

LUCHT- & WATERDICHTHEID VAN PREFAB ELEMENTEN

PRO³- IWT-TETRA 150144, Werkpakket 2
September 2017

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Vakgroep Architectuur & Stedenbouw
Onderzoeksgroep Bouwfysica, Constructie en Klimaatbeheersing

E katrien.maroy@ugent.be
T 09 264 32 48

Technicum B4
Sint-Pietersnieuwstraat 41, 9000 Gent

www.ugent.be

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave	2	
1	Probleemstelling	3
2	Opzet Labotesten	3
2.1	Overzicht	3
2.2	Set-up 1: brede voegen en kruisen	4
2.3	Set-up 2: Voegen en kruisen met zwelband	4
2.4	Set-up 3: Tand- en groefsystemen	5
3	Evaluatiemethode en criteria	7
3.1	Luchtdichtheid	7
3.2	Waterdichtheid	9
4	Resultaten	11
4.1	Samenvatting luchtdichtheid	11
4.2	Samenvatting waterdichtheid	14
5	Oorzaken faling en aanbevelingen	17
5.1	Flexibiliteit en compressie	17
5.2	Detaillering kruispunt	18
5.3	Lokale oneffenheden in de voeg	20
5.4	Materiaaleigenschappen en waterinfiltratie (Set-up 3)	21
5.5	Kopse voegen	21
5.6	Uitvoeringsvolgorde en geometrie voeg	22
6	Besluit: samenvattende tabel	23
7	Bibliografie	25
Bijlage 1: Materiaalfiches	27	
Bijlage 2: Prestatiecriteria voor voegen tussen prefabpanelen	40	

1 PROBLEEMSTELLING

Met geprefabriceerde gevelelementen kunnen bestaande repetitieve gebouwen snel gerenoveerd worden: de werffase beperkt zich tot het installeren van het prefab element tegen de gevel. Op die manier is de hinder voor de gebruikers beperkt en kan het gebouw functioneel blijven. Verschillende onderzoeksprojecten hebben in het verleden al het grote potentieel van prefab systemen voor renovatie aangetoond (Dubois & De Bouw, 2015) (E2ReBuild, 2010) (IEA ECBCS Annex 50, 2011) (SchoolVenCool, 2010) (TES EnergyFaçade, 2010-2013).

Ondanks deze projecten blijven er toch nog technische vragen over waardoor prefab renovatie geen toepassing vindt:

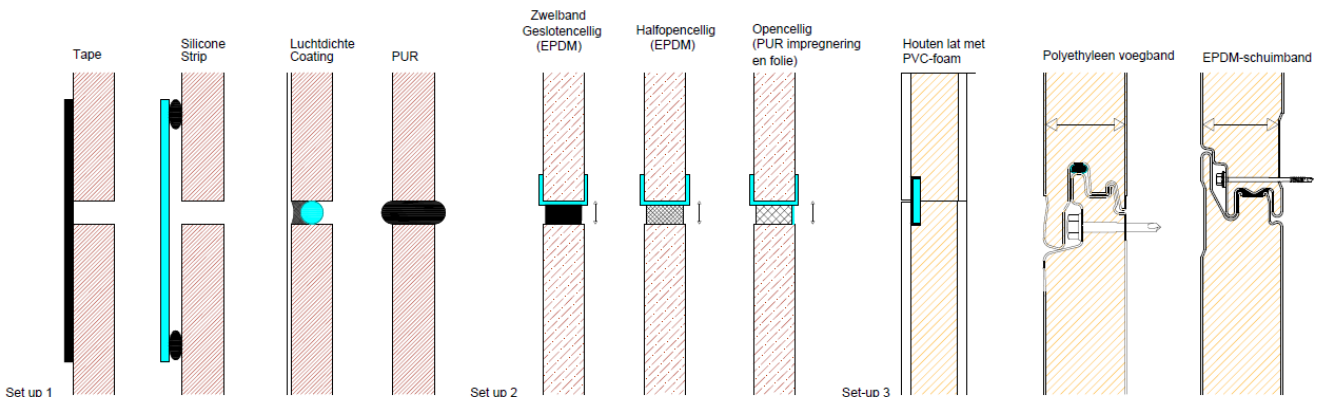
- Hoe creëer je lucht- en waterdichte voegen als je er maar aan één kant aankunt?
- Deze randvoorwaarde komt voor in renovaties waar je niet aan de binnenkant van het gebouw kunt werken, maar uiteraard ook bij projecten waar er geen stelling kan gezet worden.
- Welke materialen kunnen grote toleranties opvangen, die typisch voorkomen bij prefab elementen? Bij houtskeletelementen en beton SIP's wordt doorgaans voegbreedtes van 15 mm vooropgesteld voor betonpanelen die 4.8 m breed zijn (Febelarch, 2010). Daarnaast moet het dichtingsmateriaal ook onregelmatigheden in het voegoppervlak kunnen opvangen.
- Hoe presteren systemen waar geen in-situ werk aan verbonden is, zoals zwelbanden en tand-en-groef systemen? Wat zijn de aandachtspunten?

2 OPZET LABOTESTEN

2.1 Overzicht

In dit verslag worden 8 verschillende concepten voor lucht- en waterdichtheid getest in labo-omstandigheden. De systemen werden getest in 3 verschillende opstellingen, met elk een andere insteek:

- Set-up 1: Hoe sluiten we brede voegen en kruisingen van voegen? Is er een invloed van de ondergrond (OSB, Houtvezel, Beton, Houtvezelcementplaat). Welke systemen kunnen we gebruiken?
- Set-up 2: Hoe plaatsen we best zwelband? Welke compressie moeten we hanteren? Moeten we ze dubbel of enkel plaatsen? Waaraan moet het voegoppervlak aan de niet-klevende kant voldoen? Hoe presteert zwelband in de kruisingen? Welke type zwelband presteert het best?
- Set-up 3: Hoe presteert een tand- en groefstelsel? Wat zijn de aandachtspunten bij ontwerp en plaatsing? Wat is de impact van de paneeldikte op de prestaties?

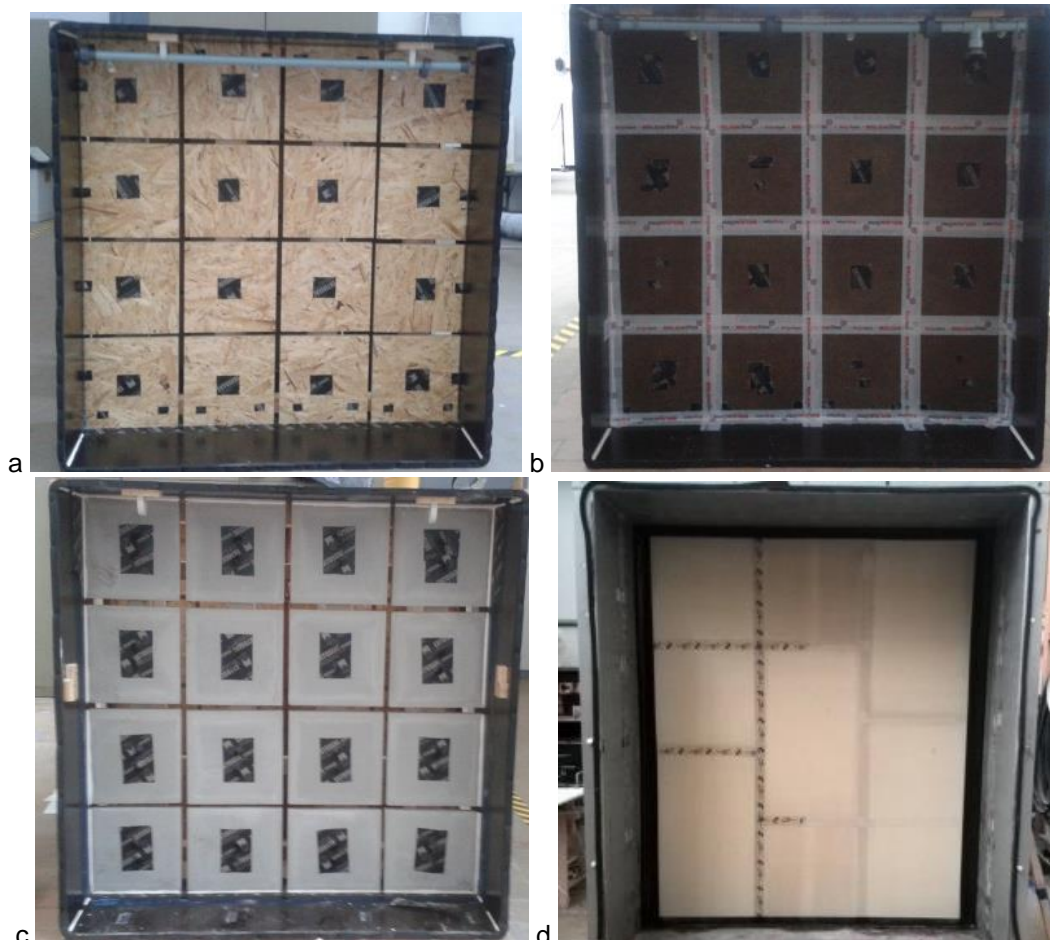


Figuur 1 Overzicht van de geteste materialen

2.2 Set-up 1: brede voegen en kruisen

Set-up 1 bestond uit 16 vierkante tegels met een zijde van 29.5 cm lang. De tegels werden bevestigd in een betonplex frame. Door de tegels werden 9 kruispunten gecreëerd met in totaal 7.5 lopende meter aan voeg. De voegen hadden een gemiddelde breedte van 18 mm. De tegels werden onafhankelijk van elkaar vastgemaakt in het frame. Op die manier liggen de tegels niet perfect in het vlak. Er werd verwacht dat de kruisingen de zwakste plek zouden zijn in de opstelling.

Bijkomend werd een set-up met een houtvezelcementplaat opgebouwd (Figuur 2d), waarbij de verticale voegen 2 mm breed zijn. In horizontale richting werden de panelen tegen elkaar geplaatst.



Figuur 2 Set-up 1 (a) OSB-ondergrond (b) Houtvezelondergrond (c) Betonpanelen. De tegels hadden een afmeting van 29.5 x 29.5 cm. Voegbreedte: 18 mm (d) Houtvezelcementplaat, breedte verticale voegen: 2 mm, breedte horizontale voegen: ± 0 mm

2.3 Set-up 2: Voegen en kruisen met zwelband

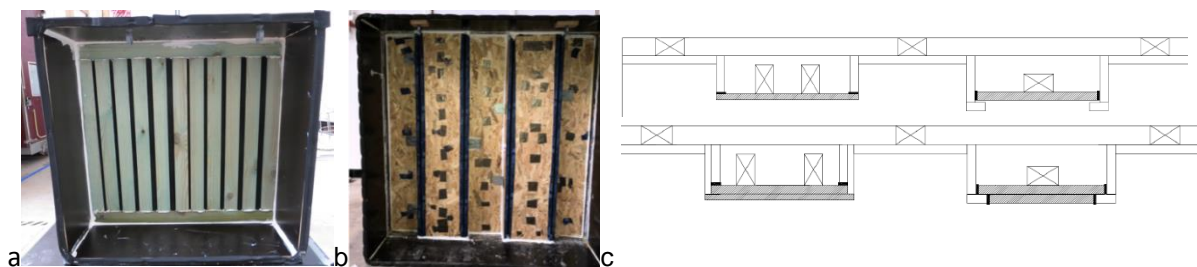
In Set-up 2 werd het gebruik van zwelband getest. In een eerste serie testen werden enkel verticale voegen gecreëerd, waarin de volgende parameters varieerden:

- De compressiegraad (30%, 40%, 50%, 70%);
- Dubbele of enkele plaatsing;
- Geslotencellige, halfopen en open zwelbanden;
- Ruw of glad oppervlak van de zwelband;
- Gebruik van tape om het oppervlak aan de niet-klevende zijde vlakker te maken.

Daarbij werden zowel voegen tussen panelen als voegen op de hoek gesimuleerd (Figuur 3a en b). Bij de opstelling op de hoek werden bijkomend enkele optimalisaties in de geometrie van de voeg getest (Figuur 3c).

Daarnaast werden de zwelbanden ook getest in een opstelling met tegels in MDF (geslotencellige Figuur 4a), betonplaatjes (geslotencellige, Figuur 4b) en houten balken (opencellige), waardoor naast verticale voegen ook horizontale voegen en kruisingen getest werden. Er werden verschillende uitvoeringsmethodes voor de kruisingen getest:

- zonder versteviging, een stompe afwerking;
- met silicone pasta als versteviging;
- met butyl tape als versteviging;
- met varkensoren (Figuur 4c).



Figuur 3 (a) Simulatie verticale voegen tussen panelen (b) Variaties in de geometrie van de voeg

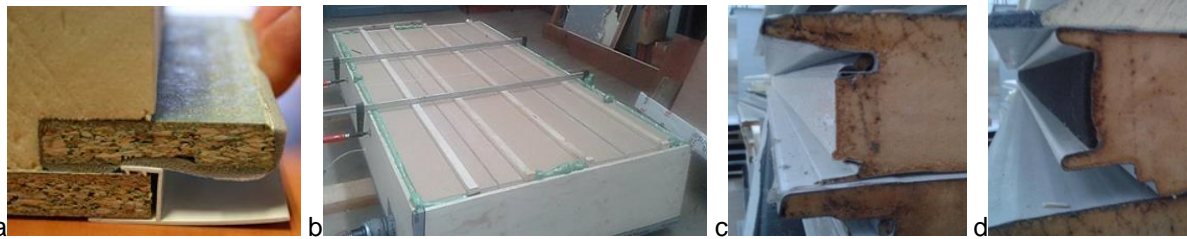


Figuur 4 (a) Opstelling met MDF (b) Opstelling met betonplaten (c) Varkensoor in een kruis met geslotencellige zwelband

2.4 Set-up 3: Tand- en groefsystemen

In Set-up 3 werden tot slot drie variaties op de tand- en groef aansluiting getest. Het systeem met de luchtdichte veer (PVC foam rond houten lat) werd getest op uitvoeringsgevoeligheden (één geheel in het paneel of een uitvoering met verschillende delen). De laatste methode houdt een risico op luchtlekkage in zich, net zoals lokale vervormingen die kunnen voorkomen als er een schroef of een belasting op de panelen de voeg vervormd. Daarnaast werd ook een extra test uitgevoerd waarbij het aandeel in het luchtlekdebiet van de kopse voegen werd begroot.

Bij de tand-en-groef systemen met de polyethyleen sluiting en de opencellige EPDM werd de impact van de paneeldikte getest en werden de twee voeggeometrieën met elkaar vergeleken op vlak van waterinfiltratie.



Figuur 5 (a) Tand- en groef systeem met luchtdichte veer (b) Testopstelling luchtdichte veer (c) Testopstelling tand- en groef systemen met (c) polyethyleen sluiting en (d) opencellige EPDM

Tabel 1 geeft een overzicht van de uitgevoerde testen op de drie opstellingen. Materiaalfiches van de verschillende geteste systemen zijn te vinden in Bijlage 1.

Tabel 1 Overzicht uitgevoerde testen

Systeem	Ondergrond	Luchtdichtheid (EN 12114)	Waterdichtheid- controle lekkage (EN 1027)	Waterdichtheid- controle infiltratie (EN 1027)	Geteste uitvoeringsvariaties
Set-up 1: Brede rechte voeg en kruisingen					
Tape	OSB, houtvezel, beton	x	x		Verticaal-horizontaal sluiten: wat eerst?
Tape	Houtvezelcementplaat		x	x	Verticale voeg 2 mm
Silicone strip	OSB	x	x		
Luchtdichte coating	OSB	x	x		
Polyurethaan schuim	Beton	x	x		
Set-up 2: Rechte voegen en kruisingen bij zwelband					
Zwelband (diverse uitvoeringen, zie bijlage 2)	MDF (verticale voegen)	x	x	x	Open-, halfopen- en gesloten cellenstructuur, compressiegraad, gebruik van tape om oppervlak te effenen, versterking kruising met silicone, bitumen en varkensoor Geometrie voeg
	OSB (Voegen op de hoek)		x	x	
	MDF, beton en houten grenen balken (horizontale en verticale voegen, kruisingen)		x	x	
Set-up 3: Tand en groef systemen					
“Luchtdichte veer”: PVC schuim rond houten lat	SIP (houtvezelplaat en PUR)	x +extra kopse voegen			Gebruik van aparte houten veren in één paneel
Polyethyleen schuimband	SIP (Alu-PIR)	x	x	x	Paneeldiktes van 6, 8, 10 en 15 cm
EPDM Schuimband	SIP (Alu-PIR)	x	x	x	Paneeldiktes van 6, 8, 10 en 12 cm

3 EVALUATIEMETHODE EN CRITERIA

3.1 Luchtdichtheid

3.1.1 Procedure

De luchtdichtheid van de voegen is getest op een full-scale opstelling in het Testcentrum voor Gevelelementen van Universiteit Gent. De luchtdichtheid is gemeten in overeenstemming met NBN EN 12114:2000 "Thermische eigenschappen van gebouwen – Luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen".

De proeven zijn uitgevoerd binnen de beperkingen opgelegd in NBN EN 12114:2000:

- Temperatuur in het interval [15°C; 30°C];
- Relatieve vochtigheid binnen interval [25%; 75%].

Tijdens de luchtdichtheidsproef is het gemeten debiet Q_{tot} samengesteld uit verschillende componenten:

$$Q_{tot} = Q_{omkasting} + Q_{ondergrond} + Q_{omkasting-ondergrond} + Q_{voeg} \quad [m^3 / h.m] \quad \text{(formule 1)}$$

Het debiet $Q_{omkasting}$ is het lekdebiet door de aansluiting tussen de betonplex platen van de omkasting en de draagbalken van de omkasting. $Q_{ondergrond}$ is het lekdebiet doorheen de ondergrond. In Set-up 1 zijn dit de OSB-, houtvezel en betonpanelen. In Set-up 2 zijn dit de grenen/betonnen plaatjes. In Set-up 3 zijn de sandwichpanelen. Deze worden als luchtdicht beschouwd door de metalen huid aan beide kanten van het paneel.

$Q_{omkasting-ondergrond}$ is het lekdebiet door de aansluiting tussen de omkasting en de sandwichpanelen. Dit werd zo luchtdicht mogelijk afgesloten, maar occasionele lekken zijn echter niet uit te sluiten. Bij Set-up 3 was het bv. noodzakelijk om PUR-foam aan te brengen aan de kopse voegen (Figuur 5). Bij het systeem met de luchtdichte veer werd het aandeel van de kopse voeg geëvalueerd (§5.5).

Q_{voeg} is het lekdebiet door de voeg. Om dit debiet te achterhalen werden achtereenvolgens twee luchtdichtheidsmetingen uitgevoerd:

Meting Q_{bruto} : Voeg niet gedicht

$$Q_{bruto} = Q_{tot} = Q_{kast} + Q_{ondergrond} + Q_{omkasting-ondergrond} + Q_{voeg} \quad \text{(formule 2)}$$

Meting $Q_{referentie}$: Voeg gedicht.

$$Q_{referentie} = Q_{kast} + Q_{ondergrond} + Q_{omkasting-ondergrond} \quad \text{(formule 3)}$$

De meetwaarden worden gefit op de machtsfunctie (formule 4).

$$\dot{V} = C \cdot \Delta P^n \quad \text{(formule 4)}$$

Met:

\dot{V} = luchtlekdebiet (m³/h)

C = stromingscoëfficiënt (-)

n = stromingsexponent (-)

ΔP = drukverschil (Pa)

Met de gefitte waarden wordt ten slotte het lekdebiet door de voegen berekend, of:

$$Q_{voeg} = Q_{netto} = Q_{bruto} - Q_{referentie} \quad (\text{formule } 5)$$

De luchtdichtheidsmetingen zelf werden uitgevoerd in onderdruk en in overdruk om een zo correct mogelijk lekdebiet af te leiden. Voor 10 verschillende drukverschillen in het interval 50 – 500 Pa werd het lekdebiet berekend en gecorrigeerd naar normomstandigheden. Vervolgens werden uit deze gecorrigeerde waarden een stromingscoëfficiënt C en stromingsexponent n berekend die de machtsfunctie $V=C.\Delta P^n$ beschrijven. Uit deze machtsfunctie werden referentiewaarden bepaald voor de drukverschillen 50 – 100 – 150 – ... – 500 Pa.

Iedere luchtdichtheidsmeting wordt voorafgaand gecontroleerd op beweging, door de testopstelling achtereenvolgens in 600 Pa overdruk en 600 Pa onderdruk te brengen. Wanneer het lekdebiet (m^3/h) niet gelijk is, kan dit betekenen dat de plaatjes bewegen t.o.v. elkaar, waardoor de aansluiting aan de voeg verbetert of verslechtert. Andere oorzaken van een ongelijk lekdebiet bij hoge drukverschillen in onder- en overdruk is mogelijks de tape van de omkasting die loskomt bij overdruk en beter hecht bij onderdruk. Bij geringe verschillen in onder- en overdruk kan dit ook veroorzaakt zijn door de beweging van de omkasting t.o.v. de testmuur. Deze wordt in overdruk weg van de testmuur geduwd, in onderdruk wordt hij ertegen gezogen.

3.1.2 Foutenanalyse

Om de luchtdichtheid van verschillende aansluitingen met elkaar te kunnen vergelijken wordt steeds het debiet berekend bij 50 Pa. Om het onzekerheidsinterval van het resultaat te bepalen werd met de volgende aspecten rekening gehouden:

- Fout bij omrekening naar normomstandigheden door de fout op meetinstrumenten. Monte-Carlo analyse van 1000 simulaties toont echter aan dat de maximale fout beperkt is tot 0,14% en dus verwaarloosbaar.
- Fout door linearisatie en best fit naar power law $\dot{V} = C \cdot \Delta p^n$ aan de hand van een inverse t-distributie. Dit geeft een zicht op de onzekerheid van de stromingscoëfficiënt C en stromingsexponent n.
- Foutenpropagatie in power law:

$$\sigma_V^2 = \sigma_C \cdot \sigma_n \left[(\Delta p^n)^2 \cdot \frac{\sigma_C}{\sigma_n} + (C \cdot \Delta p^n \cdot \ln(\Delta p))^2 \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_C} + 2C \cdot \Delta p^{2n} \cdot \ln(\Delta p) \cdot r \right] \quad (\text{Formule 6})$$

Met r: Pearson correlation coëfficiënt. Op basis van een 30-tal metingen werd hiervoor als conservatieve aanname -0,5 genomen. C en n zijn immers negatief gecorreleerd.

- Op basis van een t-distributie op 40 metingen werd vastgesteld dat het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de debietsmeting resulteert in een fout van 3,965%.

Het netto debiet wordt bekomen door het tarra-debiet af te trekken van het bruto-debiet. Door de uitgebreide foutenanalyse is er geen systematische fout in de opstelling mogelijk, en kunnen de fouten kwadratisch opgeteld worden.

De totale onzekerheid is dus steeds afhankelijk van de meting zelf en de kallibratiemeting voor de opstelling. De meetfout is samengesteld uit een relatieve fout van 3.965% per meting, de gepropageerde fout door een curve te fitten door 10 meetpunten, de extrapolatie van de curve naar 1 waarde bij 50Pa, en het effect van twee debieten van elkaar af te trekken. De fout wordt dus onder meer bepaald door de luchtlekkage van de kist rond de panelen. Bijgevolg kan ze variëren van meting tot meting.

3.1.3 Prestatiecriteria

Voor voegen is geen genormaliseerde testmethode voor handen, er zijn dus ook geen duidelijke prestatiecriteria beschikbaar. In Nederland zijn er wel C-waarden opgelegd voor naden tussen gevelelementen en dak-elementen, zowel voor woning- als utiliteitsbouw en dit volgens drie prestatiecriteria. Daarbij is de luchtstromingsexponent n gelijkgesteld aan 0,625 (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013). Tabel 2 geeft de richtwaarden weer, omgerekend naar een maximaal lekdebiet per lopende meter bij 50 Pa. Voor meer achtergrondinformatie over de Nederlandse richtlijnen wordt verwezen naar bijlage 2.

Ter vergelijking met de normering in België, enkel voegen in Klasse 3 zouden voldoen aan de voorwaarden voor de passiefnorm in België (meer toelichting, zie Bijlage 2).

Tabel 2 Maximaal lekdebiet per lopende meter door een voeg in de gevelconstructie, bij 50 Pa drukverschil (berekend uit C-waarden vermeld in (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013), zie bijlage 1).

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	
	Basis	Goed	Uitstekend	
Maximaal toegelaten lekdebiet bij 50 Pa per lopende meter voeg (woningbouw)	0,415	0,208	0,042	m ³ /h.m
Maximaal toegelaten lekdebiet bij 50 Pa per lopende meter voeg (gevelconstructie en bouwmuur + dakplaat) (Utiliteitsbouw)	0,104	0,083	0,062	m ³ /h.m

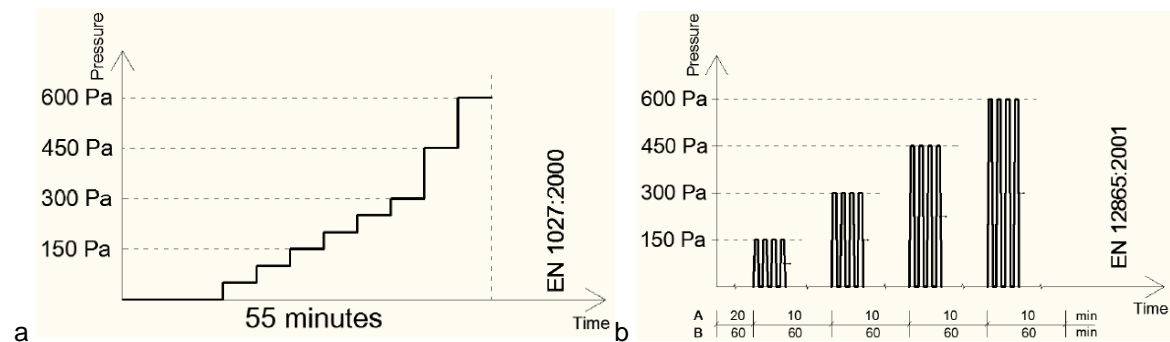
3.2 Waterdichtheid

3.2.1 Procedure

Er bestaan 2 courante testmethodes om de waterdichtheid van een gebouwcomponent te bepalen. De eerste testmethode, EN1207-Ramen en deuren –waterdichtheid- beproevingsmethode, is een statische methode waarbij een constant sproeidebiet van 2l/min.m² wordt aangehouden. Het drukverschil wordt stapsgewijze verhoogd zoals aangegeven in onderstaand schema. Ieder drukverschil werd minimum 5 minuten aangehouden (Figuur 6a) (NBN EN 1027 , 2000). De sproei-installatie sproeit daarbij met een debiet van 2 liter/ minuut*m² op de opstelling, waarbij het drukverschil stelselmatig verhoogt. De norm is weliswaar geschreven voor ramen en deuren: deze kunnen gemakkelijk geopend worden tijdens de test. Voor de opstelling met de sandwichpanelen wordt een andere methode gezocht.

Een tweede norm voor het testen van waterdichtheid is de NBN EN 12865-Thermisch gedrag en vochtwering van gebouwen en bouwelementen-Bepaling van de weerstand van buitengevelsystemen tegen slagregen onder pulserende luchtdruk.' Bij deze test worden drukpulsen aangebracht van 150, 300, 450 en 600 Pa (Figuur 6b). De test dient om een stormconditie na te bootsen (NBN EN 12865, 2001). In tegenstelling tot EN 1027 (die voor ramen ontwikkeld werd), is de EN 12865 een generieke testmethode die in principe op verschillende types gevels kan toegepast worden.

In het geval van deuren en ramen kan men na een test alle onderdelen op eenvoudige wijze visueel inspecteren om vast te stellen of er infiltratie is, door de onderdelen te openen. Bij voegen kan beroep gedaan worden op vloiepapiertjes (set-up 2 – zichtbare infiltratie tijdens de test) of vochtindicatiestickers (set-up 3 –infiltratie vaststellen na ontmanteling) om waterinfiltratie vast te stellen (Figuur 7).



Figuur 6 (a) procedure van een statische waterdichtheidstest. (b) procedure voor een dynamische waterdichtheidstest



Figuur 7 (a) Vloeipapertjes bij set-up 2. Infiltratie kan tijdens de test vastgesteld worden. (b) Vochtindicatiestickers bij set-up 3. Infiltratie kan enkel na ontmanteling vastgesteld worden.

Opmerking

De dichtingssystemen in dit verslag werden beproefd zonder gevelbekleding. In werkelijkheid zal de gevelbekleding de voeg afschermen van directe slagregen. Hier werd dus de worst-case scenario getest.

3.2.2 Prestatiecriteria

Een waterdichtheidsklasse wordt gekenmerkt door het hoogste drukverschil waarbij er geen lekkage optreedt. Voor ramen en deuren is een courante waterdichtheidsklasse '9A', waarbij er tot 600 Pa beproevingsdruk geen waterlekkage mag optreden. Deze klasse moet gehaald worden voor ramen en deuren in kustgebied, op een hoogte van 0m tot 18m van het maaiveld (NBN B 25-002-1, 2009). Met deze prestatie wordt een groot deel van de markt afgedekt, en is dus een courante prestatieklasse. Voor hogere gebouwen die sterk blootgesteld worden aan wind kunnen uiteraard hogere prestatie-eisen gesteld worden, waarbij 1200 Pa in praktijk als bovengrens kan fungeren.

3.2.2.1 Bijkomende test bij Set-up 3:

Indien bij Set-up 3 alle indicatoren verkleurd waren na de waterdichtheidstest –zonder dat er met de vloeipapieren waterinfiltratie was vastgesteld- werd een bijkomende waterdichtheidstest uitgevoerd. Hierin werd de voeg bijkomend 10 minuten op 600 Pa beproefd met een debiet van 8l/m. Op die manier kan geschat worden of de infiltratie vooral gestuurd wordt door een lange blootstelling aan water (8 l/min gedurende 55 min aan stijgend drukverschil, conform EN 1027) of door hoge drukverschillen (de 600 Pa gedurende 10 min, eveneens met 8 l/min).

4 RESULTATEN

4.1 Samenvatting luchtdichtheid

Figuur 8 geeft een algemeen overzicht van de prestaties op vlak van luchtdichtheid van Set-up 1, de verticale voegen in Set-up 2 en de luchtdichte veer van Set-up 3. De prestaties van de twee andere tand- en groef systemen zijn weergegeven in Figuur 10. De rode balken op Figuur 8 duiden aan welke systemen luchtdichtheidsklasse 3 (~ passiefnorm) niet haalden. Dit zijn:

- De tape op houtvezelplaat (set-up 1);
- De PUR-dichting (set-up 1);
- De zwelband met 20% compressiegraad en met 60% compressiegraad, beide ruw, dubbel geplaatst en geslotencellig (Set-up 2);
- De opencellige zwelband op 20% (met en zonder tape), 60% (zonder tape) en 70% (met en zonder tape);

Ondanks dit halen alle systemen wel de eisen uit luchtdichtheidsklasse 2 ($0.208 \text{ m}^3/\text{hm}$), behalve de opencellige zwelband. De opencellige zwelband op 20% zonder tape op de niet-klevende zijde haalt zelfs klasse 3 niet.

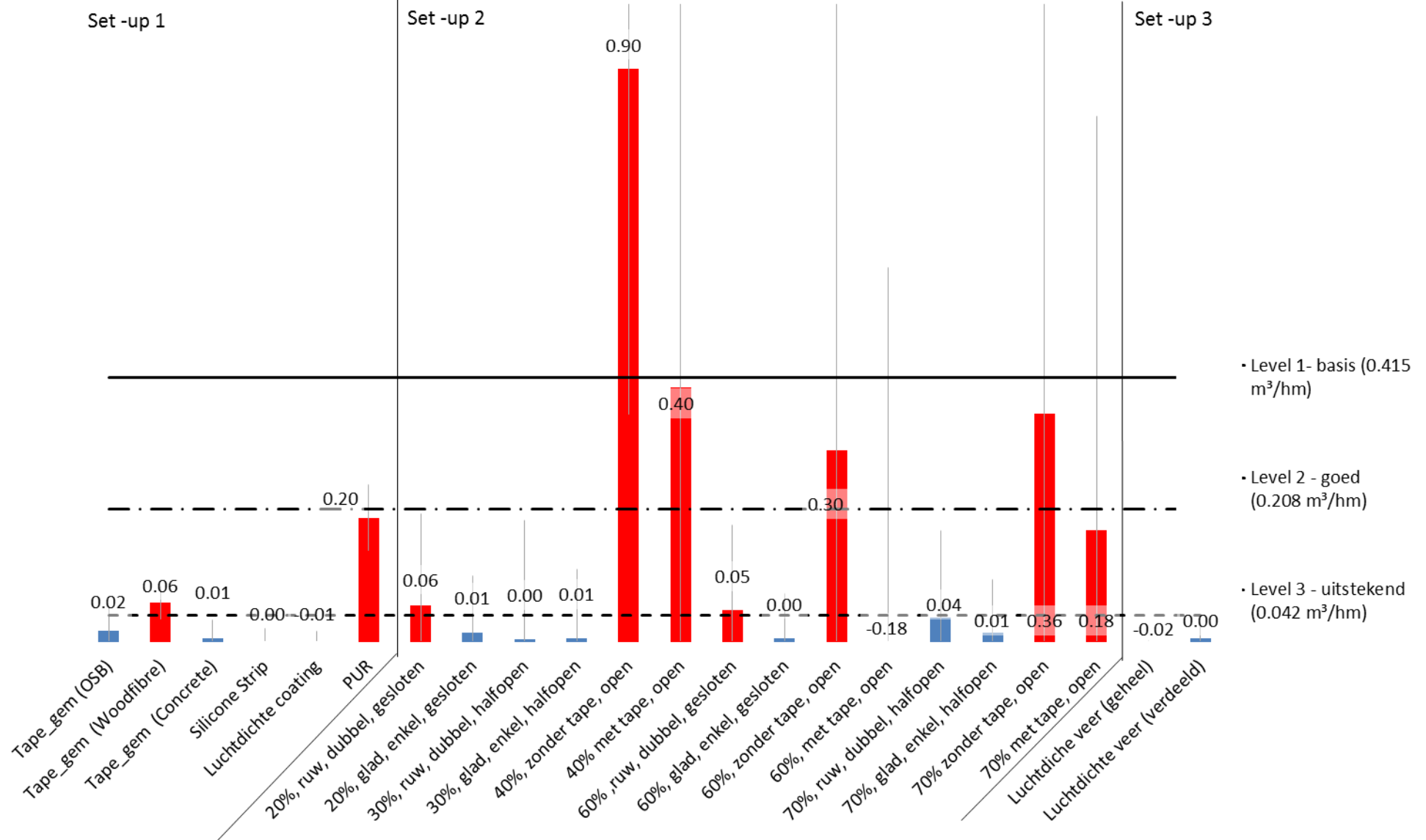
Bij **Set-up 1** is duidelijk dat tape op stijvere ondergronden zoals OSB en beton een lager luchtlekdebiet vertoonde dan de tape op houtvezel. De aanhechting was op de houtvezelplaat minder sterk, door de kleine vezels op het oppervlak van het substraat die loskomen – ondanks de behandeling met een primer. In Figuur 8 is een gemiddelde waarde van drie soorten tapes afgebeeld. Voor een uitgebreid verslag van de 3 soorten tapes die getest werden, wordt verwezen naar (Van Linden, 2016).

Bij **Set-up 2** vielen de gemeten luchtlekdebieten van de geslotencellige en halfopencellige allemaal binnen hetzelfde nauwkeurighedsinterval. Het nauwkeurighedsinterval bij dit type zwelbanden is daarenboven ook 5 tot 10 keer groter dan de meetwaarde, waardoor eigenlijk geen uitspraak kan gedaan worden over de impact van compressiegraad, plaatsingswijze, enz. Alle systemen met halfopen en geslotencellige blijken m.a.w. luchtdicht. Echter, als het nauwkeurighedsinterval buiten beschouwing gelaten wordt, is te zien dat de halfopen cellenband het best presteerde.

Wat betreft de opencellige zwelband, is het lekdebiet vele malen hoger als geen tape aangebracht is op de niet-klevende zijde van de voeg (Figuur 8). Van zodra er tape aangebracht is aan de niet klevende zijde, sluit de opencellige zwelband beter aan en halveert het luchtlekdebiet bij de opencellige zwelband op 20% en 70% compressie. Daarnaast is duidelijk dat de opencellige zwelband luchtdichter werd, naarmate de compressiegraad toenam. Toch wordt nooit dezelfde luchtdichtheid bereikt als bij geslotencellige en halfopencellige zwelband. Door de opencellige structuur kan dit ook niet, maar dit type zwelband is bv. wel gemakkelijker aan te brengen omdat ze soepeler is dan gesloten- en halfopencellige zwelband. Om het gebrek aan luchtdichtheid te compenseren, is de opencellige zwelband daarom door de fabrikant voorzien van een extra folie om de luchtdichtheid te verzekeren, maar in de labotesten werd duidelijk dat deze aan de randen van de voeg nog lekken kan vertonen (Figuur 9).

De opstelling met de hoeken en kruisingen in set-up 2 zijn niet opgenomen in Figuur 8. Bij de hoekopstelling liggen de resultaten op vlak van luchtdichtheid in dezelfde lijn als bij de verticale voegen. Bij de opstelling met de kruispunten, waren de kruispunten de grootste oorzaak van verhoogde luchtlekdebieten. De aandachtspunten van deze opstellingen worden besproken in §5.

V50 (m³/hm) door de voeg



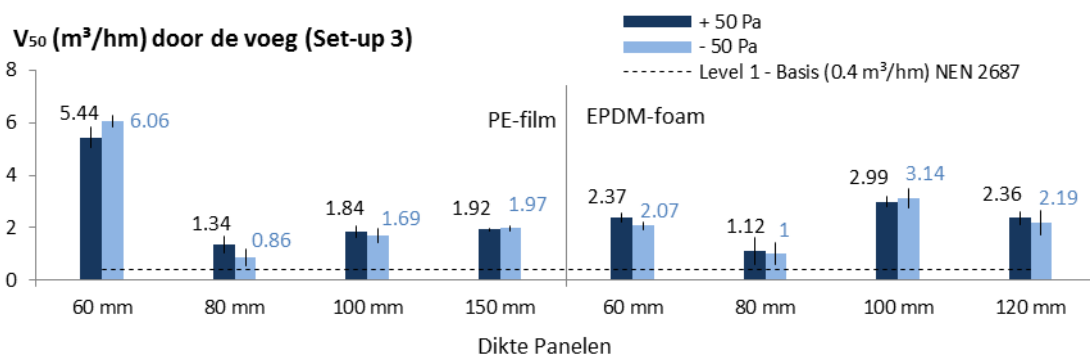
Figuur 8 Overzicht resultaten luchtdichtheidstesten



Figuur 9 (a) Opencellige tape met extra witte folie voor de luchtdichtheid (b) testopstelling voorkant (c) testopstelling achterkant met de witte folie zoals voorgeschreven volgens de fabrikant

In **Set-up 3** was bij de twee uitvoeringswijzen van de luchtdichte veer (als geheel en in stukjes) geen significant verschil te zien in het luchtlekdebiet. Daarenboven is het nauwkeurigheidinterval ook groter dan de meetwaarde zelf, waardoor het systeem als luchtdicht kan beschouwd worden.

Het luchtlekdebiet van de tand- en groef constructies met de polyethyleen en de EPDM-foam werden apart afgebeeld in Figuur 10 omdat de grootteorde ongeveer 10 tot 5 keer zo hoog ligt als bij Figuur 8. Beide tand- en groefvoegen voldeden zelf niet aan luchtdichtheidsklasse 1 volgens NEN 2687. In de technische fiche van de tand- en groef met polyethyleen band, zijn luchtlekdebieten tot $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ bij 50 Pa mogelijk (Kingspan, 2014). Alle sandwichpanelen vertoonden ongeveer hetzelfde luchtlekdebiet (tussen 1.34 en $2.99 \text{ m}^3/\text{hm}$ bij + 50 Pa), behalve het paneel met de polyethyleen voegband op 60 mm dikte. Dit was te wijten aan een te korte voegband. Algemeen kan besloten worden dat er met deze systemen nog extra maatregelen nodig zijn om de passief norm voor woningen te halen, maar dat de gemeten prestaties in de lijn liggen van wat in de technische fiche vermeld werd.



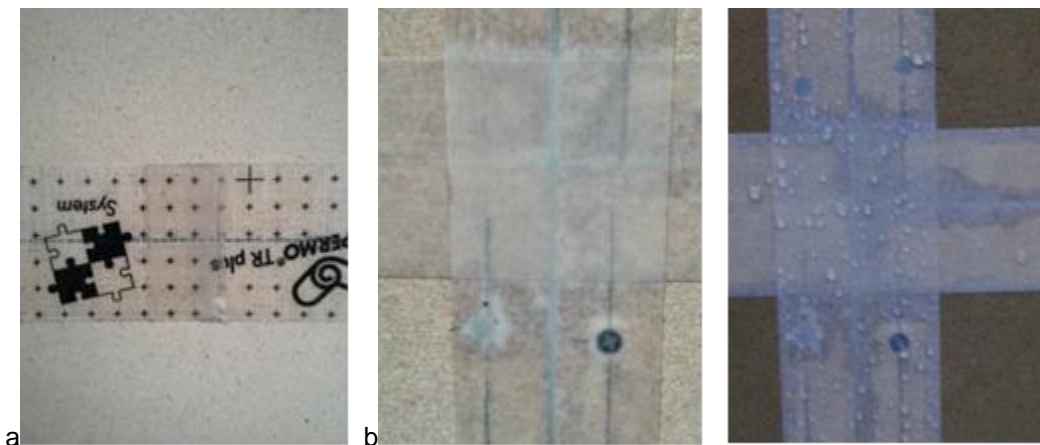
Figuur 10 Overzicht luchtlekdebiet bij 50 Pa drukverschil, Set-up 3

Desondanks het niet halen van luchtdichtheidsklasse 1, zijn de gemeten luchtlekdebieten relatief beperkt. Neem bv. een rechthoekig gebouw van $50 \times 10 \text{ m}$, opgebouwd uit 24 SIPs van 5 m breed en 3 m hoog. De totale lengte aan verticale voegen bedraagt dan 72 m en de totale lengte aan horizontale voegen bedraagt 240 m. Als het gebouwvolume 1500 m^3 is en de verticale voegen bestaan uit het tand-en-groef systeem met de EPDM opencellige zwelband met paneeldikte 100 mm, zal het totale luchtlekdebiet door de voegen $215,25 \text{ m}^3/\text{h}$ zijn oftewel 24% van het toegelaten ventilatievoud ($n_{50} = 0.6 \text{ h}^{-1}$, 900 m^3 mag weglekken per uur) volgens de passiefnorm. De luchtlekkage

moet dus steeds ook bekeken worden in combinatie met de te verwachten lekkage door vloeren, wandelementen, dak en schrijnwerk, rekening houdend met het vooropgestelde ambitieniveau.

4.2 Samenvatting waterdichtheid

Tabel 3 geeft een overzicht van de resultaten van de waterdichtheidstesten. In **Set-up 1** waren de kruispunten duidelijk de zwakste punten op vlak van waterdichtheid. Daarnaast waren er ook lokale imperfecties in het voegoppervlak die waterlekkage veroorzaakten. Dit was bv. het geval bij de silicone strips en de luchtdichte coating, waar lokale imperfecties verhinderden dat de vloeibare silicone overal even goed dekte. Bij de houtvezelcementplaat en voegdichting met tape veroorzaakten onregelmatigheden achter de tape waterinfiltratie die uiteindelijk kan uitmonden in waterlekkage (lokale verdikking door lijm, nagel die uitsteekt, verminderde kleefkracht van de tape) (Figuur 11).



Figuur 11 (a) Resterende lijmresten op de tape (b) Waterinfiltratie en –opstapeling in een kruispunt (tape op houtvezelcementplaat)

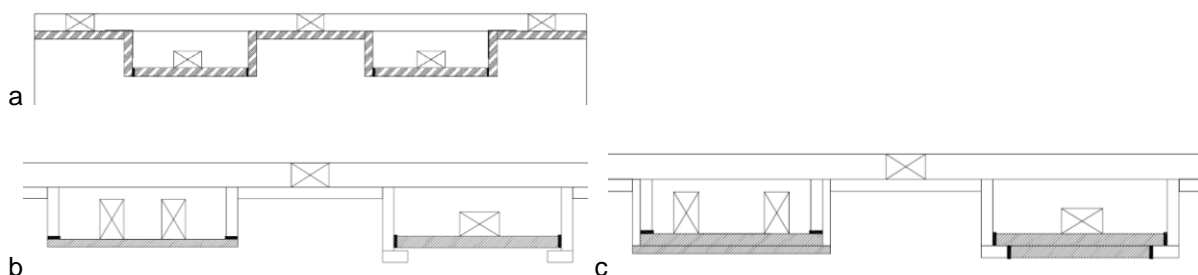
In **set-up 2** was te zien dat oneffenheden in het voegoppervlak de grootste oorzaak zijn van waterlekkage en –infiltratie. Zonder de tape aan de niet-klevende zijde is het oppervlak in de voeg niet volledig uitgevlakt, waardoor lokale imperfecties (bv. grote splinters) het contact tussen het de ondergrond en de zwelband verhinderen. In de tweede plaats zorgt een hogere compressiegraad voor een betere waterdichting.

Bij de opencellige zwelband (in verticale voegen) faalden de zwelband zonder tape op de niet-klevende zijde bij lage drukverschillen (vanaf 50 Pa). De opencellige banden met tape vertoonden pas lekkages vanaf 750 Pa, ongeacht de compressiegraad. In de testen met verticale voegen met halfopencellige banden faalde elke band met een compressiegraad onder 70%, en zonder tape aan de niet-klevende kant in de opstelling. Tijdens de test werd vastgesteld dat de zwelbanden met een compressiegraad boven 30% geen lekkages vertoonden tot 200 Pa.

De zwelband met een gesloten cellenstructuur bleken waterdicht in de testen met verticale voegen tussen panelen. Bij de testen in de hoekopstelling (Figuur 12a) vertoonden ze waterlekkages vanaf 450 Pa, ongeacht de compressiegraad (Tabel 3). Bij de geoptimaliseerde opstelling in Figuur 12b en c vertoonde de geslotencellige zwelband op geen enkel moment waterlekkage of infiltratie. Let wel, mogelijk is er wel water in de voeg geraakt, maar was dit niet waarneembaar door de geometrie van de voeg. Bij dergelijke oplossingen moet eventueel geïnfiltreerd water geëvacueerd kunnen worden.

Naar de praktijk toe wordt dus aanbevolen om een vlakmakend materiaal (tape, andere zwelband) aan de niet-klevende zijde aan te brengen, in combinatie met een hoge compressiegraad van de

zweiband. Daarnaast loont het de moeite om de zweiband af te schermen van rechtstreeks watertoevoer door de geometrie van de voeg.



Figuur 12 (a) Hoekopstelling (b) Optimalisatie met afscherming zweiband (d) Optimalisatie door meertrapsdichting

Wat de kruispunten met zweiband betreft, werd geen waterdichte oplossing gevonden met zweibanden alleen. Uit de testen met de geslotencellige EPDM band vertoonden de kruispunten lekkages onder 600 Pa in de testkast met de lagere compressiegraden (20-50%). In de kast met de hogere compressiegraden (30%-70%) vertoonden de kruispunten met butyl en silicone versterking geen waterlekage onder 600 Pa. Kruispunten met een varkensoor bleken helemaal geen oplossing te zijn. De geslotencellige zweibanden werden door elkaar weggeduwd tijdens de plaatsing (Figuur 13a), bij de opencellige zweiband was nog een gat zichtbaar nadat de zweibanden volledig uitgezet waren (Figuur 13 b).



Figuur 13 (a) varkensoor met geslotencellige zweiband (EPDM), wegduwen van banden (b) varkensoor met opencellige zweiband (EPDM) kleine opening door niet optimale uitzetting van de zweiband

In **Set-up 3** ten slotte, vertoonden alle panelen waterinfiltratie na uitvoering van een volledige waterdichtheidstest volgens EN 1027. Puur volgens de letter van de norm, zijn alle panelen geslaagd, want ze vertonen geen waterlekage. Om na te gaan hoe de waterinfiltratie veroorzaakt werd (hoog drukverschil of veel water na verloop van tijd) werd een bijkomende waterdichtheidstest van 10 minuten uitgevoerd, aan 600 Pa met 2l/h/m². Hieruit bleek dat de tand- en groefsystemen met polyethyleen vooral faalden door de hoge drukverschillen, terwijl de tand- en groefsystemen met de opencellige EPDM faalden na een lange blootstelling aan water.

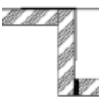


Tabel 3 Overzicht resultaten waterdichtheidstest

Set-up 1: Brede rechte voeg en kruisingen		
	Waterlekage (EN 1027)	Waterinfiltratie (EN 1027)
Tape (op OSB)	Tussen 0-300 Pa aan kruising	
Tape (op houtvezel)	Tussen 0-150 Pa aan kruising	

Tape (op beton)	Tussen 0-50 Pa aan kruising	
Tape (op houtvezelcementplaat)	Tussen 0-300 Pa aan kruising	Waterinfiltratie tussen de tape en het oppervlak bij tape 1 (inspectie na test), bij tape 2 was dit aan alle kruispunten
Silicone strip	150 Pa aan kruising en voeg	
Luchtdichte coating	50 Pa aan imperfecties rugvulling	
PUR	0-50 Pa aan kruising	

Set-up 2: Rechte voegen en kruisingen bij zwelband

g = geslotencellig, ho = halfopen, o = open

	Waterlekage (EN 1027)	Waterinfiltratie (EN 1027)
Verticale voeg tussen panelen (Figuur 3a)	<p>EPDM (ho): 200 Pa, alle enkel geplaatste schuimbanden zonder oppervlakte-effening (tape), < 70% compressie</p> <p>PU (o): 50 -600 Pa, zonder tape op niet-klevende zijde, lekkage aan klevende en niet klevende zijde, compressie van 40%-80%.</p> <p>750-1000 Pa, met tape op niet-klevende zijde, lekkage aan niet-klevende zijde, met compressie 60% -70%-80%</p>	<p>EPDM (ho): 50 Pa, enkel geplaatste schuimbanden, infiltratie aan de niet-klevende zijde zonder tape.</p> <p>PU (o):50-1000 Pa: infiltratie aan niet klevende zijde; compressie 40%-50% vertoont infiltratie bij 50-250 Pa, compressiegraad 60%-80% vertoont infiltratie aan 300 Pa en 1000 Pa</p>
Verticale voeg op de hoek (tape op de niet-klevende zijde) 	<p><u>-rechte geometrie (Figuur 12a):</u></p> <p>EPDM (g): aan niet-kleefzijde, 450 Pa met compressiegraad 6.67%-53.3% en 0-6.7%, 600 Pa met compressiegraad 6.7%-0%;</p> <p>NEOPREEN (g): aan kleefzijde, 450 Pa met compressiegraad 40%-60% (hoogste van de opstelling)</p>	<p><u>-rechte geometrie (Figuur 12a):</u></p> <p>EPDM (g): infiltratie vanaf 250 Pa, niet-klevende zijde: voorzijde testkast compressiegraad van 13.3%, achterkant: 40.0%</p>
	<p><u>-Afgeschermd zwelband (Figuur 12b):</u></p> <p>NEOPREEN (g): 1 lek bij 450 Pa, 41.7% compressie (ook voegen met 36.7%-20% in de opstelling)</p> <p>EPDM (g): geen lek vastgesteld</p>	<p><u>-Afgeschermd zwelband(Figuur 12b):</u></p> <p>NEOPREEN (g): bij 0 Pa, kleefzijde zwelband</p> <p>EPDM (g): geen infiltratie vastgesteld</p>
	<p><u>-trapsdichting (Figuur 12c):</u></p> <p>NEOPREEN (g): geen lek vastgesteld</p> <p>EPDM (g): geen lek vastgesteld</p>	<p><u>-trapsdichting (Figuur 12c):</u></p> <p>NEOPREEN (g): geen infiltratie vastgesteld</p> <p>EPDM (g): geen infiltratie vastgesteld</p>
Kruisingen MDF (Figuur 4a)	<p>EPDM (g): (10%-60%) 250 Pa (kruising: stompe afwerking en afwerking met silicone). Alle kruisingen bij < 60% compressie (20-70%) 300 Pa voor de kruising met stompe afwerking.</p> <p>In de kast met gemiddeld hogere compressiegraden, enkel de kruisingen zonder versteviging.</p>	100 Pa, testkast met gemiddelde laagste compressiegraden (tussen 20% en 50% compressiegraad)
Kruisingen Beton (Figuur 4b)	<p>NEOPREEN (g): 0 Pa: binnenkant varkensoor en kleefzijde verticale voeg</p> <p>50Pa. 0-450 Pa: alle kruispunten faalden (varkensoren en stompe aansluitingen in kruispunten)</p>	
Kruisingen Grenen balken	PU (o): 50-250 Pa: (4/6 van de kruispunten: stompe aansluiting en varkensoor)	

Set-up 3: Tand en groef systemen

	Waterlekage (EN 1027)	Waterinfiltratie (EN 1027)	Waterinfiltratie (10 min, 600 Pa, 2l/min/m ²)
Luchtdichte veer	Niet getest	Niet getest	
Polyethyleen voegband (SIP, ALU ⁻ -PIR, diktes van 6, 8, 10 en 15 cm)	Allen geslaagd	Bij alle diktes, over de hele sectie (behalve bij paneel met 8 cm dikte)	Infiltratie tot halverwege de sectie
EPDM schuimband (SIP, ALU-PUR, diktes van 6, 8, 10 en 12 cm)	Allen geslaagd	Over de hele sectie	Geen infiltratie, behalve aan lokale afwijkingen in de voeg

5 OORZAKEN FALING EN AANBEVELINGEN

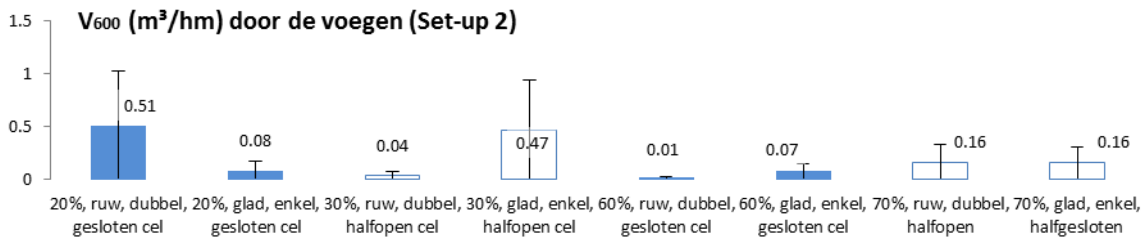
5.1 Flexibiliteit en compressie

Figuur 8 maakt duidelijk dat de meer flexibele materialen (silicone strip, luchtdichte coating [Set-up 1], EPDM zwelbanden met een halfopen structuur [Set-up 2] en de luchtdichte veer [Set-up 3]) een lager luchtlekdebiet vertonen bij 50 Pa. Flexibele materialen kunnen beter de kleine imperfecties in een voegoppervlak opvangen. Dit is zeker het geval voor vloeibaar aangebrachte materialen zoals coatings. Bij de zwelbanden is een halfopen structuur beter om onregelmatigheden in het voegoppervlak op te vangen, omdat deze beter samen te drukken zijn dan geslotencellige systemen. Hierdoor presteerden ze beter op vlak van luchtdichtheid dan de geslotencellige (Figuur 8).

Uiteraard moet bij de keuze van een dichtingsmateriaal wel rekening gehouden worden met de luchtdichtheid van de materie an sich. Zo is de opencellige zwelband niet luchtdicht zonder extra folie (zoals op Figuur 9). Ze is echter flexibeler dan halfopen en geslotencellige waardoor ze beter in staat is om holtes en kleine imperfecties op te vullen. Bijgevolg presteert ze beter op vlak van waterdichtheid (Tabel 3). Figuur 8 maakt echter duidelijk dat opencellige zwelband veel slechter presteert op vlak van luchtdichtheid dan halfopen- en geslotencellige zwelband.

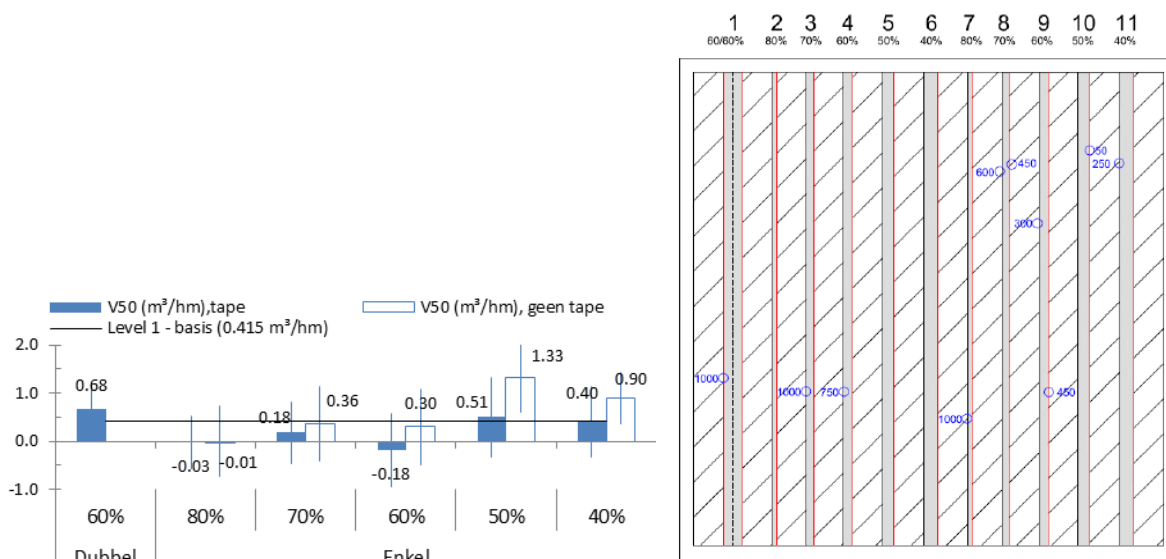
De compressiegraad is samen met de flexibiliteit een essentiële factor in het opnemen van onregelmatigheden in de voeg, ook bij tand- en groefsystemen. Zo is de luchtdichte veer gemakkelijk in te drukken, maar was de groef waarin ze geïnstalleerd was ook kleiner van afmeting waardoor de PVC-foam optimaal samengedrukt werd. Bij de twee andere tand- en groefsystemen was de polyethyleen band en de EPDM opencellige foam op voorhand aangebracht op het paneel, waardoor het veel moeilijker was om een optimale compressie te bereiken bij plaatsing.

Bij zwelbanden blijkt dat hoe soepeler het materiaal is, hoe belangrijker de compressiegraad wordt voor de prestaties. Bij 50 Pa drukverschil was het prestatieverschil niet meetbaar (te groot nauwkeurighedsinterval, Figuur 8). Bij 600 Pa is het prestatieverschil tussen de halfopen- en geslotencellige zwelbanden beter te zien (Figuur 14). Bij een lage compressiegraad (20%, 30%) is het lekdebiet duidelijk hoger dan bij 60%, 70%. Daarnaast tonen de geslotencellige zwelbanden in de hogere compressiegraad een betere prestatie dan de halfopen- en geslotencellige. De geslotencellige vertoonden ook geen waterlekage in de opstelling met de verticale voegen (Tabel 3).



Figuur 14 Lekdebiet bij 600 Pa drukverschil, Set-up 2

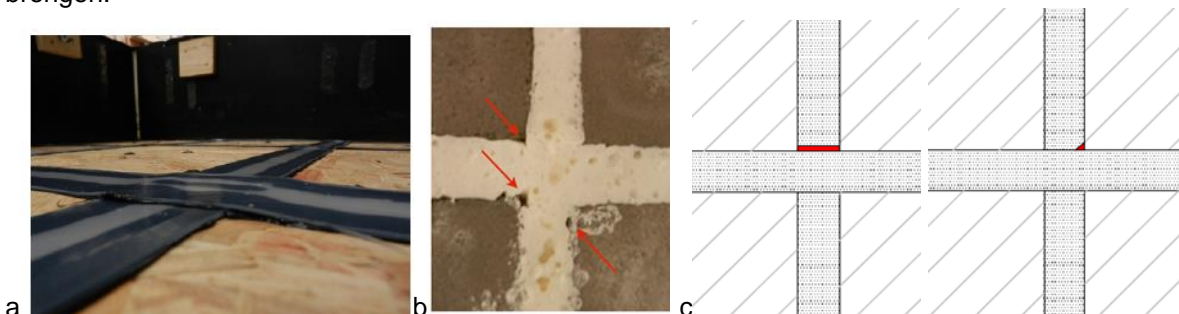
De opcellige zwelband is het meest gevoelig aan de compressiegraad. Zowel op vlak van lucht- als waterdichtheid presteerde de opcellige zwelband beter naarmate de compressiegraad toeneemt (Figuur 15). Dit effect is duidelijker te zien bij de zwelbanden zonder tape op de niet-klevende zijde.



Figuur 15 (a) Resultaten luchtdichtheidstest (b) Resultaten waterdichtheidstest

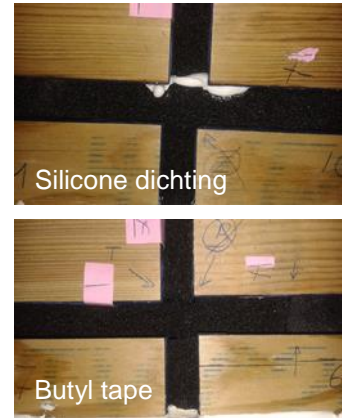
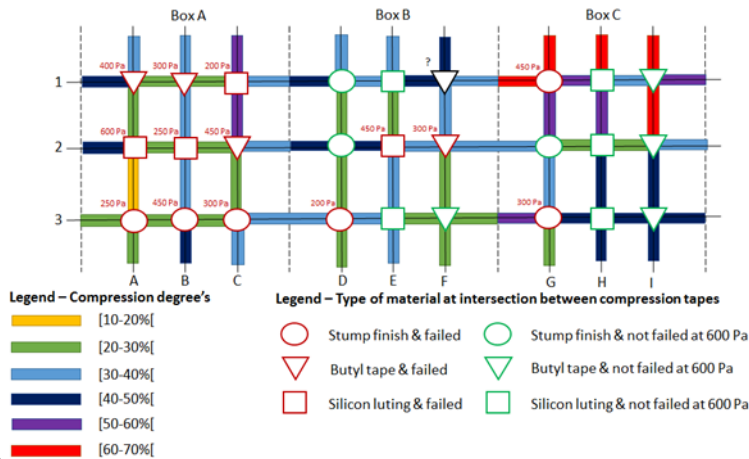
5.2 Detaillering kruispunt

Bij Set-up 1 en Set-up 2 faalde het merendeel van de kruispunten bij drukverschillen onder 600 Pa bij de waterdichtheidstest. Afhankelijk van het gebruikte materiaal, situeerde het zwakke punt zich in de overlap van voegmaterialen (Tape, Silicone strip, ...Figuur 16a) of in de hoeken (EPDM foam, PUR, luchtdichte coatings, geslotencellige zwelband Figuur 16b en c). De overlap-punten kunnen geoptimaliseerd worden door een stuk tape diagonaal over het kruis aan te brengen in geval van tape, of extra silicone aan te brengen in de hoek tussen twee silicone strips (Van Linden, 2016). Bij de vullende materialen zoals de zwelband is het aanbevolen om extra materiaal in de hoeken aan te brengen.



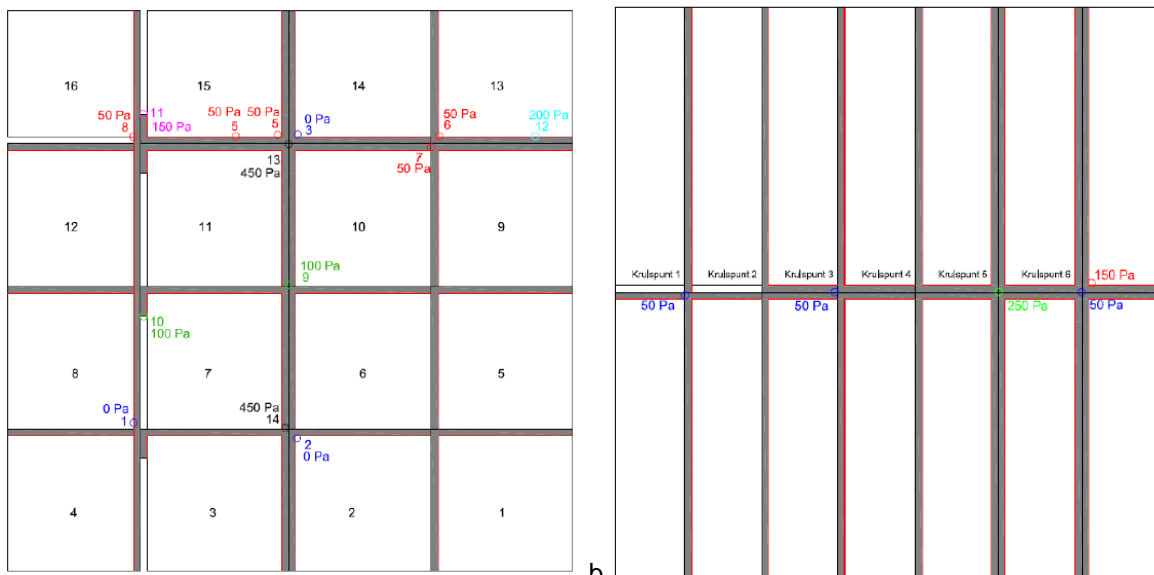
Figuur 16 (a) Set-up 1: Overlap van silicone strips op het kruispunt (b) Onvoldende opvulling in de hoeken bij PUR-foam, door uitzettingsproces (c) Onvoldende opvulling in de hoeken van zwelbanden

In Set-up 2 werd getest of het gebruik van silicone, butyl tape of het plaatsen van extra zwelband (varkensoor) helpt om het kruispunt te verstevigen. In combinatie met een hoge compressiegraad (Box C, compressiegraden tussen 20% en 70%, Figuur 17) vertoonden de kruispunten met een versteviging in silicone of butyl tape geen waterlekage bij 600 Pa. In de lagere compressiegraden (Box A) faalden alle kruisen –ook verstevigde- dan weer wel. Het komt er dus op aan om bij zwelbanden zowel een hoge compressiegraad te hanteren als een versteviging aan te brengen in de hoeken. Mogelijk helpt het gebruik van luchtdichte coating ook om kleine holtes in de hoeken te dichten.



a **b**
Figuur 17 (a) Schema van de drie testboxen voor set-up 2, met kruispunten uitgevoerd zonder versteviging (zoals op Figuur 16c) en met een silicone en butyl versteviging (Figuur 17b)

Het plaatsen van extra zwelband in de hoeken is dat weer af te raden. Bij de geslotencellige zwelband werd het materiaal uit de kruising geduwd (Figuur 13a), doordat de band te stijf is. Daardoor ontstonden er gaten aan de hoeken van de betonpanelen. Met de opencellige zwelband was de kruising met varkensoor beter opgevuld, maar ontstonden er toch nog holtes doordat de uitzetting van de zwelband in het kruispunt niet overal goed aansloot (Figuur 13b). Bijgevolg faalden de meeste kruispunten met varkensoren vanaf de start van de waterdichtheidstest (Figuur 18).

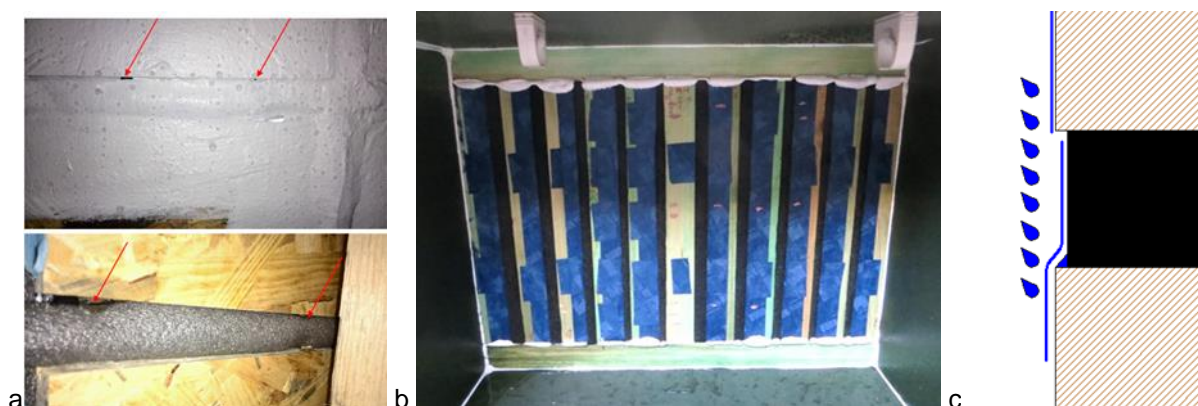


a **b**
Figuur 18 (a) Resultaat waterdichtheidstest met geslotencellige neopreen zwelband (b) Resultaat waterdichtheidstest met opencellige zwelband

5.3 Lokale oneffenheden in de voeg

Naast de kruispunten, kunnen lokale oneffenheden in het voegoppervlak ook waterlekage veroorzaken. Figuur 19 (a) toont een lokale compressie van de rugvulling in de voeg bij Set-up 1, door een splinter in het OSB-paneel. Bij het gebruik van een luchtdichte coating is de vlakheid van het oppervlak – zonder grote of diepe holtes zoals op Figuur 19a- van belang voor de lucht- en waterdichtheid. In Set-up 2 (Figuur 19b) werd aangetoond dat het gebruik van een tape aan de niet-klevende kant van de zwelband waterinfiltratie verhindert. De tape zorgt ervoor dat oneffenheden in het voegoppervlak uitgevlakt worden waardoor de zwelband beter contact maakt met het oppervlak in de voeg.

Een ander mechanisme dat waterinfiltratie in de hand werkt is de wateraccumulatie bij een horizontale voeg, waarbij de zwelband teruggetrokken zit t.o.v. het vlak van het paneel (Figuur 19c). Op zich is wateraccumulatie geen probleem, maar dit kan wel waterinfiltratie tot gevolg hebben wanneer er hoge drukverschillen zijn of wanneer er een lokale oneffenheid aanwezig is.



Figuur 19(a) Luchtdichte coating (boven) en de rugvulling (onder) in de voeg [Set-up 1]. (b) Zwelbanden in een verticale voeg met tape aan de niet-klevende kant [Set-up 2]. (c) Accumulatie van water in een horizontale voeg, wat waterinfiltratie veroorzaakt tussen de zwelband en het vloeroppervlak

In Set-up 2 werd eveneens aangetoond dat een effen oppervlak noodzakelijk is om de niet-klevende kant van de zwelband tegen aan te drukken (Figuur 8). Zo halveerde het luchtlekdebiet voor de opencellige banden met een compressiegraad van 40% en 50%, van zodra een tape aangebracht was op de niet-klevende zijde (Figuur 15). Voor de gesloten- en halfopen zwelband was het effect van de vlakmakende tape vooral zichtbaar in de waterdichtheidstesten. Bij de halfopencellige banden faalde elke band zonder tape, met een compressiegraad lager dan 70% (Tabel 3).

In Set-up 3 waren het lokale tekortkomingen van het voegsysteem die hogere luchtlekdebieten en waterinfiltratie in de hand werken. Bv. bij het paneel van 60 mm dik met de polyethyleen-band bleek de band te kort (Figuur 20a), waardoor het luchtlekdebiet bij dat paneel hoger lagen dan bij de andere sandwichpanelen (Figuur 10). Omdat het voegmateriaal hier al geïntegreerd is, kan er bij plaatsing weinig gecorrigeerd worden om een optimaal contact te garanderen. Bij toenemende dikte zou de kans ook groter zijn op lokale oneffenheden, door het uithardingsproces van de PIR tijdens de fabricage. In deze metingen werd geen duidelijke relatie zichtbaar tussen het luchtlekdebiet en de dikte van het paneel, noch een duidelijk prestatieverschil tussen de tand- en groef met polyethyleen en met EPMD foam (Figuur 10).



Figuur 20 (a) Te korte polyethyleen band in de tand-en-groef voeg (b) waterindicatorstickers op het tandvlak van foto (c) lokale schade aan de opencellige EPDM in de groef.

5.4 Materiaaleigenschappen en waterinfiltratie (Set-up 3)

De tand- en groefsystemen die getest werden op waterdichtheid, vertoonden allemaal waterinfiltratie na de test volgens EN 1027 (Tabel 3). Dit kon echter vastgesteld worden na demontage van de panelen, door de waterindicatoren aangebracht op het voegoppervlak (Figuur 20b). Om na te gaan of infiltratie optrad bij hoge drukverschillen of na lange blootstelling aan water, werd een bijkomende waterdichtheidstest uitgevoerd, waarbij 10 min lang een drukverschil van 600 Pa werd aangebracht en 2l/h/m^2 op de proefopstelling gesproeid werd.

De tand- en groefverbinding met de polyethyleen-band met 150 mm paneeldikte vertoonde waterinfiltratie tot halverwege de sectie (Figuur 20b) na de test van 10 minuten. Dit toonde aan dat het water infiltreert onder invloed van hoge drukverschillen en aan lokale beschadigingen in de voegband. Het paneel op 80 mm dikte met hetzelfde type voegband vertoonde bv. geen infiltratie na de volledige waterdichtheidstest en vertoonde ook het laagste luchtdebiet (Figuur 10).

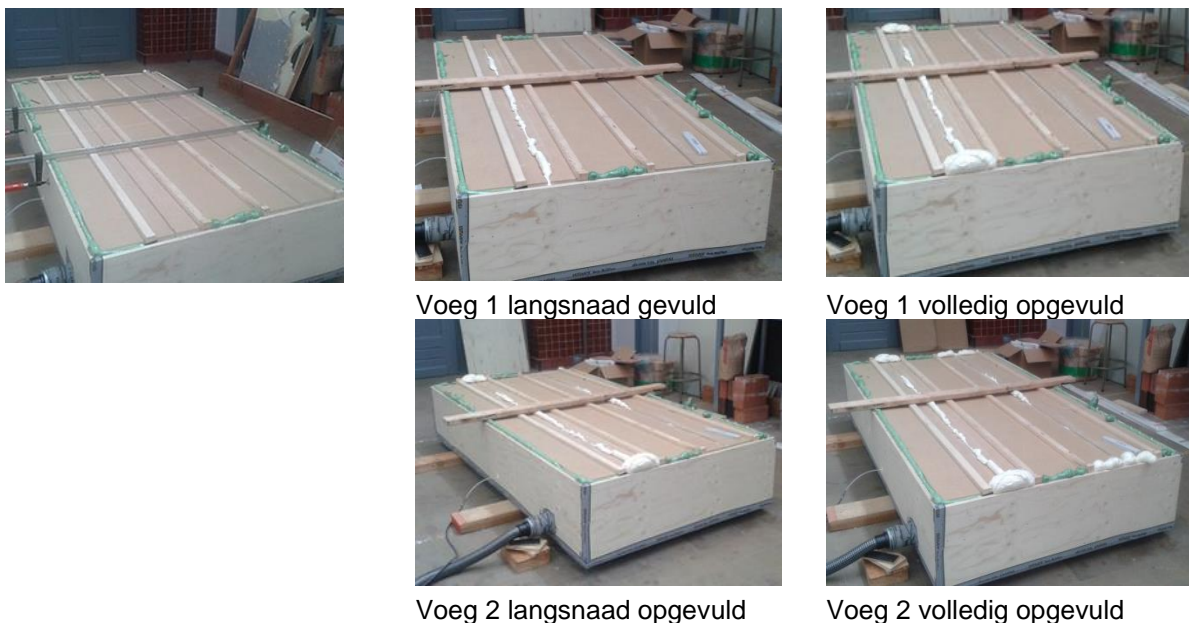
De tand- en groefverbinding met de opencellige EPDM-foam over de volledige breedte van de voeg vertoonde geen infiltratie na de 10 min-test. Er was slechts één sticker die waterinfiltratie aantoonde, aan een lokale beschadiging van de voeg (Figuur 20c). Dit toont aan dat de EPDM-foam in de voeg eerst moet verzadigen, vooraleer de waterinfiltratie echt zichtbaar wordt.

In ieder geval, bij quasi alle panelen werd waterinfiltratie vastgesteld na de standaard waterdichtheidstest van 50 min (NBN EN 1027, 2000). Bij gebruik van een tand- en groef systeem wordt dus best een afvoergootje onderaan voorzien, om het water dat infiltreerde in de voeg weer veilig af te voeren. Aan de andere kant kan de plaatsing van een drainagegootje weer zorgen voor koudebruggen.

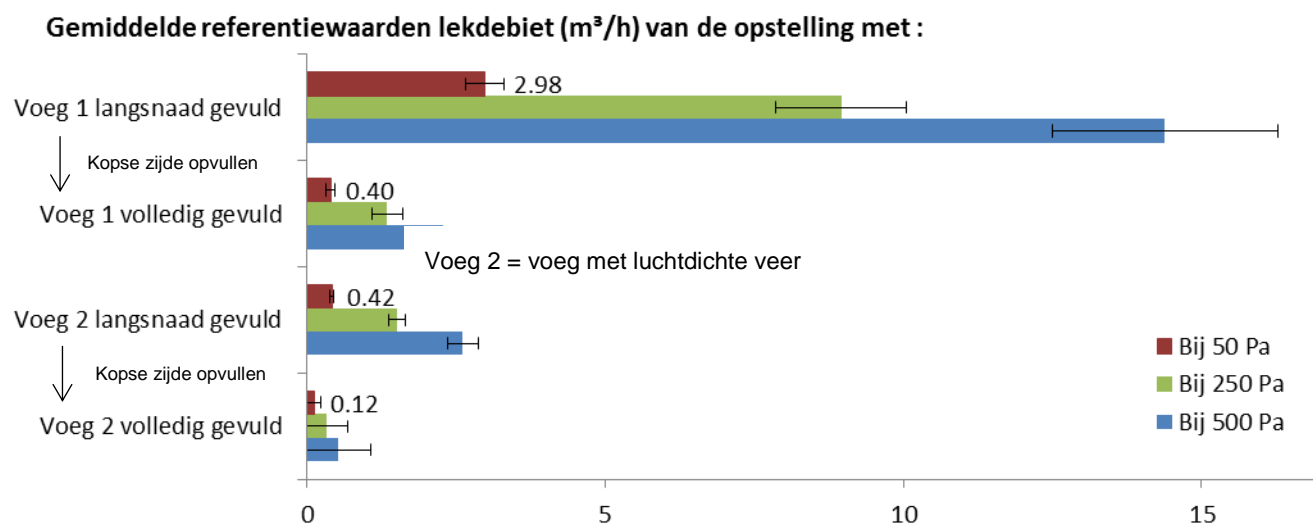
5.5 Kopse voegen

Ook al zorgt een dichtingssysteem voor luchtdichtheid in het vlak van de voeg, zonder aandacht voor de kopse zijden van de voegen kan het systeem alsnog falen. Dit werd aangetoond met testen op de luchtdichte veer in de tand- en groef voeg (Figuur 5a). In de testopstelling werden drie dakelementen (2 voegen) in een luchtdichte omkasting bevestigd, waarbij de kopse voegen van de opstelling vrij gelaten werden. In een van de twee voegen werd de luchtdichte veer geïnstalleerd. Stap-voor-stap werd het luchtdebiet gemeten en de voeg afgedicht (Figuur 21).

Uit deze testen bleek dat de kopse zijden van de voeg een significant deel van het luchtdebiet veroorzaakten. Na het opvullen van de kopse zijden van voeg 1, daalt het gemiddelde luchtdebiet door de opstelling bij 50 Pa drukverschil van $2.9840 \pm 0.3226 \text{ m}^3/\text{h}$ naar $0.3992 \pm 0.0661 \text{ m}^3/\text{h}$. Figuur 22 toont de referentiedebieten op 50 Pa, 250 Pa en 500 Pa bij de verschillende testen. Deze waarden werden berekend met de machtsfunctie $V=C \cdot \Delta P^n$. De 95% onzekerheidsintervallen zijn aangegeven op de grafiek.



Figuur 21 Opstelling met de dakelementen om de impact van de kopse voegen te testen



Figuur 22 Luchtlekdebieten van de testen op de opstelling in Figuur 21

Figuur 22 toont dat het opvullen van voeg 2, de voeg met de luchtdichte veer, geen invloed had op de luchtlekdebet-metingen. Wanneer in de laatste stap de kopse zijden van voeg 2 opgevuld worden, is opnieuw een daling te zien: van gemiddeld $0.4209 \pm 0.0346 m^3/h$ naar $0.1234 \pm 0.1127 m^3/h$ bij 50 Pa. De luchtlekdebieten gemeten aan de voeg met de luchtdichte veer waren dus louter te wijten aan de kopse zijden van de voeg die niet afgedicht werden.

5.6 Uitvoeringsvolgorde en geometrie voeg

Het is duidelijk dat uitvoeringsfouten de grootste oorzaak was van hogere luchtlekdebieten, waterlekages en –infiltratie in de drie opstellingen. Bij Set-up 1 werd vastgesteld dat de aanhechting van de tape, rugvulling en silicone nauwgezet gecontroleerd moet worden tijdens en na de uitvoering. De kleinste gaatjes kunnen ernstige waterlekken veroorzaken. Dit maakt methodes met tapes, silicone en luchtdichte coating arbeidsintensief, waardoor ze minder interessant zijn in prefab systemen waar de gevelafwerking volledig geïntegreerd wordt of waar geen stelling voorhanden is.

De zwelbanden (Set-up 2) kunnen toegepast worden in prefab systemen waar de gevelafwerking geïntegreerd is. Echter, de vlakheid van het voegoppervlak is hier van cruciaal belang voor de prestaties. Vlakmakende materialen zoals een tape aan de niet-klevende kant kan helpen om het voegoppervlak vlakker te maken. Voor de uitvoering van kruispunten, is het aangeraden om extra materiaal aan te brengen. Dit kan in de vorm van verstevigingen in silicone of butyl zijn. Een plaatsing met een varkensoor is minder interessant als de uitzettingsrichting van de zwelband niet gecontroleerd kan worden (opencellig) of de zwelband te stug is waardoor ze zich niet aanpast aan de vorm (geslotencellige). Extra controle in-situ aan de kruispunten is essentieel om lucht- en waterlekken uit te sluiten. Daarenboven, hoe groter de compressiegraad, hoe minder de kans op lucht- en waterlekken wordt. In de technische fiches van de zwelband staat aangegeven vanaf welke compressiegraad het materiaal op zich luchtdicht wordt. Daarnaast helpt een hogere compressiegraad ook om een beter contact te maken met het voegoppervlak. Ten slotte loont het ook de moeite om de vorm van de voeg aan te passen, waardoor de zwelband niet rechtstreeks blootgesteld wordt aan slagregen en de infiltratieweg moeilijker wordt.

Bij tand- en groefsystemen (Set-up 3) is het duidelijk dat de staat van het voegsysteem zelf van cruciaal belang is. Bij de luchtdichte veer sloot de PVC-foam overal goed aan tegen het oppervlak in de groef. Bij de ALU-SIP's zorgden lokale beschadigingen in het voegoppervlak voor een slechte aansluiting- en dus een slechte lucht- en waterdichtheid. Bij die twee laatste is het duidelijk dat er meer maatregelen nodig zijn om luchtdichtheidsklasse 1 te halen (NEN 2687).

6 BESLUIT: SAMENVATTENDE TABEL

Tabel 4 Praktische evaluatie geteste voegsystemen

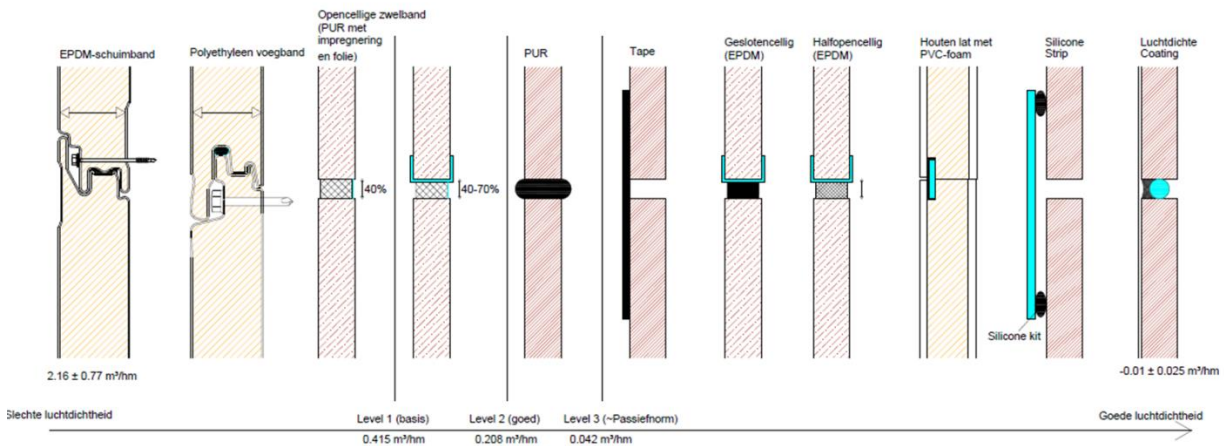
	Aandachtspunten bij installatie	Extra maatregelen	Prefabricatiegraad	Integratie gevelafwerking mogelijk?
Set-up 1: Brede rechte voeg en kruisingen				
Tape	Goede aanhechting bij overlap aan de kruisingen	Stuk tape diagonaal over de kruising	Voeg moet bereikbaar blijven	Deels
Silicone strip	Goede aanhechting bij overlap aan de kruisingen	Extra silicone in de kruising aanbrengen	Voeg moet bereikbaar blijven	Deels
Luchtdichte coating	Grote lokale oneffenheden	Extra rugvulling bij diepere holtes	Voeg moet bereikbaar blijven	Deels
PUR-foam	Uithardingsproces veroorzaakt holtes	Correctie met luchtdichte coating	Voeg moet bereikbaar blijven	Deels
Set-up 2: Rechte voegen en kruisingen bij zwelband				
Zwelband	Lokale oneffenheden en kruispunten, compressiegraad > 70%	Luchtdichte coating, silicone vulling of butyl aan de kruispunten, gebruik van tape om het voegoppervlak aan de niet-klevende kant uit te vlakken Geometrie van de	Voeg hoeft niet bereikbaar te zijn Kruispunten wel	Ja (behalve aan kruispunten)

voeg beschermt de
zwellband tegen
slagregen

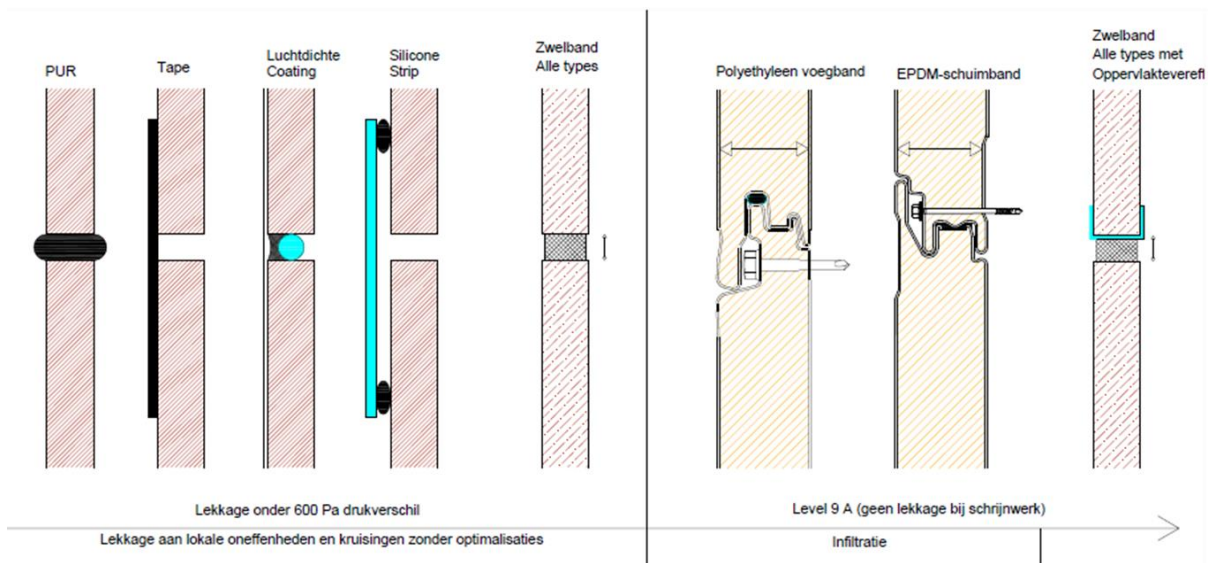
Set-up 3: Tand en groef systemen

Luchtdichte veer (PVC foam en houten lat)		Sluiting van de kopse voegen	De luchtdichte veer wordt ter plaatse in de groef geschoven	Ja
Polyethyleen band (SIP Alu-PIR)	Oneffenheden in het voegoppervlak	Sluiting van de kopse voegen, voorzie drainage onderaan de voeg	Integratie van het voegmateriaal	Ja
EPDM foam (SIP ALU-PIR)	Oneffenheden in het voegoppervlak	Sluiting van de kopse voegen, voorzie drainage onderaan de voeg	Integratie van het voegmateriaal	Ja

Tot slot werd nog een rangschikking gemaakt van de prestaties van de geteste systemen op vlak van lucht- en waterdichtheid.



Figuur 23 Rangschikking luchtdichtheid geteste materialen in PRO³



Figuur 24 Rangschikking waterdichtheid geteste materialen in PRO³

7 BIBLIOGRAFIE

- Belgaclima. (2014). *Belgatape duo*. Gontrode: Belgaclima.
- Belgaclima. (2015). *Belgafoil SA-L*. Gontrode: Belgaclima.
- 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.
- Carbonez, K. (2015). *Water- en luchtdichtheidstesten op zwelbanden met verschillende compressiegraad*. Gent: Universiteit Gent.
- Castelein Sealants. (2013). EPDM Celrubber: CS-CR-EPDM - Technische fiche.
- Castelein Sealants. (2013). ISO-BLOCO ONE- Technische fiche.
- Castelein Sealants. (2013). Neopreen celrubber: CS-CR-NEO - Technische fiche.
- Cleys, J., & Hanses, T. (2017). *Lucht- en waterdichtheid van aansluitingen bij geprefabriceerde gevelrenovatie-oplossingen (Masterproef)*. Gent: Universiteit Gent.
- De Vogelaere, K., Van Linden, S., & Maroy, K. (2016). *Waterdichtheid van zwelbanden met verschillende compressiegraden (kruisingen)*. Gent: Universiteit Gent.
- Dow Corning. (2012). *Dow Corning Silicone Transition Strip*. Dow Corning.
- Dow Corning. (2015). *Dow Corning DefendAir 200*. Dow Corning.
- Dow Corning. (2016). *Dow Corning 791 Silicone Weatherproofing Sealant*. Dow Corning.
- Dubois, S., & De Bouw, M. (2015). *AIMES- Architectural Industrialized Multifunctional Envelope Systems*. Brussels, Belgium: WTCB.
- E2ReBuild. (2010). *Transforming the retrofitting construction sector*. Opgeroepen op 08 25, 2016, van www.e2rebuild.eu
- Febelarch. (2010). *Architectonisch beton - Gids voor architecten en voorschrijvers*. Tiel: Lannoo.
- Geerlings, R., Kuindersma, P., & Niemand, H. (2013). *Luchtdicht bouwen: theorie-ontwerp-praktijk*. Rotterdam, Nederland: SBRCURnet.
- Hevadex. (2016). *Blowerproof Liquid brush Productinformatieblad*. Gent: Hevadex.
- IEA ECBCS Annex 50. (2011). *Building Renovation Case Studies*.
- Joriside. (2017). *Jl Wall 1000 SF - Insulated panels (PIR core)*. Joriside.
- Kingspan. (2014). *Geïsoleerde dak- en gevelpanelen Datablad*. Kingspan N.V.
- Maroy, K. (2015). *Luchtdichtheid van twee types aansluitingen bij prefab dakelementen*. Gent: Universiteit Gent.
- Maroy, K. (2016). *Lucht- en waterdichtheid van twee types sandwichpanelen*. Gent: Universiteit Gent.
- Maroy, K., Van Linden, S., De Vogelaere, K., Van Den Bossche, N., & Steeman, M. (2016). Air- and water tightness of prefabricated envelope modules for the renovation of buildings. Ghent: DBMC 2017.
- NBN B 25-002-1. (2009). *Buitenschrijnwerk - Deel 1 - Algemene voorschriften (+ AC:2011)*. Brussel, België: Bureau voor normalisatie.
- NBN EN 1027 . (2000). *Ramen en deuren - Waterdichtheid - beproevingsmethode*. Brussel, België: Bureau voor Normalisatie.
- NBN EN 12114. (2000). *Thermal performance of builings-Air permeability of building components and building elements - Laboratory Test Method*. Brussels, Belgium: Normalisatiebureau.
- NBN EN 12865. (2001). Thermisch gedrag en vochtwering van gebouwen en bouwelementen - Bepaling van de weerstand van buitengevelsystemen tegen slagregen onder pulserende luchtdruk. Brussel, België: Bureau voor Normalisatie.
- NBN EN ISO 11600. (2002). *Bouwwerken - voegproducten - Classificatie en eisen voor voegkitten*. Belgisch instituut voor normalisatie (BIN).
- Nitto. (2013). *EPT-Sealer 685 C series*. Nitto Europe.

- Nitto. (2013). *EPT-sealer 685 series*. Nitto Europe.
- Pro Clima. (2017). *Tescon Vana* . Pro Clima.
- SchoolVenCool. (2010). *The way towards your cool school*.
- Soudal. (2012). *Vullen & isoleren Genius Gun*. Soudal.
- TES EnergyFaçade. (2010-2013). *Prefabricated Timber Based Building Systems for Improving The Energy Efficiency of the Building Envelope (Manual)*.
- Unilin. (2017). *Verwerkingsvoorschriften SW HPUR - Easy Airtight*.
- Van Linden, S. (2016). *Solar Decathlon - Aansluitingen van prefabpanelen bij de renovatie van naoorlogse woontorens (Masterproef)*. Gent: Universiteit Gent.
- Van Linden, S., & Van Den Bossche, N. (2017). *Watertightness of Duripanel with taped joints*. Gent: Universiteit Gent.
- Van Linden, S., Maroy, K., Steeman, M., & Van Den Bossche, N. (2016). Tape as a means to ensure air- and watertightness of building joints – experimental assessment . *DBMC XIII*, (p. 12).
- WTCB TV 255. (2015). *Luchtdichtheid van gebouwen*. Brussel: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het bouwbedrijf.

BIJLAGE 1: MATERIAALFICHES

Set-up 1

KLEEFBAND

Geteste types

Technische eigenschappen	Ondergrond	Test
Tape 1 : met Witte LPDE film met diagonale versterking, 60 mm breed		
<ul style="list-style-type: none">• Uv-bestendig• regendicht• max. kleefkracht na 60 min• toepassing tussen +5°C en +40°C• toepassing op houtderivaatplaten en verlijming folies	<ul style="list-style-type: none">• OSB-3• Houtvezelplaat (Celit 12)• Betonplaat	Lucht- en waterdichtheid
Tape 2 : met polyamide en versterkte folie-vlies en een acrylaatlijm, 100 mm breed		
<ul style="list-style-type: none">• lucht- en waterdicht• variabele μ_d• binnen- en buitentoepassing• toepassing tussen -10°C en +30°C• aansluiting schrijnwerk en pleisterwerk	<ul style="list-style-type: none">• OSB-3• Houtvezelplaat (Celit 12)• Betonplaat	Lucht- en waterdichtheid
Tape 3: vlies van propyleen en solid lijm, 60 mm breed		
<ul style="list-style-type: none">• binnen- en buitengebruik• verlijmen folies, harde houtderivaatplaten en harde kunststoffen• toepassing vanaf -10°C	<ul style="list-style-type: none">• OSB-3• Houtvezelplaat (Celit 12)	Lucht- en waterdichtheid

(Belgaclima, Belgafoil SA-L, 2015) (Belgaclima, Belgatape duo, 2014) (Pro Clima, 2017)

Bij de drie geteste types moet de ondergrond steeds droog, olie-, stof- en vetvrij zijn.



Figuur 25 De drie geteste tapes op OSB-3 (Van Linden, 2016)

Aandachtspunten

Tapes zijn een courant materiaal om luchtdichte aansluitingen te creëren. Enkelzijdig klevende tape wordt gebruikt om voegen tussen houtplaten af te dichten. Dubbelzijdig klevende tape kan gebruikt worden om folies te bevestigen. Er bestaat een hele reeks basismaterialen waaruit tapes kunnen bestaan. De materiaalkeuze hangt af van het type ondergrond. Volgens (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013) zijn de voornaamste soorten:

Bitumenband

- Toepassing: binnenspouwbladen betonpanelen
- Uv-bestendig

Butylband

- Toepassing: op ondergronden waarbij de tape de werking van andere materialen (vb. verven, kunststoffen, folies) niet mag beïnvloeden
- Toepassing: waterdichte laag boven raamkozijnen, dichting buitenspouwblad, verkleving folies.
- I.v.m. toepassing bij raamkozijnen, geven (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013) aan dat kleefband de meeste garantie geeft op lucht- en waterdichtheid bij hoogbouw en gebouwen aan de kust (meer dan bv. PUR of laminaatfolie)

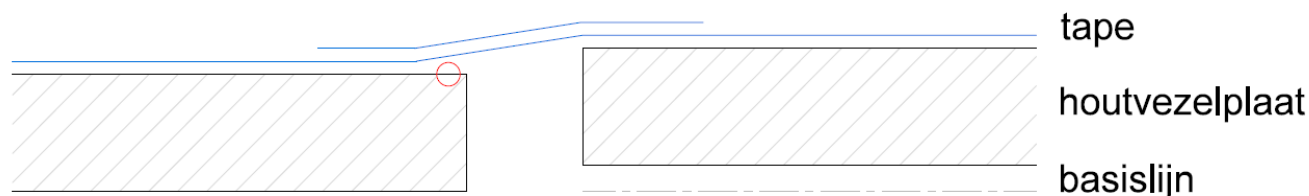
Polyester, polyamide, LDPE- of PP membranen met kleefband

- Toepassing: tegenwoordig vaak rondom raamkozijnen, aan de binnenkant. Dit type membranen kunnen direct overpleisterd worden.

Zelfklevende of lasbare EPDM stroken

- Toepassing: rondom raamkozijnen, maar ook bij vliesgevelconstructies. Bijvoorbeeld ter plaatse van de aansluiting van de vliesgevel op het bouwkundig kader.

Bij de uitvoering is het belangrijk dat de tapes goed worden aangedrukt. De maximale kleefkracht wordt dikwijls na een bepaalde tijdspanne bereikt. Bij de tape met LDPE-folie is dit bv. na 60 minuten (Van Linden, 2016). Kleefband is meestal elastisch op zichzelf maar kan niet goed de bewegingen opvangen van de verschillende componenten waaraan ze verkleefd is. Bij grote trekkrachten bestaat het risico dat de tape loskomt als ze verkleefd is op een soepele ondergrond. Dit gebeurde bv. bij testen van kleefband op een houtvezelplaat, ter hoogte van de kruispunten. Tapes presteren beter op een stijve ondergrond, zoals OSB of beton (Van Linden, 2016).



Figuur 26 Beweging van houtvezelplaat t.o.v. tape (Van Linden, 2016)

De ondergrond moet droog zijn en vrij van vocht, ijs of rijm alvorens kleefband te bevestigen. Bij poreuze of zuigende ondergronden wordt doorgaans aanbevolen om een primer aan te brengen. De primer zorgt ervoor dat de adhesie tussen de lijm van de kleefband en de ondergrond verhoogt. Deze primer moet drogen totdat hij nog kleverig aanvoelt voordat de tape kan aangebracht worden (wachtijd: 30 tot 60 minuten) (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013) (Van Linden, 2016).

LUCHTDICHTE COATING

Geteste types

Technische eigenschappen	Ondergrond	Test
Luchtdichte coating (Vloeibare silicone op waterbasis)		
<ul style="list-style-type: none">• weersbestendig, kan blootgesteld worden aan zon en neerslag na opdrogen• 1 laag met min. dikte van 0.38 mm	OSB-3	Lucht- en waterdichtheid

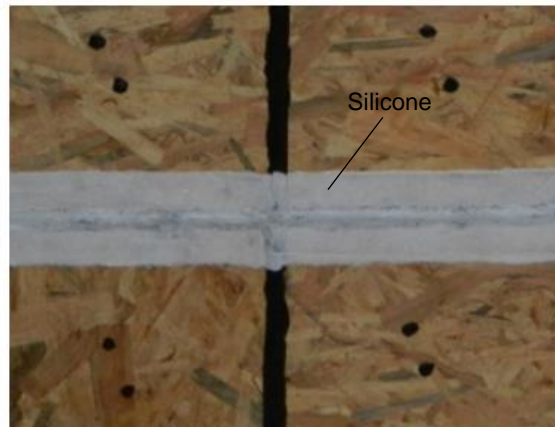
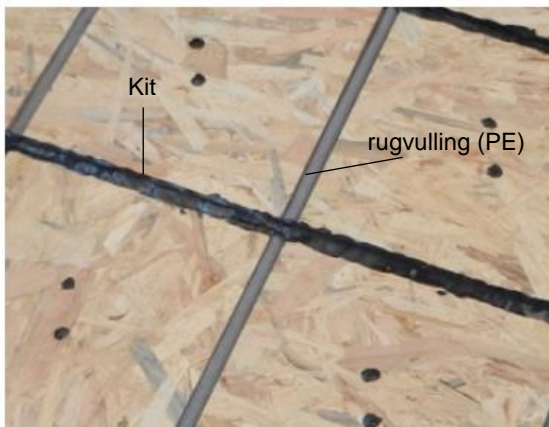
(droog) is voldoende

- Uv-resistent
- aanbrengen met roller of spuiten
- toepassing tussen -6°C en +38°C
- backerrod met silicone kit in brede voeg
- elastisch
- dampopen van binnen naar buiten
- geen primer nodig
- na productie

Luchtdichte coating (Watergedragen polymeerpasta)

- toepassing bij buidoorvoeren, dagkanten ramen, vloer/wand en wand/plafond aansluiting, volledige wanden, voegen, aansluitingen gordijngewel Gebuikt om de opstelling met tapes te dichten om Q_{ref} te meten
- aanbrengen met roller of spray (apart productblad)
- toepassing vanaf 5°C
- verbruik: 0.8 a 1 kg/m²
- steeds in 2 lagen aanbrengen, eerste laag moet opgedroogd zijn
- vochtige ondergrond (maar handdroog) vormt geen probleem
- te bewaren tot 12 maanden na productiedatum

(Dow Corning, Dow Corning DefendAir 200, 2015) (Hevadex, 2016)



Figuur 27 Toepassing van luchtdichte coating bij brede voegen, die vooraf gedicht werden met een rugvulling en silicone kit

Aandachtspunten

Luchtdichte coating wordt met een borstel (pasta) of met een sproeikop (vloeibaar) op de aansluiting aangebracht. Voorbeelden van aansluitingen zijn: op en rond verankeringen, ventilatiebuizen en kabels. De coatings vormen bij het uitdrogen een film, waardoor haarscheuren, grote scheuren, gaten en expansievoegen luchtdicht overbrugd worden (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013). Ook voor het bedekken van kleine openingen (bv. als extra lucht- waterdichting van een voeg met bv. kit of tape), was luchtdichte coating een geschikt materiaal (Van Linden, 2016).

De belangrijkste aandachtspunten zijn (Dow Corning, Dow Corning DefendAir 200, 2015) (Hevadex, 2016) :

- De coating kan niet aangebracht worden in een omgeving met een luchtvochtigheid boven 90%.
- Er mag geen regenbui optreden, 8 uur na het aanbrengen van de coating, tijdens de droogfase moet contact met water, andere vloeistoffen of bouwchemische producten vermeden worden.
- Het oppervlak is vrij van water en vorst en heeft een oppervlaktetemperatuur onder 49°C.
- Indien gebruikt op betonoppervlakken, moet het beton min. 28 dagen uitharden vooraleer de coating aan te brengen.
- Cementeringen moeten min. 10 dagen uitharden vooraleer de coating aan te brengen.
- Het oppervlak moet vrij zijn van vuil, olie, stof, vet, schimmel, zoutuitbloeiingen, afbrokkelende verflagen en alle andere vreemde materialen.
- Oneffenheden, voegen en openingen (groter dan 5 mm) moeten opgevuld worden, comptabiliteit opvulproduct controleren in technische fiche coating.
- Doorgaans hoeft het oppervlak niet behandeld te worden met een primer. Bij twijfel, voer eerst een adhesie-test uit.
- De technische fiche vermeldt een minimale dikte waarbij de coating zijn lucht- en waterdichte eigenschappen bereikt.
- Eventueel aangebrachte kits om grote holtes te dichten, moeten droog zijn ('dry to touch') vooraleer de coating aan te brengen. Ook bij het aanbrengen van meerdere lagen coating, moet de eerste laag 'dry to touch' zijn.
- De droogtijd staat vermeld op de technische fiche, maar is ook afhankelijk van de dikte van de coating, de temperatuur, de vochtigheid en de windsnelheid. Bij de toepassing van meerdere lagen, moet ook enkele uren gewacht worden. Raadpleeg altijd de technische fiche.
- Nagels en vijzen met een diameter kleiner dan 6.4 mm, kunnen door de droge coating aangebracht worden zonder lekkages te veroorzaken.
- Controle na het aanbrengen van de coating is sterk aan te raden. Zones waar de tekst op de onderliggende laag zichtbaar is (bv), is onvoldoende bedekt door de coating. Ook indien de voegen onvoldoende gedicht werden met kit, kunnen gaten ontstaan die met een twee laag bedekt moeten worden (zie resultaten test).

SILICONE STRIP

Geteste types

Technische eigenschappen	Ondergrond	Test
Silicone strip met silicone kit (doorschijnende silicone elastomeer extrusie)		
<ul style="list-style-type: none"> • voor lucht- en waterdichte aansluiting van schrijnwerk en gordijngevels. • silicone is inherent water- en luchtdicht. • temperatuur- en Uv-bestendig. omgevingstemperaturen tussen -26°C tot 148°C. • hoge bewegingscapaciteit van +200/-75% aan openingen • toepassing vanaf -6°C 	OSB-3	Lucht- en waterdichtheid

(Dow Corning, Dow Corning Silicone Transition Strip, 2012)

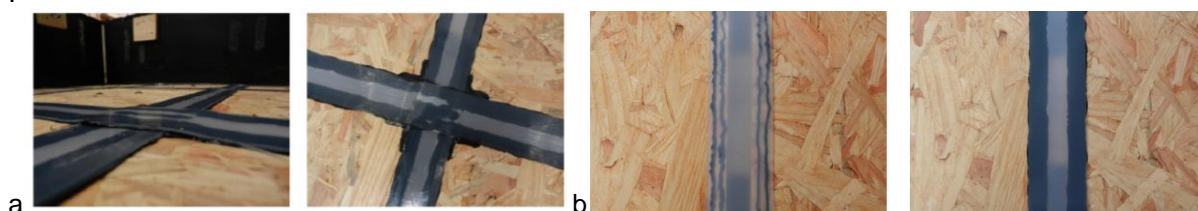
Aandachtspunten

De siliconen strip is een variant op luchtdichte tape, met dat verschil dat bij de strip geen lijmstrook aangebracht is zoals bij tape wel het geval is. Dit systeem kan toegepast worden aan de buitenkant van de raamaansluiting, om brede niet-kitbare voegen te overbruggen of om de aansluiting tussen de

fundering en de wand te dichten. De strip bestaat in verschillende breedtes (15, 20 en 30cm) die aangepast kunnen worden aan de breedte van de voegen in de constructie (Dow Corning, Dow Corning Silicone Transition Strip, 2012).

Door de silicone heeft de strip een grote bewegingscapaciteit, waardoor voegen tussen niet-gealigneerde oppervlakken gedicht kunnen worden met het systeem. Ook bewegingen van de ondergrond (door trek, druk en afschuiving door bv. thermische uitzetting) kunnen opgevangen worden door de silicone strip. Daarnaast beschikt de strip over een hoge scheurweerstand, waardoor gaten (bv. door een schroef) niet verder doorscheuren, zelfs als het systeem beweegt. De zone rond de schroef wordt dan gedicht worden met de silicone kit, om luchtlekken door de schroefopening te vermijden (Dow Corning, Dow Corning Silicone Transition Strip, 2012).

De strip bestaat uit een doorschijnende silicone elastomeer extrusie en wordt verkleefd met een silicone kit. Deze werkwijze laat toe om grotere onregelmatigheden op het oppervlak onmiddellijk in en rondom de voeg te dichten, met extra kit. Zo zal het aanbrengen van extra silicone op gevoelige plaatsen (+ voldoende aandrukken) zoals kruispunten de luchtdichtheid sterk verbeteren (Figuur 28a) (Van Linden, 2016).



Figuur 28 Uitvoeringskwaliteit van producten (strip en kit) op basis van silicone (Van Linden, 2016) (a) versteving bij kruispunten (voor en na) (b) aanbrengen van een dubbele rij silicone kit (voor en na aandrukken)

In de testen werd de silicone kit in twee parallele banen langs de voeg geplaatst (Figuur 28b), zoals aangeraden in de plaatsingsgids (Dow Corning, Dow Corning Silicone Transition Strip, 2012). Daarna werd de strip op de kit geplaatst en krachtig aangedrukt. Door een dubbele baan aan te brengen, wordt de luchtdichtheid door de ene baan toch verzekerd indien een kit van de tweede baan ergens niet goed aangedrukt werd (Figuur 28b).

Tot slot zijn er nog enkele aandachtspunten (Dow Corning, Dow Corning Silicone Transition Strip, 2012):

- Door de temperatuurs- en weersbestendigheid van de silicone, zijn (langdurige) vertragingen tijdens de werf waarbij de silicone blootgesteld worden aan weersomstandigheden geen probleem.
- Het type silicone kit moet aangepast zijn aan het type ondergrond. Voor bv. een poreuze ondergrond is een ander type nodig dan bv. voor een kunststof ondergrond. Raadpleeg de technische fiche.
- Mechanische bevestiging (met schroeven) is niet nodig.
- De silicone kit moet voldoende aangedrukt worden om de lucht- en waterdichte werking te verzekeren. Dit kan gecontroleerd worden doordat de strip doorschijnend is.
- Voor de meeste ondergronden is geen primer nodig. Raadpleeg de technische fiche.

ELASTISCHE KITVOEG

Geteste types

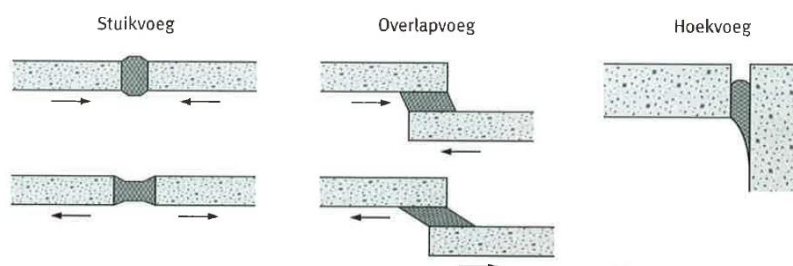
Technische eigenschappen	Ondergrond	Test
Kit met silicone elastomeer		
<ul style="list-style-type: none">• uitrekking/samendrukking bewegingen mogelijk tot $\pm 50\%$ van de voegbreedte-flexibele kit• weersbestendig• verhard bij luchttemperaturen door reactie met vocht in de lucht• installatie met een rugvulling (bij diepe voegen), zetblokjes, spacers of tape• kan toegepast worden poreuze (metselwerk) en niet-poreuze ondergronden (glas, gegalvaniseerd staal)• houdbaar tot 12 maanden na fabricatiedatum• geen structurele kit• oppervlaktetemperaturen tot max. 50°C toegestaan• niet op oppervlakken die ondergedompeld worden in water• niet overschilderbaar	Als onderdeel van: <ul style="list-style-type: none">• Luchtdichte coating• Silicone strip	Lucht- en waterdichtheid

(Dow Corning, Dow Corning 791 Silicone Weatherproofing Sealant, 2016)

Aandachtspunten

Kitten zijn een courant gebruikt dichtingsmateriaal dat in-situ aangebracht wordt om de voeg te dichten. Een kit bestaat uit een bindmiddel en vulstoffen die met spuiten of gieten in de voeg wordt aangebracht. Na de plaatsing krijgt de voeg zijn eindeigenschappen door een chemische reactie (met het vocht in de lucht of samenspel van meerdere componenten) (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013). De producten voor kitvoegen zijn gebaseerd op acrylaat, butyl, silicone of polyurethaan. Enkel kitten op basis van acrylaat kunnen enkel binnen toegepast worden gezien dit materiaal geen grote vervormingen kan opvangen. Polyurethaankitten zijn niet Uv-bestendig, maar kan op alle soorten materialen toegepast worden (Van Linden, 2016). Siliconekitten zijn Uv bestendig en zijn flexibel en temperatuursbestendig vanwege de chemische structuur (zie silicone strip).

In ISO 11600:2000 worden kitten geclassificeerd volgens het percentage duurzame vervorming die mogelijk is ($\pm 25\%$, $\pm 20\%$, $\pm 12.5\%$, $\pm 7.5\%$) (NBN EN ISO 11600, 2002). De kitvoeg werkt optimaal als de hechtvlakken parallel zijn t.o.v. elkaar. Een kitvoeg kan aangebracht worden in een stuikvoeg overlapvoeg of in een hoek (Figuur 29). De voegbreedte moet daarbij ongeveer 2x de voegdiepte zijn. Bij diepe voegen kan een rugvulling in PE-schuim helpen om de diepte te beperken (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013) (Van Linden, 2016).



Figuur 29 Verschillende configuraties van een kitvoeg (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013)

Bij het aanbrengen van kit mag de temperatuur niet teveel schommelen (bv. dag en nacht), anders kunnen er scheuren ontstaan in de afdichting. Uitzondering hierop is de silicone kit, die bij elke temperatuur kan aangebracht worden (zie ook silicone strip). De temperatuurschommeling heeft bij dit type kit enkel een invloed op de snelheid van uitharding.

Ook moet de voegbreedte zo gelijkmatig mogelijk zijn en moeten niet-vlakke hechtoppervlakken vermeden worden. Bij sommige kits is opruwen noodzakelijk zodat de kit beter hecht. Dit was echter niet het geval bij de silicone kit die getest werd. Deze was volgens de technische fiche ook toepasbaar op gladde oppervlakken zoals glas (Dow Corning, Dow Corning 791 Silicone Weatherproofing Sealant, 2016). Het vochtgehalte van de ondergrond mag niet te hoog zijn. Daarnaast moet de ondergrond vrij zijn van vet, olie, stof, staand water, vorst en andere polluties. Voor poreuze oppervlakken wordt maximaal 4 volumeprocent aanbevolen. Bij niet-poreuze oppervlakken moet oppervlaktecondensatie vermeden worden (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013).

POLYURETHAANSCHUIM

Getest type

Technische eigenschappen	Ondergrond	Test
Polyurethaanschuim		
<ul style="list-style-type: none"> • schuim polymeriseert als het in aanraking komt met vocht uit de lucht • 70 à 80% gesloten cellen • uitharding na 1.5 uur voor en streng van 30 mm • een-component schuim zonder krimp of postexpansie • voeg voor 40% opvullen • applicatie bij temperatuur tussen +5°C en +30°C • uitgehard: temperatuursbestendigheid tussen -40°C en +90°C • 12 maanden te bewaren 	Beton	Lucht- en waterdichtheid

(Soudal, 2012)

Aandachtspunten

Polyurethaanschuim (PUR) is een courant gebruikt materiaal om voegen tussen schrijnwerk en ruwbouw af te dichten en om holtes op te vullen bij bv. doorboring van een wand door een kanaal. PUR kan gebruikt worden op beton-, hout-, metselwerk- en gipsondergronden en bij grotere voegen. Het materiaal vult grote holtes goed op, maar is niet Uv-bestendig. Het kan dus enkel aan de binnenkant van gebouwen gebruikt worden. PUR isoleert thermisch ook zeer goed, maar is een broos materiaal. Door thermische bewegingen kan PUR-schuim op lange termijn gaan scheuren. De laatste jaren komen er echter ook elastische PUR-schuimen op de markt (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013). De maximaal toelaatbare vervorming van de meeste PUR-schuimen bedraagt ongeveer 15%, maar elastische PUR-schuimen halen waarden tot 35% (Van Linden, 2016).

De voeg is bij voorkeur minimum 15 mm voor standaard PUR-schuim. Met de elastische variant kan tot 10 mm voegbreedte gegaan worden. Door de dagkanten van de voeg op voorhand te bevochtigen, verhoogt de hechting van het PUR-schuim. Bij het aanbrengen wordt de voeg best maar voor 2/3de opgevuld. Het schuim zet na de plaatsing uit (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013).

Voor het opvullen van kruispunten van brede voegen was PUR minder geschikt. PUR schuim zet voornamelijk naar de buitenkanten uit en in mindere mate naar de binnenkant, waardoor bv. aan kruispunten nog holtes te zien zijn (Van Linden, 2016). PUR schuim is door zijn stijve eigenschappen na de uitharding ook niet geschikt indien het gevelsysteem hoge akoestische prestaties moet halen (WTCB TV 255, 2015).



Figuur 30 Uitharden van PUR bij kruispunten (Van Linden, Solar Decathlon - Aansluitingen van prefabpanelen bij de renovatie van naoorlogse woontorens (Masterproef), 2016).

Tot slot zijn er nog enkele aandachtspunten bij plaatsing:

- De ondergrond dient volledig stof- en vetvrij te zijn en bevochtigd voor een betere hechting;
- Voeg opvullen voor ongeveer 40%;
- Voor opvullen van grote holtes: in verschillende lagen aanbrengen en tussen elke laag opnieuw bevochtigen.

Set-up 2

SCHUIMBAND

Geteste types

Technische eigenschappen	Opstelling	Test
Halfpencellige zwelband: EPDM synthetisch rubber met butyl-lijm		
<ul style="list-style-type: none"> • dichting tegen water, wind, stof, geluid en warmte • Uv-resistent • compressie tussen 50-80% voor dichtingswerking • dikte: 3 tot 28 mm • densiteit: 130 kg/m³ • 1.9% waterabsorptie • temperatuursbestendig tussen -40°C en 135°C 	Verticale voegen	Lucht- en waterdichtheid
Geslotencellige zwelband: EPDM synthetisch rubber met butyllijm		
<ul style="list-style-type: none"> • dichting tegen water, lucht, stof en geluid • densiteit: 130 kg/m³ • breedte: 30 mm • dikte: 25 mm • compressie tussen 5 en 35% voor dichtingswerking • 2.5% waterabsorptie • temperatuursbestendig van -55°C tot +121°C • Uv-resistent 	Verticale voegen	Lucht- en waterdichtheid
	Kruispunten (MDF-plaatjes)	Waterdichtheid

Geslotencellige zwelband: Celrubber met EPDM

<ul style="list-style-type: none">dichting tegen water, lucht, geluid en gassentoepassing bij stalen en aluminium ramendensiteit: $175 \pm 25 \text{ kg/m}^3$toepassingstemperatuur min. 5°C (lijm laag)wateropname $\leq 5\%$ van het gewichtUv-resistent	Hoekopstelling (OSB-3)	Lucht- en waterdichtheid
	Kruispunten (Betonplaatjes)	Lucht- en waterdichtheid

Geslotencellige zwelband: Celrubber met Neopreen

<ul style="list-style-type: none">dichting tegen water, lucht, geluid en gassentoepassing bij stalen en aluminium ramen, carrosserie, lucht- en scheepvaartdensiteit: $175 \pm 25 \text{ kg/m}^3$toepassingstemperatuur min. 5°C (lijm laag)wateropname $\leq 5\%$ van het gewichtUv-resistent	Hoekopstelling (OSB-3)	Lucht- en waterdichtheid
	Kruispunten (Betonplaatjes)	Lucht- en waterdichtheid

Opencellige zwelband met polyurethaan, geïmpregneerd en geïntegreerde folie

<ul style="list-style-type: none">lucht- en waterdichting van schrijnwerk3-ledige werking: slagregendicht, thermisch en luchtdicht (folie)het vocht dat in de zwelband geraakt, kan condenseren door de opencellige structuurde zwelband wordt gecompriëerd geleverd en geplaatst. Pas 24 uur na plaatsing bereikt de zwelband zijn finale diktedampdiffusieweerstand bij breedte zwelband 60 mm $\mu = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$luchtdoorlatendheid (DIN EN 12114) $A = 0.00 \text{ m}^3/\text{h.m.}(\text{daPa})\text{n}$slagregendichtheid voegen in rechtstreekse blootstelling (DIN EN 1027) $\geq 1000 \text{ Pa}$waarde van de folie binnen (DIN EN ISO 12572) $\mu_d \geq 25 \text{ m}$waarde van het geïmpregneerd schuim buiten (DIN EN ISO 12572) $\mu_d \leq 0.5 \text{ m}$verhouding van de μ_d-waarde (binnen:buiten) (DIN EN ISO 12572) 50 : 1	Verticale voegen (grenen)	Lucht- en waterdichtheid
	Kruispunten (Houten balken)	Lucht- en waterdichtheid

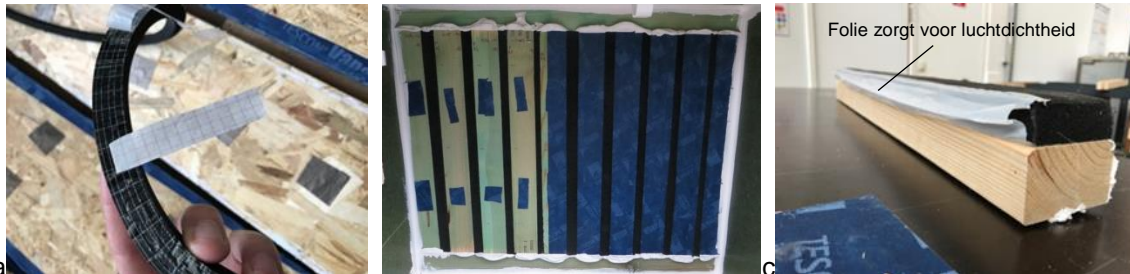
(Nitto, EPT-Sealer 685 C series, 2013) (Nitto, EPT-sealer 685 series, 2013) (Castelein Sealants, EPDM Celrubber: CS-CR-EPDM - Technische fiche, 2013) (Castelein Sealants, Neopreen celrubber: CS-CR-NEO - Technische fiche, 2013) (Castelein Sealants, ISO-BLOCO ONE- Technische fiche, 2013)

Aandachtspunten

Schuimbanden of compressiebanden bestaan uit polyurethaan of polyester schuimen die geïmpregneerd zijn met een synthetische butyl of acrylaathars. Schuimband is te verkrijgen op rol, waarbij de dikte sterk gereduceerd is. Na de ontrolling en plaatsing in de voeg probeert de schuimband op zijn volledige dikte te komen waardoor de voeg toegedrukt wordt (Van Linden, 2016).

De prestaties op vlak van lucht- en waterdichtheid zijn afhankelijk van de compressiegraad (hoe hoger, hoe beter) en het type schuimband. De cellenstructuur van de zwelband is ofwel:

- Opencellig
- Half opencellig
- Geslotencellig



Figuur 31 (a) geslotencellige EPDM zwelband, getest in het labo (b) voorbeeld testopstelling verticale voegen met dubbelgeplaatste zwelbanden (gesloten en halfopen) (c) opencellige zwelband met geïntegreerde folie, getest in de laboproeven

Opencellige schuimbanden zijn het meest samendrukbaar en flexibel, maar bestaat uit een volledig open celstructuur waardoor de schuimband op zich niet luchtdicht is. Opencellige schuimbanden waren oorspronkelijk enkel bedoeld voor slagregendichting, maar door een voldoende hoge compressie in de voeg worden de luchtdichte eigenschappen bereikt. Daarom moet het voegbereik op de technische fiche altijd gerespecteerd worden. Bij de geringste afwijking verdwijnt de luchtdichte werking meteen (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013). Het grote voordeel van opencellige schuimbanden is dat ze veel gemakkelijker te verwerken zijn en onregelmatigheden in het oppervlak goed kunnen opvangen (Cleys & Hanses, 2017).

Halfopencellig schuimbanden kunnen met weinig compressie dichtgedrukt worden waardoor de schuimband luchtdicht wordt. In sommige situaties zijn dit type schuimbanden al luchtdicht vanaf 600 Pa compressiedruk. (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013) geven aan dat halfopencellige schuimbanden zeer geschikt zijn voor prefab elementen in hout, beton of staal. Deze schuimbanden zijn verkrijgbaar op basis van PU, PVC, EPDM en PE en kunnen ingedrukt worden zonder herstelverlies tot 50%.

Geslotencellige schuimbanden zijn dan weer zeer moeilijk vervormbaar. Bij te hoge compressie kan de celstructuur kapot gedrukt worden. Het standaardmateriaal bestaat meestal uit PE (indrukking tot 15%), EPDM (indrukking tot 50%) en PVC (indrukking tussen 25% en 30%) (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013). Dit type zwelband moet ook zeer zorgvuldig geplaatst worden. Bij schuine krachten op de zwelband tijdens de plaatsing van de panelen kan de zwelband uit de voeg gedrukt worden en kleine onregelmatigheden in de voeg kunnen al voor waterlekage zorgen (Cleys & Hanses, 2017).

Tot slot geven (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013) nog enkele richtlijnen mee:

- Schuimbanden worden bij voorkeur prefab toegepast en kennen al een brede toepassing (bv. Figuur 32) (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013).
- Enkel geïmpregneerde compressiebanden, PVC en EPDM celrubbers zijn UV-resistent.
- Voor de toepassing van schuimbanden dient de ondergrond vlak te zijn.
- Bij te grote oneffenheden sluit band niet overal even goed aan en kunnen lekken ontstaan.
- De grootste voegbreedte in de constructie bepaalt de breedte van de schuimbanden.
- Schuimbanden met een lage-wrijvingstoplaag kunnen op voorhand aangebracht worden op gebouwcomponenten. Door de lage-wrijvingslaag zullen deze banden niet schuren tegen andere oppervlakken bij plaatsing.



Figuur 32 Gebruik van een schuimband om de aansluiting onderaan het sandwichpaneel luchtdicht uit te voeren

Set-up 3

TAND-EN-GROEF

Geteste types

Technische eigenschappen	Opstelling	Test
Houten lat met PVC-foam met glijfolie in groef		
<ul style="list-style-type: none"> de glijfolie zorgt voor een eenvoudige plaatsing van de veer in de uitsparing in het dakelement. bij langere panelen (langer dan 2.5m), worden de afzonderlijke veren strak tegen elkaar geduwd. de luchtdichtingsveer wordt in de groef geduwd vooraleer de dakelementen geplaatst worden. tweede dakelement tegen eerste dakelement met veer schuiven, volgens het ritsprincipe. na plaatsing dakelementen, eventueel fixeren van de veer aan de uiteinden van het dakelement, om verschuiving van de veer te vermijden. 	<p>Test met uitvoeringsfouten: schroef in de luchtdichte veer, vervorming door belasting</p> <p>Test met luchtdichte veer in verschillende delen</p> <p>Test op impact kopse voegen</p>	Luchtdichtheid
Tand- en groef met polyurethaan (PU) schuimkern met een polyethyleen (PE) film		
<ul style="list-style-type: none"> luchtdichtheid tot 3 m³/h/m² bij 50 Pa zonder bijkomende maatregelen in montage en detaillering 		Lucht- en waterdichtheid
Tand- en groef met opencellige EPDM schuimband		
<ul style="list-style-type: none"> geen specifieke eigenschappen 		Lucht en waterdichtheid

(Unilin, 2017) (Kingspan, 2014) (Joriside, 2017)

Aandachtspunten

Dit type dichting wordt vaak toegepast bij sandwichpanelen en kan gebeuren met een één- of tweetrapsdichting. Men gaat uit van het open-voegprincipe: er vindt een drukvereffening plaats met een waterkering aan de buitenzijde en een wind- en dampkering aan de binnenzijde. Hierbij worden vaak kitten, schuimbanden of speciale EPDM-rubberprofielen voor gebruikt (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013).

Drie aandachtspunten bij de uitvoering:

- Geometrie van de aansluiting
- Correctie toepassing dichtingsbanden (voldoende compressie en aansluiting)
- Correct plaatsing en aansluiting panelen (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013)

Sandwichpanelen met een middendichting, halen, indien goed ontworpen, geproduceerd en uitgevoerd, de Nederlandse prestatieklasse B15 of hoger. Deze prestatieklasse heeft de volgende eigenschappen:

- 75 Pa toetsingsdruk
- 150 Pa waterdichtheid
- 2.5 dm³/s.m1 voor kieren □ 9.00 m³/h.m1
- 0.14 dm³/s.m1 voor naden □ 0.50 m³/h.m1

Hogere prestaties zijn te halen door aanvullende dichtingen (bv. kitwerk), en ook door toepassing van panelen met een binnen- en buitendichting

Algemene aandachtspunten zijn:

- Aanvullende dichting noodzakelijk aan andere aansluitingspunten, bv. met de draagstructuur
- Montagemethode die aangeeft hoe ver de panelen tegen elkaar geschoven moeten worden.
- Let op de boven- en onderdetails. Door de profilering van de platen, toepassing van ondergoten en/of waterslagen ontstaan vaak water- en luchtlekkages.

Structureel kan het sandwichpaneel bevestigd worden met een zichtbare of verborgen verbinding (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013).

Niet getest

DICHTINGSPROFIELEN IN RUBBER (TPE)

Dichtingsprofielen worden doorgaans als kaderprofielen in de sponning van schrijnwerk geplaatst. Dit wordt echter ook in beglazingssystemen en elementgevels toegepast. Qua vorm bestaan de dichtingsprofielen uit holtes en/of lippen, zodat ze gemakkelijk in te drukken zijn. (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013) sommen enkele aandachtspunten op:

- Breedte van de voeg tussen 5mm en 14 mm
- Zorgvuldige plaatsing in de sponning vereist
- Eisen in EN 5656 of ISO 3934
- Het profiel moet vastgemaakt worden in de constructie om te vermijden dat het profiel uit de sponning treedt bij bewegingen door bv. windbelasting
- Een overlengte van 1% om lostrekken uit de hoeken te voorkomen
- De uiteinden van het profiel worden in de hoeken ge vulkaniseerd, gelijmd of stuik geplaatst.
- Het horizontale profiel loopt door voor een goede waterkering

Bij dichtingsrubbers in elementgevels zijn de belangrijkste aandachtspunten (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013):

- Dichtingsrubbers moeten doorlopend (verticaal en horizontaal) aangebracht worden.
- De lekken ontstaan het vaakst op kruispunten en uiteinden van de rubbers. Op deze plaatsen kunnen de rubbers aan elkaar gekit, ge vulkaniseerd of verlijmd worden.



Figuur 33 Rubber profielen in raamaansluiting (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013)

BIJLAGE 2: PRESTATIECRITERIA VOOR VOEGEN TUSSEN PREFABPANELEN

Voor voegen zijn geen genormaliseerde testmethode en dus ook geen prestatie-eisen voor handen. In Nederland zijn er echter wel prestatieklassen geformuleerd voor sandwichpaneelnaden, volgens 3 luchtdichtheidsklassen. Tabel B1. 1 geeft een idee van het prestatieniveau van deze drie klassen. Enkel de kleinste volumes met luchtdichtheidsklasse 3 komen overeen met de passiefhuisnorm ($n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$).

Tabel B1. 1 Prestatie-eisen (maximaal) per luchtdichtheidsklasse uit NEN 2687 voor de woningbouw (overgenomen uit: (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013)) en eigen berekening van de n_{50} -waarde die uit de Nederlandse richtlijnen volgt

Klasse	Woningvolume (m ³)		Maximale $q_{v,10}$ [dm ³ /s]	Omgerekend naar 50 Pa [m ³ /h]	Ventilatievoud n_{50} (h ⁻¹)	
	groter dan	tot en met			groter dan	tot en met
1 – Basis	-	250	100	984.37	-	3,937
	250	500	150	1476.56	3,937	2,953
	500	-	200	1968.74	1,969	-
2 - Goed	-	250	50	492.19	-	1,969
	250	-	80	787.50	3,937	-
3- Uitstekend	-	250	15	147.66	-	0,591
	250	-	30	295.31	3,937	-

Aan deze klassen worden C-waarden gekoppeld waaraan specifieke bouwknopen moeten voldoen. De C-waarde of luchtdoorlatendheidscoëfficiënt (zie ook formule 4) geeft de kwaliteit per lopende meter aansluiting weer en is specifiek geformuleerd voor raamaansluitingen, funderingsvoeten, dakaansluiting, enz. (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013).

Voor de woningbouw zijn geen specifieke C-waarden voor sandwichpanelen geformuleerd, maar de richtlijnen voor 'naden tussen gevelconstructie en bouwmuur' zou een mogelijke richtlijn kunnen zijn voor toepassing van SIP-panelen in de woningbouw (Tabel B1. 2). Door de C-waarde uit Tabel B1. 2 te vermenigvuldigen met ΔP^n ($=50^{0.625}$) wordt het maximale lekdebiet bij 50 Pa berekend voor sandwichpanelen. Volgens klasse 3 (ongeveer de passiefnorm) mag er tot 0,042 m³/h per lopende meter lekken uit de voeg tussen sandwichpanelen.

Tabel B1. 2 Vereiste c-waarden per luchtdichtheidsklasse voor de woningbouw (overgenomen uit (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013)) en het daaruit berekende toegelaten luchtlekdebiet bij 50 Pa door de testopstelling bij toepassing van deze richtlijn.

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	
C-waarde naden tussen gevelconstructie en bouwmuur en naden tussen dakplaten onderling	0,01	0,005	0,001	dm ³ /s.m.Pa ⁿ
Maximaal toegelaten lekdebiet bij 50 Pa per lopende meter voeg	0,415	0,208	0,042	m ³ /h.m

Voor de utiliteitsbouw worden andere C-waarden gehanteerd, ook weer afhankelijk van het type aansluiting en afhankelijk van de toetsingsdruk. In de praktijk betekent dit: hoe hoger de toetsingsdruk in het bestek, des te luchtdichter de gevel (schil) moet zijn (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013).

Tabel B1. 3 Vereiste c-waarde per luchtdichtheidsklasse voor utiliteitsbouw (overgenomen uit (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013))

	Basis	Goed	Uitstekend	
Te gebruiken tot	B15 (150 Pa)	B100 (250 Pa)	K40 (350 Pa)	
C_{vast}	0,0025	0,0020	0,0015	dm ³ /s.m.
Maximaal toegelaten lekdebiet bij 50 Pa per lopende meter voeg (gevelconstructie en bouwmuur + dakplaat)	0,104	0,083	0,062	m ³ /h.m

Verder worden in (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013) ook nog laboratoriumwaarden vermeld voor sandwichpaneelnaden met een band. De beide waarden liggen ver uiteen, waardoor het niet duidelijk is of de eisen uit de Nederlandse norm haalbaar zijn voor sandwichpanelen (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013). De derde luchtdichtheidsklasse (dichts bij de passiefnorm) wordt niet gehaald, noch bij utiliteitsbouw (Tabel B1. 3) als bij de woningbouw (Tabel B1. 2).

Tabel B1. 4 Enkele luchtdichtheidswaarden van sandwichpaneelnaden (met band) gemeten in een laboratorium omgeving (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013)

Opmerkingen	C-waarde	m ³ /h.m bij 50 Pa
(gemiddelde tussen over- en onderdruk)	0,025 dm ³ /s.Pa ⁿ	1.038
	0,0023 dm ³ /s.Pa ⁿ	0.095

Rekenmethodes om C-waarde om te rekenen naar V₅₀

$q_{v;p} = \sum C \cdot P^n$ met $n = 0,625$ (Geerlings, Kuindersma, & Niemand, 2013)

Invullen van $q_{v;10}$ waarden (Tabel B1. 1) levert per klasse een $\sum C$ -waarde op,

$q_{v;10} = \sum C \cdot 10^{0.625} \leftrightarrow \sum C = \frac{q_{v;10}}{10^{0.625}}$

Om de prestatie-eisen bij 50 Pa te bekomen:

$q_{v;50} = \frac{q_{v;10}}{10^{0.625}} \cdot 50^{0.625}$.