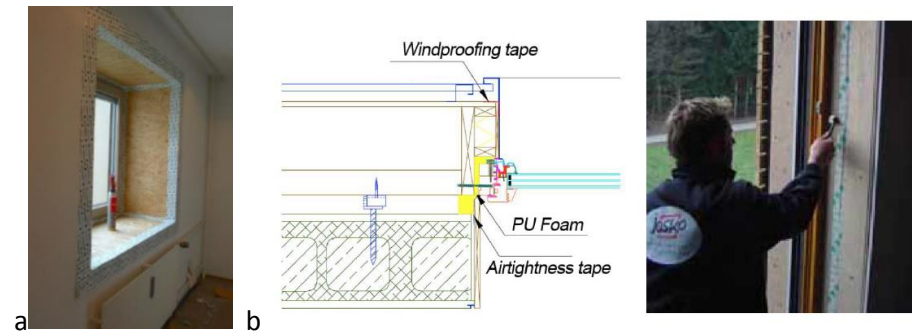
Figuur 41 (a) Het schrijnwerk wordt idealiter in de laag voorzien met de hoogste thermische weerstand. (b) Indien het oude schrijnwerk wordt behouden of deze blijft op de originele positie, wordt er een koude brug gecreëerd als de bestaande wand een lage thermische weerstand heeft (Miloni, Grischott, & Zimmerman, 2011).

De luchtdichte aansluiting wordt gecreëerd door een wachtfolie, die prefab aan het schrijnwerk zit, vast te lijmen op de bestaande wand na afbraak van het oude raam. De aansluiting kan met een prefab-dagkant verder afgewerkt

worden (Figuur 42, Figuur 43a). Indien het raam niet geïntegreerd wordt, kan een kader klaarzetten waarin het schrijnwerk achteraf gemakkelijk kan geplaatst worden (Figuur 43b).

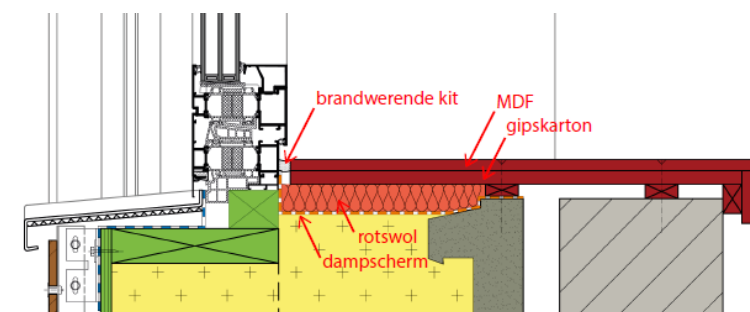


Figuur 42 Dampscherm als wachtfolie en afwerking met prefab dagkant in OSB (luchtdicht plaatmateriaal (Voorbeeld 3.3).



Figuur 43 (a) Dagkant met OSB3 en luchtdichte tape (voorbeeld 1.2) (b) Plaatsing van het raam gebeurde na installatie van de prefab panelen (voorbeeld 1.3)

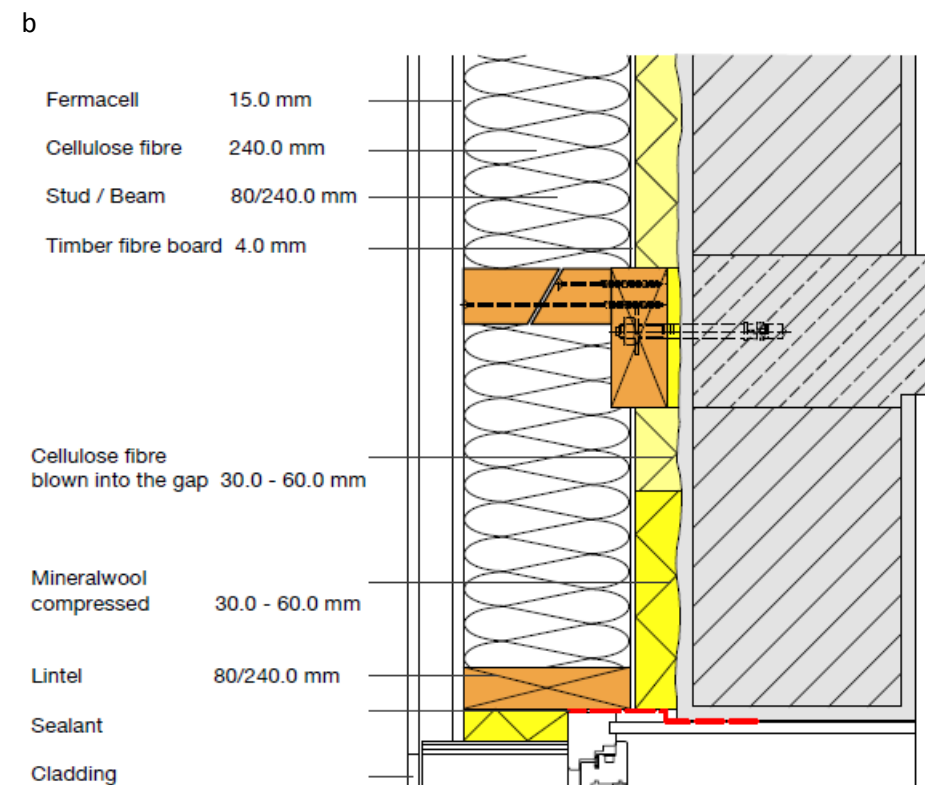
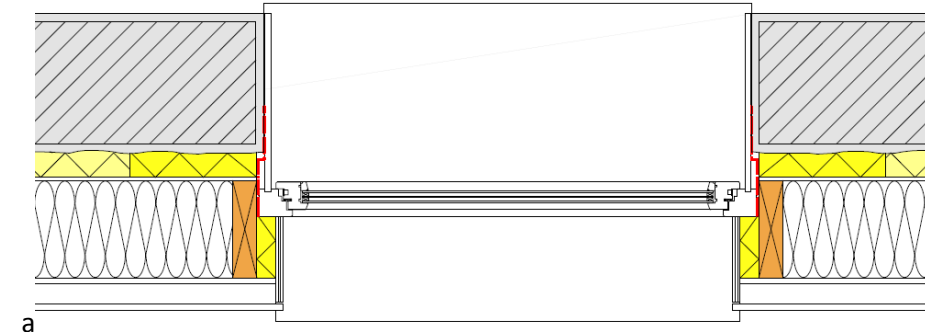
Figuur 44 toont een raamaansluiting van voorbeeld 1.1. Dit is een open systeem waardoor de bestaande gevel als dampscherm fungeert en de luchtdichte aansluiting tussen het nieuwe schrijnwerk en de bestaande wand cruciaal is. Het dampscherm is deels aan het schrijnwerk vastgemaakt als wachtfolie. Na afbraak van het oude raam wordt het dampscherm aan de binnenwand vastgemaakt. Daarna wordt een afwerking met rotswol en een dagkant met een brandwerende beplating (gipskarton en MDF) geplaatst om de aansluiting EI30 beschermd te krijgen. (Tijskens, 2015).



Figuur 44 Raamaansluiting uit voorbeeld 1.1.

Ook voor gesloten systemen is het belangrijk om een luchtdichte aansluiting te voorzien tussen het schrijnwerk en de bestaande wand. Bovendien moet

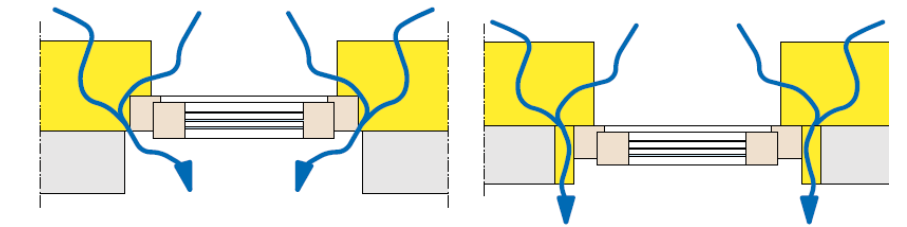
de adaptielaag ter hoogte van het raam luchtdicht afgesloten worden. Indien er in die laag waterdamp terechtkomt via een gebrekkige raamaansluiting kan het vocht niet meer weg (Dubois & De Bouw, 2015). In TES Energy façade wordt eveneens aanbevolen om het nieuwe raam in de laag van het gesloten prefab element te plaatsen, met een luchtdichte afsluiting aan de adaptielaag en dagkant en met een strook rotswol rondom de raamopeningen. Op die manier is de aansluiting brandveilig volgens de Duitse normen (TES EnergyFaçade, 2010-2013) (Martin Y. , 2016)



Figuur 45 (a) Horizontale snede (b) Verticale snede van de raamaansluiting bij gesloten systemen (TES EnergyFaçade, 2010-2013).

Let wel, de uitvoering op Figuur 45b met de strook rotswol is momenteel volgens de Belgische wetgeving niet verplicht (Martin Y. , 2016). Enkel indien het prefab element de bestaande gevel vervangt en het gedeelte boven het raam deel uitmaakt van het vlamdicht element, moet de strook rotswol op Figuur 45b tot 1 m doorlopen (Martin Y. , 2013).

Tot slot is het ook om akoestische redenen aanbevolen om het schrijnwerk zo veel mogelijk te laten aansluiten aan de (zware) ruwbouwconstructie. Uit testen op ETICS systemen bv. blijkt dat er geluidlekken kunnen ontstaan langs het lichte isolatiemateriaal naar binnen (WTCB TV 257, 2016).



Figuur 46 Geluidlekken langs het lichte isolatiemateriaal bij een ETICS-Systeem (WTCB TV 257, 2016).

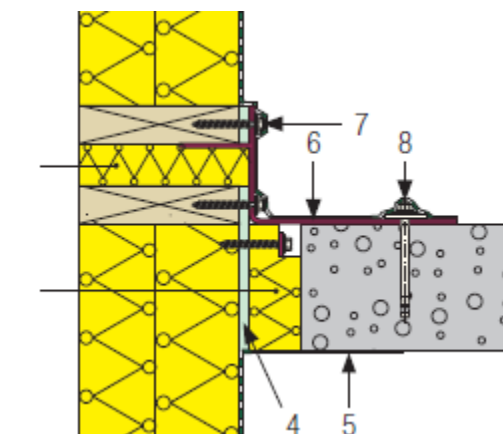
De geluidsisolatie van een voeg tussen het raam en een houten gevelpaneel werd gemeten in een reeks akoestische labotesten. Er worden 5 varianten op de opbouw van de dagkant getest.

De resultaten van deze meetcampagne zullen binnenkort na te lezen zijn in het [PRO³-onderzoeksproject: Akoestiek van raamaansluitingen in prefab houtskeletpanelen](#).

VERBINDING MET VLAMDICHTE ELEMENTEN

Om inwendige brandoverslag te vermijden, moet tussen de zijkant van de compartimentsvloer en de gevel een brandwerende afdichting EI60 geplaatst worden. Dit wordt door drie elementen tot stand gebracht (Martin, Eeckhout, Lassoie, Winnepenninckx, & Deschooimeester, 2017)(Figuur 47):

- Opvulling met rotswol (minimale samendrukking 20%, minimale dichtheid van 55 kg/m³ na samendrukking) over een minimale hoogte van 15 cm.
- Ter hoogte van de opvulling, aan de binnenzijde van het gevelelement, wordt een plaat geplaatst om de goede samendrukking te garanderen
- Eventueel kan een luchtscherm geplaatst worden (dikte max. 1,5 mm tussen de plaat en de opvulling met rotswol).



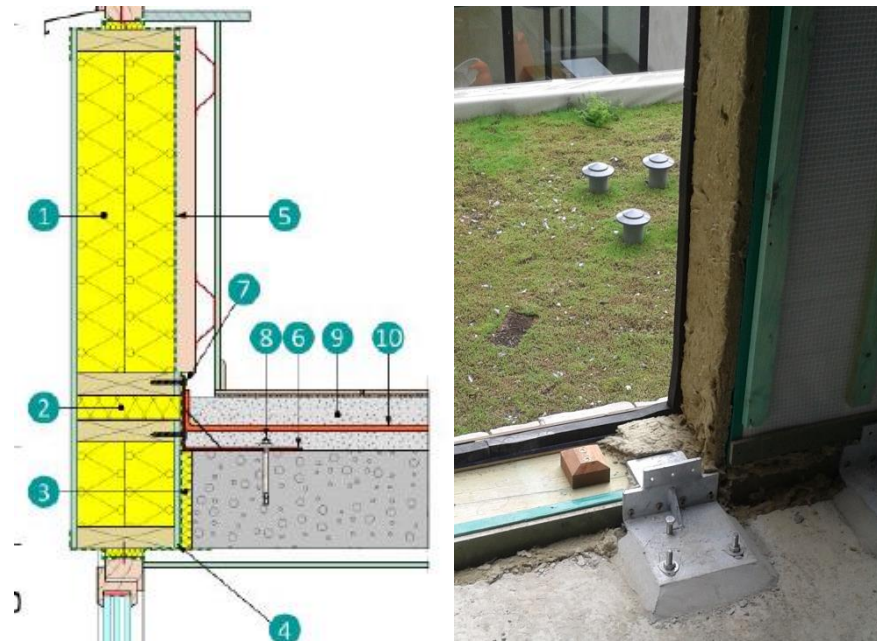
Figuur 47 Brandwerende afdichting EI60 met houtskelet gevelelementen (Martin Y. , 2015)

OPBOUW VLAMDICHT ELEMENT

Er zijn verschillende oplossingen mogelijk om een vlamdicht element (EI60) van 1 m hoogte (zie Typologiewijzer) op te bouwen. Voor bv. houtskeletelementen bestaat de standaard oplossing erin om (Martin Y. , 2015):

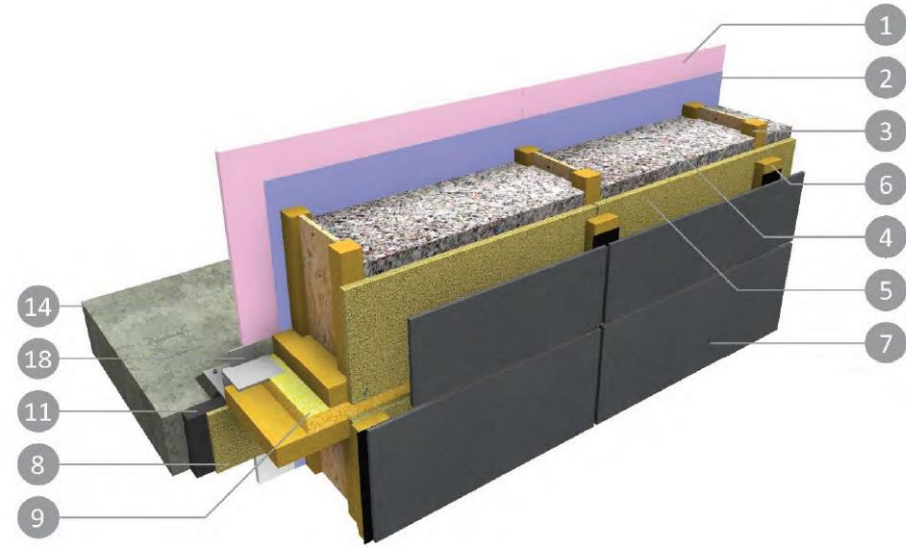
- verticale stijlen in het houten gevelement te voorzien met min. sectie 38 x 190 mm en maximale tussenafstand van 600 mm
- de ruimte tussen de verticale stijlen op te vullen met rotswol met een minimumdensiteit van 45 kg/m³
- de verschillende modules op elkaar te stapelen en de horizontale voeg op te vullen met rotswol, tenzij de breedte kleiner is dan 1 mm. Hier is de rotswol ook minimum 20% samengedrukt (bv. Figuur 48).

Met deze oplossing hoeft de binnen- en buitenplaat niet in te staan voor de brandweerstand (Martin Y. , 2015).



Figuur 48(a) Typesnede EI60 element van 1 m hoog, als bortspering (Martin, Eeckhout, Lassoie, Winnepenninckx, & Deschooimeester, 2017) (b) Voorbeeld van rotswolopvulling in de voeg (Case 12 – Prefabgids).

Indien gekozen wordt voor een opbouw waarbij de binnen- of buitenplaat brandwerende eigenschappen vertoond, kan het isolatiemateriaal in het houten stijl- en regelwerk ook uit glaswol of cellulose bestaan. In plaats van rotswol tussen de compartimentsvloer en het gevelement, kan ook geopteerd worden voor een brandwerend schuim (Martin, Eeckhout, Lassoie, Winnepenninckx, & Deschooimeester, 2017) (bv. Figuur 49).



Figuur 49 Voorbeeld van een EI60-element met cellulose: Brandwerende gispkartonplaat, dikte 15 mm (1) Dampdichte folie (2) .Cementgebonden houtvezelplaat (5) Drukvlaste plaat aan compartimentsvloer (8) Rotswol voeg (9) Brandwerend schuim (11) (Etex Group, 2017)

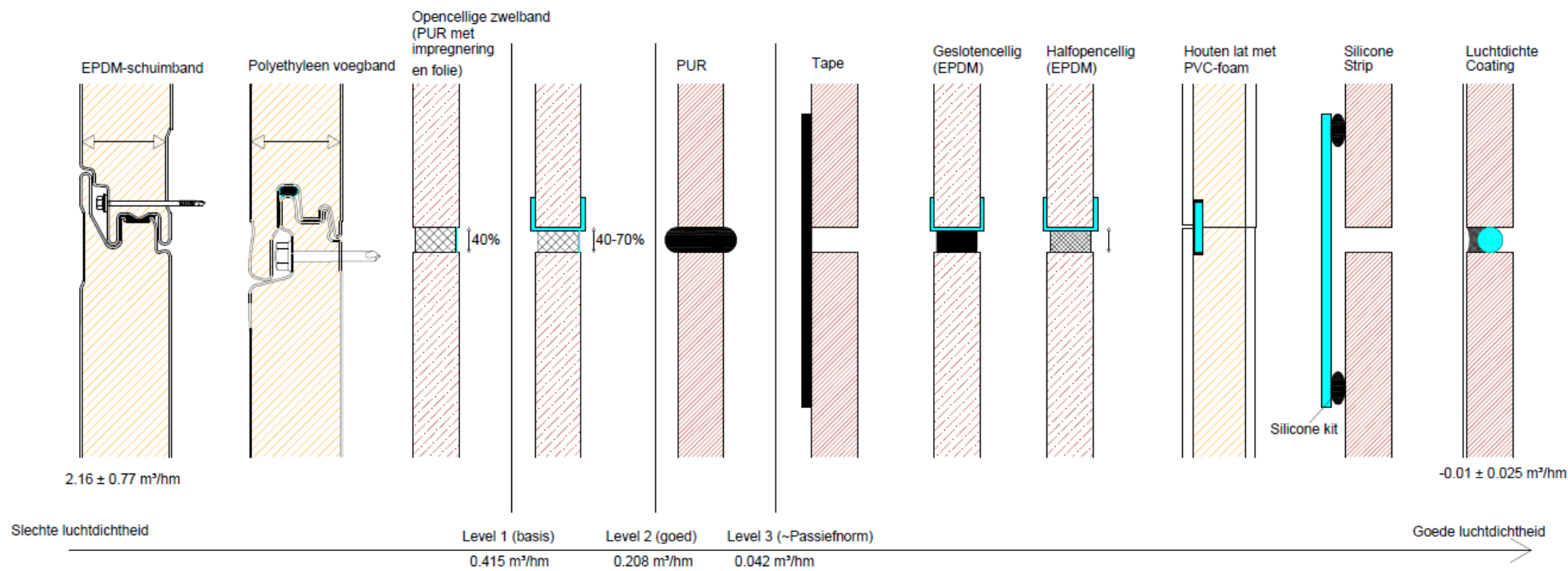
BRANDOVERSLAG OVER HET GEVELSYSTEEM

Het risico op brandoverslag over het gevelsysteem, wordt vandaag de dag nog niet gedekt door de Europese proefmethoden en ook niet door de Belgische reglementering. Enkel de lokale brandweer kan aanbevelingen formuleren om dit risico te beperken.

De Belgische reglementering wordt echter momenteel herzien door de hoge raad voor beveiliging tegen brand en ontploffing. Een laatste stand van zaken is opgelijst in de WTCB-monografie 'Brandveiligheid van gevels van gebouwen met meerdere verdiepingen' (Martin, Eeckhout, Lassoie, Winnepenninckx, & Deschooimeester, 2017).

2.6 Lucht- en waterdichtheid tussen panelen

PRESTATIESCHAAL GETESTE DICHTINGSMATERIALEN



INLEIDING

Er bestaat een brede waaier aan materialen en systemen waarmee voegen tussen prefab panelen lucht- en waterdicht gemaakt kunnen worden. De keuze is afhankelijk van vele factoren: het materiaal van de constructie, de uitzettingscoëfficiënt, de lengte en het verwachte temperatuurverschil, oneffenheden in het voegoppervlak, omgevingsklimaat, bereikbaarheid, breedte van de opening, aandeel van de constructie dat beweegt, zichtbaarheid en de uitvoeringsmethode (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013). Bij brandwerende onderdelen is het van belang om de dichtingsmethode voorgeschreven door de fabrikant te volgen. Op vlak van akoestiek geldt dan weer: hoe breder de af te dichten opening en hoe hoger het akoestische isolatieniveau dat bereikt moet worden, hoe groter de massa van het dichtingsmateriaal moet zijn. Dunne folie of polyurethaanschuim zijn te licht, en daardoor niet voldoende om een voeg in een wand geluidslekdicht te maken. Kitten, minerale wol, pleister, mortel, rubberen voegbanden of rekbaar afdichtingsproducten zijn dan weer wel geschikt omwille van de hogere massa (WTCB TV 255, 2015).

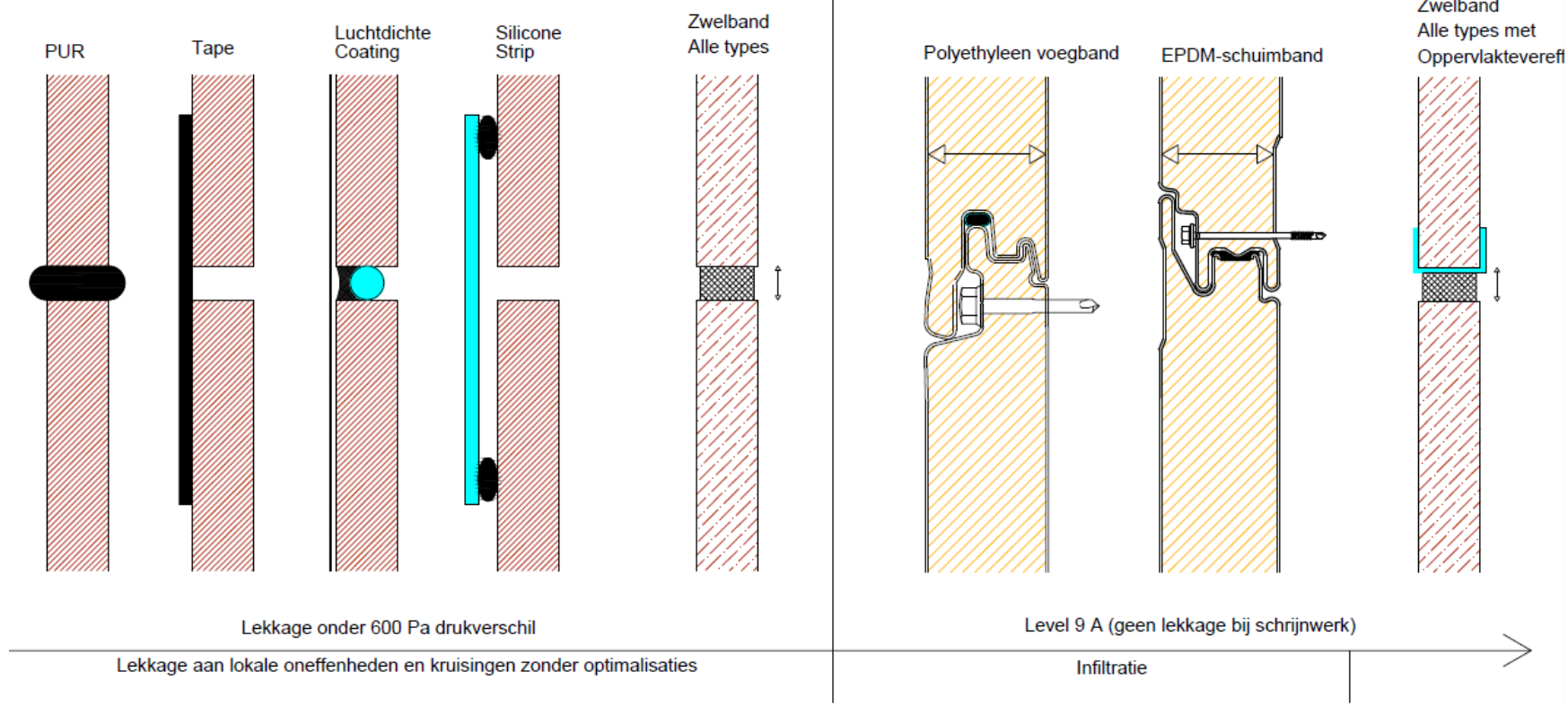
In het kader van PRO³ werden verschillende dichtingsmaterialen getest op lucht- en waterdichtheid, en dit in verschillende situaties. Zo werden opstellingen met enkel verticale voegen (zweelbanden, tand- en groef systemen) en met horizontale en verticale voegen en kruisingen gebouwd (PUR, tape, zweelbanden, silicone strip, luchtdichte coating). De rangschikking in prestaties op vlak van lucht- en waterdichtheid is gebaseerd op de testresultaten en wordt hieronder toegelicht.

Meer informatie over de opstellingen, geteste materialen en bevindingen vindt u in het PRO³-onderzoeksrapport 'Lucht- en waterdichtheid van prefab elementen'

TOELICHTING PRESTATIESCHAAL

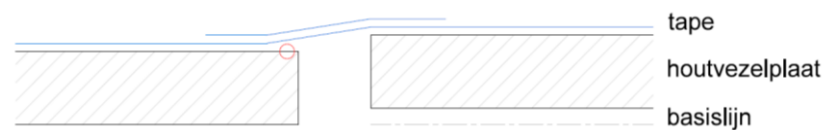
LUCHTDICHTHEID

In de labotesten vertoonden de meer flexibele materialen (Zweelband met de halfopencellige structuur, houten lat met flexibele pvc-foam, silicone slab met kit en de luchtdichte coating, Figuur 50) de laagste luchtlekdebieten bij 50 Pa. Dit was te verklaren doordat flexibele materialen beter in staat zijn om kleinere imperfecties in en rond de voeg op te vangen. Met vloeibaar aangebrachte materialen zoals de coating en de silicone kit kunnen onregelmatige oppervlakken en holtes aan de voeg opgevuld worden tijdens het aanbrengen. Door zweelbanden voldoende samen te drukken in de voeg, worden holtes en ophopingen in het voegoppervlak opgevangen. Zweelbanden met een halfopen structuur zijn door hun celstructuur beter samen te drukken dan zweelband met een gesloten structuur, waardoor ze beter in staat zijn om onregelmatigheden op te vangen en beter presteerden tijdens de labotesten.



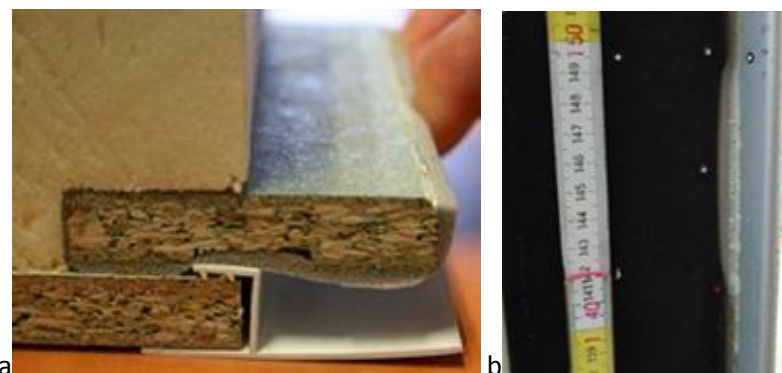
Figuur 50 Geteste systemen in PRO³

Tegelijk moet de ondergrond voldoende stijf zijn, zodat de flexibele dichtingsmaterialen goed tegen het oppervlak kunnen worden aangedrukt. In de labotesten kwam de tape los van de houtvezelplaat, ter hoogte van de kruispunten. De houtvezelplaat werd behandeld met primer, zodat de tape goed bevestigd kon blijven. Het loskomen werd verklaard doordat de houtvezelplaatjes bewogen ten opzicht van elkaar onder invloed van de grote drukverschillen. Op beton en OSB, bleef de tape overal aan het oppervlak hangen, ook onder grote drukverschillen (Van Linden, 2016).



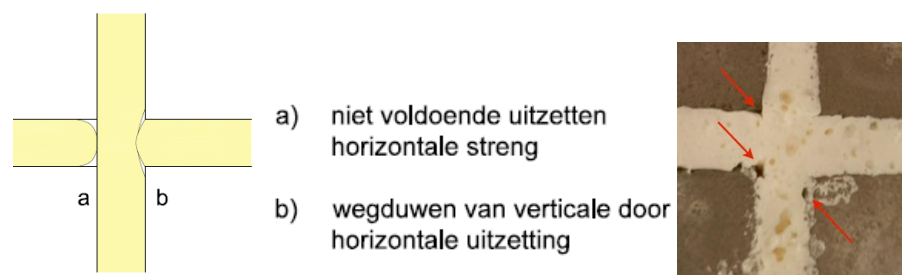
Figuur 51 Beweging van houtvezelplaat t.o.v. tape (Van Linden, 2016)

Naast flexibiliteit van het dichtingsmateriaal, is ook de mogelijkheid om materialen die in de voeg geplaatst worden te comprimeren een belangrijke factor. Bij het houten latje werd de PVC-foam optimaal samengedrukt, doordat de afmetingen van de groef iets kleiner zijn dan de afmetingen van het latje en de PVC-foam (Figuur 52a).



Figuur 52 (a) Houten latje met PVC-foam rond (b) EPDM-foam in de tand- en groef voeg met een deuk, waarlangs water kan infiltreren

Bij de systemen die minder goed presteerden, waren het gebrek aan flexibiliteit en compressie de boosdoeners. Bij de tand- en groef systemen werden de polyethyleenband en EPDM-foam op voorhand aangebracht, waardoor het veel moeilijker was om een optimale compressie te bereiken bij plaatsing, vooral op plaatsen waar de voeg beschadigd was (bv. Figuur 52b). De opencellige zwelband is op zich niet luchtdicht zonder de geïntegreerde folie en onvoldoende compressie. Bij de polyurethaan ten slotte was de voeg niet optimaal gevuld. Het PUR-schuim werd weggeduwd tijdens het uithardingsproces (bv. Figuur 53).

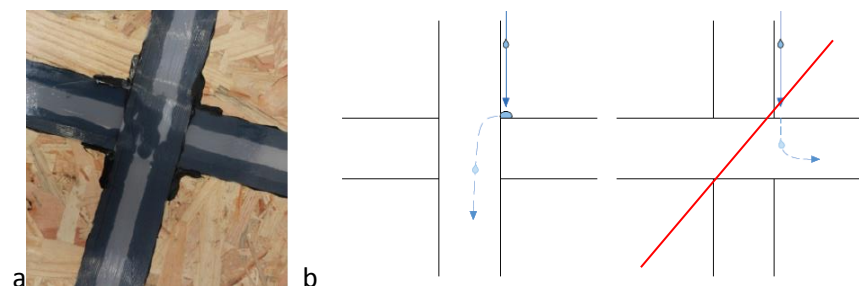


Figuur 53 Uitharden van PUR bij kruispunten (Van Linden, 2016).

WATERDICHTHEID

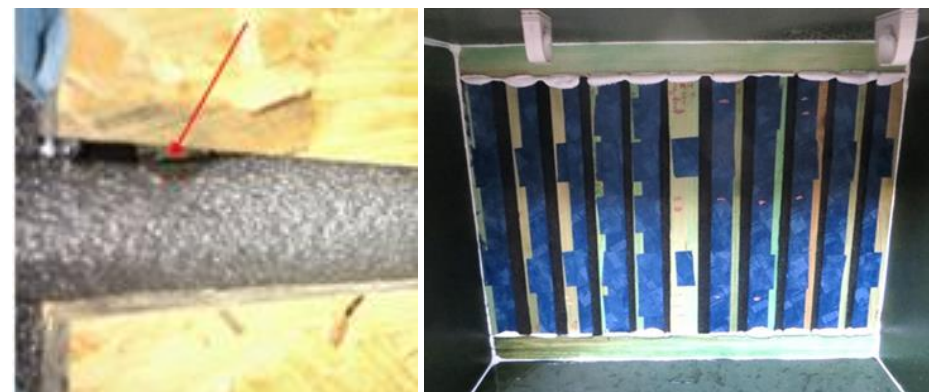
Bij de waterdichtheidstesten werd vastgesteld dat de kruispunten de zwakke plek waren in de opstellingen. Afhankelijk van het gebruikte materiaal, situeerde het zwakke punt zich aan de overlap van voegmaterialen (tape, silicone strip, bv. Figuur 54) of in de hoeken van het kruispunt (bv. zwelband, PUR, bv. Figuur 53). Dit zijn punten waar een grotere holte (2 lagen van het dichtingsmateriaal) moet overbrugd worden.

In het geval van tape werd de waterdichtheid verbeterd door een extra kruis diagonaal over het kruispunt te kleven, bij de silicone strip verbeterde de waterdichtheid door extra silicone kit in de hoekpunten aan te brengen (Figuur 54a). Daarbij moeten de systemen nog steeds goed aangedrukt worden aan het oppervlak om het ontstaan van fijne lekkanaaltjes te vermijden. Daarnaast werd bij de overlappende materialen vastgesteld dat de waterlekage minder snel optreedt als de horizontale voegen eerst gedicht worden, zodat de verticale stroken over de horizontale zit. In het omgekeerde geval (Figuur 54b), kunnen waterdruppels rechtstreeks naar binnen lekken indien de horizontale strook slecht aansluit in de kruising (Van Linden, 2016).



Figuur 54 (a) extra kit in de hoeken (b) Beter: verticale over horizontale strook. Te vermijden: horizontale over verticale strook. (Van Linden, 2016).

Naast de kruisingen, veroorzaken lokale oneffenheden in de voeg eveneens waterlekage. Bv. bij de opstelling met de luchtdichte coating duwde een splinter in de voeg de rugvulling weg, waardoor de holte tussen rugvulling en voeg te diep werd om te bedekken met de coating (Figuur 55). Bij de zwelband werd aangetoond dat een vlakmakend materiaal aan de niet-klevende zijde (bv. tape) waterinfiltratie en -lekage vermijdt. De tape zorgt ervoor dat oneffenheden in het voegoppervlak uitgevlakt worden waardoor de zwelband beter contact maakt met het oppervlak in de voeg.



Figuur 55 (a) Uitstekende splinter zorgt voor te grote opening bij luchtdichte coating (uitvoeringsfout!) (b) Vlakmakende tape aan de niet-klevende zijde van de zwelband

Tot slot bestaat er naast waterlekage ook waterinfiltratie. Bij voegen met een complexe geometrie, zoals de geteste tand- en groefvoegen is het belangrijk om een afvoer te voorzien onderaan de voeg, zodat het geïnfiltreerde water kan wegstromen.

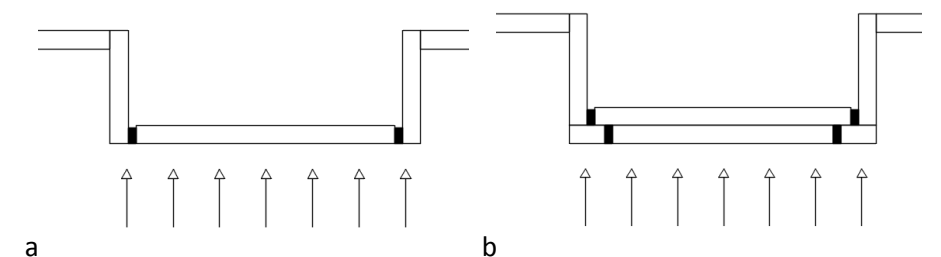
BESLUIT

De prestatie van de verschillende dichtingsystemen is sterk afhankelijk is van de uitvoeringsmethode en in welke mate de methode aangepast is aan de eigenschappen van het dichtingsmateriaal. Het oppervlak rond en in de voeg moet voldoende vlak zijn zodat de materialen goed aansluiten. Bij poreuze en zuigende ondergronden wordt soms aangeraden om een primer aan te brengen bij het gebruik van luchtdichtingstapes. Bij een voegoppervlak dat splinters vertoont, kan bv. een tape aangebracht worden om het oppervlak uit te vlakken. Zo wordt vermeden dat het dichtingsmateriaal wordt weggeduwd.

Bij materialen die op de voeg aangebracht worden (tape, silicone strip met kit, coatings) moet voldoende aandacht besteed worden aan de aansluiting op het oppervlak. Dit wil zeggen: tapes en kits voldoende aandrukken, aanbrengen bij de juiste omgevingstemperatuur en voldoende laten uitharden. Zo wordt de maximale kleefkracht van luchtdichtingstape pas na een bepaalde tijdspanne bereikt, meestal na 60 minuten. Bij coatings moet de ondergrond zo vlak mogelijk zijn: de rugvulling in de voeg moet dus overal op gelijke diepte zitten.

Bij materialen die in de voeg worden aangebracht (bv. zwelband, PCV-foams), moet de aanbevolen compressiegraad gerespecteerd worden zodat het materiaal overal even goed aansluit aan het voegoppervlak.

Nadat het dichtingssysteem is aangebracht (en uitgehard/uitgezet), is het aan te raden om de voeg na te zien op kleine openingen, bv. in de hoeken van een kruispunt. De kleinste gaatjes kunnen immers waterlekage veroorzaken. Deze kunnen lokaal gedicht worden met bv. luchtdichte coating of extra siliconekit. Bij voegen die niet meer bereikbaar zijn na het plaatsen, werd vastgesteld dat een complexere voeggeometrie helpt om de voeg waterdicht te maken. Met bv. een trapsdichting is het dichtingssysteem niet rechtstreeks blootgesteld aan slagregen en werd de infiltratieweg moeilijker (bv Figuur 56).



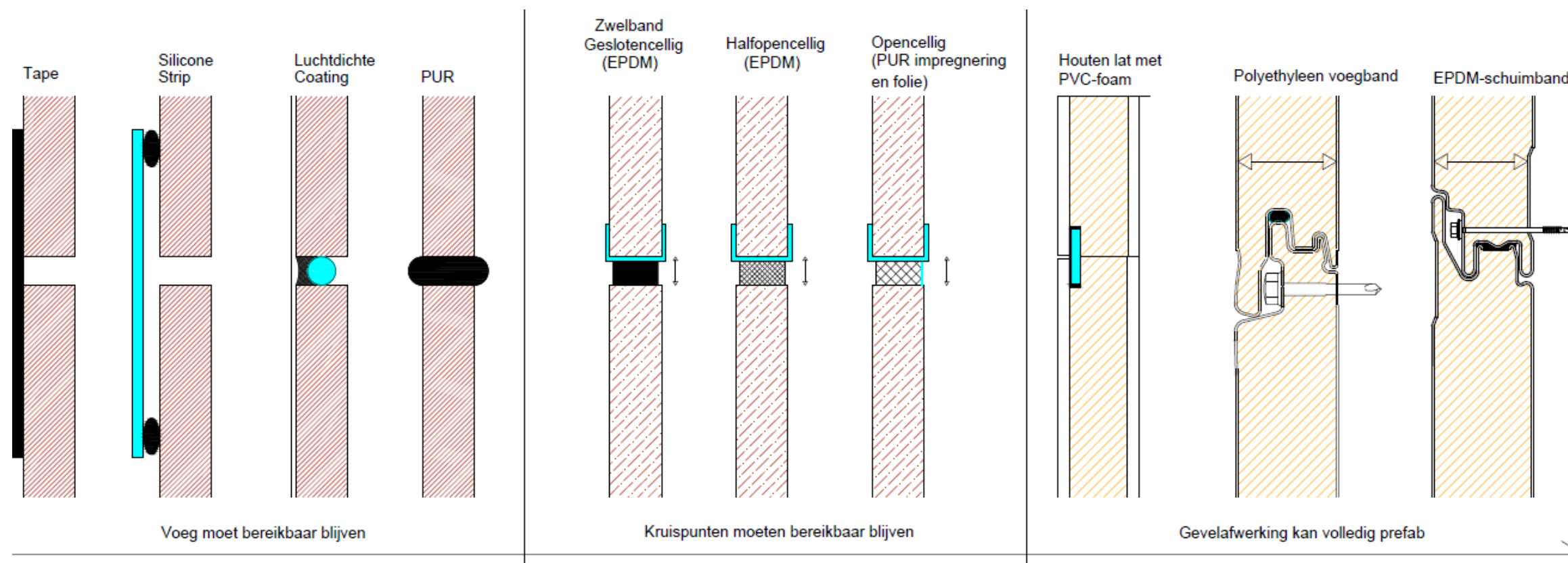
Figuur 56 (a) horizontale snede van de eerste versie hoekopstelling, met rechtstreekse blootstelling (b) horizontale snede van de tweede versie hoekopstelling, met afgeschermd voegen.

PREFABMOGELIJKHEDEN DICHTINGSMATERIALEN

Onderstaande tabel geeft de aandachtspunten en prefab mogelijkheden weer van de geteste dichtingsystemen. Meer technische informatie over de dichtingsystemen is te vinden in het PRO³-Onderzoeksrapport 'Lucht- en waterdichtheid van voegen tussen prefab panelen'. Raadpleeg altijd de aanwijzingen in de technische fiche van het dichtingsmateriaal om een goede werking te garanderen.

Aandachtspunten bij installatie		Maatregel
Dichtingsmateriaal OP de voeg: voeg bereikbaar houden voor aanbrengen		
Tape	Goed aandrukken, extra aandacht voor overlap aan kruispunten	Stuk tape diagonaal over de voeg aan het kruispunt
Silicone strip		Extra silicone kit aan de kruispunten
Luchtdichte coating	Oppervlak in en rondom de voeg zo vlak mogelijk, rugvulling op gelijke diepte in de voeg	Extra rugvulling en/of, lokale oneffenheden opvullen met kit voor het aanbrengen van de coating
PUR-foam	Uitharding veroorzaakt holtes	Correctie met luchtdichte coating of kit
Dichtingsmateriaal IN de voeg: het materiaal kan reeds aan één zijde verkleefd zijn op een paneel		
Zwelband	Lokale oneffenheden vermijden, voldoende hoge compressiegraad (>70%) Halfgesloten of gesloten Celstructuur (opencellige zwelband op zich is NIET luchtdicht)	Voegoppervlak aan de niet-klevende zijde vlak maken, Geometrie voeg aanpassen om schuintrekken te vermijden en zwelband te beschermen Kruispunten vrijhouden voor eventuele versterking/dichten kleine openingen met kit of coating Versterking aan kruispunten in combinatie met hoge compressiegraad.
Houten lat met PVC foam	Luchtdichte veer wordt in-situ in de voeg geschoven, daarna wordt het volgende dakelement ertegen geplaatst	Kopse kanten voeg dichten
Polyethyleen band	Schade/oneffenheden in voegoppervlak vermijden	Voorzie drainage onderaan de voeg voor evacuatie infiltratiewater
EPDM-Schuimband		

Tabel 4 Praktische evaluatie geteste voegsystemen, maatregelen indien de binnenkant niet bereikbaar is



Figuur 57 Overzicht geteste materialen en systemen binnen PRO³

Bibliografie

- ATG 14/2538. (2014). Technische goedkeuring ATG met Certificatie - Daken Houten Dakelementen voor hellende daken - Unilin SW SK/ SW HPUR/SW UNISUPUR.
- Binderholz. (2014). Technikfolder.
- BJW Wonen. (2015). *MutatiePlus*. Opgehaald van www.mutatieplus.eu
- Bonnarens, M. (2011, 10 20). Na-isolatie: het rooilijndecreet.
- Bouwen met staal. (2014). *Handboek Staalframebouw*. Zoetermeer.
- Bracke, W. (2013). *Luchtdichtheid van prefab dakelementen - installatie met luchtdichte veer*. Gent: Universiteit Gent.
- Carbonez, K. (2015). *Rapport: Water- en luchtdichtheidstesten op zwelbanden met verschillende compressiegraad*. Gent, België: Universiteit Gent.
- Cleys, J., & Hanses, T. (2017). *Lucht- en waterdichtheid van aansluitingen bij geprefabriceerde gevelrenovatie-oplossingen (Masterproef)*. Gent: Universiteit Gent.
- Cordy, P.-A. (2016, November 21). Stabiliteit en stijfheid van houten gevelelementen, aanpak bij Ney& Partners. (W. De Corte, & K. Maroy, Interviewers)
- De Geetere, L. (2015). Richtlijnen ter beperking van het lawaai in watertoevoerinstallaties. *WTCB Contact 47 (2015/3)*, 32-33.
- De Geetere, L. (2016). Lawaai van waterafvoerleidingen. *WTCB-Contact 51 (2016/3)*, 30-31.
- De Preter, R. (2017). LABO'toren UGent - Hoogbouw en houtskeletbouw. Bureau Bouwtechniek.
- De Vogelaere, K., Van Linden, S., & Maroy, K. (2016). *Waterdichtheid van zwelbanden met verschillende compressiegraden (kruisingen)*. Gent: Universiteit Gent.
- Dejaeghere, I., & Pauwels, E. (2015). Analyse van toekomstgerichte systemen voor prefabrenovatie van gevels op basis van betonelementen. Ghent, Belgium: Ghent University.
- Dow Corning. (2015). *Build a better barrier*.
- Dubois, S., & De Bouw, M. (2015). *AIMES- Architectural Industrialized Multifunctional Envelope Systems*. Brussels, Belgium: WTCB.
- E2BA. (2012). *EdB PPP Project Review*.
- E2ReBuild. (2010). *Transforming the retrofitting construction sector*. Opgeroepen op 08 25, 2016, van www.e2rebuild.eu
- Etex Group. (2017). *Ontwerpgids Houtskeletbouw*. Etex Group.
- Febe. (2014). 'Ieder zijn Huis, Evere. Een opmerkelijke renovatie met prefabbeton. *Beton*.
- FEBE. (sd). Les 8: Gevels in Architectonisch beton. In FEBE, *Cursus Prefabbeton*.
- Geerlings, R., Kuindersma, P., & Niemand, H. (2013). *Luchtdicht bouwen: theorie-ontwerp-praktijk*. Rotterdam, Nederland: SBRCURnet.
- Halfen. (2016). Halfen Betongevel Verankeringsystemen - Technische informatie.
- IBS. (2007). *Klassifizierungsbericht zum Brandverhalten GAP-solution GmbH*. Oostenrijk: Institut für brandschutztechnik und sicherheitsforschung.
- Inventaris Onroerend Erfgoed. (2013, 01 01). *Sociale Woonwijk Malem*. Opgehaald van Inventaris Onroerend Erfgoed: <https://inventaris.onroenderfgoed.be/erfgoedobjecten/127177>
- Isobar. (2013). *Ecohomepanel - Betaalbaar Passief*. Beveren-Leie.
- Janssen, A., Putzeys, K., Debacker, W., Geerken, T., Allacker, K., & De Troyer, F. (2010). *Onderzoek naar mogelijke nieuwe bouwconcepten en het effect ervan op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen*. Bestek VLA09-3.2. WTCB, VITO, KUL departement ASRO.
- Joriside. (2015). *Catalogus 2015*. Joriside Group.
- Kristensen, O. (2017, 03 14). "*CO2-neutraal huis*". Opgehaald van [hyldenet.dk](http://hyldenet.dk/?id=315190): <http://hyldenet.dk/?id=315190>
- Lang, G., Lang, M., Krauß, B., Panic, E., Obermayr, C., & Wimmer, R. (2007). *Erstes Einfamilien-Passivhaus im Altbau*. Pettenbach.
- Lange, J., & Heselius, L. (2009). Openings in Sandwich Panels. *EASIE*, (p. p33).
- Maroy, K. (2016). *Lucht- en waterdichtheid van twee types sandwichpanelen*. Gent: Universiteit Gent.
- Maroy, K. (2017). *Prefabgids PRO³*. Gent: Universiteit Gent.
- Martin, Y. (2013). *Beperking van de brandoverslag via een gordijngevel*. Brussel: WTCB.
- Martin, Y. (2015). Nieuwe oplossingen voor houtskeletgevels die voldoen aan de brandveiligheidseisen. *WTCB-Contact 47 2015/3*, 14-15.
- Martin, Y. (2016). ETICS en brandveiligheid . *IE-NET Antwerpen*, (p. 41). Antwerpen.
- Martin, Y., Eeckhout, S., Lassoie, L., Winnepenninckx, E., & Deschooimeester, B. (2017). *Brandveiligheid van gevels van gebouwen met meerdere verdiepingen*. Brussel: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het bouwbedrijf (WTCB).
- MEEFS. (2016). *Multifunctional Energy Effecient Facade system*. Opgehaald van www.meefs-retrofitting.eu: www.meefs-retrofitting.eu
- Milioni, R., Grischott, N., & Zimmerman, M. (2011). Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Buildings: Retrofit Module Design Guide. International Energy Agency (IEA).
- MIRA. (2014). *Milieurapport Vlaanderen - emissie van broeikasgassen*. Opgeroepen op april 8, 2016, van Milieurapport Vlaanderen: <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/klimaatverandering/emissie-van-broeikasgassen/emissie-broeikasgassen-per-activiteit-co2-ch4-n2o-sf6-hfks-pfks-nf3/>
- MORE-CONNECT. (2017, 06 23). *More-Connect*. Opgehaald van www.more-connect.eu
- Nathan. (2016). *Nathan Energiemodule*.
- NBN CEN 1992-4-1. (2011). Deel 4-1: Algemeen - Ontwerp en berekening van bevestigingsmiddelen voor gebruik in beton. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie.
- NBN EN 1995-1-1. (2014). Eurocode 5: Design of timber structures - part 1-1: General rules and rules for buildings-deel 6. Brussel: Belgisch instituut voor Normalisatie.
- NBN EN 1996-1-1. (2013). Eurocode 6: Design of Masonry Structures - part 1.1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. Brussel: Belgisch instituut voor Normalisatie.
- Nul op de Meter. (2017). www.nulopdemeter.eu.
- Ott, S., Loubus, S., Time, B., Homb, A., & Botsch, R. (2014). *Book 3: Multifunctional TES*. TES EnergyFaçade.
- Pihelo, P., Lelumee, M., & Kalamees, T. (2016). Influence of Moisture Dry-out on Hygrothermal Performance Prefabricated Modular Renovation Elements. *SBE16 Tallinn and Helsinki Conference* (pp. 745-755). Tallinn and Helsinki: Energy Procedia 96.
- Recticel Insulations. (2015). L-ments Verwerkingsvoorschriften.
- Renson. (2016). *Easyflex*.
- Renson. (2016). *Healthbox (Systeem C+ EVO II) -- Technische fiche*.
- Renson. (2016). *Healty Buliding Concept*. Renson.

- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (Juni 2014). *Blok voor Blok: De Bevindingen. Grootschalige energiebesparing in de bestaande woningbouw*. Nederland.
- Ringhofer, A., & Schickhofer, G. (2013). *Timber-in-Town: Current examples for residential buildings in CLT and tasks for the future*. Austria: Graz University of Technology.
- SchoolVenCool. (2010). *The way towards your cool school*.
- Schüco. (2016). *Schüco Ventilation Systems - Aluminium Systems*.
- Schüco. (2016). *Schüco VentoTec -- Spandrel-integrated decentralised ventilation system*.
- Schüco. (sd). Increasing the value of existing buildings with the Schüco Modernisation façade. *Schüco Modernisation Façade ERC 50*.
- SweetHomeSystem. (2014). *SweetHomeSystem*. Opgeroepen op 09 5, 2016, van <http://www.sweethomesystem.be/#!home/mainPage>
- TES EnergyFaçade. (2010-2013). *Prefabricated Timber Based Building Systems for Improving The Energy Efficiency of the Building Envelope (Manual)*.
- Tijskens, A. (2015). *Ontwerp en detaillering van een prefab-gevelsysteem voor de thermische renovatie van een bestaand kantoorgebouw*. Leuven: KULeuven.
- Uponor Renovis. (2016). *Unopor Renovis - droogbouwpaneel met geïntegreerde oppervlakteverwarming/koeling*. Nathan.
- Van Audenhove, S. (2013). *Vacuüm isolatie panelen in dunne gevelelementen (Masterproef)*. Gent, België: Universiteit Gent.
- Van Linden, S. (2016). *Solar Decathlon - Aansluitingen van prefabpanelen bij de renovatie van naoorlogse woontorens (Masterproef)*. Gent: Universiteit Gent.
- Van Mieghem, T. (2015). *Renovatie van woontorens door middel van prefab panelen met geïntegreerde HVAC systemen*. Ghent, Belgium: Ghent University.
- Vlaamse Overheid. (2015). *Renovatiepact - eindverslag fase 1*. Brussel: Vlaanderen is energie.
- Wille, D. (2015). *Veranderingsgericht bouwen: ontwikkeling van een beleids- en transitiekader*. Brussel: OVAM.
- WRAP. (2007). *Current Practices and Future Potential in Modern Methods of Construction*. UK, London: WRAP Waste and Resources Action Programme.
- WTCB. (2017). Cluster bouwindustrialisatie en off-site construction. *Kick-off meeting Cluster bouwindustrialisatie en off-site construction* (p. 207). Zemst: WTCB.
- WTCB Rapport 15. (2015). *Berekening van drukverliezen en dimensionering van luchtdistributienetwerken*. Brussel: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf.
- WTCB Rapport nr 14. (2013). *Ontwerp en dimensionering van centrale-verwarmingsinstallaties met warm water*. Brussel: Wetenschappenlijc en Technisch centrum voor het bouwbedrijf.
- WTCB TV 245. (2012). *Technische Voorlichting 245 - Aanbevelingen voor het gebruik van koperen buizen voor de distributie van sanitair koud en warm water*. Brussel: WTCB.
- WTCB TV 246. (2012, June). Na-isolatie van spouwmuren door het opvullen van de luchtspouw (Dutch). Brussels, Belgium.
- WTCB TV 254. (2015). *Brandveilig afdichten van doorvoeringen in brandwerende wanden*. Brussel: WTCB.
- WTCB TV 255. (2015). *Luchtdichtheid van gebouwen*. Brussel: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het bouwbedrijf.
- WTCB TV 257. (2016). *TV 257 Bepalingen op buitenisolatie (ETICS)*. Brussel: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB).
- WTCB TV 258. (2016). *TV 258: Praktische gids voor de basis ventilatiesystemen voor woongebouwen*. Brussel: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het bouwbedrijf (WTCB).
- Zemitis, J., Borodinecs, A., Geikins, A., Kalamees, T., & Kuusk, K. (2016). Ventilation system design in three European geo cluster. *SBE16 Tallin and Helsinki Conference*, (pp. 285-294).