

Solar Decathlon - Aansluitingen van prefabpanelen bij de renovatie van naoorlogse woontorens

Stéphanie Van Linden

Promotor: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche

Begeleider: Katrien Maroy

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Vakgroep Architectuur en Stedenbouw

Voorzitter: prof. dr. ir. Arnold Janssens

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Academiejaar 2015-2016



Solar Decathlon

Aansluitingen van prefabpanelen
bij de renovatie van naoorlogse
woontorens



Stéphanie Van Linden

Promotor: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche

Begeleider: Katrien Maroy

Universiteit Gent

Vakgroep Architectuur en Stedenbouw

Voorzitter: prof. dr. ir. Arnold Janssens

Academiejaar 2015-2016

"De auteur geeft de toelating deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef."

"The author gives permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use.

In the case of any other use, the copyright terms have to be respected, in particular with regard to the obligation to state expressly the source when quoting results from this master dissertation."

Stéphanie Van Linden

Gent, juni 2016

Dankwoord

Deze masterproef is tot stand gekomen dankzij de hulp, steun en inspiratie van verschillende mensen.

In de eerste plaats bedank ik mijn promotor prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche en mijn begeleider Katrien Maroy voor het antwoorden op mijn vragen op elk moment, voor me bij te sturen waar nodig maar me ook voldoende ruimte te geven zodat ik zelf kon bepalen welke richting ik uit wilde.

Koen, bedankt voor je hulp bij het opbouwen van de testopstellingen en voor je kritische vragen waardoor ik zelf nieuwe inzichten en inspiratie kreeg voor het verdere verloop van het onderzoek.

Verder wil ik ook de bedrijven bedanken voor het beschikbaar stellen van de onderzochte materialen en het geven van relevante informatie: Belgaclima, Isoproc, Dow Corning, Hevadex, Machiels Building Solutions en Nitto.

Daarnaast wil ik ook graag Valerie, Kjartan en Britt bedanken, die me elk op hun eigen manier steeds gesteund hebben de voorbije jaren. Valerie, bedankt voor al de inspirerende gesprekken en je creatieve kijk waardoor ik steeds weer uit mijn eigen manier van denken werd gehaald en verder geraakte. Kjartan, bedankt voor de vele groepswerken samen, die altijd meer een plezier waren dan een opgave en voor je kritische en nieuwsgierige kijk op dingen die ik over het hoofd had gezien. Britt, bedankt voor de afleiding en de leuke momenten wanneer ik wat ontspanning kon gebruiken.

Ten slotte gaat mijn grootste dank uit naar mijn ouders en zus die me steeds onvoorwaardelijk gesteund en aangemoedigd hebben. Bedankt voor het steeds geïnteresseerd luisteren naar de talloze verhalen die ik vaak enthousiast vertelde over dit onderzoek. Zonder jullie hulp zou ik dit nooit gerealiseerd kunnen hebben.

Abstract

Oude gebouwen die nog nooit energetisch gerenoveerd zijn, zijn verantwoordelijk voor een groot deel van het totale energieverbruik. Voornamelijk naoorlogse appartementsgebouwen die in het bezit zijn van particuliere eigenaren, zijn hierbij problematisch aangezien meestal 80% van de bewoners akkoord moet gaan met een energetische renovatie. Deze eigenaren hebben vaak de investeringscapaciteit niet en ook het feit dat de bewoners gedurende een bepaalde periode hun woning moeten verlaten, vormt een drempel om akkoord te gaan met een renovatie. Het gebruik van geprefabriceerde gevelpanelen kan hierbij een oplossing bieden. De voordelen van deze panelen zijn onder andere de korte constructietijd in situ en de lagere kostprijs.

Twee voorbeelden van onderzoeksprojecten die uitgevoerd zijn met betrekking tot de renovatie van gebouwen aan de hand van geprefabriceerde gevelpanelen zijn '*Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Building*' en '*TES Energy Façade: prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*'. Deze onderzoeken geven een overzicht van mogelijke prefabgevelrenovatiesystemen. Ze geven echter geen antwoord op de vraag hoe deze panelen onderling lucht- en waterdicht aangesloten kunnen worden. In het experimentele onderzoek van deze masterproef wordt deze vraag wel beantwoord.

Er worden vier soorten materialen getest om de voegen met een breedte van 15 - 18 mm tussen geprefabriceerde panelen lucht- en waterdicht af te sluiten, namelijk tapes, materialen op basis van silicone, zwelbanden en polyurethaanschuim. De invloed van vier parameters wordt hierbij getest namelijk de ondergrond - drie verschillende ondergronden worden getest: OSB, gebitumineerde houtvezelplaten en beton - , de invloed van hoge winddrukken en slagregen en ten slotte de aanwezigheid van de kruispunten gevormd door de voegen tussen de panelen. Algemeen wordt er vastgesteld dat met betrekking tot de luchtdichtheid van de afdichtingsmaterialen op de verschillende ondergronden de tapes die aangebracht zijn op de betonondergrond en de materialen op basis van silicone, namelijk de silicone strip en de coating, die aangebracht zijn op de OSB-ondergrond, het best presteren. Het verschil in lekdebiet tussen alle materialen aangebracht op de betonondergrond (polyurethaanschuim buiten beschouwing) en op de OSB-ondergrond is echter relatief klein. Het luchtlekdebiet van de tapes op de houtvezelplaat daarentegen is relatief groot.

De waterdichtheid van de afdichtingsmaterialen is vooral afhankelijk van de materialen zelf en minder van de ondergrond. De waterdichtheid van de zwelbanden is initieel het best. Indien echter een extra kruis gekleefd wordt over de kruispunten van de tapes, verbetert de waterdichtheid zodanig dat er voldaan wordt aan de vooropgestelde eis waarbij er geen waterlekages ontstaan bij een drukverschil van 600 Pa.

Trefwoorden: luchtdichtheid, waterdichtheid, prefabgevelrenovatie, afdichtingsmaterialen

Solar Decathlon - Sealing methods for prefabricated façade panels used for renovating post-war housing blocks

Stéphanie Van Linden

Supervisors: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche, Katrien Maroy

Ghent University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture and Urban Planning, Jozef Plateaustraat, Ghent, Belgium

Abstract - Prefabricated façade panels can be the answer to the increasing need for renovating post-war housing blocks. The co-ownership of several of these housing blocks complicates the decision-process since mostly 80% of all owners needs to agree with the renovation. The reduced construction time on site and the reduced cost when prefabricated façade panels are used, can convince these owners and the inhabitants. Several research-projects concerning the use of prefabricated façade panels for energetically renovating housing blocks are already conducted. They all give a good overview of the possible systems that can be used however they never give a detailed answer to the question how to seal the joint between the different panels in a way that the joint is airtight and watertight. This study tries to give an answer to this question by performing laboratory measurements on 4 different sealing methods that are applied on 6 joints with a width of 15 - 18 mm between 16 panels that are fixed onto a frame in a test-setup of 1,23 x 1,23 m. The influence of 4 different parameters (the subsurface, windpressure, wind-driven rain and the intersection between the joints) on the airtightness and watertightness of the different sealing materials was tested. The measurements show that tape glued on a concrete subsurface and silicone strips and a coating applied on OSB-panels contribute most to the airtightness of the joint between prefabricated panels. Overall the difference between the air leakages of all sealing materials tested on both subsurfaces, is considerably small. Tapes glued on bituminous impregnated fibreboards show however the most air leakages. The watertightness of the different sealing materials is mostly influenced by the material itself and less by the subsurface. Initially the self-expanding strips show the best watertightness of all tested materials but when the intersections of the tapes are covered with extra tape in a cross-shape, the watertightness increases considerably.

Keywords: airtightness, watertightness, prefabricated façade panels, sealing methods

1. Introduction

In 2010 the residential sector was responsible for the biggest energy use in Belgium [1]. A lot of this energy is consumed by post-war housing blocks that have never been energetically renovated. The co-ownership of a lot of these housing blocks is problematic to perform such a renovation since

most of the owners don't have the financial capacity to invest in such a project and the inhabitants are not eager to leave their dwelling during construction. The use of prefabricated façade panels can offer a solution and convince the owners. Due to the high level of prefabrication of these panels, the construction time on site is increased considerably so the inhabitants only have

to leave their dwelling during a very short period. Also the financial cost is significantly reduced by these panels. Several research-projects concerning the use of prefabricated façade panels for energetically renovating housing blocks are already conducted. Two examples are ‘Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Building’ and ‘TES Energy Façade: prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope’. They both give a good overview of prefabricated systems that can be used however they never go into detail on the airtight and watertight sealing of the joints between the prefabricated façade panels. Since the airtightness and watertightness are of vital importance to achieve an energy efficient building, different sealing methods for the joints between prefab panels are tested in this research.

2. Methodology

The laboratory measurements were performed by the use of three test-setups to investigate the airtightness and watertightness of the different sealing materials on three different subsurfaces. The three test-setups were all built in the same way and consisted of 16 panels with a size of 29,5 x 29,5 cm which are screwed onto a wooden structure surrounded by a framework of concrete forming plywood. The inner size of the framework is 1,232 x 1,232 m. The perimeter joint between the framework and the panels is made airtight by the use of a universal silicone. By the use of 16 panels, 3 vertical joints and 3 horizontal joints are visible from which 4 out of 6 joints have a width of 18 mm and the 2 other joints have a width of 15 mm. Since it was not possible to make the three test-setups completely the same, a measurement error of ± 2 mm is applied.



Fig. 1 Test-setup

The airtightness and watertightness of four sealing techniques, i.e. tapes, materials based on silicone, self expanding strips and polyurethane foam, applied on the joints between the panels, are measured. Hereby the influence of four **parameters** on the performance of the different sealing materials is tested.

- The first parameter is the variation of the subsurface, i.e. OSB, bituminous impregnated fibreboard and concrete.
- Secondly the influence of high windpressure is tested since it is possible that during the construction phase on site the cladding is not yet attached on top of the sealing material and this will be exposed to wind. Therefore a mechanical ageing will be performed by applying 200 cycli of ± 1000 Pa.
- The materials can also be exposed to wind-driven rain during the construction phase on site. Therefore the watertightness of all the sealing materials and the airtightness of the wet sealing material and after 24 hours of drying is measured.
- The last parameter is the impact of the intersections between the horizontal and vertical joints.

The **airtightness** of the sealing materials is measured in a standard calibrated test rig according to NBN EN 12114 [2]. The airflow is measured at eight fixed pressure differences 50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300 - 450 - 600 Pa. The airflow is derived by measuring the pressure difference over a calibrated opening in the used diafragma. For each measurement an error calculation is performed

using chauvenet's criterion to decide if results should be rejected or not. The results are then curve fitted using the power law to obtain the leakage for each pressure difference.

$$V = C \cdot \Delta p^n \quad [m^3/h]$$

V is the airflow through the setup and Δp stands for the pressure difference. C and n are constants that are obtained from the curve fitting and can be used to interpret the type of airflow.

The airflow through the sealing material is derived by subtracting the air leakage through the subsurface, the frame and the test rig from the total measured air flow through the test-setup. The air leakage through the subsurface, the frame and the test rig are measured by covering the joints between the panels of the test-setup with an airtight coating. This measurement is performed for each test-setup. The error on the leakage through the tested sealing material will thus be a combination of two measurements. These errors are primarily determined by the fitting of the power law which is uncorrelated for different measurements, which results in a total error that is calculated by the adding in quadrature of the errors of both measurements.

The **watertightness** of the sealing materials is measured in a standard calibrated test rig according to NBN EN 1027 [3]. A spraying rack is installed in each test-setup at a distance of 25 cm from the surface of the panels. Each test-setup is submitted to a static watertest using pressure differences according to figure 2 and with a spray rate of 2 l/min/m². Every visible waterleakage is documented with the related time and pressure difference. The watertightness test ends when no more visible separation between the different leakages can be made.

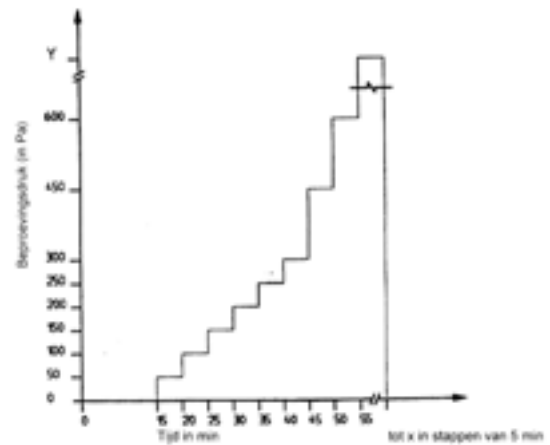


Fig. 2 Watertightness test

3. Results

A. Airtightness

Every sealing material is submitted to a fixed test procedure. First, the initial airtightness of the materials is measured. After this a mechanical ageing is performed to test the influence of high windpressure. Then the test-setup is sprayed with water during a watertightness test and the airtightness in wet condition is measured. After 24 hours of drying of the setup, the airtightness is measured again to determine the influence on the bonding of the sealing material on the subsurface. For some of the sealing materials, i.e tape A and B, the measurements in wet condition and after drying are performed before the mechanical ageing. In the end the intersections, the complete joints, the perimetrical joints and the complete surface are systematically covered with an airtight coating in order to make a separation of the total air leakage through the test-setup.

The air leakage through the different sealing materials is derived from the last performed measurement on the whole test-setup and is shown in figure 3 at a pressure difference of 50 Pa.

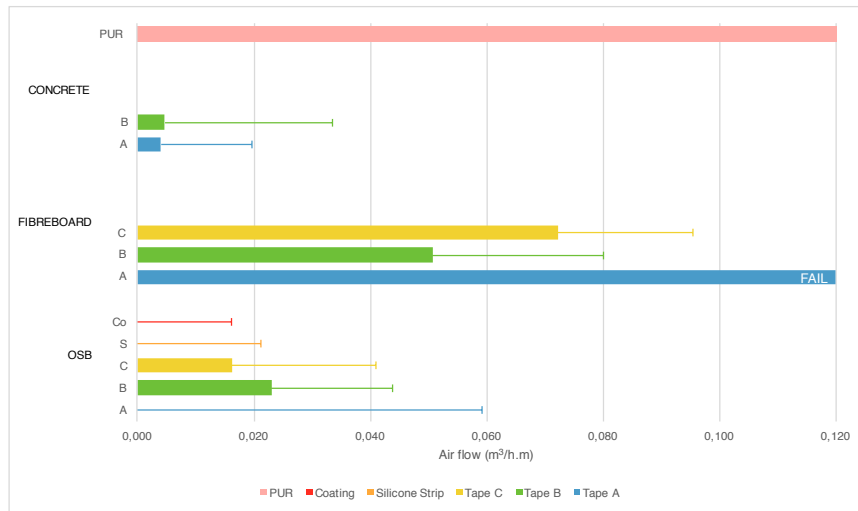


Fig. 3 Air leakage through joints at 50 Pa

These measurements show that tape glued on a concrete subsurface and silicone strips and a coating applied on OSB-panels contribute most to the airtightness of the joints between the panels. Overall the difference between the air leakages of all sealing materials tested on both subsurfaces, is considerably small. Tapes on bituminous impregnated fibreboards show however the most air leakages. Tape A glued on the fibreboards even fails after wetting. The air leakage through the polyurethane foam is almost ten times bigger than the air leakage through the tapes glued on the OSB and is measured $0,195 \pm 0,052 \text{ m}^3/\text{h.m}$.

After mechanical ageing no remarkable difference of the air leakage was measured if this ageing was preceded by wetting and drying. When the mechanical ageing was performed right after the initial airtightness test, a small increase of the air leakage through the tapes was measured. When the airtightness was tested of the sealing materials in wet condition, the air leakages decreased except the air leakage of tape A. After 24 hours of drying, the airtightness was measured again. Tape A showed an increase of the air leakage through the joints, in contrast to tape B and C which showed a decrease of the air leakage through the joints. This decrease of the air leakage was only determined after the first time of wetting and 24 hours of drying of the tape.

For tape A the impact of the intersections on the total air leakage or the impact of the intermediate joints on the total air leakage is equal. For tape B the air leakage is mainly determined by the air flow through the tape itself. The length of the joints is therefore the most important factor for the total air leakage. This is in contrast to tape C for which the airflow through the intersections has the biggest impact on the total air leakage. The airflow of the silicone strip is mainly determined by craftsmanship since most of the air leakages exist due to inadequate pressing of the silicone. For the coating and polyurethane foam, it was not possible to determine the exact airflow through the intersections.

B. Watertightness

Every sealing material is submitted to a fixed test procedure. For some of the materials, i.e. tape A and B, an initial watertest is performed right after sealing the joints. Then the setup is submitted to a mechanical ageing and the watertightness is tested. Thereafter the intersections and the complete joints are covered with a coating. Figure 4 shows for each sealing material the pressure difference at which the first waterleakages were determined.

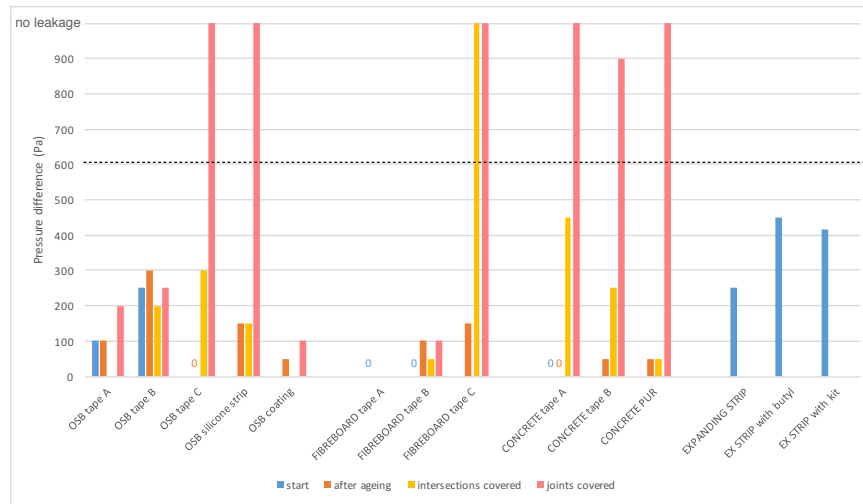


Fig. 4 Waterleakage through sealing materials

If the sealing materials have to meet the requirements of class 9A according to the classification of NBN B 25-002-01 [4] which corresponds to no water leakages at a pressure difference of 600 Pa, none of the sealing materials is initially sufficient. Figure 4 shows that the watertightness of the self expanding strips is better than the watertightness of the other materials followed by tape B, however there are already water leakages determined at a pressure difference of 450 Pa. When the intersections of tape C on the bituminous impregnated fibreboard are covered with a coating, no water leakages are determined and therefore the setup meets the requirement of class 9A. Also the watertightness of the other materials increases when the intersections are covered with a coating, except for tape B which shows a decreased watertightness.

4. Discussion

The airtightness of the different sealing materials is dependent on the subsurfaces. This is in contrast to the watertightness which is mostly dependent on the material itself and the craftsmanship.

The airtightness of **tape A** is comparable with the airtightness of the other tapes. This is in contrast

to the watertightness of tape A which is worse than the watertightness of the other tapes. Tape A even fails on the bituminous impregnated fibreboard after wetting. Therefore it is not recommended to use this tape on the outside of the façade panels.

Tape B shows a better watertightness in comparison with tape A but it doesn't meet the requirements for class 9A. After the first time wetting and drying of the tape, the watertightness and airtightness increase. The water leakages were mostly determined near the intersections. Since the tape absorbed part of the coating, no positive influence of this coating on the tape was measured. However it is supposed that the use of an extra tape in a cross-shape on the intersection will improve the watertightness. It was determined that the air leakages through the tape were mostly influenced by the tape itself and the length of the joints. It is therefore recommended that the tape is rather used on the outside of the panel to seal the joints watertight than on the inside of the panel.

The airtightness of **tape C** is comparable with the airtightness of tape B but tape C shows more air leakages at the intersections of the joints and fewer through the joints and the tape itself. Therefore the use of extra tape on the intersections has a big influence on the airtightness of the tape. Also the watertightness of the tape with an extra cross on top

of the intersections meets the requirements of class 9A. Therefore the tape with extra crosses can be used at the inside of the panel as well as at the outside to seal the joints between the panels.

No air leakages were measured through the **silicone strip** and the **coating** on top of the silicone. However it needs to be considered that the airtightness of these materials is very dependent on the craftsmanship. Initially the silicone strips showed more air leakages due to the detachment of the silicone at the intersections. When extra silicone was applied at these intersections no more air leakages were measured. Therefore it is very important to press the silicone sufficiently at every point.

The **polyurethane foam** shows to be the least airtight since the foam is not able to fill all the small gaps of the concrete surface. Also the watertightness of the polyurethane foam is not sufficiently and is very dependent on in which order the foam is sprayed inside the joints. Therefore it is recommended to fill the complete intersection of the joints in one movement so no waterleakages can

appear at the connection between two strands of foam. The polyurethane foam will always need to be used in combination with another material e.g. silicone to be sufficiently air- and watertight.

Initially the watertightness of the **self-expanding strips** was not sufficient to meet the requirements of class 9A however when strips are used with a higher degree of compression, the watertightness increases. Therefore it is recommended to use extra strips or strips with a bigger width at the intersections of the joints since these points are the most critical.

These self expanding strips can already partially be attached to the panels during prefabrication. Therefore these strips can be used when the cladding is also already attached to the panels. Tapes can only be applied on the outside of the panels when the cladding still needs to be attached to the panels on site. Silicone strips can also already be applied during prefabrication. This decreases again the time that is needed on the construction site.

AIRTHIGHTNESS								
	OSB	FIBREBOARD	CONCRETE	ageing	wet	after drying	intersections	joints
Tape A	/	-	+	/	/	-	/	/
Tape B	/	-	+	-	+	+	/	-
Tape C	/	-		-	+	+	-	/
Silicone Strip	+			-	++	/	/ -	-
Coating	+			/	++	/		
PUR			-	-	+	/		

WATERTIGHTNESS						
	OSB	FIBREBOARD	CONCRETE	ageing/ drying	intersections covered	joints covered
Tape A	/	-	-	/	+	+
Tape B	+	/	/	+	-	/
Tape C	-	/		+	+	++
Silicone Strip	/			/	/	++
Coating	/			/		+
PUR			/	/	/	++
Expanding Strip		+				

+ positive influence; - negative influence; / no influence

Fig. 5 Airtightness and watertightness of sealing materials

5. Conclusion

The use of silicone strips and self-expanding strips to seal the joints between prefabricated façade panels, can reduce the construction time on site

which is beneficial for the inhabitants of the housing blocks which need to be renovated.

Tapes can also be used to seal the joints airtight and watertight but this will require more time and infrastructure on site.

References

1. FOD Economie, K.M.O. Middenstand en Energie (2010). *De energiemarkt in 2010*. Brussel: Jean-Marc Delporte
2. NBN EN 12114 (2000). Thermische eigenschappen van gebouwen - Luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen - Laboratoriumbeproevingsmethode. Brussel: Belgisch Instituut voor Normering
3. NBN EN 1027 (2000). Ramen en deuren - Waterdichtheid - Beproevingsmethode. Brussel: Belgisch Instituut voor Normering
4. NBN B 25-002-01 (2009). Buitenschrijnwerk - Deel 1 - Algemene voorschriften. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

Inhoudsopgave

Inleiding	1
Deel I Analyse	3
Hoofdstuk 1 Algemeen kader	5
1.1 Solar Decathlon	5
1.2 Green retrofit	8
1.3 Naoorlogse woonperiode	11
1.4 Etrimo	13
Hoofdstuk 2 Bestaande prefabgevelrenovatiesystemen	17
2.1 IEA ECBCS Annex 50	18
2.2 TES Energy Façade	27
2.3 Conclusie	33
Hoofdstuk 3 Aansluitingen prefabpanelen	35
3.1 Lucht- en waterdichtheid	37
3.2 Voegen tussen prefabpanelen	48
3.3 Aansluitingen tussen panelen en bestaande constructie	53
Deel II Experimenteel onderzoek	57
Doelstelling	59
Hoofdstuk 1 Algemeen	61
1.1 Materialen	61
1.2 Testopstelling	66
1.3 Testprocedure	69
Hoofdstuk 2 Luchtdichtheid	77
2.1 Referentiemetingen	78
2.2 Tapes	81
2.3 Silicone	101
2.4 Polyurethaanschuim	110
2.5 Ondergronden	114
2.6 Discussie	122
Hoofdstuk 3 Waterdichtheid	135
3.1 Ondergrond	136
3.2 Mechanische veroudering	144
3.3 Oriëntatie	146
3.4 Kruispunten - voegen	148

3.5 Zwellbanden	152
3.6 Conclusie	161
Hoofdstuk 4 Praktische toepassing	165
4.1 Geprefabriceerde houtskeletpanelen	165
4.2 Luchtdichte aansluiting tussen prefabpanelen	168
4.3 Waterdichte aansluiting tussen prefabpanelen	172
Algemene conclusie	177
Referentielijst	182
Bijlagen	187

Lijst met figuren

Figuur 1.1 La cité du Soleil - Solar Decathlon Europe 2014	6
Figuur 1.2 Solar Decathlon 2011 E-cube	6
Figuur 1.3 Rondleiding in de woning 'Solatrium'	7
Figuur 1.4 Bebouwde oppervlakte in Vlaanderen (1985-2013) ¹¹	8
Figuur 1.5 Energieconsumptie per sector, zonder en met niet-energetisch gebruik (2010) ¹⁶	9
Figuur 1.6 Modelwijk Renaat Braem (1958)	11
Figuur 1.7 Brusiliatoren Jacques Cuisinier (1967)	12
Figuur 1.8 Afbeelding uit de brochure van Etrimo	13
Figuur 1.9 Breughelpark, Residentie II	14
Figuur 2.1 Horizontale snede over geïnstalleerde F4.1 basismodule	19
Figuur 2.2 Componenten van F4.1 basismodule	20
Figuur 2.3 Egalisatielaag tussen gipsplaat en bestaande wand	21
Figuur 2.4 Installatieproces basismodule F4.1	22
Figuur 2.5 Solar Comb: links: temperatuurcurve gedurende dag en nacht; rechts: geschilderde honingraatstructuur	23
Figuur 2.6 Opbouw module met solar comb	23
Figuur 2.7 links: Doorsnede door een tand-en-groefaansluiting tussen twee modules; rechts: De horizontale en verticale aansluiting van de voegen	24
Figuur 2.8 Opbouw van de module: isolatie wordt tussen het metalen frame geplaatst en de folies worden op de achter- en voorkant bevestigd	25
Figuur 2.9 Installatie van de module in situ	25
Figuur 2.10 Pin-en opening-verbinding tussen de modules	26
Figuur 2.11 Workflow TES-methode	27
Figuur 2.12 Basis-TES-element	28
Figuur 2.13 Structurele kern TES-element	29
Figuur 2.14 Vereisten beplating	30
Figuur 2.15 Opbouw TES-element met raam: 1. vezelcementplaat, 2. cellulosevlokken, 3. stijl, 4. OSB, 5. egalisatielaag, 6. minerale wol, 7. latei, 8. luchtdichting, 9. gevelbekleding	32
Figuur 2.16 Plaatsingsmethoden	32
Figuur 2.17 Voegen tussen TES-elementen: links: twee stijlen tegen elkaar met tape-afdichting, midden: rabatverbinding met inwendige afdichting, rechts: tand- en-groefverbinding met inwendige afdichting	33
Figuur 3.1 Structuur naoorlogse woontorens: links: skeletstructuur, midden: dragende gevel, rechts: combinatie	35
Figuur 3.2 Aansluitingen prefabpanelen	36
Figuur 3.3 Luchtdichte schil	37
Figuur 3.4 U-waarde ten gevolge van 1 mm kier	38
Figuur 3.5 Turbulente en laminaire stroming	41
Figuur 3.6 Effect luchtdichtheid op E-peil	42
Figuur 3.7 Luchtstromingspatronen	43
Figuur 3.8 Muurtypes op basis van waterdichtheid	45

Figuur 3.9 Opslagsysteem	46
Figuur 3.10 Eentrapsdichting	46
Figuur 3.11 Tweetrapsdichting	47
Figuur 3.12 Opbouw prefabpanelen: links: betonnen sandwichpaneel, midden: enkelschalig betonpaneel, rechts: houtskeletpaneel	48
Figuur 3.13 Compressiebanden	49
Figuur 3.14 links: Toepassing van tape bij winddichting, rechts: Tape op basis van butylrubber	50
Figuur 3.15 Toepassing van backer rod en kitvoeg	50
Figuur 3.16 Toepassing van PUR-schuim	51
Figuur 3.17 EPDM-profiel	51
Figuur 3.18 Toepassing luchtdichte coating	52
Figuur 3.19 Lekkagepaden tussen raam en paneel	53
Figuur 3.20 Aansluiting raam aan bestaande structuur	53
Figuur 3.21 Plaatsing egalisatielaag en ontstane luchtstromingen	54
Figuur 3.22 links: Vulling met minerale wolmat, rechts: Inblaasgat voor cellulosevlokken	55
Figuur 1.1 Van links naar rechts: tape A, tape B, tape C	61
Figuur 1.2 Toepassing Silicone Strip	62
Figuur 1.3 Links: Silicone (zwart) op rugvulling (grijs), Rechts: Coating (wit) op silicone (zwart)	63
Figuur 1.4 Polyurethaanschuim tussen betontegels	63
Figuur 1.5 Zwelbanden in combinatie met tape C	64
Figuur 1.6 Testopstelling vooraanzicht en achteraanzicht	66
Figuur 1.7 Details opbouw testopstelling	67
Figuur 1.8 Opbouw testopstelling	67
Figuur 1.9 Testopstelling met betonondergrond, gebitumineerde houtvezelplaat en OSB	68
Figuur 1.10 Behandeling houtvezelplaat met primer	68
Figuur 1.11 Verloop luchtdichtheidstest	70
Figuur 1.12 Opstelling tegen testwand	71
Figuur 1.13 Verloop mechanische veroudering	74
Figuur 1.14 Plaatsing sproeiers	75
Figuur 1.15 Verloop waterdichtheidstest	76
Figuur 2.1 Verdeling gemeten lekdebiet	78
Figuur 2.2 Oppervlak bedekt met luchtdichte coating	79
Figuur 2.3 Correctie lekdebiet door voegen	79
Figuur 2.4 Voegen bedekt met luchtdichte coating	80
Figuur 2.5 Testen luchtdichte coating	80
Figuur 2.6 Opbouw tape A op OSB-opstelling	81
Figuur 2.7 Tape A op beton, houtvezelplaat en OSB	82
Figuur 2.8 Loskomen van tape A op gebitumineerde houtvezelplaat	83
Figuur 2.9 Kruispunten, voegen, zijkanten en volledige oppervlak bedekt	84
Figuur 2.10 Tape B op beton, houtvezelplaat en OSB	89
Figuur 2.11 Beweging houtvezelplaat ten opzichte van tape	92
Figuur 2.12 Opbouw tape B	94

Figuur 2.13 Tape C op houtvezelplaat en OSB	95
Figuur 2.14 Extra kruis getapet over kruispunten	98
Figuur 2.15 Invloed ligging bitumenlaagje houtvezelplaten op luchtdichtheid	98
Figuur 2.16 Opbouw tape C	100
Figuur 2.17 Toepassing silicone strip	101
Figuur 2.18 Randaansluiting silicone strip	102
Figuur 2.19 Links: Verminderde hechting silicone ter hoogte van kruispunten, rechts: extra silicone	103
Figuur 2.20 Kruispunten, voegen en volledig oppervlak bedekt	104
Figuur 2.21 Hoekaansluiting	105
Figuur 2.22 Opbouw toepassing coating op OSB-ondergrond	107
Figuur 2.23 Luchtstroming coating over silicone	107
Figuur 2.24 Polyurethaanschuim op betonondergrond	110
Figuur 2.25 Opbouw PUR op betonondergrond	111
Figuur 2.26 Kleine opstelling met betonplex, OSB, houtvezelplaat met bitumenlaag, houtvezelplaat zonder bitumenlaag	114
Figuur 2.27 Zwellen van de OSB ten gevolge van blootstelling aan water	116
Figuur 3.1 Waterdruppeltjes door zijkant OSB	136
Figuur 3.2 Schematische voorstelling vorming lekken	137
Figuur 3.3 Waterlek ten gevolge van niet voldoende aandrukken silicone	138
Figuur 3.4 Waterlekage ter hoogte van opening coating	139
Figuur 3.5 Waterlek ter plaatse van barst in betontegel	140
Figuur 3.6 Waterlekken polyurethaanschuim!	141
Figuur 3.7 Plaatsing polyurethaanschuim tweede watertest	142
Figuur 3.8 Positie lekkages en vochtplekken	142
Figuur 3.9 Invloed oriëntatie tapes en silicone strip op waterlekages	146
Figuur 3.10 Invloed oriëntatie silicone strip op positie lekkages	147
Figuur 3.11 a) absorptie eerste laag coating door tape B, b) licht blinkende tweede laag coating	149
Figuur 3.12 Extra kruis tape C over kruispunten	149
Figuur 3.13 Voorzijde en achterzijde opstelling zwelbanden	152
Figuur 3.14 Stompe, butyl- of kitafwerking kruispunten zwelband	154
Figuur 3.15 Foute uitvoering zwelbanden ter hoogte van de kruispunten	155
Figuur 3.16 Waterafloop ter plaatse van horizontale zwelband	156
Figuur 3.17 Waterdichtheidsklassen buitenschrijnwerk volgens NBN B 25-002-1 en NBN EN 12208	161
Figuur 4.1 Toepassing folie als luchtdichting	166
Figuur 4.2 Opbouw en plaatsing geprefabriceerde houtskeletpanelen	167
Figuur 4.3 Plaatsing tapes luchtdichting	168
Figuur 4.4 Plaatsing silicone strip	171
Figuur 4.5 Plaatsing tapes waterdichting	172
Figuur 4.6 Zwelband tussen panelen	173
Figuur 4.7 Plaatsing zwelbanden	174

Lijst met tabellen

Tabel 2.1 Tape A verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa	85
Tabel 2.2 TapeA lekdebiet door voegen na veroudering bij 50Pa	87
Tabel 2.3 Tape B verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa	92
Tabel 2.4 Tape B lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	93
Tabel 2.5 Tape C verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa	97
Tabel 2.6 Tape C lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	99
Tabel 2.7 Silicone Strip verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa	104
Tabel 2.8 Silicone Strip lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	106
Tabel 2.9 Coating lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	109
Tabel 2.10 Polyurethaanschuim lekdebiet door voegen bij 50 Pa	113
Tabel 2.11 OSB droogtijd bij 450 Pa	115
Tabel 2.12 Houtvezelplaat met extra bitumenlaagje droogtijd bij 450 Pa	117
Tabel 2.13 Houtvezelplaat in combinatie met tape C droogtijd bij 450 Pa	119
Tabel 2.14 Gebitumineerde houtvezelplaat zonder extra bitumenlaagje droogtijd bij 450 Pa	121
Tabel 2.15 Lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	122
Tabel 2.16 Invloed mechanische veroudering op het luchtlekdebiet bij 50 Pa	124
Tabel 2.17 Invloed nat/droog bij 50 Pa	126
Tabel 2.18 Invloed nat/droog gebitumineerde houtvezelplaat bij 450 Pa	128
Tabel 2.19 Invloed nat/droog betonondergrond bij 50 Pa	130
Tabel 2.20 Samenvatting prestaties afdichtingsmaterialen op vlak van luchtdichtheid	133
Tabel 3.1 Percentage natte vloeipapiermpjes in verticale en horizontale voegen	156
Tabel 3.2 Slaagpercentage zwelbanden bij een drukverschil hoger dan 600 Pa	159
Tabel 3.3 Samenvatting prestaties afdichtingsmaterialen op vlak van luchtdichtheid	163

Lijst met grafieken

Grafiek 2.1 Tape A lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa	82
Grafiek 2.2 Tape A verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa	85
Grafiek 2.3 Luchtpermeabiliteit van acht OSB-merken ten opzichte van de voorgestelde limiet	86
Grafiek 2.4 Tape A lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	87
Grafiek 2.5 Tape B lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa	89
Grafiek 2.6 Tape B verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa	91
Grafiek 2.7 Tape B lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	93
Grafiek 2.8 Tape C lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa	95
Grafiek 2.9 Tape C verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa	97
Grafiek 2.10 Tape C lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	99
Grafiek 2.11 Silicone Strip lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa	102
Grafiek 2.12 Silicone Strip verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa	104
Grafiek 2.13 Silicone Strip lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	106
Grafiek 2.14 Coating lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa	108
Grafiek 2.15 Coating lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	109
Grafiek 2.16 Polyurethaanschuim lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa	111
Grafiek 2.17 Polyurethaanschuim kruispunten, voegen en hele oppervlak bedekt	112
Grafiek 2.18 Polyurethaanschuim lekdebiet door voegen bij 50 Pa	113
Grafiek 2.19 OSB invloed nat/droog op luchtlekdebiet bij 450 Pa	115
Grafiek 2.20 Houtvezelplaat met extra bitumenlaagje invloed nat/droog op luchtlekdebiet bij 450 Pa	117
Grafiek 2.21 Houtvezelplaat in combinatie met tape C invloed nat/droog bij 450 Pa	119
Grafiek 2.22 Gebitumineerde houtvezelplaat zonder extra bitumenlaagje invloed nat/droog bij 450 Pa	120
Grafiek 2.23 Lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa	122
Grafiek 2.24 Invloed mechanische veroudering op het luchtlekdebiet bij 50 Pa	124
Grafiek 2.25 Invloed nat/droog OSB bij 50 Pa	126
Grafiek 2.26 Invloed nat/droog gebitumineerde houtvezelplaat bij 450 Pa	128
Grafiek 2.27 Invloed nat/droog betonondergrond bij 50 Pa	129
Grafiek 2.28 Invloed kruispunten bij 50 Pa	131
Grafiek 3.1 Waterlekkage combinatie afdichtingsmateriaal op ondergrond (na veroudering)	136
Grafiek 3.2 Invloed mechanische veroudering op waterdichtheid	144
Grafiek 3.3 Invloed oriëntatie tapes en silicone strip op waterdichtheid	146
Grafiek 3.4 Waterlekkages indien kruispunten - voegen bedekt zijn met coating	148
Grafiek 3.5 Waterlekkage zwelbanden ter hoogte van de kruispunten	154
Grafiek 3.6 Waterlekkage ter hoogte van de verticale en horizontale voegen	157
Grafiek 3.7 Waterlekkage ter hoogte van de kopse aansluiting tussen twee horizontale zwelbanden	158
Grafiek 3.8 Waterlekkage afdichtingsmaterialen	160
Grafiek 3.9 Waterlekkage samenvatting	162

Inleiding

In de naoorlogse periode ontstonden er verschillende hoogbouwwijken volgens het architectonisch gedachtengoed van de moderne beweging. Hierbij stond het comfort van de bewoner, veel groene open ruimte en voldoende zonlichttoetreding centraal. Niet alleen de sociale woningbouw, maar ook de privésector stelde het succes van deze appartementsgebouwen vast. Deze trend is vandaag ook nog te zien. Een groot deel van de naoorlogse woontorens is in het bezit van de sociale huisvestingsmaatschappijen, maar ook particulieren zijn vaak eigenaar van appartementen.^{1 2}

De residentiële sector is verantwoordelijk voor het grootste deel van het energieverbruik.³ Dit is vooral te wijten aan de oude woningen die nog nooit energetisch gerenoveerd zijn. Sociale huisvestingsmaatschappijen hebben reeds inspanningen geleverd om een aantal van de woontorens die zij in hun bezit hebben te renoveren. Zij hebben immers een grotere investeringscapaciteit en meerdere gebouwen die ze aan de hand van gestandaardiseerde processen kunnen renoveren. Private eigenaars hebben deze investeringscapaciteit meestal niet. Het feit dat de mensen meestal bij zo'n renovatie hun huis voor een bepaalde periode moeten verlaten, werkt ook niet bevorderend. Vermits bij co-eigenaarschap meestal 80% van de bewoners akkoord moet gaan met een renovatie alvorens deze van start kan gaan, duurt het meestal zeer lang voor er iets ondernomen kan worden.

Een oplossing hiervoor kan zijn om te werken met geprefabriceerde gevelelementen waardoor er op een snelle manier langs de buitenkant gerenoveerd kan worden. Hierbij kunnen ook nieuwe installaties zoals ventilatie en verwarming geïntegreerd worden. De constructietijd in situ zal sterk verminderen en ook de lagere kostprijs kan de bewoners overtuigen om toch te kiezen voor een renovatie.

Zowel in binnen- als buitenland zijn er de voorbije jaren een aantal onderzoeksprojecten naar deze manier van renoveren gestart. Twee voorbeelden hiervan zijn '*Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Building*' en '*TES Energy Façade: prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*'. Deze projecten geven een overzicht van mogelijke prefabgevelrenovatiesystemen maar ze zijn vaak niet algemeen toepasbaar. Ook wordt er niet in detail ingegaan op de methodes om de verschillende aansluitingen van de panelen te realiseren op vlak van lucht-, wind- en waterdichtheid te realiseren.

¹ Vanneste, D. & Thomas, I. & Goossens, L. (2007). *Woning en woonomgeving in België*. Brussel: FOD Economie, K.M.O. Middenstand en Energie

² Cijfers over sociale huisvesting in Vlaanderen (2016). <https://www.wonenvlaanderen.be/woononderzoek-en-statistieken/cijfers-over-sociale-huisvesting-vlaanderen>. Geraadpleegd op 18 februari 2016.

³ FOD Economie, K.M.O. Middenstand en Energie (2010). *De energiemarkt in 2010*. Brussel: Jean-Marc Delporte

Deze masterproef focust juist wel op deze aansluitingen vermits bij een energetische renovatie de waterdichtheid, winddichtheid en voornamelijk luchtdichtheid zeer bepalende factoren zullen zijn. Luchtlekken kunnen immers zorgen voor een verminderde werking van de isolatie, condensatie, schimmelvorming,... met veel schade tot gevolg. Er wordt onderzocht welke materialen hiervoor in aanmerking kunnen komen, hoe ze presteren in ideale omstandigheden en na veroudering en hoe ze praktisch gebruikt worden bij een energetische renovatie aan de hand van prefabpanelen.

Dit onderzoek kadert in het ontwerp dat zal gebruikt worden bij een deelname aan de volgende Europese editie van Solar Decathlon. Solar Decathlon is een internationale wedstrijd waarbij teams van studenten een energieneutrale woning ontwerpen en deze ook effectief bouwen tijdens een expositie. Bij voorgaande edities werd er vooral gefocust op alleenstaande woningen maar gezien de nood aan renovatie van woontorens vormt deze wedstrijd een goed uitgangspunt om over deze problematiek na te denken.

Deze masterproef is opgedeeld in twee delen: analyse en experimenteel onderzoek.

In het eerste deel wordt een analyse gemaakt van de bestaande literatuur en bevat drie hoofdstukken. In het eerste hoofdstuk wordt een algemeen kader geschetst waarbij dieper wordt ingegaan op de deelname van de UGent aan vorige edities van de Solar Decathlon, de nood aan renovatie en de naoorlogse woonperiode. In het tweede hoofdstuk worden twee onderzoeksprojecten over prefabgevelrenovatiesystemen besproken. En ten slotte in het derde hoofdstuk worden de aansluitingen besproken tussen de verschillende prefabpanelen en de aansluitingen tussen de panelen en de bestaande structuur. Hierbij wordt vooral de nadruk gelegd op water-, lucht- en winddichtheid, het belang hiervan en de materialen die hiervoor kunnen gebruikt worden.

In het tweede deel wordt het experimenteel onderzoek besproken dat uitgevoerd wordt met betrekking tot het dichten van de voegen tussen prefabpanelen. Hiervoor worden verschillende soorten tapes, materialen op basis van silicone, zwelbanden en polyurethaanschuim toegepast op verschillende ondergronden. Deze worden onderworpen aan luchtdichtheidstesten en waterdichtheidstesten in nieuwe en in verouderde toestand. Deze testen worden uitgevoerd om de prestatie van de verschillende materialen te kunnen quantificeren, de invloed van weersomstandigheden te kunnen bepalen en de impact van fouten die optreden tijdens de plaatsing te kunnen analyseren. Hierbij wordt er vervolgens nagedacht welke materialen beter presteren als winddichting, waterdichting, luchtdichting of een combinatie hiervan. In het laatste hoofdstuk van dit tweede deel wordt ten slotte de praktische toepassing geschetst van deze materialen om de voegen tussen geprefabriceerde gevelpanelen lucht- en waterdicht af te sluiten.

Deel I *Analyse*



Hoofdstuk 1

Algemeen kader

In dit eerste hoofdstuk wordt er een korte introductie gegeven over de competitie Solar Decathlon en wordt er een algemeen kader geschetst voor de ontwerpopgave die gepaard zal gaan met de volgende editie van deze wedstrijd.

1.1 Solar Decathlon

Solar Decathlon is een internationale competitie opgericht in 2002 door de U.S. Department of Energy (DOE). Teams van studenten ontwerpen, met behulp van academische begeleiding en partners uit de bouwindustrie, een energieneutrale woning. De nadruk ligt hierbij vooral op het gebruik van zonne-energie, zoals de naam van de competitie al doet vermoeden. De woning zal ook effectief gebouwd moeten worden op schaal 1:1 tijdens een expositie, die open is voor het publiek. De woningen worden tijdens deze expositie gemonitord en geëvalueerd aan de hand van tien criteria⁴:

1. Architectuur
2. Constructie
3. Energie-efficiëntie
4. Elektrisch energetisch evenwicht
5. Comfort
6. Werking van het huis
7. Communicatie en maatschappelijk bewustzijn
8. Stedelijk ontwerp, transport en betaalbaarheid
9. Innovatie
10. Duurzaamheid

Naar aanleiding van het grote succes van de Amerikaanse editie van Solar Decathlon werd er beslist om ook een Europese editie op te richten in 2010. De vorige editie dateert van 2014 en vond plaats in Versailles, Frankrijk.

⁴ Solar Decathlon 2014. <http://www.solardecathlon2014.fr>. Geraadpleegd op 4 januari 2016



Figuur 1.1 La cité du Soleil - Solar Decathlon Europe 2014

Bij iedere editie worden er een aantal extra thema's voorgesteld waarmee rekening moet gehouden worden. Bij de vorige competitie in Versailles werd er extra aandacht besteed aan bv. densiteit, meer bepaald co-housing, een minimale energievraag, betaalbaarheid, mobiliteit, innovatie en de lokale context.

Universiteit Gent nam reeds deel aan de Solar Decathlon in 2011 in Washington met de E-cube. De E-cube is ontworpen als een doe-het-zelfpakket dat bestaat uit een basisbox. Deze box kan op een zeer eenvoudige manier in elkaar gezet worden, zonder de hulp van zwaar gereedschap. Dit kan dankzij het gebruik van een industrieel pallet-rekken systeem. Dit systeem biedt het voordeel dat het goedkoop is en dat er gewerkt wordt met gestandaardiseerde elementen. Hierdoor kan er op eenvoudige wijze een upgrade toegevoegd worden aan de basisbox zoals bv. de plaatsing van zonnepanelen, de binnenafterwerking, uitbreidingen, etc. Dit alles zorgt ervoor dat de E-cube een zeer betaalbare woning is die door iedereen, in meerdere fasen, kan gerealiseerd worden.⁵



Figuur 1.2 Solar Decathlon 2011 E-cube

⁵ E-cube (2011). <http://www.solardecathlon.ugent.be/nl/>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

Met het oog op een doe-het-zelfpakket werd een manual gecreëerd die de bouw van de woning op een eenvoudige wijze illustreert.⁶ Deze manual werd ook gebruikt bij de opbouw van de E-cube eerst in Gent naast het Universiteitsforum (Ufo) en daarna in Washington.

In 2013 nam de Universiteit Gent opnieuw deel aan de Solar Decathlon. Ditmaal in samenwerking met het Polytechnisch instituut van de Universiteit van New York en het Worcester Polytechnisch Instituut onder de naam van team BEMANY. De competitie werd voor de eerste keer in Azië georganiseerd, meer bepaald in Datong, een stad ongeveer 4 uur ten westen van Peking.⁷ BEMANY zette met hun project Solatrium⁸ vooral in op de beleving en het comfort die verbonden zijn aan het esthetische, economische en energetische aspect van een *zero-energy* woning en vooral ook de beleving van de natuur en de omgeving rond de woning. Er werd daarom gewerkt met lichte maar sterke composietmaterialen die de open structuur van de woning versterken, een glazen dak en ramen die voor meer dan 60% van de woning van vloer tot plafond doorlopen.



Figuur 1.3 Rondleiding in de woning 'Solatrium'

Er werden *phase-change materials* (PCM's) gebruikt in de betonnen vloertegels die warmte kunnen opslaan en afgeven wanneer nodig. Het glazen dak kan zonlicht opvangen tijdens de winter en kan in de zomer geopend worden om ventilatie toe te laten.⁹ Al deze componenten zorgden ervoor dat het energieverbruik kon geminimaliseerd worden en met behulp van zonnecellen werd er extra energie geproduceerd.¹⁰

De Vakgroep Architectuur en Stedenbouw van de Universiteit Gent heeft de ambitie om opnieuw deel te nemen aan de volgende editie van de Solar Decathlon.

⁶ De Loof, P.J. & Rottiers, R. & van de Walle, D. (2011). *E-Cube ontwerp en bouw van een nul-energiewoning* [Scriptie]. Universiteit Gent, Vakgroep Architectuur en Stedenbouw.

⁷ Solar Decathlon China (2013). <http://www.architectuur.ugent.be/2013/09/solar-decathlon-china/>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

⁸ Van Parys, T. & Tassignon, T. (2013). *Solar Decathlon China 2013: Construction and Engineering Process of the Prefabricated Composite House 'Solatrium'* [Scriptie]. Universiteit Gent, Vakgroep Architectuur en Stedenbouw.

⁹ Team BEMANY (2013). <http://bemany.wpi.edu/home.htm>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

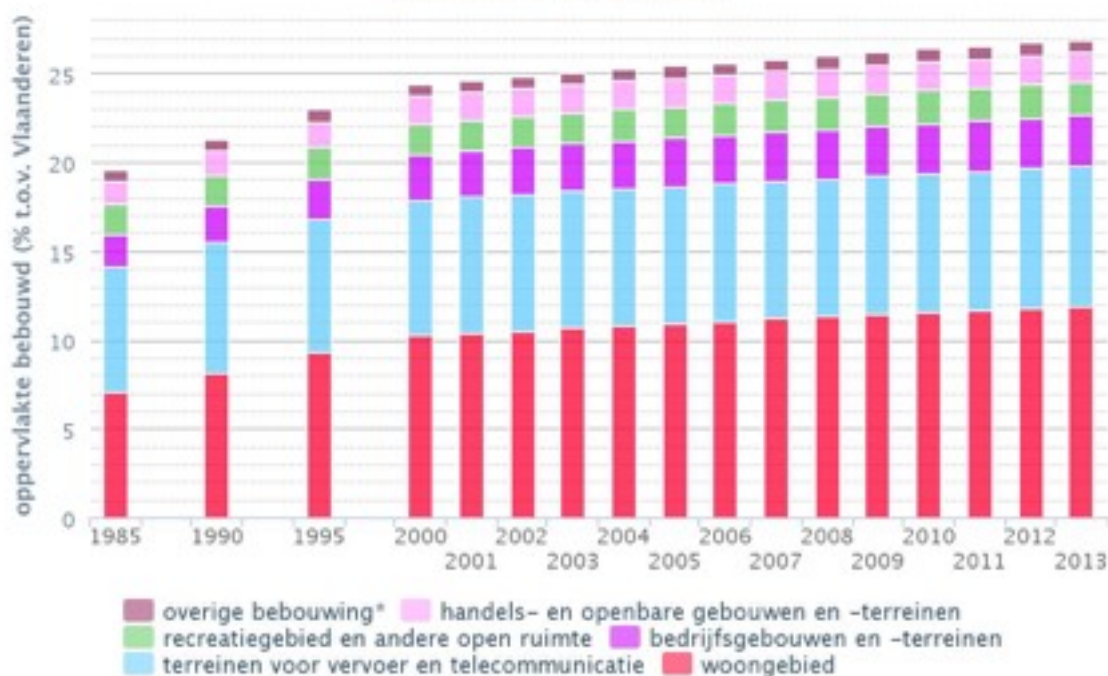
¹⁰ Solar Decathlon China (2013). <http://www.architectuur.ugent.be/2013/09/solar-decathlon-china/>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

1.2 Green retrofit

België in cijfers

In 2013 was Vlaanderen voor bijna 27% bebouwd. Hiervan werd 11% bezet door woongebied.¹¹

Dit in vergelijking met bv. Nederland waar slechts 8% bebouwd is.¹²



Figuur 1.4 Bebouwde oppervlakte in Vlaanderen (1985-2013)¹¹

Daarbij komt ook nog dat er een versnippering is van de open ruimte door de manier van bouwen en de organisatie. Hierbij kan gedacht worden aan lintbebouwing en verspreide bebouwing die Vlaanderen karakteriseren.¹³

Het aantal inwoners steeg met 11% tussen 1970 en 2009. Maar nog opvallender is dat het aantal huishoudens steeg met 42% tussen 1970 en 2009.¹⁴ Dit is te wijten aan het feit dat het gemiddeld aantal personen per huishouden daalt. Deze trend zal zich de komende jaren alleen maar blijven verderzetten. Een schatting wordt gemaakt waarbij het bevolkingsaantal zal stijgen van 11,1 miljoen in 2013 tot 11,9 miljoen in 2030 (+7%) en tot 12,5 miljoen in 2060 (+13%). Ook het aantal

¹¹ Bebouwde oppervlakte Vlaanderen (2014). <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/bodem/bodemafdicting/bebouwde-oppervlakte/>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

¹² Bebouwde oppervlakte Nederland (2013). <http://www.pbl.nl/nieuws/nieuwsberichten/2013/ontwikkeling-stedelijk-gebied>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

¹³ Bebouwde oppervlakte Vlaanderen (2014). <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/bodem/bodemafdicting/bebouwde-oppervlakte/>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

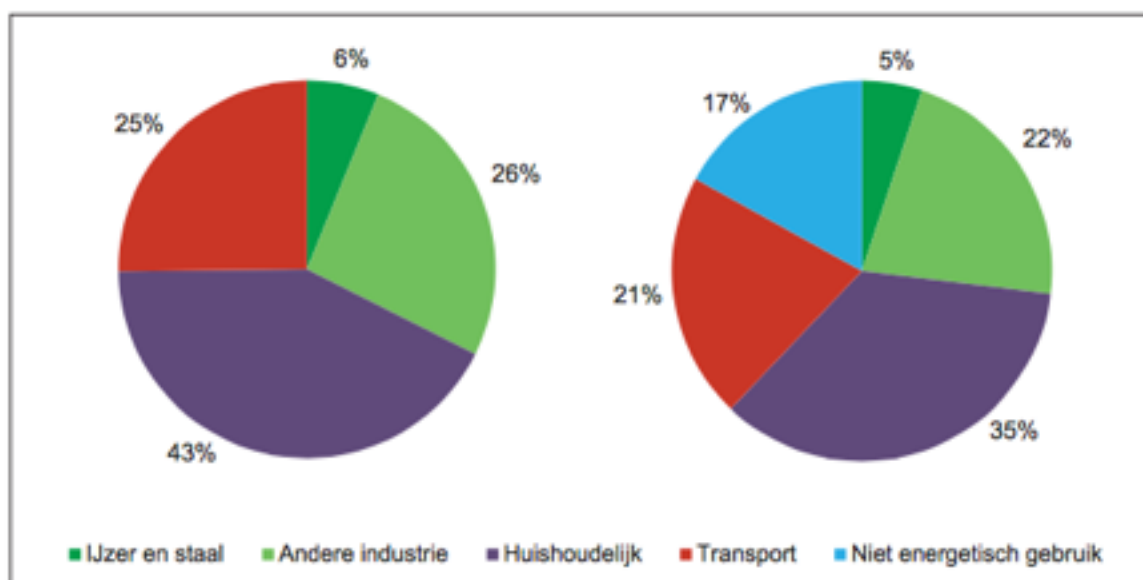
¹⁴ Bevolking en gezinnen 1970-2009 (2012). <http://www.indicators.be/nl/indicator/gezinsgrootte-personen-gezin?detail=>. Geraadpleegd op 14 januari 2016

huishoudens zal stijgen van 4,8 miljoen in 2013 tot 5,3 miljoen in 2030 (+11%) en tot 5,8 miljoen in 2060 (+21%) doordat het aantal personen per gezin blijft dalen.¹⁵

Deze aspecten tonen aan dat een toename van woongelegenheden en bijgevolg verdichting noodzakelijk zullen zijn. De organisatie van de bebouwing zal herdacht moeten worden zodat er minder versnipperde open ruimte achter blijft. Voor verschillende gebouwen zal er nagedacht moeten worden over een herbestemming en oude gebouwen moeten gerenoveerd worden.

Nood aan renovatie

De residentiële sector is nog steeds verantwoordelijk voor het grootste deel van het energieverbruik in België.¹⁶



Figuur 1.5 Energieconsumptie per sector, zonder en met niet-energetisch gebruik (2010)¹⁶

Drie vierde daarvan is te wijten aan de oudere huizen die dubbel zo veel verbruiken als de recent gebouwde huizen. 61% van alle huizen gebouwd voor 1981 zijn immers nooit energetisch gerenoveerd. Ze hebben geen thermische isolatie, dubbele beglazing of een moderne verwarmingsinstallatie en ze zijn niet luchtdicht.¹⁷

Daarom werd er in 2007 door de Vlaamse Overheid het Energierenovatieprogramma 2020 opgemaakt. Dit stelt dat er in 2020 geen energieverblindende woningen meer mogen zijn in Vlaanderen. Hierbij wordt gefocust op 4 stappen: alle daken en/of zoldervloeren moeten degelijk geïsoleerd worden, alle enkele beglazing moet vervangen worden door hoogrendementsglas, alle

¹⁵ Demografische vooruitzichten 2060 (2014). <http://www.plan.be/press/communique-1321-nl-volgens+de+demografische+vooruitzichten+zal+belgie+tegen+2060+1+4+miljoen+meer+inwoners+en+1+miljoen+meer+gezinnen+tellen>. Geraadpleegd op 14 januari 2016

¹⁶ FOD Economie, K.M.O. Middenstand en Energie (2010). *De energiemarkt in 2010*. Brussel: Jean-Marc Delporte

¹⁷ Hilderson, W. & Meicnik, J. & Cré, J. (2010). *Potential of Low Energy Housing Retrofit (LEHR)*. Brussels: Belgian Science Policy

verouderde verwarmingsinstallaties moeten vervangen worden en tenslotte dienen de buitenmuren geïsoleerd te worden.

Over de voorbije tien jaar kan er reeds een grote vooruitgang opgemerkt worden. Ongeveer de helft van de woningen die geen dakisolatie hadden, hebben dat nu wel. 11% ten opzichte van 35% heeft nog enkel glas en van de woningen met een cv-ketel op aardgas is al 75% uitgerust met een hoogrendementsketel.¹⁸

De energetische kwaliteiten van huurwoningen zijn voornamelijk nog steeds problematisch omdat de investeerder niet diegene is die profiteert van de verbeteringen. In 2005 hadden slechts 8% van alle huurwoningen in Vlaanderen geen enkel gebrek. Bij de woningen van de sociale huisvestingsmaatschappijen is er reeds een positieve vooruitgang. In 2012 hadden gemiddeld 51% van alle woningen geen gebreken meer.¹⁹ De Silvertopstoren in Antwerpen of Ieder Zijn Huis in Evere zijn hier voorbeelden van. Maar de kwaliteit van de huurwoningen in privaat eigenaarschap is nog steeds zeer slecht. Dit is onder andere te wijten aan het feit dat de sociale huisvestingsmaatschappijen een grotere investeringscapaciteit hebben en ook een grotere maatschappelijke verantwoordelijkheid. Tevens bezitten ze meerdere gebouwen die op eenzelfde manier via een gestandaardiseerd proces in eenzelfde periode kunnen gerenoveerd worden. De private eigenaars hebben meestal te weinig technische kennis en een te kleine investeringscapaciteit. Bij appartementsgebouwen komt er nog de moeilijkheid bij dat er een co-eigenaarschap is van verschillende gebouwelementen.²⁰ Hierbij moet typisch 80% van de bewoners akkoord gaan met de renovatie vooraleer deze van start kan gaan.

Solar Decathlon 2017

De projecten bij voorgaande edities van Solar Decathlon focusten voornamelijk op de alleenstaande nieuwe woning. Met al de vorige aspecten in het achterhoofd is het zinvol om ook eens na te denken over renovatie. Er wordt dan ook voorgesteld om bij het project voor de komende editie van de Solar Decathlon te starten vanuit een *retrofit-gedachte* van naoorlogse woontorens met een co-eigenaarschap. Waarbij *retrofit* staat voor het behoud van het gebouw of een deel van het gebouw maar met een verbetering van de energie-efficiëntie.

¹⁸ Renovatie 2020 (2015). <http://www.renovatie2020.be/wat-is-renovatie2020.php>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

¹⁹ Bieseman, W & Wallyn, B & Bosmans, W. & Dilles, A. (2013). *Woonforum 2013, Resultaten enquête 2012*. Energie Renovatie Programma 2020

²⁰ Hilderson, W. & Meicnik, J. & Cré, J. (2010). *Potential of Low Energy Housing Retrofit (LEHR)*. Brussels: Belgian Science Policy

1.3 Naoorlogse woonperiode

In de naoorlogse periode en ten gevolge van de wet Brunfaut (1949), die het Nationaal fonds voor de Huivering oprichtte en de groepsbouw van sociale woningen stimuleerde, ontstaan verschillende hoogbouwwijken.²¹ Deze wijken worden ontworpen volgens het architectonisch gedachtengoed van de moderne beweging. Architectuur in België werd tot dan toe gekenmerkt door de ontwikkeling van kleine gemeenschappen buiten de stad maar de moderne architectuur vat de wijken op als stadsdelen.²² De hoge of middelhoge appartementsblokken worden gerealiseerd aan de hand van de nieuwste technologieën. Centraal in de wijk worden er gemeenschapsvoorzieningen geplaatst omgeven door veel groene open ruimte met veel zonlichttoetreding. Het comfort van de bewoner staat centraal. Een bekend voorbeeld hiervan is de modelwijk van architect Renaat Braem op de Heizel te Laken (1958).



Figuur 1.6 Modelwijk Renaat Braem (1958)

Al van bij de start van de realisatie van de torens worden deze wijken als banaal en schraal gezien. De rijkere burger zag echter het potentieel van deze woningen als investering en in de jaren zestig wordt door de privésector het betere appartementsgebouw voorgesteld. Het is dan ook niet verrassend dat de neergang van de sociale woningbouw hier gelijktijdig mee verloopt. De privésector gaat op een veel lossere manier om met de regels van de moderne architectuur. Er wordt gebruik gemaakt van verdiepingshoge ramen, grote balkons, frisse kleuren, een zwierige inrit naar de ondergrondse parkeergarage en dit alles in een groen kader. Het stadsappartement voor

²¹ De Meulder, B. 'De Belgische stedenbouw en de belofte van welvaart 1945-1975. 10 punten over de veranderende productie van het wonen' in : Van Herck, K. & Avermaete, T. (red.) (2006). *Wonen in welvaart. Woningbouw en wooncultuur Vlaanderen 1948-1973*. Rotterdam: Uitgeverij 010

²² Turkington, R. & van Kempen, R. & Wassenberg, F. (red.) (2004). *High-rise housing in Europe. Current trends and future prospects*. Delft: DUP Science, Delft University Press

de middenklasse wordt ontworpen.²³ De Brusiliawoontoren van architect Jacques Cuisinier is hier een voorbeeld van.



Figuur 1.7 Brusiliatoren Jacques Cuisinier (1967)

In de jaren zeventig daalt het succes van deze appartementen door de economische crisis. De betere appartementsgebouwen worden gestandaardiseerde woonblokken, niet meer gericht op kwaliteit maar op betaalbaarheid. Met deze neergang ontstaat ook de wet De Breyne die een wettelijk kader vormt voor het kopen van (ondermeer) appartementen op plan.

Ontwikkelaars zoals Amelinckx realiseren in die periode appartementsgebouwen op allerlei terreinen in de stadsrand, niet meer badend in het licht en het groen, maar met zicht op een supermarkt, een viaduct of een drukke ringweg.²⁴

Tegenwoordig zijn er veel problemen met deze gebouwen. Ze voldoen niet meer aan de energetische normen. Bovendien zijn de installaties verouderd. Ook zijn er vaak sociale problemen doordat te veel mensen samenleven op een kleine plek, er is geluidshinder, geurhinder, etc. Het lijkt hierdoor een logisch gevolg om deze gebouwen af te breken. Dit is echter niet zo vanzelfsprekend. Veel van deze gebouwen worden immers gefinancierd door een lening over 66 jaar en in vele gevallen zijn deze nog maar voor de helft afbetaald. Een afbraak van gebouwen heeft ook als gevolg dat de bewoners ergens anders gehuisvest zullen moeten worden. Door het tekort aan ruimte en woongelegenheden dat reeds aan de orde is, wordt dit problematisch.²⁵ Het is een debat dat al gedurende lange tijd gaande is en veel vooronderzoek is noodzakelijk.²⁶

²³ De Meulder, B. 'De Belgische stedenbouw en de belofte van welvaart 1945-1975. 10 punten over de veranderende productie van het wonen' in : Van Herck, K. & Avermaete, T. (red.) (2006). *Wonen in welvaart. Woningbouw en wooncultuur Vlaanderen 1948-1973*. Rotterdam: Uitgeverij 010

²⁴ De Meulder, B. 'De Belgische stedenbouw en de belofte van welvaart 1945-1975. 10 punten over de veranderende productie van het wonen' in : Van Herck, K. & Avermaete, T. (red.) (2006). *Wonen in welvaart. Woningbouw en wooncultuur Vlaanderen 1948-1973*. Rotterdam: Uitgeverij 010

²⁵ Turkington, R. & van Kempen, R. & Wassenberg, F. (red.) (2004). *High-rise housing in Europe. Current trends and future prospects*. Delft: DUP Science, Delft University Press

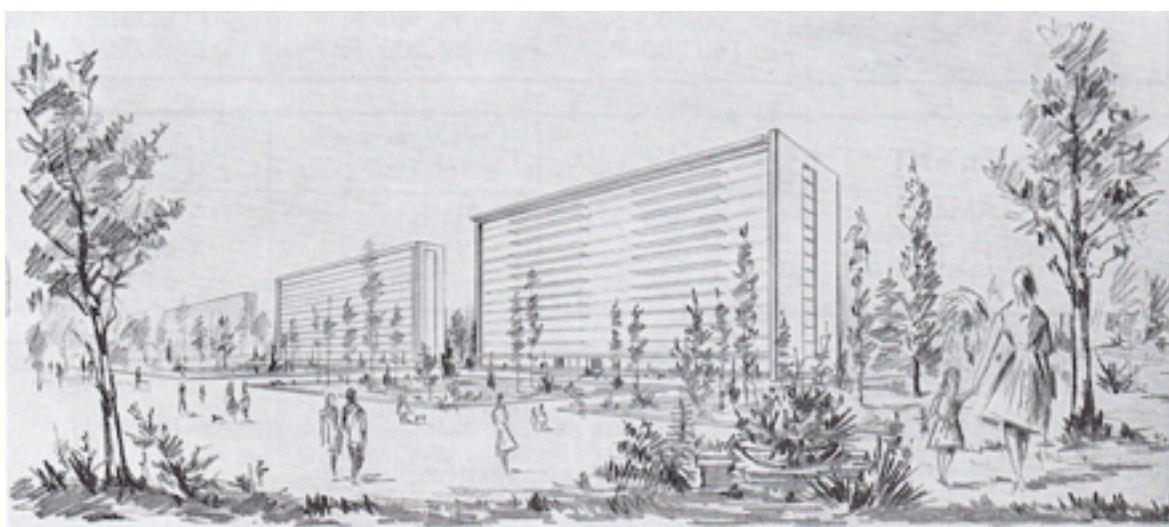
²⁶ Commissie voor Binnenlandse Aangelegenheden, Huisvesting en Stedelijk Beleid Vergadering van 10/02/2000 (2000). <https://docs.vlaamsparlement.be/website/htm-vrg/273505.html>. Geraadpleegd op 5 januari 2016

1.4 Etrimo

Monsieur Etrimo, Jean-Florian Collin

Jean-Florian Collin richtte in 1932 Etrimo op. Etrimo staat voor Société d'Etudes et de Réalisations Immobilières en Faveur des Classes moyennes. In de jaren '30 bouwde hij verschillende appartementsgebouwen in Brussel in Art Deco stijl. Maar na de Tweede Wereldoorlog focuste hij zich voornamelijk op betaalbare appartementsgebouwen. Hierdoor hoopte hij om de droom van iedere Belg in die tijd, namelijk om elk een eigen woning te hebben, te verwezenlijken.²⁷

*“Je veux qu'un ouvrier puisse s'acheter un appartement comme il s'achète une Dauphine (un modèle de Renault construit entre 1956 et 1967, NDLR)”, dit alors Jean-Florian Collin.*²⁸



Figuur 1.8 Afbeelding uit de brochure van Etrimo

Tussen 1960 en 1970 beleefde Monsieur Etrimo zijn gloriejaren. Samen met concurrent Amelinckx (die reeds hiervoor aan bod kwam) bouwde hij Brussel vol na de Tweede Wereldoorlog.

“Les ‘Etrimo’ se vendent toujours comme des petits pains.” is de laatste zin waarmee de documentaire, die over Collin gemaakt werd, eindigt.²⁹ In 1970 kon hij echter tijdens de woningcrisis het hoofd niet meer boven water houden en ging Etrimo failliet. Verschillende mensen hadden reeds een woning op plan gekocht wat leidde tot de Wet De Breyne, die reeds werd aangehaald.

²⁷ Etrimo (2014). <https://fr.wikipedia.org/wiki/Etrimo>. Geraadpleegd op 5 januari 2016

²⁸ Etrimo, une affaire qui a marqué l'immobilier au fer rouge (2014). <http://www.lesoir.be/679026/article/economie/immo/2014-10-13/etrimo-une-affaire-qui-marque-l-immobilier-au-fer-rouge>. Geraadpleegd op 5 januari 2016

²⁹ Etrimo, une affaire qui a marqué l'immobilier au fer rouge (2014). <http://www.lesoir.be/679026/article/economie/immo/2014-10-13/etrimo-une-affaire-qui-marque-l-immobilier-au-fer-rouge>. Geraadpleegd op 5 januari 2016

Breughelpark, Residentie II

Al de appartementsgebouwen van Etrimo zijn opgebouwd volgens eenzelfde systeem. Ze bestaan steeds uit 13 verdiepingen waarbij er per verdieping telkens vier appartementen rond één circulatie gelegen zijn. Deze vier appartementen vormen één paviljoen. Elk gebouw is opgebouwd uit twee of meer paviljoenen en ze bevinden zich telkens in een groene parkomgeving.³⁰

Deze eigenschappen gelden ook voor Residentie II, gelegen in het Breughelpark te Zellik, dat als case-study zal gebruikt worden in deze scriptie en ook door de Vakgroep Architectuur en Stedenbouw bij de volgende editie van de Solar Decathlon.



Figuur 1.9 Breughelpark, Residentie II

Residentie II is gelegen in het oosten van het Breughelpark, een site van ongeveer 55 000 m² met 6 Etrimo woontorens. Residentie II is opgebouwd uit drie paviljoenen, met andere woorden drie circulatieschachten met telkens vier appartementen eromheen. Deze appartementen zijn alle oost-west gericht en bieden een wijds zicht over Brussel.³¹ Een parking is gelegen naast het gebouw en er bevinden zich garages, een fietsenberging en berguimtes op de gelijkvloerse verdieping aan de achterkant van het gebouw. De grote meerderheid van de appartementen zijn tweeslaapkamerappartementen. Enkel op de hoeken bevinden er zich één-slaapkamer- en drieslaapkamerappartementen. Ondanks de vele kwaliteiten die het gebouw bezit, zijn er ook veel problemen. Deze worden uitvoerig besproken in de scriptie *Solar Decathlon: Ontwerpend onderzoek naar renovatiestrategieën van Etrimo woontorens*.³² De belangrijkste problematieken zijn de verouderde technieken, het gebrek aan isolatie in de buitenmuren, een groot deel van de ramen dat nog enkel glas bevat en de circulatiekokers die niet voldoen aan de normen voor brandveiligheid. Daarenboven zijn er nog een aantal problematieken die de bewoners zelf aangeven zoals de planopbouw die niet meer conform de noden van vandaag is, geur- en geluidshinder, een gebrek aan speelruimte, te kleine parking, etc.

³⁰ Etrimo (2014). <https://fr.wikipedia.org/wiki/Etrimo>. Geraadpleegd op 5 januari 2016

³¹ Infobrochure Etrimo

³² De Pauw, J. & Cleemput, E. (2015). *Solar Decathlon: ontwerpend onderzoek naar renovatiestrategieën van Etrimo woontorens* [Scriptie]. Universiteit Gent, Vakgroep Architectuur en Stedenbouw.

Met deze kwaliteiten en problematieken in het achterhoofd en gezien de nood om een groot deel van de appartementsgebouwen in Vlaanderen te renoveren zoals besproken in *1.2 Green retrofit* vormt Residentie II de perfecte kandidaat om een grondige *retrofit* te ondergaan. Daarbij komt nog dat de betonnen skeletstructuur van het gebouw overgedimensioneerd is, net zoals de structuur van veel gebouwen uit die tijd.³³ Dit geeft de gelegenheid om een zwaardere gevel aan het gebouw te hangen en meer technieken te integreren in de opbouw van de wanden en vloeren.

³³ De Pauw, J. & Cleemput, E. (2015). *Solar Decathlon: ontwerpend onderzoek naar renovatiesstrategieën van Etrimo woontorens* [Scriptie]. Universiteit Gent, Vakgroep Architectuur en Stedenbouw.

Hoofdstuk 2

Bestaande prefabgevelrenovatiesystemen

Verskillende renovatieprojecten van zowel eengezinswoningen als van appartementsgebouwen zijn momenteel gaande dankzij onder andere het Renovatieprogramma 2020. Vermits de gevel gemiddeld de grootste warmteverliesoppervlakte bevat van een woning, wordt deze meestal eerst gerenoveerd.³⁴ Deze renovaties gebeuren grotendeels aan de hand van een buitengevelisolatiesysteem (ETICS) afgewerkt met een pleister of steenstrips. Dit systeem is echter niet op alle gebouwen toepasbaar, bv. door uitstekende geveldelen of indien men het uitzicht van de gevel niet wenst te veranderen. Dan kan er gedacht worden aan een systeem waarbij er geïsoleerd wordt aan de binnenzijde van de gevel. Hierbij is het belangrijk dat er een dampremmende laag over de gehele oppervlakte wordt aangebracht zonder onderbrekingen of er kan gebruik gemaakt worden van capillair actieve isolatie. Een nadeel hierbij is dat dit systeem vaak gepaard gaat met een oppervlaktevermindering. Vooral bij huurwoningen is dit een probleem, vermits het verkleinen van het gebruiksoppervlak een verlaging van de huurprijs kan opleveren.

Indien men spreekt over een 'ingrijpende energetische renovatie' moeten ook de technieken volledig vervangen worden. Dit gaat gepaard met ingrijpende werken binnenin het gebouw, waardoor de bewoners meestal voor een bepaalde tijd hun woning moeten verlaten en vaak ook niet meer terugkomen. Dit spreekt niet in het voordeel om een grondige renovatie te laten uitvoeren.

De ontwikkeling van innovatieve renovatieconcepten kan ervoor zorgen dat een groot aantal bestaande gebouwen op een efficiënte manier gerenoveerd kunnen worden. Hierbij kan gedacht worden aan prefabricatiesystemen. Geprefabriceerde gevelelementen zorgen ervoor dat op een snelle manier een gevel langs de buitenkant kan gerenoveerd worden, al dan niet voorafgegaan aan het strippen van het bestaande gebouw. Hierbij kan er ook geopteerd worden om nieuwe installaties zoals ventilatie en verwarming te integreren in de gevelpanelen. Er kan gewerkt worden met gestandaardiseerde elementen die op meerdere gebouwen toepasbaar zijn. Dit zorgt voor een kortere constructietijd in situ en een lagere kostprijs waardoor de hinder voor de bewoner beperkt blijft.

³⁴ Verbeeck, G. & Ceulemans, W. (2015). *Samenvattend rapport analyse van de EPC databank. Resultaten tot en met 2012*. Steunpunt Wonen

Zowel in binnen- als buitenland zijn er de voorbije jaren reeds een aantal onderzoeksprojecten over dit onderwerp opgezet. Twee grote projecten uit het buitenland zijn ‘*Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Building*’ en ‘*TES Energy Façade: prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*’.

AIM-ES, een Brussels onderzoeksproject dat deel uitmaakt van Brussels Retrofit XL, onderzoekt de mogelijkheden van renovatie aan de hand van geprefabriceerde gevelsystemen met het oog op het opstellen van specifieke richtlijnen afhankelijk van de grootte van de ingreep.³⁵

Tenslotte zijn er ook nog *Ecorens* en *Mutatie+*, twee Limburgse proeftuinprojecten. Ecorens focust op de ontwikkeling van renovatiemethodieken met het oog op BEN-woningen met zo weinig mogelijk hinder voor de bewoner. Mutatie+ focust dan weer op de opwaardering van leegstaande bebouwing met het gebruik van uitwisselbare prefabmodules.³⁶

2.1 IEA ECBCS Annex 50

Annex 50 is een project opgericht in het kader van het *Energy Conservation for Building and Community Systems Programme* (ECBCS) door het *International Energy Agency* (IEA) en werd uitgevoerd tussen 2006 en 2011. Het doel van het onderzoeksproject *Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings* is de ontwikkeling en demonstratie van verschillende renovatieconcepten voor typisch Europese appartementsgebouwen aan de hand van prefabricatiesystemen. Het resultaat van dit project zijn drie publicaties. Ten eerste de *Retrofit Strategies Design Guide*³⁷ die een aantal strategieën documenteert om tot een goed renovatieconcept te komen voor een volledig gebouw. Vervolgens is er de *Retrofit Module Design Guide*³⁸ die meer focust op het ontwerp en de constructie van een geprefabriceerde renovatiemodule. En tenslotte *Case Study Building Renovations*³⁹ waarbij zes demonstratiegebouwen uit Oostenrijk, Nederland en Zwitserland besproken worden.

Verder wordt meer uitleg gegeven over de systemen die voorgesteld zijn door de deelnemende landen Zwitserland, Oostenrijk, Frankrijk en Portugal.

³⁵ AIM-ES (2014). <http://www.brusselsretrofitxl.be/projects/aim-es/>. Geraadpleegd op 7 januari 2016

³⁶ Lambrecht, J. (2014, 12 september). Drie Limburgse proeftuinen prikkelen transitie in de bouwsector. *Bouwkroniek*

³⁷ International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems (2011). *Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings - Part 1: Retrofit Strategies Design Guide*

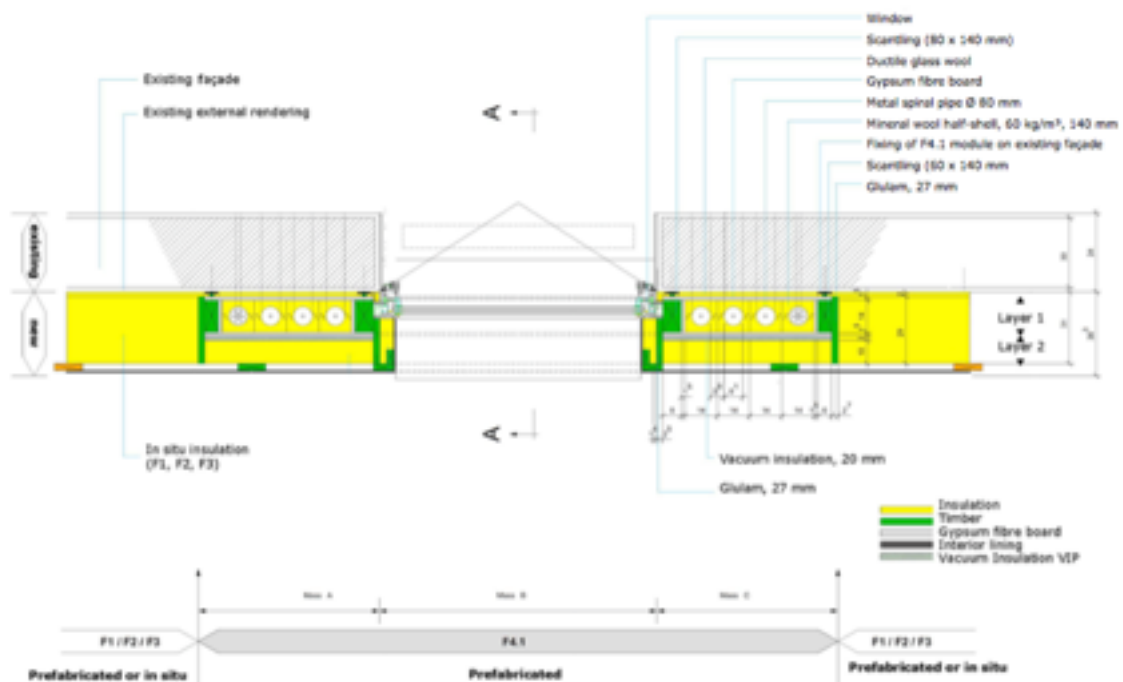
³⁸ International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems (2011). *Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings - Part 2: Retrofit Module Design Guide*

³⁹ International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems (2011). *Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings - Part 3: Retrofit Module Design Guide*

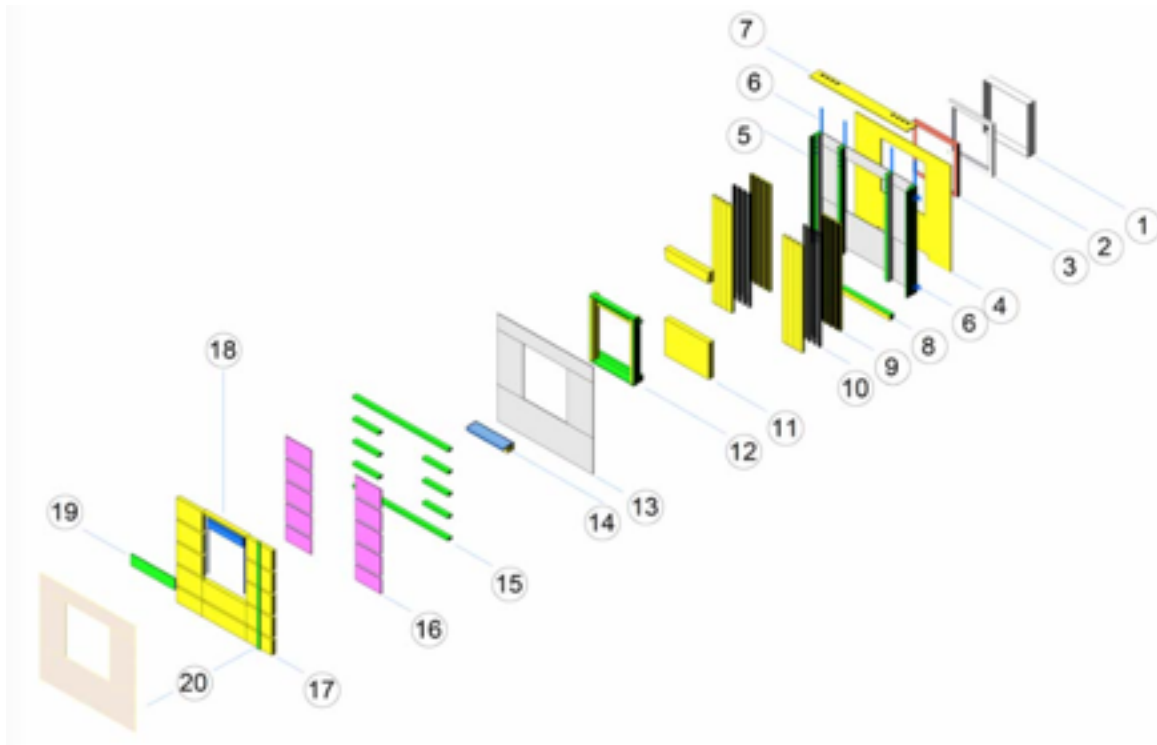
Zwitserland: semi-geprefabriceerde gestandaardiseerde modules

Het Zwitserse team opteert voor een semi-geprefabriceerde aanpak. Dit omwille van het feit dat werken met grote modules (maximum 10m x 3,5m) kan leiden tot moeilijkheden bij het transport, de plaatsing is moeilijker door de kleine toleranties en voegbreedtes en indien er hierbij fouten worden gemaakt kan dit grote gevolgen hebben.

Ze concentreren zich hierbij op de ontwikkeling van een basismodule F4.1. Deze module bevindt zich rond het raam, waar zich ook de meest belangrijke constructiedetails en de technische installaties zullen situeren. De opake delen tussen de F4.1 basismodule zullen aan de hand van de F1, F2 en F3 module in situ of geprefabriceerd geconstrueerd worden.



Figuur 2.1 Horizontale snede over geïnstalleerde F4.1 basismodule

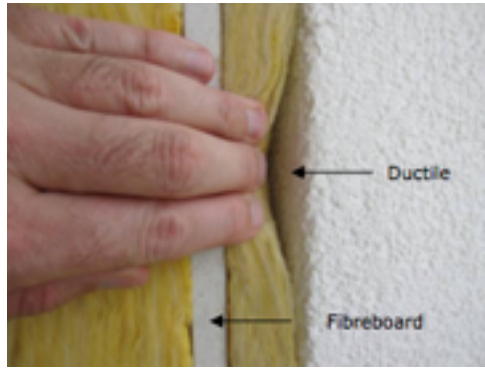


Figuur 2.2 Componenten van F4.1 basismodule.

Figuur 2.2 toont de verschillende onderdelen van de basismodule F4.1 met afmetingen van ongeveer 2,8m x 2,8m. De componenten 1 tot en met 13 vormen laag 1. De dikte van deze laag hangt af van de nodige diameter van de ventilatiekanalen. De componenten 14 tot en met 20 vormen laag 2, waarvan de dikte afhangt van de nodige isolatiedikte over de ventilatiekanalen en de vereiste U-waarde.

Hieronder worden de verschillende componenten van de basismodule F4.1 besproken en aangeduid met een cijfer zoals in figuur 2.2.

1. *Luchtdichtheidsfolie*: de luchtdichtheidsfolie wordt aan het raam aangebracht tijdens prefabricatie en wordt in situ bevestigd aan de bestaande structuur. Deze folie kan ook als dampscherm gebruikt worden.
2. *Raam*: de afmetingen van de raamopening in de module en het raam zelf kunnen aangepast worden aan de bestaande raamopening.
3. *Opvullaag*: de tolerantieruimte tussen het raam en de opening moet opgevuld worden door middel van een dampremmende en luchtdichte afdichting.
4. *Egalisatielaag en dampscherm*: tussen de bestaande muur en de gipsplaat van de nieuwe module dient een egalisatielaag geplaatst te worden om de oneffenheden van de bestaande muur ten opzichte van de vlakke gipsplaat op te vangen. Samendrukbare isolatie kan hiervoor gebruikt worden zoals te zien is op figuur 2.3.



Figuur 2.3 Egalisatielaag tussen gipsplaat en bestaande wand

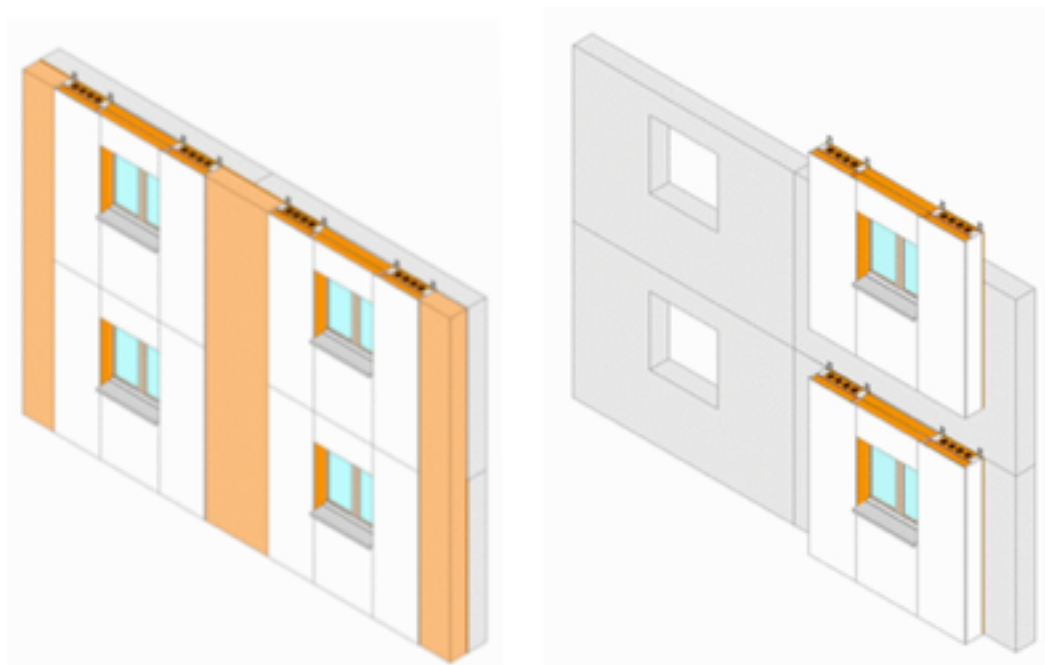
5. *Gipsplaat (15mm) en houten stijlen*: de prefabricatie van de modules in de fabriek start met gipsvezelplaten aan de achterkant, daartegen houten stijlen en de zijbeplating.
6. *Metalen componenten*: de modules worden opgehangen aan de bestaande structuur waardoor geen nieuwe fundering nodig is. De metalen plaatjes die hiervoor gebruikt worden zijn ongeveer 10mm dik en 60mm breed en een lengte die tot de halve lengte van de verdieping kan zijn, afhankelijk van de draagkracht van de bestaande structuur. Deze plaatjes worden met schroeven aan de houten stijlen en de gipsplaat bevestigd. De verticale krachten zullen voornamelijk door laag 1, zoals eerder bepaald, opgenomen worden. Laag 2 is dan structureel bevestigd aan laag 1. Metalen L-profielen, bevestigd aan de zijkanten van de module, zullen de windlasten opnemen.
7. *Tolerantieruimte tussen verticaal aangrenzende F4.1 modules*: de vereiste tolerantieruimte tussen twee modules van 20mm wordt in situ opgevuld met samendrukbare isolatie.
8. *Steunbalk*: een tijdelijke steunbalk kan bevestigd worden aan de bestaande structuur zodat de modules gemakkelijker kunnen geplaatst en uitgelijnd worden. Indien men deze balk permanent wilt gebruiken, dient deze door te lopen over de gehele lengte van de module.
9. *Rotswolisolatie*: rotswolisolatie wordt gebruikt rond de ventilatiekanalen.
10. *Ventilatiekanalen*: de ventilatiekanalen lopen meestal in verticale richting over de gevel. De kanalen van verschillende modules moeten op de site gemakkelijk in elkaar passen. Hier kunnen telescopische buizen voor gebruikt worden.
11. *Thermische isolatie boven en onder het raam*
12. *Nieuw houten raamframe met thermische isolatie*
13. *Gipsplaat (15mm)*: deze gipsplaat eindigt de opbouw van laag 1. In combinatie met de achterste gipsplaat van de module vormt deze plaat de torsiestijfheid van de module, wat ook belangrijk is tijdens het transport.
14. *Raamdorpel*
15. *Houten regels*: de houten regels hebben een hoogte van 60mm en de diepte is afhankelijk van de dikte van de isolatie die zich ertussen bevindt (component 16 en 17). De regels kunnen

2. Bestaande prefabgevelrenovatiesystemen

gebruikt worden om een houtvezelplaat op te bevestigen en die vervolgens bepleisterd kan worden. Op de regels kunnen ook verticale stijlen bevestigd worden waarop een regenscherm kan geplaatst worden.

16. *Isolatie voor ventilatiekanalen:* door de gereduceerde dikte van de isolatie ter hoogte van de ventilatiekanalen wordt er geopteerd om vacuüm isolatiepanelen (VIP) te gebruiken.
17. *Thermische isolatie in laag 2*
18. *Zonnewering*
19. *Afwerking zonneweringskast (optioneel)*
20. *Gevelbekleding:* standaardmaterialen kunnen gebruikt worden om de gevel dampopen af te werken. Deze bekleding kan zowel geprefabriceerd zijn als toegevoegd in situ afhankelijk van het gebruikte type en projectspecifieke factoren.

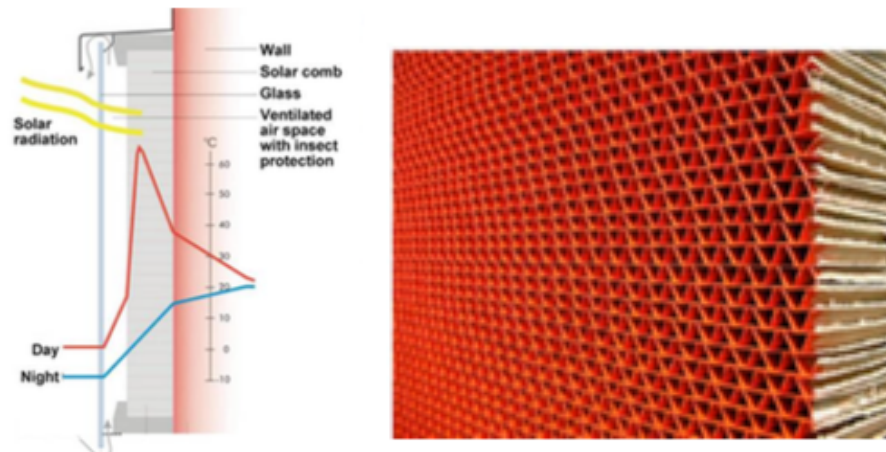
Het installatieproces van de module wordt voorafgegaan door het verwijderen van het bestaande raam en het al dan niet vergroten van de bestaande raamopening. Vervolgens wordt een stelling geplaatst of indien de volledige modules volledig geprefabriceerd zijn volstaat enkel een kraan. De modules worden vervolgens met de kraan tussen de stelling en de bestaande gevel gepositioneerd en bevestigd met de metalen plaatjes. De ventilatiekanalen van de onderste module worden dan bevestigd met de kanalen van een bovenliggende module en de tussenliggende tolerantieruimte wordt opgevuld met samendrukbare isolatie. Dit wordt herhaald voor alle bovenliggende modules. Ten slotte worden de tussenliggende opake geveldelen opgevuld aan de hand van een standaard gevelsysteem. Indien men prefereert om ook hier te werken met geprefabriceerde elementen kan er gekozen worden voor een module F1: bepleisterde gevel, module F2: geventileerd-gevelisolatiesysteem of module F3: gevel met inblaasisolatie.



Figuur 2.4 Installatieproces basismodule F4.1

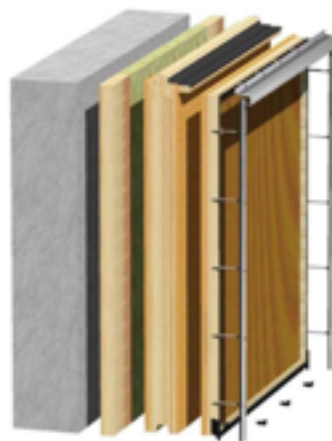
Oostenrijk: grote geprefabriceerde gevelmodules

Het Oostenrijkse systeem is vooral gebaseerd op het verbeteren van de U-waarde van de bestaande gevel. Dit wordt gerealiseerd door een isolatiedikte te gebruiken die ligt rond de passiefhuisstandaard en door *solar combs* te integreren in de module. *Solar comb* is een techniek ontwikkeld door GAP Solutions en bestaat van binnen naar buiten uit een celluloselaag met een kartonstructuur, een ventilatieruimte en glaslaag. Het gebouw wordt op die manier omsloten door een luchtkussen dat zich als klimaatregelaar zal gedragen voor de ruimtes erachter.⁴⁰



Figuur 2.5 Solar Comb: links: temperatuurcurve gedurende dag en nacht; rechts: geschilderde honingraatstructuur

De geprefabriceerde modules hebben een lengte van 12m en zijn 3m hoog. Ze worden bevestigd op een houten substructuur die reeds bevestigd is aan de bestaande gevel. Deze substructuur, gevuld met isolatie, werkt als egalisatielaag en bevat de technische installaties. De module bestaat uit een houten framestructuur met aan de achterkant een OSB-plaat, ertussen isolatie en aan de voorkant een MDF-plaat. Op deze MDF-plaat wordt de *solar comb* geïnstalleerd gevolgd door een geventileerde luchtpouw die wordt bedekt door enkel glas.

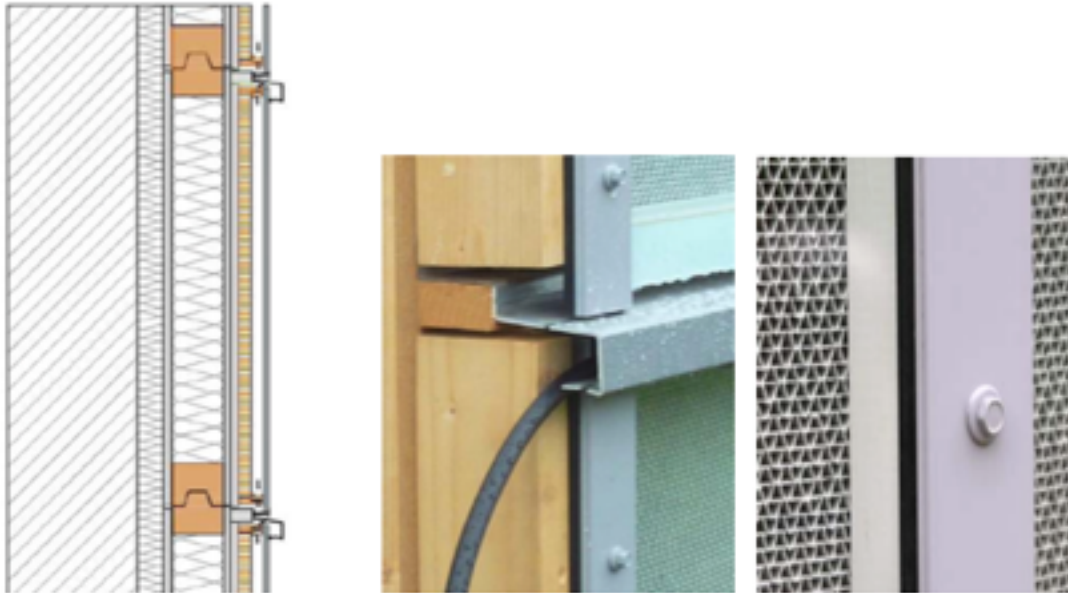


Figuur 2.6 Opbouw module met solar comb

⁴⁰ GAP-Solutions (2014). <http://www.gap-solutions.at/en/solutions/gapskin/>. Geraadpleegd op 8 januari 2016

2. Bestaande prefabgevelrenovatiesystemen

Het installatieproces start met de onderste module, die wordt bevestigd aan de hand van stalen hoekprofielen aan de funderingsaanzet. Vervolgens worden de volgende modules op elkaar gestapeld waardoor de bovenste telkens op de ondergelegen module steunt en met elkaar verbonden zijn aan de hand van een tand-en-groef systeem. De horizontale verbinding tegen slagregen wordt gevormd door uitstekende gevelplaatjes. De verticale voegen worden bedekt met metalen geschroefde strips.

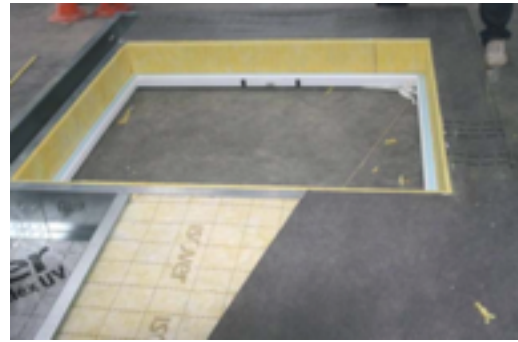
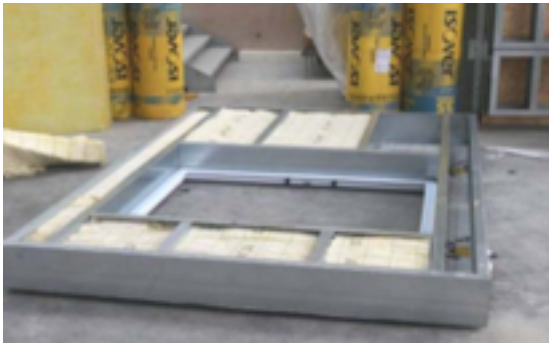


Figuur 2.7 links: Doorsnede door een tand-en-groefaansluiting tussen twee modules; rechts: De horizontale en verticale aansluiting van de voegen

Frankrijk: grote geprefabriceerde gevelmodules met een stalen frame

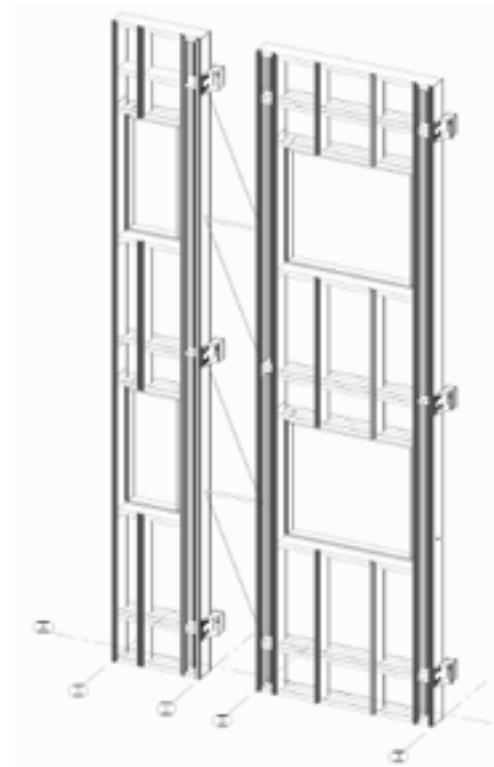
Het Franse systeem, met de naam RECOLCI, bestaat uit een metalen frame met een dikte van 20cm, een hoogte van 2 verdiepingen en een maximale breedte van 2,7m. De focus van het systeem ligt ten eerste op flexibiliteit, verschillende soorten gevelbekleding kunnen toegepast worden doordat het ontwerp gebruik maakt van gestandaardiseerde elementen, ten tweede op het gebruik van zelfdragende elementen en de mogelijkheid tot toevoeging van een extra verdieping en ten slotte wordt er aandacht besteedt aan de thermische prestaties van het systeem.

Tijdens prefabricatie wordt er eerst aan de achterkant van de module een vochtvariabel dampscherm geplaatst. Vervolgens wordt de isolatie geplaatst tussen het metalen frame dat bestaat uit C- en U-profielen. Aan de buitenkant van de module wordt dan een wind- en regenscherm bevestigd met daarop rails waarop de gevelbekleding kan gemonteerd worden. Ten slotte wordt er in de raamopening een geïsoleerd frame geplaatst. Figuur 2.8 toont de opbouw van de modules.



Figuur 2.8 Opbouw van de module: isolatie wordt tussen het metalen frame geplaatst en de folies worden op de achter- en voorkant bevestigd

Het installatieproces in situ start met de plaatsing van een isolatielaag van minstens 10cm dik tegen de bestaande gevel aan de hand van isolatieankers. De modules worden vervolgens ter versteviging aan de bestaande gevel bevestigd met hoekprofielen. De modules worden dan verticaal gestapeld zodat de lasten verticaal door de stijlen van boven naar onder worden overgedragen aan de nieuwe of bestaande fundering. Horizontaal mag de ruimte tussen de modules niet meer zijn dan 60 cm. In deze ruimte worden wapeningsstaven geplaatst zodat de lasten kunnen overgedragen worden. Na het plaatsen van de modules worden de ramen gemonteerd in de voorziene raamopeningen. De luchtdichte verbinding tussen het raam en de bestaande muur wordt in situ gerealiseerd aan de hand van een luchtdichtheidsfolie.

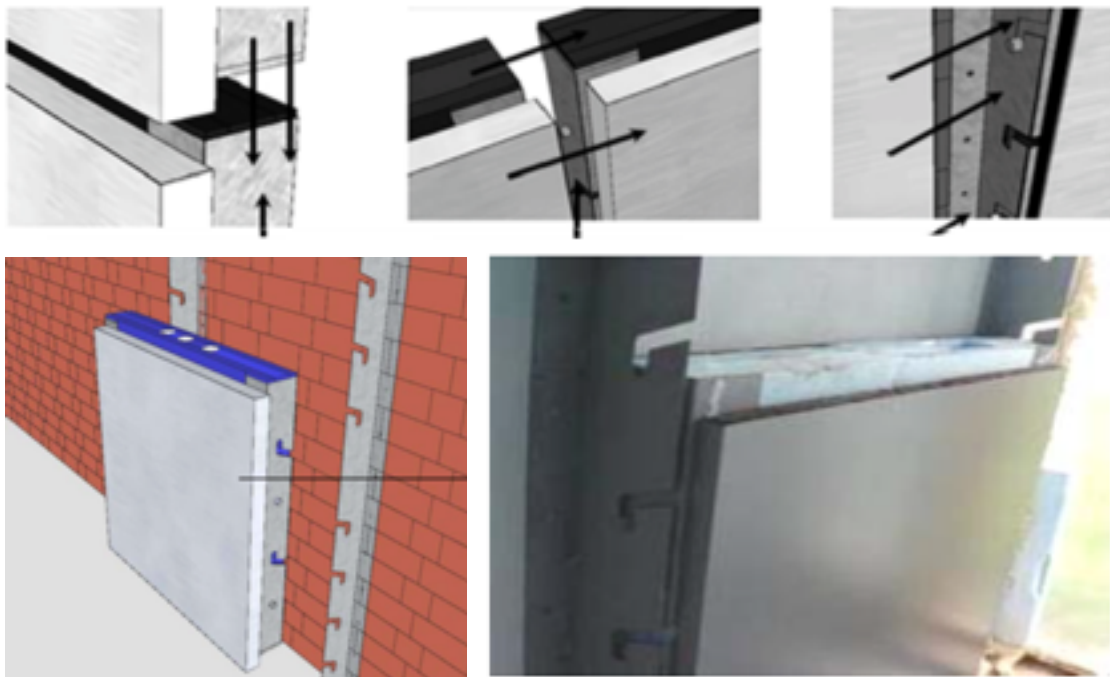


Figuur 2.9 Installatie van de module in situ

Portugal: geprefabriceerde modules met metalen panelen

Het Portugese team focust zich op de mogelijkheid tot recyclage en hergebruik van de modules door zo weinig mogelijk lijmverbindingen en mechanische verbindingen toe te passen. Ook wordt er hiervoor gebruik gemaakt van een selectie materialen die gebaseerd is op enerzijds het evenwicht tussen het technische en het economische aspect en anderzijds het energiegebruik.

De modules zijn ongeveer 1m x 1m groot en zijn opgebouwd uit een aluminium gevelbekleding, geëxpandeerde zwarte kurk gebruikt als isolatie in de aluminiumplaten, stalen U-profielen, XPS en een vochtvariabel dampscherm. De kleine metalen modules kunnen aan de hand van een pin- en opening-systeem bevestigd worden aan een structuur, die reeds gemonteerd is aan de bestaande muur. Ook de verbinding tussen de modules wordt gemaakt aan de hand van dit pin- en opening-systeem.

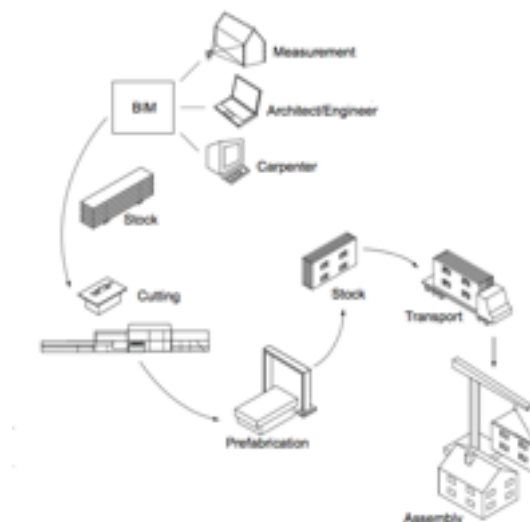


Figuur 2.10 Pin-en opening-verbinding tussen de modules

2.2 TES Energy Façade

TES Energy Façade is een onderzoeksproject binnen het internationaal *WoodWisdom-Net Research Programme* met de steun van Duitsland, Finland en Noorwegen. Onderzoekers van laatstgenoemde landen realiseerden tussen 2008 en 2010 het project genaamd *Prefabricated timber based element systems for improving the energy efficiency of the building envelope* (TES Energy Façade).⁴¹ Het doel van dit project is om een gevelrenovatiemethode te ontwikkelen gebaseerd op het gebruik van grote geprefabriceerde houtskeletelementen die zorgen voor een sterke verbetering van de energie-efficiëntie van een gebouw.

De TES-methode gaat gepaard met een zeer afgelijnde planning of workflow. Daarbij dient eerst het gebouw grondig geanalyseerd te worden, gevolgd door digitale metingen en het maken van een constructieplanning. Vervolgens gebeurt de off-site prefabricatie en ten slotte de assemblage in situ.



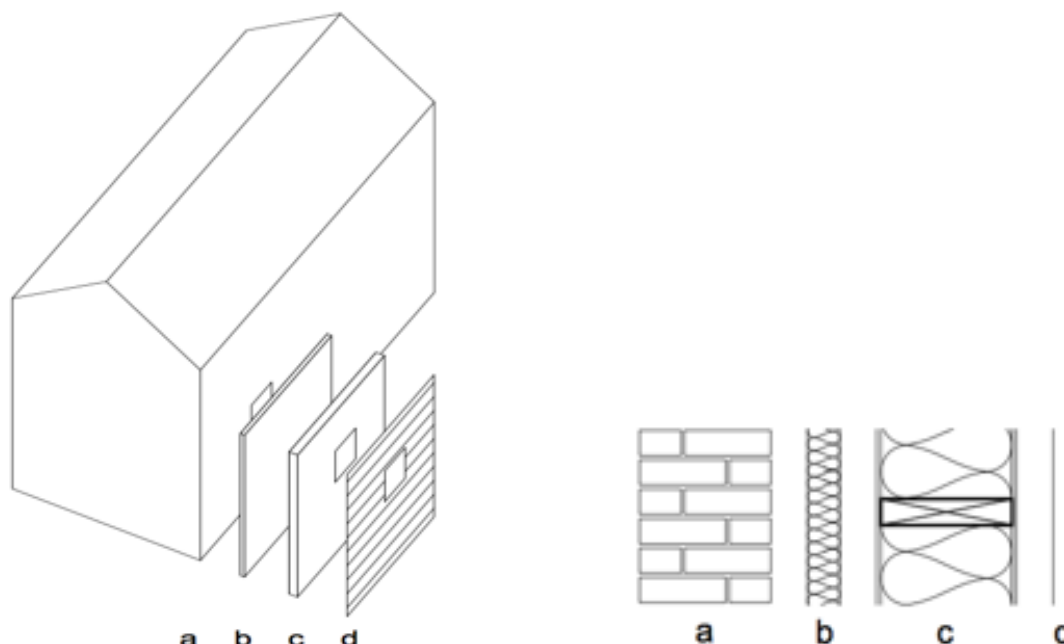
Figuur 2.11 Workflow TES-methode

Bij oude gebouwen zullen er zich vaak onregelmatigheden bevinden in de gevel, daarom wordt er bij de TES-methode extra aandacht besteedt aan de digitale analyse en opmetingen van het gebouw, in tegenstelling tot IEA ECBSC Annex 50 waar dit bijna niet aan bod komt. Deze opmetingen zijn belangrijk omdat ze bepalend zijn voor de dikte van de laag die als eerste tegen de bestaande gevel wordt geplaatst om zo de onregelmatigheden ervan op te vangen. Dit kan gevolgen hebben voor het structurele, het bouwfysische en ook het economische aspect van het project. Naast de voor de hand liggende meetmethoden zoals een handmatige meetlaser, meettape,... worden er ook een aantal 3D meetmethoden besproken waaronder fotogrammetrie (metingen door interpretatie van foto's), een tachymeter (de combinatie van een hoekmeetinstrument en een afstandsmeter) en 3D laserscanning. Aan de hand van deze 3D-metingen wordt er een digitaal 3D-model van het gebouw gegenereerd.

41 ERA-NET WoodWisdom Net. (2009). *TES Energy Façade - Prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*

Basis-TES-element

Het TES-systeem bestaat uit een basiselement met vele variaties die kunnen gebruikt worden afhankelijk van het ontwerp, het gebouw en de draagstructuur. Dit basiselement heeft een gelijkaardige opbouw als een houtskeletwand. Het bestaat uit een egaliseringslaag (b) tussen de bestaande structuur (a) en het nieuwe element om onregelmatigheden van het bestaande gebouw op te vangen, een houten draagstructuur met isolatie en beplating (c) en tenslotte de gevelbekleding (d). In dit element kunnen al dan niet technische installaties zoals HVAC of energie-opwekkende systemen geïntegreerd zijn.



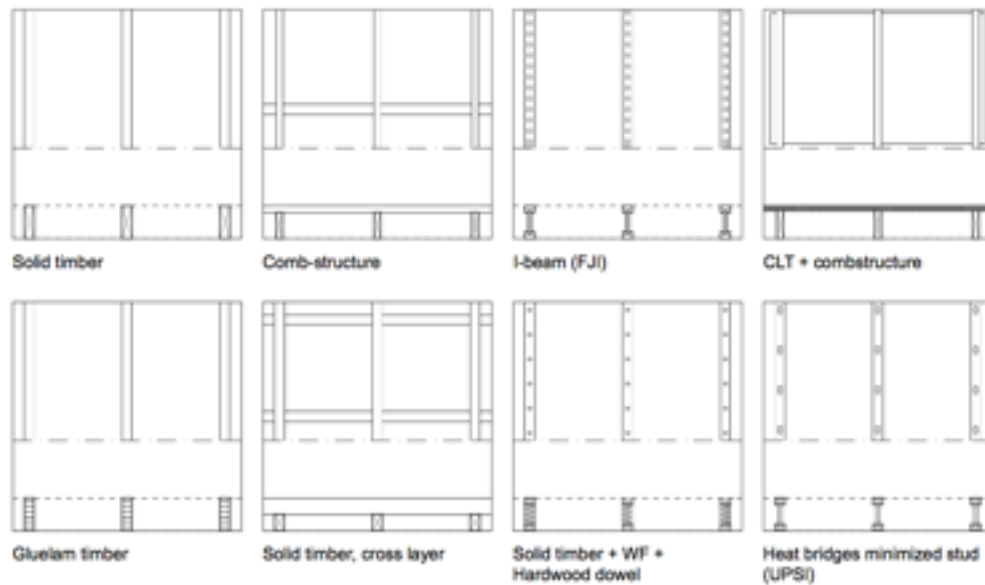
Figuur 2.12 Basis-TES-element

Egaliseringslaag

Zoals reeds aangehaald in de beschrijving van Annex 50, zijn er veel onregelmatigheden terug te vinden in de gevels van oude gebouwen. Als er tegen deze gevels een vlak element wordt geplaatst kunnen er in de holten convectiestromingen ontstaan. Deze zijn nadelig voor zowel de brandveiligheid als de energetische prestatie. Daarom is het noodzakelijk om een egaliseringslaag toe te voegen tussen de bestaande gevel en het nieuwe vlakke element. Hiervoor wordt een isolatiemateriaal gebruikt waarvan de keuze afhankelijk is van de vereiste brandweerstand en de bouwvoorschriften. Deze isolatie kan vooraf op het element of tegen de bestaande gevel bevestigd worden of kan achteraf ingeblazen worden. Indien dit op voorhand gebeurt, is het belangrijk dat voldoende druk uitgeoefend wordt zodat alle onregelmatigheden opgevuld worden. De dikte van de isolatielaag is afhankelijk van de graad van onregelmatigheid van de gevel. Indien de isolatie achteraf ingeblazen wordt in de vorm van bijvoorbeeld cellulosevlokken is het gemakkelijker om de onregelmatigheden goed op te vullen maar moet er extra aandacht besteed worden aan de positie van de inblaasgaten en een dikte van minstens 25mm moet toegepast worden.

Structurele kern

De structurele kern van het element bestaat uit een houten skelet. De traditionele opbouw aan de hand van stijlen en regels zoals in een houtskeletwand kan ook omgevormd worden om betere energetische prestaties te verkrijgen. Zo kan er gebruik gemaakt worden van bijvoorbeeld een kamstructuur, I-balken, een dubbele structurele laag, ...



Figuur 2.13 Structurele kern TES-element

Het element moet enkel zijn eigengewicht kunnen dragen en weerstand kunnen bieden aan eventuele horizontale windlasten. De lasten worden doorgegeven aan de bestaande structuur van het gebouw door de verbinding hiermee.

Isolatie

De belangrijkste isolatielaag bevindt zich tussen de houten structuur. De dikte hangt af van de vereiste energetische prestatie. Het is aangewezen om een isolatiemateriaal te gebruiken met een bepaalde vochtabsorptiecapaciteit. Hierdoor kan vocht opgenomen worden gedurende de wintermaanden zonder de isolatie te beschadigen en terug afgegeven worden tijdens de zomermaanden. Hierbij is het ook belangrijk dat de meest dampopen materialen gebruikt worden langs de buitenkant van het element in vergelijking met de materialen langs de binnenkant.

Beplating

De beplating van het TES-element moet voldoende stijf zijn, moet weerstand kunnen bieden tegen mechanische impact, de brandweerstand moet voldoende groot zijn en moet isolerend zijn. Een beplating aan de binnenkant van het element is niet altijd noodzakelijk en hangt af van het prefabricatieniveau. Indien de elementen reeds gevuld zijn met isolatie is een binnenbeplating wel noodzakelijk. Een beplating aan de buitenkant moet altijd geplaatst worden en dient als wind- en

2. Bestaande prefabgevelrenovatiesystemen

regenscherm. Figuur 2.14 toont aan welke eisen de beplating moet voldoen afhankelijk van de structuur van het bestaande gebouw.

	outer panelling	inner panelling	insulation / structure
existing skeleton structure			
a) closed cavity			
fire	x	x	x
moisture	o	x	
wind / convection	x	x	o
sound	x	x	x
existing monolithic wall construction			
b) open cavity			
fire	x	-	x
moisture / vapour	x	-	
wind / convection	x	-	o
sound	x	-	x
c) closed cavity			
fire	x	x	x
moisture / vapour	o	o	
wind / convection	x	-	o
sound	x	-	x
x = obligate, o = not necessary, (...) minimum requirements.			

Figuur 2.14 Vereisten beplating

Gevelbekleding

Omwillen van de beoogde flexibiliteit van het TES-element kunnen verschillende soorten gevelbekleding gebruikt worden. Deze gevelbekleding wordt bevestigd op een substructuur aan het dragende houtskelet. Er kan gebruik gemaakt worden van lineaire bekleding zoals houten planken of een bekleding bestaande uit panelen zoals een cementvezelplaat of glas.

De gevelbekleding moet weerstand kunnen bieden tegen wind, slagregen, vocht en zonlicht.

Afmetingen en oriëntatie van het element

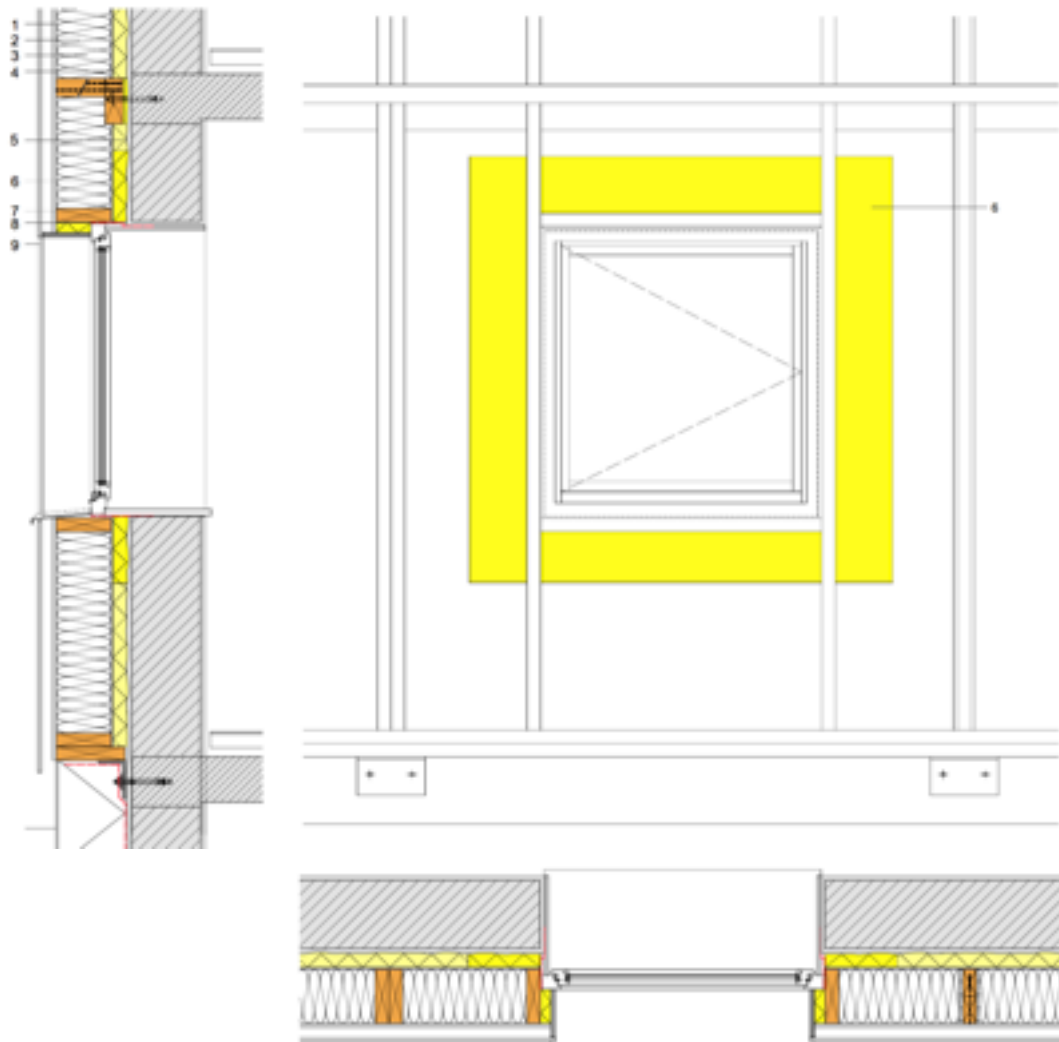
In principe kunnen de afmetingen van het TES-element aangepast worden aan elk grid. Er zijn echter een aantal parameters waar rekening mee moet gehouden worden zoals de aanwezigheid van kanalen, het structurele grid en de maximale afmetingen voor transport en machinale productie (meestal maximum 13m x 3,8m). Ook zijn er beperkingen op vlak van het gewicht van het element omwille van het gebruik van een kraan bij de plaatsing van de elementen in situ.

De oriëntatie van de elementen kan zowel horizontaal als verticaal zijn en is afhankelijk van het project. Horizontale elementen zijn meestal even hoog als een verdieping. Ze kunnen elk afzonderlijk bevestigd worden aan de bestaande structuur zodat de lasten per verdieping worden

overgedragen of ze kunnen op elkaar gestapeld worden zodat de lasten doorgegeven worden van boven naar onder naar de bestaande of een nieuwe fundering. Verticale elementen hebben dezelfde hoogte als het volledige gebouw of meerdere verdiepingen. Bij deze elementen worden de lasten meteen doorgegeven aan de fundering. Een nadeel bij verticale elementen is dat ze horizontaal getransporteerd moeten worden en dus eerst gekanteld zullen moeten worden voordat men ze kan plaatsen.

Ramen

Ramen kunnen volledig geïntegreerd worden in het TES-element en in het houten frame geplaatst tijdens de prefabricatie. Figuur 2.15 toont een voorbeeld van de plaatsing van een raam waarbij in situ een strook minerale wol rond de raamopening wordt geplaatst. De ruimte daarrond tussen de bestaande gevel en het nieuwe TES-element wordt opgevuld met cellulosevlokken. De verbinding tussen het nieuwe raam en de oorspronkelijke raamopening wordt gemaakt aan de hand van een luchtdichte folie.



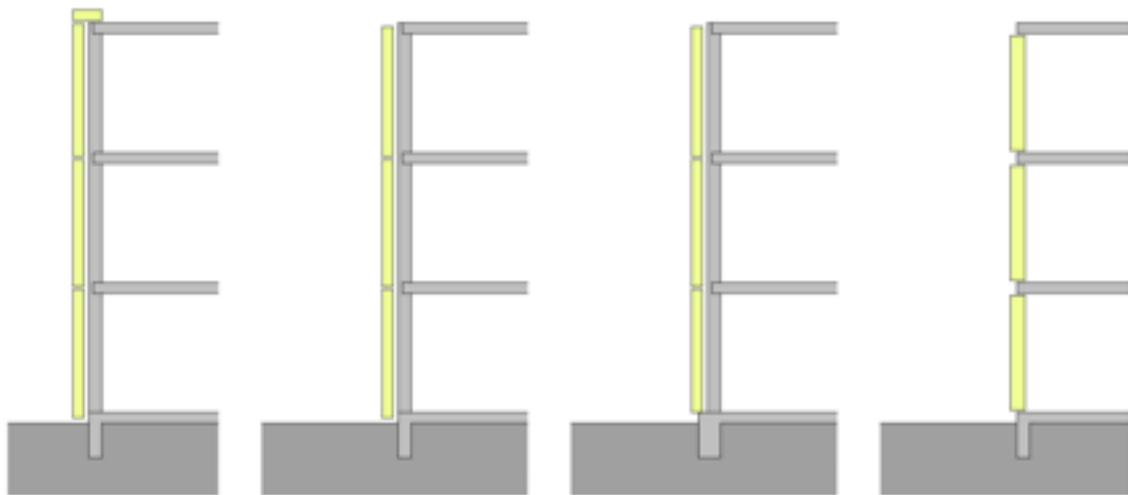
Figuur 2.15 Opbouw TES-element met raam: 1. vezelcementplaat, 2. cellulosevlokken, 3. stijl, 4. OSB, 5. egalisatielaag, 6. minerale wol, 7. latei, 8. luchtdichting, 9. gevelbekleding

Plaatsing

De plaatsingsprocedure start met het dragende hoekprofiel dat bevestigd wordt aan de fundering aan de hand van digitale meetmethoden. Vervolgens worden de elementen op dit profiel geplaatst, al dan niet tussen een stelling en de bestaande gevel. Indien een stelling gebruikt wordt, dient de afstand tussen deze stelling en de bestaande gevel minimaal 50-60cm te bedragen. De elementen zelf worden opgeheven aan de hand van een vrachtwagenkraan, een mobiele kraan, een vaste kraan,...

Lastendaling en bevestiging

De TES-elementen dragen enkel hun eigengewicht en eventuele windlasten en zijn bevestigd aan de bestaande structuur. Op welke manier de lasten van het element worden doorgegeven aan de bestaande structuur hangt af van hoe deze opgebouwd is. De elementen kunnen worden opgehangen aan de bovenkant van het gebouw zodat de verticale lasten daar geconcentreerd worden en vervolgens naar beneden dalen door de bestaande structuur. Een tweede mogelijkheid is dat de elementen afzonderlijk bevestigd worden aan de boven- en onderkant van elke verdieping. Ze kunnen op een nieuwe of de bestaande fundering staan zodat alle lasten verticaal van boven naar beneden worden doorgegeven. Tenslotte kunnen de elementen ook elk afzonderlijk staan op het plafond van de onderliggende verdieping.

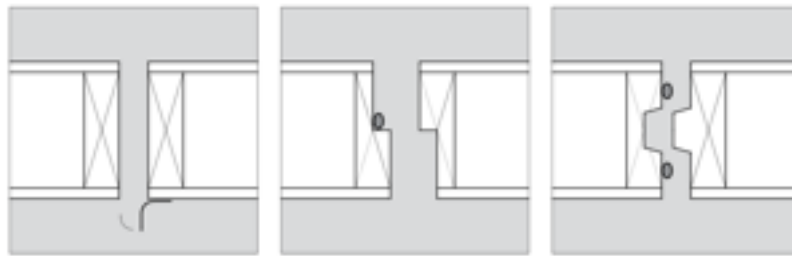


Figuur 2.16 Plaatsingsmethoden

De elementen kunnen puntsgewijs bevestigd worden aan de hand van een deuvelverbinding, enkelvoudige hoekprofielen of speciale railsystemen. Deze methode is echter zeer complex en tijdrovend. De elementen kunnen ook lineair bevestigd worden aan de hand van een onder- of bovenregel. Deze methode vergemakkelijkt sterk de plaatsing van de elementen vermits er reeds een steunbalk onderaan aanwezig is waarmee de elementen kunnen uitgelijnd worden. Enkel de diepte moet dan nog bekeken worden.

Voegen tussen elementen

De ruimte tussen twee elementen moet steeds op een juiste manier gedicht worden. Ten eerste omwille van de wind- en luchtdichtheid en om geluidsoverdracht te vermijden moet de voeg elastisch gedicht worden. Dit kan gebeuren door een elastische afdichting binnenin de voeg of een elastische tape langs de buitenkant. Ten tweede moet er ook voldaan worden aan de eisen voor brandveiligheid. Hiervoor is het aangeraden om te werken met een tand-en-groefverbinding tussen de elementen of een rabatverbinding.



Figuur 2.17 Voegen tussen TES-elementen: links: twee stijlen tegen elkaar met tape-afdichting, midden: rabatverbinding met inwendige afdichting, rechts: tand-en-groefverbinding met inwendige afdichting

2.3 Conclusie

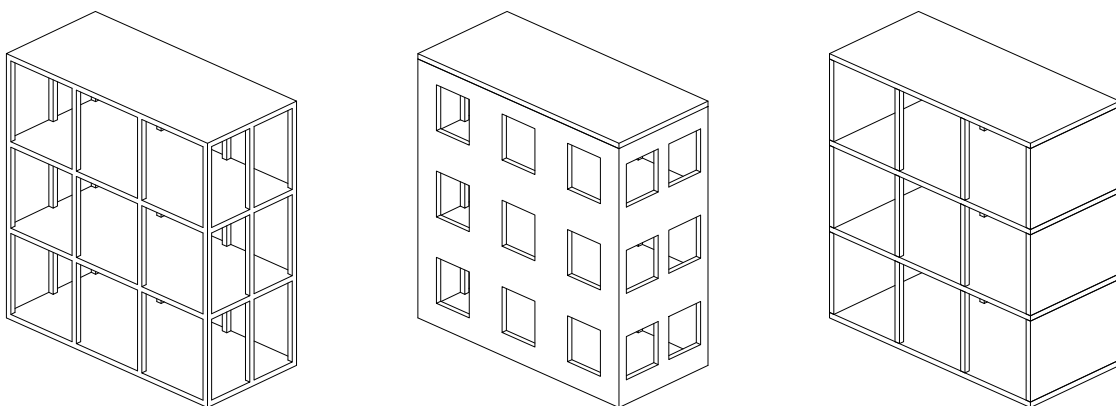
Zowel Annex 50 als TES Energy Façade geven een goed overzicht van mogelijke prefabgevelrenovatiesystemen. Deze systemen zijn telkens ontworpen vanuit een specifieke plaatselijke bouwtraditie en voldoen aan de vereiste bouwvoorschriften van het land van het ontwerpende team. Deze oplossingen zijn dus vaak niet algemeen toepasbaar. Ook wordt er meestal niet ingegaan op de vraag hoe de modules afgewerkt worden en op welke manier ze dus een gehele gevel vormen. Een paar andere vragen die nog gesteld kunnen worden zijn o.a.: ‘Op welke manier wordt de water- en luchtdichtheid gerealiseerd? Hoe worden de modules mechanisch bevestigd aan de bestaande gevel? Wat zijn de specificaties van de egalisatielaag, hoe wordt deze bevestigd, hoe ver moet deze samengedrukt worden en welke materialen worden aanbevolen?’.

Er kan geconcludeerd worden dat Annex 50 en TES Energy Façade een goede basis vormen voor de ontwikkeling van een prefabgevelrenovatieconcept maar dat er nog veel specifieke antwoorden op een aantal technische vragen ontbreken.

Hoofdstuk 3

Aansluitingen prefabpanelen

De structuur van naoorlogse woontorens kan worden samengevat aan de hand van 3 types.⁴² Het eerste type zijn gebouwen met een skeletstructuur. De lasten die op de vloeren aangrijpen en de lasten die aanwezig zijn door het eigengewicht van de gevel, worden via de kolommen van de structuur overgedragen naar de fundering. Bij de renovatie van deze gebouwen kan de gevel die aan de skeletstructuur hangt volledig verwijderd worden en vervangen worden door nieuwe prefabpanelen. De grootte van de panelen is niet vrij te kiezen vermits ze onder- en bovenaan zullen moeten bevestigd worden aan de structuur. Het tweede type zijn gebouwen waarvan de volledige gevel de dragende structuur is. De gevel zal bijgevolg de lasten overdragen aan de fundering onderaan. Indien deze gebouwen gerenoveerd worden, moet de gevel intact blijven en kunnen er aan de buitenkant prefabpanelen bevestigd worden. De grootte van deze panelen is vrij te kiezen vermits ze op elk punt van de gevel bevestigd kunnen worden. Het laatste type is een combinatie van beide voorgaande types. De kortste zijde van de gevel gedraagt zich als dragend element. De andere zijde bestaat uit een kolomstructuur. Bij renovatie blijven de dragende elementen behouden en nieuwe prefabpanelen worden aan de kolomstructuur bevestigd.

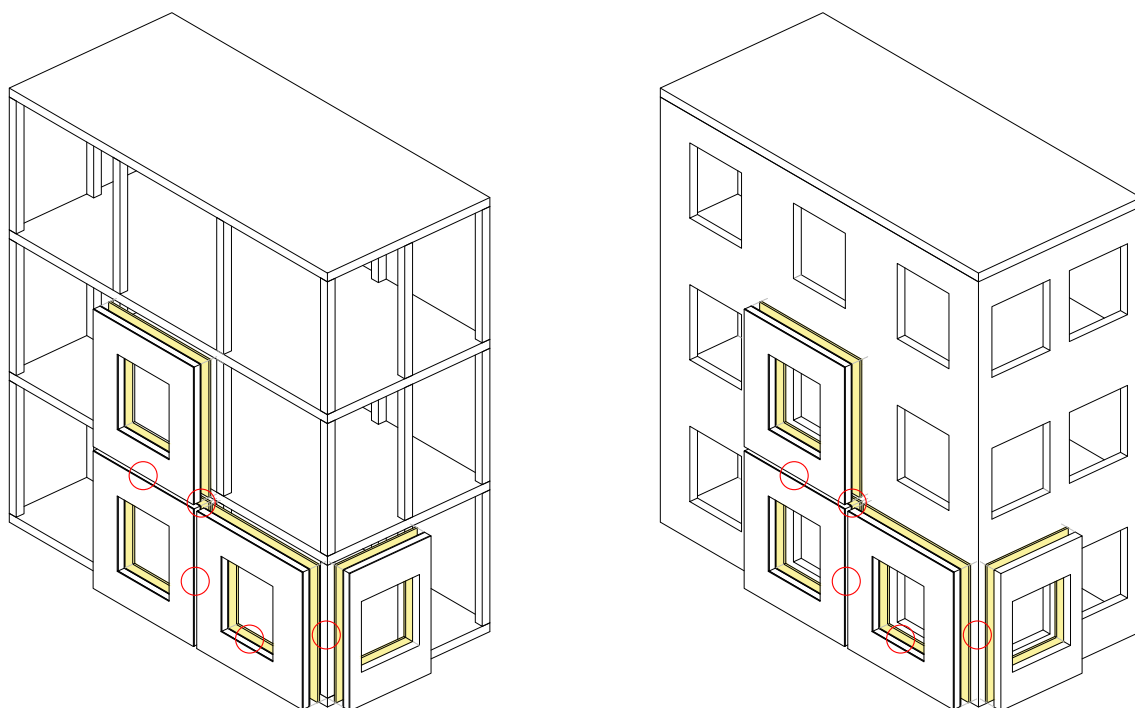


Figuur 3.1 Structuur naoorlogse woontorens: links: skeletstructuur, midden: dragende gevel, rechts: combinatie

⁴² ERA-NET WoodWisdom Net. (2009). *TES Energy Façade - Prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*

3. Aansluitingen prefabpanelen

Indien prefabpanelen bevestigd worden aan een van voorgaande structuren, zal er telkens rekening gehouden moeten worden met een aantal aansluitingen tussen de panelen onderling, tussen de panelen en de nieuwe ramen en tussen de panelen en de bestaande structuur. Deze aansluitingen zullen telkens ontworpen moeten worden met het oog op een structurele verbinding, een lucht-, water- en winddichte verbinding en een verbinding zonder koudebruggen.



Figuur 3.2 Aansluitingen prefabpanelen

De aansluitingen tussen panelen worden gevormd door horizontale voegen, verticale voegen en hoekaansluitingen. De horizontale en verticale voegen kunnen op eenzelfde manier behandeld worden. Het punt waarbij een horizontale en verticale voeg samenkomen zal hierbij cruciaal zijn. Er moet ook extra aandacht geschonken worden aan de structurele verbinding tussen de panelen onderling die gelegen is in de horizontale voeg.

Bij een hoekaansluiting tussen de panelen is het vooral belangrijk om alle naden luchtdicht af te werken zodat het isolerend vermogen niet vermindert ten gevolge van luchtlekkages.

De aansluiting tussen de panelen en de nieuwe ramen is complexer bij een gebouw met een dragende gevel dan bij een gebouw met een skeletstructuur. Dit komt door het feit dat bij een dragende gevel het punt waar het nieuwe raam wordt bevestigd aan het paneel ook het punt is waar verbinding moet gemaakt worden met de bestaande gevel. Bij een skeletstructuur is dit niet het geval en moet het nieuwe raam enkel met het nieuwe prefabpaneel verbonden worden.

Zoals eerder vermeld dient een egalisatielaag aangebracht te worden tussen het nieuwe paneel en de bestaande structuur. Deze egalisatielaag moet op een correcte manier geplaatst worden om luchtstromingen tussen de bestaande gevel en deze laag te voorkomen.

In dit hoofdstuk worden deze aansluitingen verder besproken met de nadruk op lucht- en waterdichtheid.

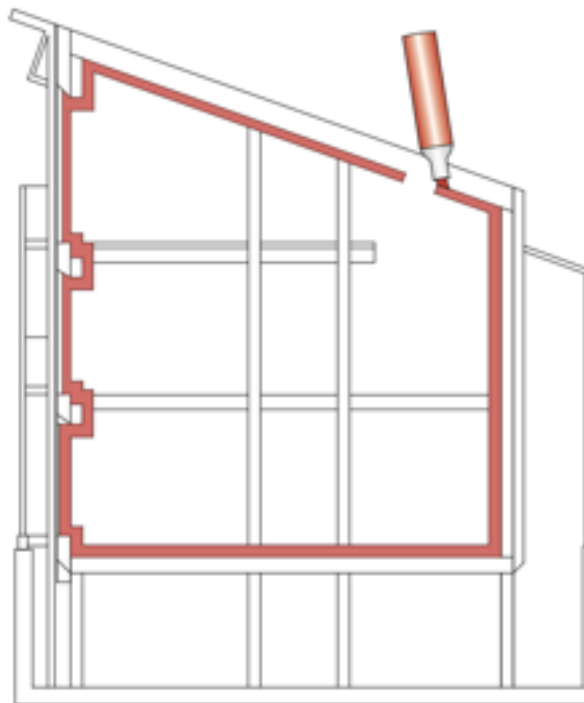
3.1 Lucht- en waterdichtheid

Waarom luchtdichtheid bouwen?

Energie-efficiënt bouwen is tegenwoordig geen optie meer maar een must. Hierbij vormen een thermische isolatie en een goede ventilatie belangrijke factoren. Deze hebben maar kans op slagen dankzij een goede luchtdichtheid van het gebouw.

In elk gebouw is er behoefte aan de toevoer van verse lucht voor de bewoners. Dit gebeurt in nieuwe gebouwen meer en meer dankzij gecontroleerde mechanische ventilatie. Naast deze gewenste ventilatie kunnen er ook luchtstromen ontstaan via luchtlekken door kieren, spleten en naden tussen de verschillende bouwonderdelen van de gebouwschil ten gevolge van het drukverschil tussen binnen en buiten. Wanneer deze luchtstromen zeer beperkt zijn, wordt het gebouw als luchtdicht beschouwd.⁴³

Luchtdichtheid wordt bij het ontwerpen beschouwd als een ononderbroken schil rond de verwarmde ruimtes met als kritieke punten de aansluiting van het dak en de muur, de aansluiting van de tussenvloeren en de muren, raam- en deuraansluitingen en de aansluiting van de muur op de fundering.⁴⁴



Figuur 3.3 Luchtdichte schil

⁴³ Luchtdicht bouwen. Isover. Geraadpleegd op 25 januari 2016 via http://docs.isover.be/Luchtdicht_bouwen_NL.pdf

⁴⁴ Carrié, F.R. & Jobert, R. & Leprince, V. (2012). *Methods and techniques for airtight buildings*. Belgium: AIVC

3. Aansluitingen prefabpanelen

Luchtlekken zorgen voor een verlies van warme lucht in de winter en een verlies van koude lucht in de zomer. Hierdoor kunnen er luchtstromen ontstaan rond de isolatie die de thermische werking ervan drastisch verminderen. Zo heeft een Duits onderzoek aangetoond dat door een kier van 1mm de theoretische U-waarde⁴⁵ van de wand van $0,3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ met een factor 4,8 vermenigvuldigd moet worden tot $1,44 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ in de werkelijke situatie.⁴⁶ Dit zal resulteren in een hoger energieverbruik en met de steeds stijgende energieprijzen is dit zeker geen voordeel.



Figuur 3.4 U-waarde ten gevolge van 1mm kier

Naast het beperken van warmteverliezen zijn er nog redenen om een gebouw zo luchtdicht mogelijk te maken zoals het vermijden van condensatie. Via luchtlekken kan de warme en vochtige binnenlucht naar de koudere buitenwand van het gebouw stromen waar condensatie zal optreden. Dit kan leiden tot schimmelvorming en een verminderde werking van de isolatie. Luchtlekken zorgen ook voor comfortproblemen zoals koude tocht in de winter door de infiltratie van koude lucht, lawaaihinder en het binnenkomen van vervuilde lucht.⁴⁷ Ten slotte heeft luchtdicht bouwen ook een invloed op de brandveiligheid. Zo zal de aanwezigheid van luchtlekkages zorgen voor een constante toevoer van zuurstof waardoor de brand zich verder kan verspreiden en moeilijker te doven is.⁴⁸

⁴⁵ De U-waarde of warmtedoorgangscoefficiënt geeft de hoeveelheid warmte weer die per m² en per temperatuurverschil van 1°C tussen de binnen- en buitenwand van de constructie overgaat van de binnenruimte naar de buitenlucht. Hoe kleiner de U-waarde, hoe beter de isolerende werking van het constructie-onderdeel is.

⁴⁶ Intelligent luchtdicht renoveren isoproc. Geraadpleegd op 25 januari 2016 via [http://www.oved.be/sites/default/files/upload/K3_Isoproc-XG-EPC-Luchtdicht_renoveren%20\(2\).pdf](http://www.oved.be/sites/default/files/upload/K3_Isoproc-XG-EPC-Luchtdicht_renoveren%20(2).pdf)

⁴⁷ Thema-avond Implicaties van lage-energie constructies voor de ruwbouw. luchtdicht bouwen. WTCB (2010) Geraadpleegd op 25 januari 2016 via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=agenda&doc=Luchtdicht_Bouwen_Themaavond_FABA_sept_okt_2010.pdf

⁴⁸ Maes, P. (2009) Luchtdichte gebouwen, een nieuwe norm. Syllabus voor luchtdichting van gebouwen. Boomer bvba

Luchtdichtheid vs. winddichtheid

Zoals hierboven reeds vermeld, verhindert een luchtdichte constructie de luchtstroom van binnen naar buiten (exfiltratie) via kieren, spleten, ... en zorgt er dus voor dat er geen warmte verloren gaat tijdens de wintermaanden en koude tijdens de zomermaanden. Deze luchtdichtheid wordt geplaatst aan de warme zijde van de constructie en heeft meestal ook een dampremmende functie.

Bij een massieve constructie kan de luchtdichtheid gerealiseerd worden door pleisterwerk aan de binnenkant. Bij lichte constructies zoals houten constructies kan er gebruik gemaakt worden van soepele kunststoffolies op basis van polyethyleen, PVC of polyamide. Ook papier met of zonder versterking kan gebruikt worden als luchtdichting. De folies en het papier zullen steeds in banen geplaatst worden die elkaar moeten overlappen en dichtgekleefd worden. Ook platen op basis van hout zoals bv. OSB of multiplex kunnen toegepast worden.⁴⁹ Ook hierbij dient er steeds aandacht geschonken te worden aan de voegen tussen deze platen. Hier zal in een volgend deel dieper op ingegaan worden.

Een winddichte constructie daarentegen verhindert de luchtstromen van buiten naar binnen (infiltratie). De winddichting bevindt zich aan de buitenkant van het gebouw en zorgt ervoor dat er geen koude lucht naar binnen kan tijdens de wintermaanden en geen warme lucht tijdens de zomermaanden.

De toevoer van koude lucht kan leiden tot tocht binnen in het gebouw. Dit kan gecompenseerd worden door de temperatuur te verhogen maar dit gaat dan weer gepaard met een hoger energieverbruik.⁵⁰

Deze winddichting wordt ook vaak gebruikt als regenafdichting. Dit is zeer belangrijk bij luchtdichte constructies vermits het vocht moeilijker zal kunnen ontsnappen nadat het ingedrongen is in de constructie. Hiervoor is het noodzakelijk dat de buitenste laag van de wandopbouw zo dampopen mogelijk is.

Als winddichting kunnen houtvezelplaten die met bitumen geïmpregneerd zijn en al dan niet voorzien van een extra bitumenlaag, of vezelcementplaten gebruikt worden. Deze platen beschermen de achterliggende isolatie tegen windinfiltratie en slagregen. Houtvezelplaten hebben ook een isolerende werking die ervoor zorgt dat de temperatuur van de koude zijde van de isolatie hoger zal liggen. Dit zorgt ervoor dat condensatie tegen deze koude zijde van de isolatie trager zal optreden. Anderzijds bestaat er wel een groter risico op schimmelgroei aan de binnenzijde van de plaat. De extra bitumenlaag die op sommige houtvezelplaten aanwezig is zorgt voor een betere luchtdichtheid. De vraag kan dan gesteld worden of de luchtdichting aan de binnenzijde van de wand nog zinvol is vermits de luchtdichtheid aan de buitenkant ook eenvoudiger kan gerealiseerd worden doordat er minder onderbrekingen zijn. De exfiltratie van lucht wordt hierdoor enerzijds sterk verminderd maar anderzijds zal vochtige binnenlucht zich nog steeds kunnen voortbewegen

⁴⁹ Thema-avond Implicaties van lage-energie constructies voor de ruwbouw. luchtdicht bouwen. WTCB (2010) Geraadpleegd op 25 januari 2016 via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=agenda&doc=Luchtdicht_Bouwen_Themaavond_FABA_sept_okt_2010.pdf

⁵⁰ Luchtdicht bouwen. Isover. Geraadpleegd op 25 januari 2016 via http://docs.isover.be/Luchtdicht_bouwen_NL.pdf

door spleten en kieren naar de buitenzijde van de wand en daar condenseren.⁵¹ Ook folies kunnen gebruikt worden als winddichting maar deze hebben geen isolerende of vochtbufferende capaciteit als bijkomend voordeel.

Grootheden luchtdichtheid

De luchtdichtheid van een constructie kan uitgedrukt worden aan de hand van een aantal grootheden.

De eerste grootheid is de luchtvolumestroom die de stroming doorheen openingen uitdrukt aan de hand van drie parameters namelijk de stromingscoëfficiënt, het drukverschil en de stromingsexponent. Dit kan samengevat worden in de stromingsvergelijking of 'power-law'⁵²:

$$\dot{V} = C \cdot \Delta p^n \quad [m^3/h]$$

met	$\dot{V}$	=	luchtvolumestroom $[m^3/h]$
	C	=	stromingscoëfficiënt $[m^3/(h \cdot Pa^n)]$
	Δp	=	drukverschil $[Pa]$
	n	=	stromingsexponent $[-]$

De luchtvolumestroom en het drukverschil worden bepaald bij het uitvoeren van een pressurisatieproef of bij het testen van een constructie-onderdeel in het labo. Bij een pressurisatieproef wordt in het gebouw achtereenvolgens een overdruk en onderdruk aangebracht ten opzichte van de buitenomgeving. Dit gebeurt door een ventilator die in een externe opening bv. een deur wordt aangebracht. De luchtdebieten die nodig zijn om de drukverschillen in het gebouw te verkrijgen worden gemeten aan de ventilator. Vermits alle afsluitbare openingen, die bewust in het gebouw aangebracht zijn, voor de proef zijn afgedicht, is het gemeten luchtdebiet aan de ventilator gelijk aan het debiet dat langs de lekken de gebouwschil binnendringt.⁵³

De stromingscoëfficiënt en de stromingscomponent kunnen daarna bepaald worden door een linearisatie en *best fit* naar de *power-law*.

De stromingscoëfficiënt is een constante die bepaald wordt door het debiet bij een drukverschil van 1 Pa.

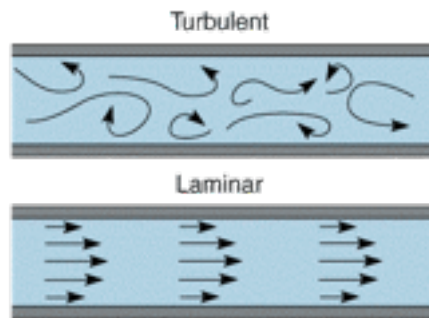
De stromingsexponent ligt meestal rond de waarde van 0,65 voor gebouwcomponenten en wordt gelimiteerd door 0,5 en 1 vanuit fysisch standpunt. Indien er sprake is van een zeer kort lekkagepad waarbij de wrijvingskrachten kunnen verwaarloosd worden, kan het lek als een opening beschouwd worden. In de opening is dan de stroming proportioneel met de vierkantswortel van het drukverschil. Hoe hoger de luchtstroom, hoe langer het lekkagepad kan zijn opdat het nog steeds als opening beschouwd kan worden. De stroming die hier optreedt wordt ook wel turbulente stroming genoemd en de stromingsexponent zal gelijk zijn aan 0,5.

⁵¹ Langsmans, J. & Klein, R. & Roels, S. (2012). *Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation*.

⁵² NBN EN 12114 (2000). *Thermische eigenschappen van gebouwen - Luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen - Laboratoriumbeproevingsmethode*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

⁵³ Speciale uitgave: luchtdichtheid (2012). Brussel: WTCB

Indien de luchtstroom laag is, kan deze beschouwd worden als een laminaire stroom en zal deze lineair zijn ten opzichte van het drukverschil. De stromingsexponent zal in dit geval gelijk zijn aan 1.⁵⁴



Figuur 3.5 Turbulente en laminaire stroming

De n_{50} -waarde of het infiltratievoud wordt vaak gebruikt om de luchtdichtheid van een gebouw te karakteriseren en te vergelijken met andere gebouwen. Deze grootheid drukt het aantal keer per uur dat het volume aan lucht in het gebouw weglekt of inlekt bij een drukverschil van 50 Pa en kan beschreven worden door volgende formule⁵⁵:

$$n_{50} = V_{50} / V_{int} \quad [1/h]$$

met n_{50} = infiltratievoud $[1/h]$
 V_{50} = lucht volumestroom bij drukverschil van 50 Pa $[m^3/h]$
 V_{int} = binnenvolume van het gebouw $[m^3]$

De Belgische norm NBN D 50-001⁵⁶ geeft enkele aanbevelingen omtrent de n_{50} -waarden en dus de luchtdichtheid van een woning. Indien de woning een standaard mechanisch ventilatiesysteem heeft, systeem D, moet de n_{50} -waarde kleiner zijn dan 3/h. Dit is een haalbaar streefdoel voor elk gebouw. Indien de woning is uitgerust met een mechanisch ventilatiesysteem met een warmtewisselaar moet n_{50} kleiner zijn dan 1/h. Voor een passiefhuis geldt dat n_{50} kleiner moet zijn dan 0,6/h.

⁵⁴ Sherman, M.H. & Chan, R. (2004). *Building Airtightness: Research and Practice*. U.S. Department of Energy

⁵⁵ Thema-avond Implicaties van lage-energie constructies voor de ruwbouw. luchtdicht bouwen. WTCB (2010) Geraadpleegd op 25 januari 2016 via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?type=agenda&doc=Luchtdicht_Bouwen_Themaavond_FABA_sept_okt_2010.pdf

⁵⁶ NBN D 50-001 (1991). *Ventilatievoorzieningen in residentiële gebouwen*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

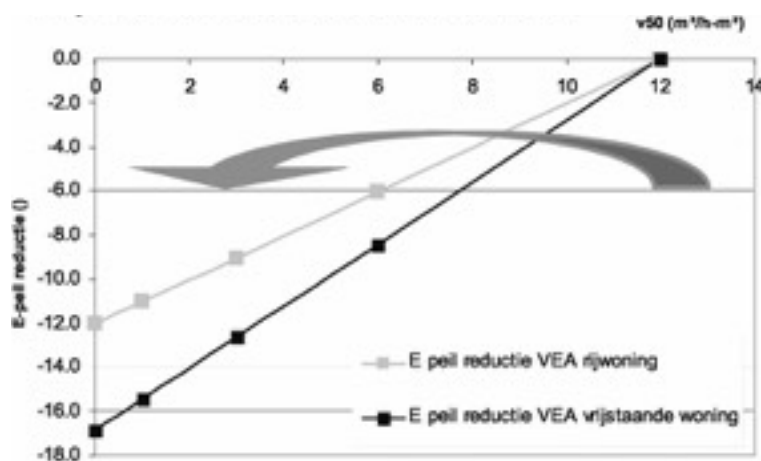
3. Aansluitingen prefabpanelen

De grootheid die gebruikt wordt in de context van de EPB-regelgeving⁵⁷ is de oppervlakedoorlaatbaarheid v_{50} . Deze grootheid geeft de hoeveelheid lucht weer die per uur en per vierkante meter van de testoppervlakte van de gebouwschil weglekt of inlekt bij een drukverschil van 50 Pa.⁵⁸

$$v_{50} = V_{50} / A_{test} \quad [m^3/(h.m^2)]$$

met v_{50} = oppervlakedoorlaatbaarheid $[m^3/(h.m^2)]$
 V_{50} = luchtvolumestroom bij drukverschil van 50 Pa $[m^3/h]$
 A_{test} = buitenoppervlakte van de gebouwschil $[m^2]$

Deze testoppervlakte wordt bepaald aan de hand van de buitenoppervlakte van het gebouw, niet-grenzend aan verwarmde ruimtes. Deze oppervlakte is meestal dezelfde als de warmteverliesoppervlakte die gebruikt wordt bij de berekening van de U-waarde of warmtedoorgangscoefficiënt die ook gebruikt wordt in de E-peil berekening. Indien geen luchtdichtheidsmeting wordt uitgevoerd op een gebouw, moet een waarde van $v_{50} = 12 m^3/(h.m^2)$ ingevuld worden in de EPB-software.⁵⁹ Dit is dus een waarde die hoort bij een slechte luchtdichtheidsprestatie. Indien er wel een luchtdichtheidstest wordt uitgevoerd kan het E-peil⁶⁰ zakken met 5 tot 10 punten wat dus zeer voordelig is gezien het E-peil waar woningen tegenwoordig aan moeten voldoen (nieuwbouw woningen: maximaal E 50, ingrijpende energetische renovatie van woningen: maximaal E 90).⁶¹



Figuur 3.6 Effect luchtdichtheid op E-peil

⁵⁷ De EPB-regelgeving of voluit 'Energieprestatie en Binnenklimaat' is een regelgeving die van toepassing is op elk nieuw project waar een bouwvergunning voor nodig is.

⁵⁸ Thema-avond Implicaties van lage-energie constructies voor de ruwbouw. luchtdicht bouwen. WTCB (2010) Geraadpleegd op 25 januari 2016 via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=agenda&doc=Luchtdicht_Bouwen_Themaavond_FABA_sept_okt_2010.pdf

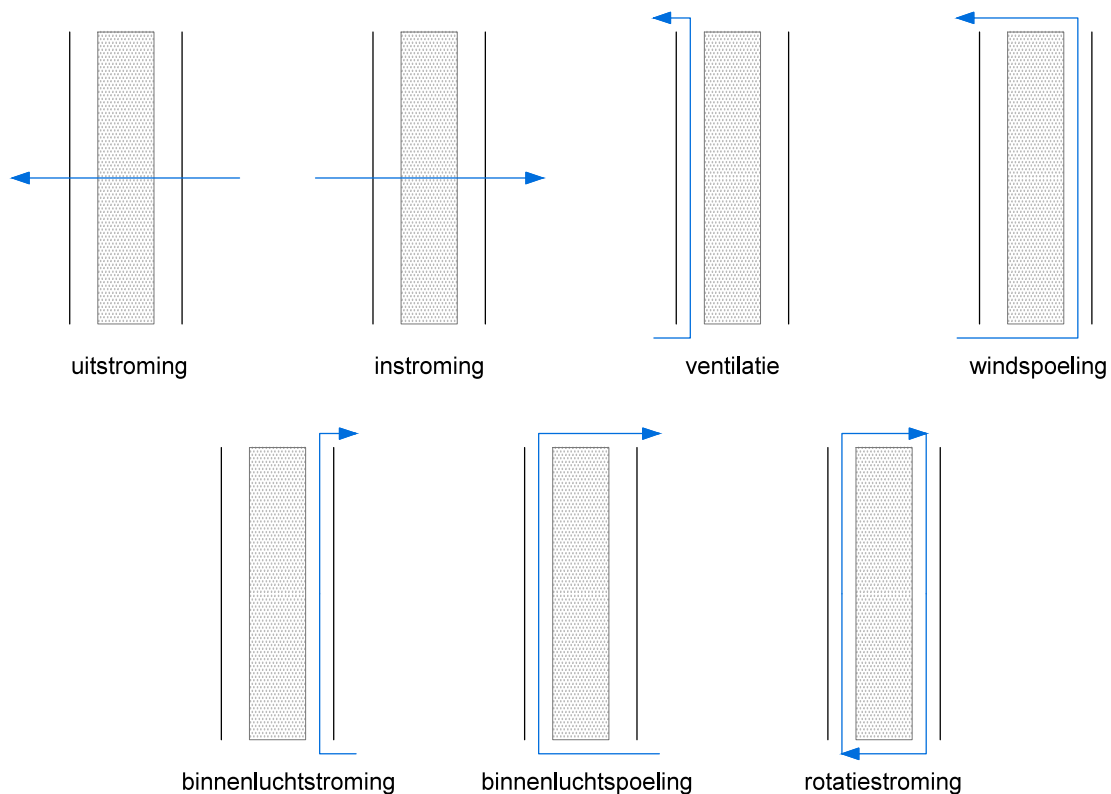
⁵⁹ Luchtdichtheidstest: te meten zone. (2014) Geraadpleegd op 25 januari 2016 via <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/luchtdichtheidstestmetenzone.pdf>

⁶⁰ Het E-peil geeft de energieprestatie weer van een gebouw en van de vaste installaties ervan in standaardomstandigheden. Hoe lager het E-peil, het energiezuiniger de woning is.

⁶¹ EPB-eisen vanaf 1 januari 2016. Geraadpleegd op 25 januari 2016 via <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/epbeisentabel2016.pdf>

Luchtstromingen

Ten gevolge van luchtlekages kunnen een aantal luchtstromingspatronen ontstaan.⁶²



Figuur 3.7 Luchtstromingspatronen

Het eerste patroon is een uitstroming van warme binnenlucht. Zoals reeds eerder vermeld gaat dit gepaard met een vermindering van de thermische werking van de isolatie en kan er kans zijn op condensatie in de materiaallagen aan de koude kant van de isolatie. Het tweede patroon is het omgekeerde en beschrijft een instroming van koude lucht. Dit kan leiden tot tocht binnenin het gebouw, een verminderde werking van de isolatie en geluidshinder. Het derde patroon is ventilatie. Dit wordt doorgaans als positief beschouwd vermits dit ervoor zorgt dat de buitenste lagen van de gevel sneller kunnen opdrogen. Indien de isolatiedikte echter niet groot is en deze niet voldoende winddicht is, kan ventilatie zorgen voor een sterke temperatuurafname van deze laag. Indien de isolatie niet op een goede manier bevestigd is aan de binnenlaag, kan windspoeling optreden. Hierdoor kan er in koude klimaten een koude luchtlaag gevormd worden achter de isolatie die de werking ervan tenietdoet. Er ontstaat hierdoor ook een groter risico op de ontwikkeling van schimmelvorming en oppervlaktecondensatie vermits de binnenste laag veel kouder zal zijn dan berekend. Bij binnenluchtstroming zal er binnenlucht achter de isolatie circuleren. Dit heeft bijna geen nadelen vermits de binnenlucht de gewenste temperatuur heeft en de werking van de isolatie dus niet zal aantasten. Bij binnenluchtspoeling zal de binnenlucht circuleren voor de isolatie. Dit heeft ongeveer dezelfde nadelen als de uitstroming van binnenlucht maar nu zal het risico op inwendige condensatie in de materiaallagen aan de buitenzijde van de isolatie zelfs nog groter zijn.

⁶² Hens, H. (2008). *Koudebruggen en luchtdichtheid: berekening, impact op de gebouwprestaties. Studienamiddag koudebruggen*. K.U. Leuven

3. Aansluitingen prefabpanelen

vermits de warme vochtige lucht niet weg kan en dus blijft circuleren voor de isolatie. Ten slotte het laatste stromingspatroon is rotatiestroming. Hierbij zal de ingesloten lucht circuleren rond de isolatie en de werking ervan verminderen. Indien deze lucht vocht bevat, ontstaat er ook een risico op inwendige condensatie.

In werkelijkheid zullen deze zeven stromingspatronen doorgaans samen voorkomen en zo één complex stromingspatroon vormen.

Waterdichtheid

Waterdichtheid is een belangrijk concept om rekening mee te houden tijdens het ontwerpen van een gebouw. Vocht dat aanwezig is in een constructie kan immers grote schade tot gevolg hebben door o.a. condensatie, schimmelvorming, roestvorming, volumeveranderingen van constructiematerialen, ... wat de levensduur van een gebouw sterk kan beïnvloeden.

De waterdichtheid van een gebouw zal bepaald worden door de buitenste laag van de gebouwschil namelijk de gevelbekleding en/of het regenscherm en de aansluitingen die hiermee gepaard gaan.

Vocht in de wandopbouw, in dampvorm of vloeibare vorm kan verschillende oorzaken hebben:

- vocht afkomstig van het binnenklimaat
- bouwvocht dat in de materialen aanwezig is tijdens de constructie
- opstijgend vocht vanuit de grond
- neerslag.

Vocht afkomstig van het binnenklimaat werd hierboven al behandeld en kan het best vermeden worden door een dampscherm te plaatsen aan de warme zijde van de isolatie.

Tijdens de constructieperiode dient men ervoor te zorgen dat de bouwmaterialen voldoende uitgedroogd zijn alvorens men ze dampdicht afwerkt zodat geen vocht in de wandopbouw aanwezig kan blijven. Indien dit toch het geval is, zal de buitenste laag van de wand zo dampopen mogelijk moeten zijn zodat het aanwezige vocht nog kan afgegeven worden.

Door capillariteit kan grondwater omhoog kruipen door poreuze materialen. Dit kan een probleem vormen op de plaats waar de muur en de fundering samenkomen. Door op dit punt een capillaire stop te plaatsen in de vorm van een waterdichte folie, kan dit opstijgend vocht tegen gehouden worden.

Neerslag of meer bepaald slagregen of '*wind driven rain*'⁶³ is een belangrijke bron van vocht in de wandopbouw. De regen die tegen de gebouwschil neerslaat, kan ofwel meteen langs de buitenkant van de gevelbekleding naar beneden gedraineerd worden, het kan opgeslagen worden in de wand door capillaire absorptie en daarna door diffusie terug opdrogen of het kan zich verder in de wand bewegen met schade tot gevolg. Hierbij vormen openingen of speleten belangrijke lekkagepaden waar het vocht zich naar binnen kan bewegen onder invloed van de winddruk of zwaartekracht.⁶⁴

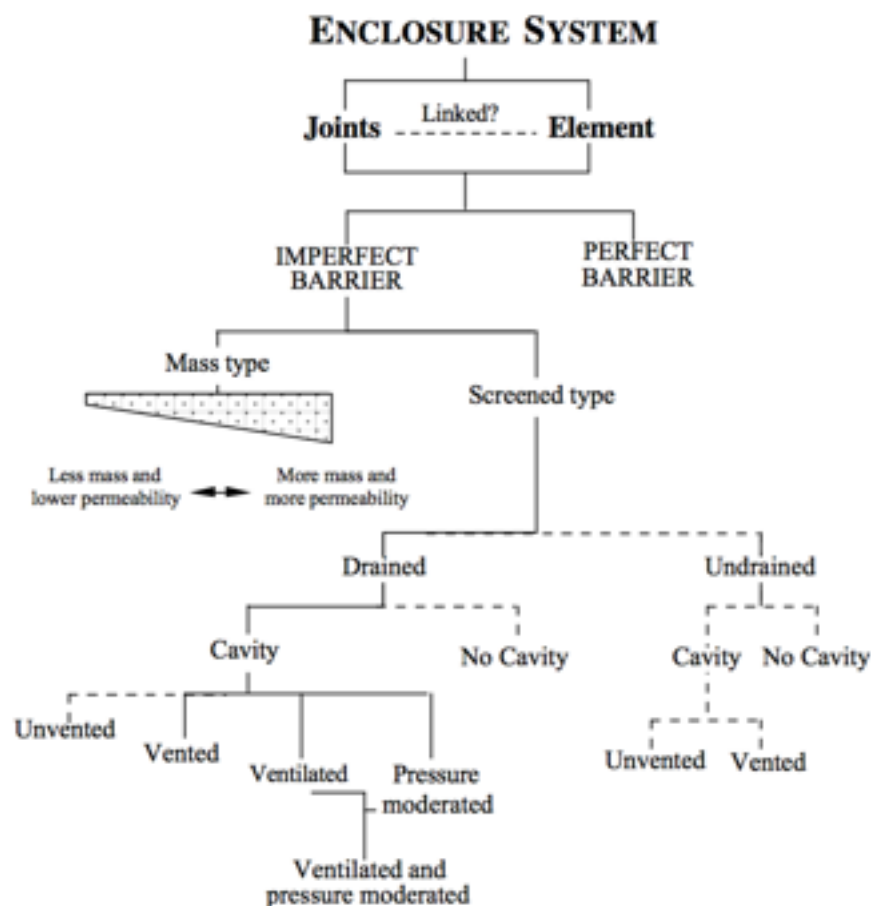
⁶³ '*Wind driven rain*' is de combinatie van wind en regen waardoor de regendruppels zich onder een schuine hoek zullen voortbewegen.

⁶⁴ Sahala, N. & Lacasse, A. (2004). *Water entry function of a hardboard siding-clad wood stud-wall*.

De weerstand van de wand ten opzichte van het binnengedrongen vocht en de hierdoor veroorzaakte schade is afhankelijk van de weerstand van de wand ten opzichte van het initiële lekkage (in hoeverre zal het vocht de wand binnendringen), de snelheid waarmee de materialen schade zullen ondervinden en de mogelijkheid van de materialen om het vocht op te slaan en/of terug af te geven.⁶⁵ Hierbij zijn ook de temperatuur, de hoeveelheid water en het type muur bepalende factoren.

Drie types van muren kunnen hierbij onderscheiden worden, gebaseerd op de wijze waarop ze regenindringing controleren⁶⁶:

- opslagsystemen
- eentrapsdichting
- tweetrapsdichting of spouwmuur.



Figuur 3.8 Muurtypes op basis van waterdichtheid

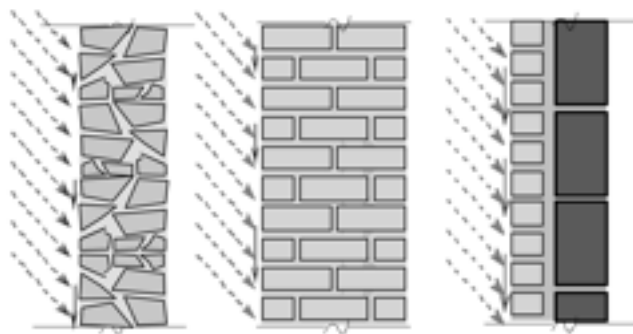
Het gebruik van opslagsystemen is de oudste strategie. Dit systeem maakt gebruik van de capillaire werking van materialen om het regenwater, dat niet meteen gedraineerd wordt via de gevel, te absorberen en op te slaan. Dit water wordt daarna, als het buiten droog is, terug

⁶⁵ Carll, C. (2000). *Rainwater Intrusion in Light-Frame Building Walls*. in *Proceedings of 2nd annual conference on Durability and Disaster Mitigation in Wood-Frame Housing*. Madison: Wisconsin.

⁶⁶ Straube, J. (2001). *Pressure Moderation and Rain Penetration Control*. University of Waterloo

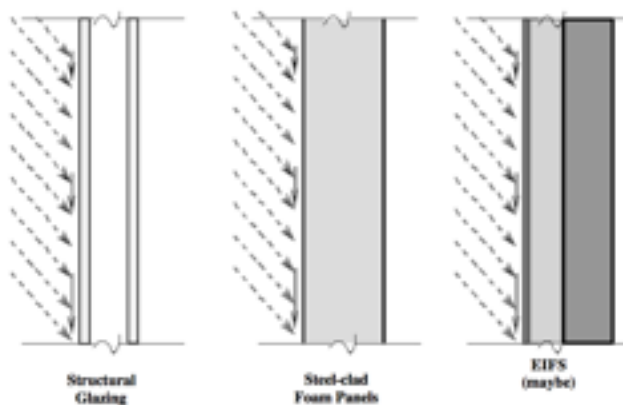
3. Aansluitingen prefabpanelen

afgestaan door verdamping en uitdroging van de wand alvorens het vocht de binnenkant van de wand bereikt. Voor dit systeem zijn wanden met een grote dikte vereist of met andere woorden een grote hoeveelheid aan materiaal is noodzakelijk. Een voorbeeld hiervan zijn volle muren uit baksteen.



Figuur 3.9 Opslagsysteem

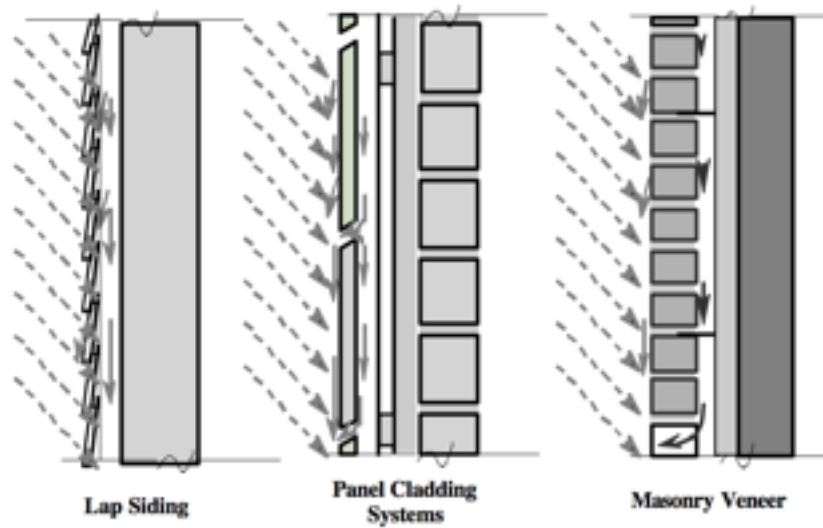
Een eenstapsdichting stopt alle regen aan de hand van één vlak. Dit vlak kan al dan niet de buitenste laag zijn van de gevel. Voorbeelden hiervan zijn een glazen gordijngewel, een stalen gevelbekleding rond foam-isolatiepanelen of een bepleisterde buitengevelisolatie. Er moet extra aandacht besteed worden aan de voegen die horen bij dergelijk systeem. Deze zullen zeer moeilijk uitvoerbaar zijn vermits ze geen enkele vorm van vocht mogen doorlaten en zullen dus vaak voor lekkageproblemen zorgen. Een bijkomend probleem kan optreden als water toch infiltreert in de constructie. Het zit dan gevangen achter de gevelbekleding en kan niet meer gedraineerd worden. Dit vocht zal zich hoogstwaarschijnlijk naar de binnenzijde van de wand bewegen en daar accumuleren, wat kan leiden tot schade.



Figuur 3.10 Eenstapsdichting

Bij een tweetrapsdichting of een spouwmuur zal een gedeelte van het regenwater zich door de gevelbekleding kunnen bewegen en zal daarachter in de spouw weggedraineerd worden. Hierbij werkt de spouw als een capillariteitstop. Soms wordt nog een extra regenscherm geplaatst in de spouw als tweede barrière om ervoor te zorgen dat het water zeker niet verder in de wand dringt. Bij skeletbouw wordt een dergelijk systeem gebruikt. Een minimum spouwbreedte van 10mm is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat het water gedraineerd kan blijven, ook bij grote hoeveelheden.

De spouw kan ook zorgen voor een drukegalisatie. Dit wil zeggen dat de drukverschillen rond de gevelbekleding verminderd worden. Hierdoor zal de regen minder snel door de openingen geduwd worden ten gevolge van de winddruk.

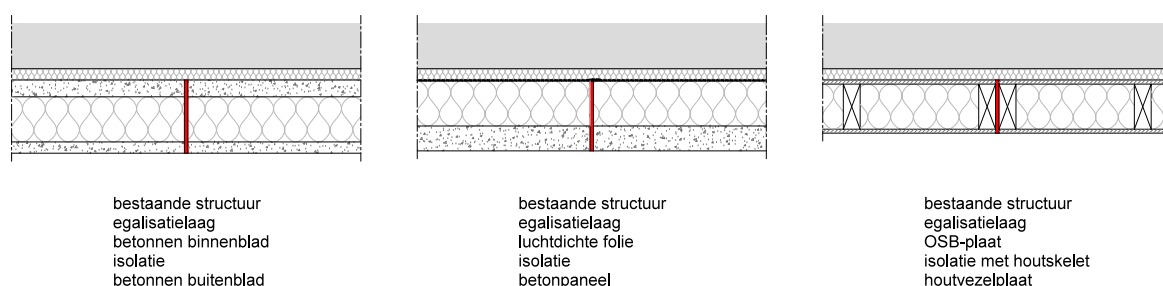


Figuur 3.11 Tweetrapsdichting

3.2 Voegen tussen prefabpanelen

Uit het vorige deel kan geconcludeerd worden dat het belangrijk is om een goede luchtdichting, winddichting en waterdichting te voorzien en dat deze als een ononderbroken vlak over heel de gebouwschil moet doorlopen. Indien bij het gebruik van prefabpanelen deze dichtingen reeds geplaatst worden op het paneel in de fabriek onder de vorm van platen of folies dienen deze in situ met elkaar verbonden te worden. De voegen tussen de panelen moeten dus op een correcte manier gedicht worden.

Figuur 3.12 toont de mogelijke opbouw van de meest gebruikte prefabpanelen in België namelijk betonnen sandwichpanelen, enkelschalige betonpanelen en houtskeletpanelen.



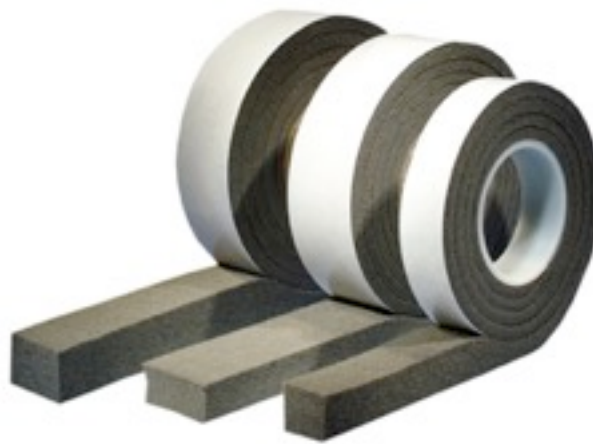
Figuur 3.12 Opbouw prefabpanelen: links: betonnen sandwichpaneel, midden: enkelschalig betonpaneel, rechts: houtskeletpaneel

Bij betonnen sandwichpanelen zal de binnenste betonlaag zorgen voor de luchtdichtheid en de buitenste laag voor de wind- en waterdichtheid. Indien enkelschalige betonpanelen gebruikt worden, zal ofwel de bestaande constructie zorgen voor de luchtdichtheid ofwel zal een luchtdichte folie geplaatst moeten worden langs de binnenzijde. De buitenste betonlaag zal functioneren als wind- en waterdichting. Bij houten panelen zal meestal een OSB-plaat of multiplex plaat gebruikt worden als luchtdichting of indien het paneel stijf genoeg is, kan ook geopteerd worden om enkel een folie te gebruiken. Langs de buitenkant voorziet men meestal een met bitumen geïmpregneerde houtvezelplaat die in combinatie met de gevelbekleding water- en winddicht is of een vezelcementplaat.

De panelen kunnen rechtstreeks op elkaar gestapeld worden of met een tand-en-groefverbinding of een rabatverbinding met elkaar verbonden worden. De voeg die hiermee gepaard gaat, zal steeds op een correcte manier lucht-, water- en winddicht gemaakt moeten worden. Afhankelijk van de bereikbaarheid, de breedte van de voeg en de ondergrond zullen andere materialen en methoden gebruikt worden.

Compressiebanden

Compressiebanden bestaan uit polyurethaan of polyester foams die geïmpregneerd zijn met een synthetische butyl of een acrylaathars. Deze foam wordt op rollen verkocht met een breedte van enkele centimeters. De dikte is sterk gereduceerd wanneer ze opgerold zijn, maar krijgen snel hun volledige dikte als ze ontrollen en geplaatst worden. Dit heeft als voordeel dat de banden moeiteloos in de voegen kunnen geplaatst worden en de panelen zelf nog kunnen verschoven worden voordat de band zijn volledige dikte heeft. Daarna zal de compressieband tussen de voeg gedrukt zitten waardoor deze niet meer kan bewegen.⁶⁷



Figuur 3.13 Compressiebanden

Tapes

Enkelzijdige tapes worden voornamelijk gebruikt om voegen tussen houtplaten af te dichten. Dubbelzijdige tapes worden gebruikt om folies te hechten aan een constructie of om twee foliebanden te hechten op elkaar in combinatie met een enkelzijdige tape.

De meeste tapes bestaan uit een polyethyleen folie of polypropyleen vlies met een acrylaatlijm. Sommige tapes bestaan ook uit een PE-folie met een butylrubber die met acrylaat gemodificeerd is. Deze tapes kunnen gebruikt worden op poreuze oppervlakken zoals beton.

Tapes zijn meestal elastisch op zichzelf maar kunnen niet goed bewegingen opvangen van de verschillende delen die ze verkleefd hebben ten opzichte van elkaar. Door de trekkrachten die hiermee gepaard gaan, wordt de tape losgetrokken.

Het te verlijmen oppervlak moet steeds eerst gereinigd worden. Er mogen immers geen afstotende stoffen zoals vetten of stof aanwezig zijn. Ook moet het oppervlak droog zijn en mag er geen enkele vorm van vocht, ijs of rijm aanwezig zijn vermits dit het lijmcontact met de ondergrond verhindert en geen goede verlijming mogelijk is. Er wordt aangeraden om op bepaalde houtplaten

⁶⁷ Carrié, F.R. & Jobert, R. & Leprince, V. (2012). *Methods and techniques for airtight buildings*. Belgium: AIVC

3. Aansluitingen prefabpanelen

zoals houtvezelplaten eerst een primer aan te brengen alvorens de tape kan aangebracht worden. Het gebruik van deze primer verhoogt de adhesie tussen de lijm en de plaat.⁶⁸



Figuur 3.14 links: Toepassing van tape bij winddichting, rechts: Tape op basis van butylrubber

Kit

Er bestaat een grote variëteit aan producten die kunnen gebruikt worden voor een kitvoeg. Deze producten zijn gebaseerd op acrylaat, butyl, silicone, polyurethaan of een hybride product. Een acrylaatkit kan enkel binnen gebruikt worden of als afwerking aangezien deze slechts kleine vervormingen kan opnemen. De andere kitproducten kunnen zowel binnen als buiten gebruikt worden. Een butylkit vertoont een zeer goede adhesie op de meeste oppervlakken maar heeft slechts een gelimiteerde elasticiteit. De meeste siliconekitten vertonen een zeer goede luchtdichtheid bij toepassing op glas en metaal en ze zijn UV-bestendig. Daartegenover staan de PU-kitten die kunnen toegepast worden op alle soorten oppervlakken maar een slechte UV-bestendigheid vertonen. Hybride kitten combineren de sterkte van polyurethaan en de weersbestendigheid van de silicone.

Indien men wenst om een diepe voeg te kitten, is het nodig om een 'backer rod' te gebruiken. Dit is een foam op basis van polyethyleen en heeft een vierkante of cirkelvormige doorsnede. Deze foam wordt eerst in de voeg geplaatst waardoor de diepte van de voeg vermindert. Hierboven kan dan de kit aangebracht worden.⁶⁹



Figuur 3.15 Toepassing van backer rod en kitvoeg

⁶⁸ Carrié, F.R. & Jobert, R. & Leprince, V. (2012). *Methods and techniques for airtight buildings*. Belgium: AIVC

⁶⁹ Carrié, F.R. & Jobert, R. & Leprince, V. (2012). *Methods and techniques for airtight buildings*. Belgium: AIVC

PUR-schuim

Polyurethaan-schuim kan gebruikt worden voor het luchtdicht maken van iets grotere voegen (>15mm). De elasticiteit van deze schuimen is een belangrijke eigenschap. Zeker na verloop van tijd wanneer het schuim rigider wordt, moet deze nog steeds bewegingen van de constructie kunnen opvangen. De maximaal toelaatbare vervorming van de meeste PUR-schuimen is ongeveer 15% maar er bestaan varianten die een hogere waarde behalen tot 35%.⁷⁰

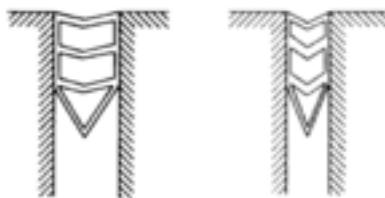
Deze schuimen zullen bij uitharding opgebouwd zijn uit zeer kleine holten die lucht kunnen opnemen. Daardoor hebben ze ook een goede isolerende functie. PUR-schuimen worden in spuitbussen verkocht. Bij aanraking met de luchtvochtigheid vergroot het volume in sterke mate. De Bison Promax PURschuim wordt bv. verkocht in een spuitbus van 450 ml en geeft een schuimvolume van 30-35 liter.⁷¹



Figuur 3.16 Toepassing van PUR-schuim

Kunstrubberprofiel

Kunstrubberprofielen zijn vaak vervaardigd uit EPDM. Door hun vormgeving zijn ze zeer indrukbaar en kunnen dus gemakkelijk in de voeg geplaatst worden. De profielen zullen dan terug hun oorspronkelijke vorm willen aannemen waardoor ze in het profiel geklemd worden. Deze profielen worden o.a. gebruikt om de voegen tussen betonpanelen luchtdicht te maken. Een nog bekendere toepassing van deze profielen is om beglazing te klemmen in een raamkozijn.⁷²



Figuur 3.17 EPDM-profiel

⁷⁰ Isocell. Perfect luchtdicht afwerken van ramen. Geraadpleegd op 28 januari 2016 via <http://www.buildtechnics.be/resources/pdf>.

⁷¹ Bison Promax Purschuim technische fiche. Geraadpleegd op 28 januari 2016 via http://www.bison.be/static/products/assets/asset_3989_2.pdf.

⁷² Panek, J.R. & Cook, J.P. (1991). *Construction sealants and adhesives*. New York: John Wiley & Sons

Luchtdichte coating

Dit is een watergedragen polymeergebaseerde vloeistof. Het kan aangebracht worden met verfspuitapparatuur of een verfborstel indien het om kleine oppervlakken gaat. Deze coating heeft een goede hechting op verschillende ondergronden zoals hout en beton. Als de vloeistof opgedroogd is, vormt het een flexibel lucht-en dampremmend scherm. De coating kan toegepast worden over een volledig oppervlak of voor het dichten van voegen. Voor voegen kleiner dan 5mm kan er gebruik gemaakt worden van een dikkere versie van de coating die met een verfborstel wordt aangebracht. Indien de voegen groter zijn dan 5mm zullen deze eerst gedicht moeten worden met een PUR-schuim of cementgebaseerd product.⁷³



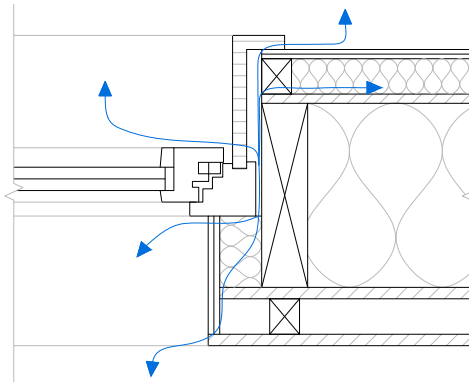
Figuur 3.18 Toepassing luchtdichte coating

⁷³ Blowerproof via <http://www.blowerproofliquid.com/nl/>. Geraadpleegd op 28 januari 2016

3.3 Aansluitingen tussen panelen en bestaande constructie

Raamaansluitingen

De nieuwe ramen zullen zich meestal bevinden in het nieuwe prefabpaneel, al dan niet in de fabriek reeds gemonteerd. De voeg tussen het raamkader en de raamopening moet luchtdicht afgedicht worden. Figuur 3.19 toont de lekkagepaden die kunnen ontstaan indien deze voeg niet correct gedicht wordt.⁷⁴



Figuur 3.19 Lekkagepaden tussen raam en paneel

De voeg tussen het raamkader en het paneel kan opgevuld worden met samengedrukte minerale wol of glaswol. Ook een compressieband, tape, kit, PUR-schuim of luchtdichte coating kunnen gebruikt worden zoals besproken in 3.2 'Voegen tussen panelen'.

Indien de plaats waar het raam geïnstalleerd wordt in het nieuwe paneel ook de plaats is waar het nieuwe paneel aangesloten wordt op de bestaande structuur, dient er extra aandacht geschonken te worden aan de luchtdichte verbinding. Een luchtdichte folie zal hier meestal reeds op het paneel voorzien zijn en zal bij plaatsing op de bestaande muur verkleefd worden.⁷⁵



Figuur 3.20 Aansluiting raam aan bestaande structuur

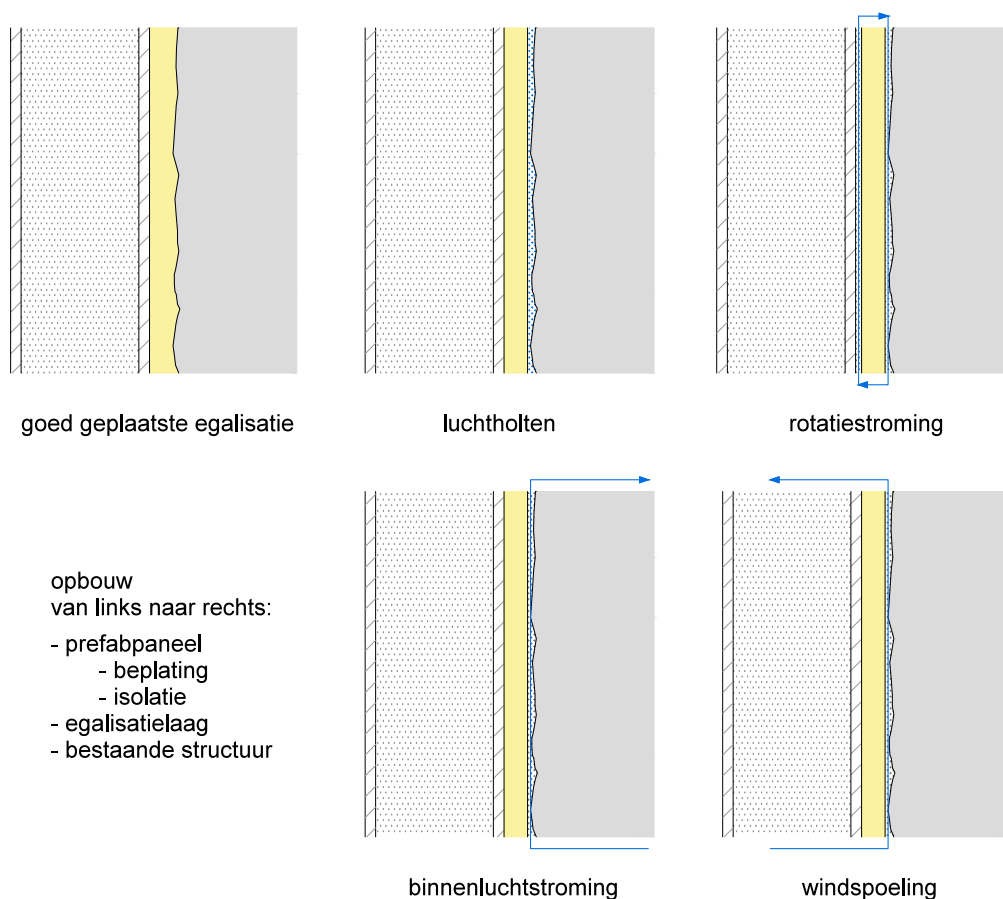
⁷⁴ Proskiv, G. (1995) Air leakage characteristics of various rough-opening sealing methods for windows and doors. in Modera, M.P. & Persily A.K. (1995) *Airflow performance of building envelopes, components and systems*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials

⁷⁵ ERA-NET WoodWisdom Net. (2009). *TES Energy Façade - Prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*

Egalisatielaag

Zoals reeds aangehaald in hoofdstuk 2 '*Bestaande gevelrenovatiesystemen*' vormt de egalisatielaag een belangrijk element om de onregelmatigheden van de bestaande gevel op te vangen. Deze laag kan gevormd worden door minerale wol, glaswol, rotswol of ingeblazen cellulosevlokken. Indien gebruik gemaakt wordt van minerale wol, glaswol of rotswol, kan deze reeds bevestigd worden op de bestaande muur waarna de panelen geplaatst worden of de isolatie kan reeds in de fabriek bevestigd worden aan de panelen. De isolatie zal steeds voldoende hard tegen de bestaande structuur moeten gedrukt worden zodat alle onregelmatigheden gevuld zijn. De dikte van de laag en de graad van samendrukking dienen hierbij nauwkeurig bepaald te worden.

Indien niet alle onregelmatigheden gevuld zijn, kan er lucht gevangen zitten tussen de gevel en de isolatie. Indien deze lucht stilstaat in de ontstane holten en niet in aanraking komt met binnen- of buitenlucht vormt deze zo goed als geen probleem. Indien er wel een luchtstroming kan ontstaan tussen de verschillende holten en deze lucht in aanraking kan komen met de binnen- of buitenlucht vormt deze wel een probleem.



Figuur 3.21 Plaatsing egalisatielaag en ontstane luchtstromingen

Indien ook het paneel niet goed gedrukt zit tegen de egalisatielaag, kan er een rotatiestroming ontstaan. De isolerende werking van de egalisatielaag zal dan teniet gedaan worden. Indien er luchtholten aanwezig zijn en de voegen tussen het paneel en de bestaande structuur niet goed gedicht zijn, kan er binnenluchtstroming ontstaan. Hierdoor zal de warme en vochtige binnenlucht circuleren rond de structuur met risico tot schimmelgroei. Ook kan er condensatie ontstaan indien

deze lucht in aanraking komt met een kouder vlak. In het geval dat de voegen langs de buitenkant van de panelen niet goed gedicht zijn, kan er koude lucht circuleren rond de bestaande structuur en kan deze sterk afgekoeld worden. Het binnenklimaat zal hierdoor ook afkoelen en er bestaat een groot risico op condensatie. In werkelijkheid zal er een combinatie van stromingen ontstaan door alle kieren en spleten zoals reeds aangehaald in het onderdeel '*Luchtstromingen*' van 3.1 '*Lucht- en waterdichtheid*'. Dit benadrukt nogmaals hoe belangrijk het is om een correcte aansluiting van alle constructie-elementen te verzekeren.

Indien geopteerd wordt om te werken met cellulosevlokken om de egalisatielaag te realiseren, dienen deze na de plaatsing van de panelen ingeblazen te worden. Aan de raamopeningen en de zijkanten worden de voegen eerst gevuld met minerale wolmatten, met uitsluiting van enkele gaten waardoor nadien de cellulosevlokken kunnen ingeblazen worden.

Tijdens het onderzoek naar het TES systeem werd een test uitgevoerd met ingeblazen cellulosevlokken. Een geprefabriceerd element met een binnenbekleding werd tegen de gevel geplaatst. De dikte van de ruimte tussen de bestaande gevel en het element varieerde van 2 tot 6 cm. Er werd hierbij geconcludeerd dat de breedte van de egalisatielaag minstens 3 cm moet zijn opdat een goede vulling kan verkregen worden. Ook werd er geconstateerd dat de positie van de inblaasgaten zorgvuldig moet gekozen worden opdat alle punten van de wand even goed bereikbaar zijn voor een gelijke vulling.⁷⁶



Figuur 3.22 links: Vulling met minerale wolmat, rechts: Inblaasgat voor cellulosevlokken

⁷⁶ ERA-NET WoodWisdom Net. (2009). *TES Energy Façade - Prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*

Deel II

Experimenteel onderzoek



Doelstelling

Kort gesteld is de doelstelling van dit experimenteel onderzoek een antwoord bieden op de volgende onderzoeksvraag:

'Hoe kunnen geprefabriceerde gevelpanelen lucht-en waterdicht op elkaar worden aangesloten?'

Zoals blijkt uit de voorgaande analyse werd er nog niet veel onderzoek gevoerd naar de wijze waarop de voegen tussen prefabgevelpanelen lucht- en waterdicht kunnen afgesloten worden. Indien de lucht- en waterdichtheid wel besproken wordt, wordt er meestal één methode voorgesteld zonder de prestaties van diverse materialen met elkaar te vergelijken.

Voor raamaansluitingen werd er echter wel al dergelijk onderzoek gevoerd. Het onderzoek van Relander, dat verschillende methoden voor raamaansluitingen bij houtskeletbouw behandelt, is hier een voorbeeld van.⁷⁷ Relander onderzocht zeven verschillende technieken om de voegen rond het raam te dichten. Deze technieken bestonden telkens maar uit één materiaallaag om de herhaalbaarheid en het creëren van variaties te kunnen verzekeren. De materialen die gebruikt werden, zijn minerale wol, zwelbanden, voegvulling, tape, een dampscherm en een windscherm. Deze materialen werden telkens op verschillende manieren toegepast om de impact van fouten die optreden tijdens de plaatsing te kunnen kwantificeren. Zo werden bijvoorbeeld de zwelbanden geplaatst met een verschillende compressiegraad, de voegvulling werd continu gelegd of aan de hand van afzonderlijke stukken en bij het toepassen van de tape werden bepaalde hoeken niet bedekt. Hierbij werd telkens het luchtlekdebiet door de voeg gemeten. Een eerste conclusie die door Relander beschreven wordt, is dat de tape volledig luchtdicht is. Hierbij is echter de impact van een verkeerde plaatsing zeer groot. Er werd dan ook een zeer groot verschil gemeten indien er gaten aan de hoeken opengelaten werden. Een tweede conclusie die gemaakt werd, is het feit dat een kleiner luchtlekdebiet werd opgemeten indien de voegvulling stuksgewijs werd geplaatst ten opzicht van een continue vulling rondom het raam. Indien deze voegvulling in combinatie met een silicone zou gebruikt worden, wordt nog een verbetering van het luchtlekdebiet verwacht. Ten slotte werd nog opgemerkt dat de prestatie van zwelbanden zeer afhankelijk is van de dikte van de band ten opzichte van de breedte van de voeg en bijgevolg de compressiegraad. Algemeen werd er

⁷⁷ Relander, T.O. & Thue, J.V. & Gustavsen, A. (2008). *Air tightness performance of different sealing methods for windows in wood-frame building*. Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering

gesteld dat er een grote spreiding was van het gemeten lekdebiet ($10,87 \text{ m}^3/\text{h.m}$) door de verschillende materialen.

Een deel van de beschreven materialen waaronder tapes, zwelbanden en voegvulling, zullen ook in dit experimenteel onderzoek getest worden. Deze materialen zullen hierbij echter worden toegepast op voegen tussen gevelpanelen onderling in plaats van de voegen rondom een raam. De voegen zullen ook telkens getest worden aan de hand van één materiaallaag en indien het systeem bestaat uit meerdere lagen worden eerst de lagen afzonderlijk getest.

In dit onderzoek zullen er, in tegenstelling tot de methode van Relander, geen bewuste fouten worden aangebracht bij de plaatsing van de materialen. Er zal echter worden getracht om de voegen op de best mogelijke manier af te dichten op basis van de conclusies van Relander. Bij elk opvallend lek zal er onderzocht worden wat de oorzaak is. Hierbij kunnen moeilijkheden bij de plaatsing van de materialen vastgesteld worden.

Een bijkomende vraag kan gesteld worden of er nog andere elementen, naast een menselijk fout bij de plaatsing van de materialen, een impact hebben op de prestatie ervan. Hierbij kan gedacht worden aan weersomstandigheden zoals temperatuur, regen, vorst en UV. Er werd reeds een onderzoek gevoerd door Langmans naar de duurzaamheid van tapes indien deze toegepast worden bij een luchtdichting langs de buitenzijde van de gevel.⁷⁸ Hierbij werden twee soorten tapes verkleefd over een voeg van 2 mm tussen twee vezelcementplaten en onderworpen aan drie verschillende verouderingsmethoden: a) thermische belasting, b) hygrothermische belasting, c) gecombineerde UV en dampbelasting. Er werd geconcludeerd dat de impact van deze verouderingsmethoden zeer klein was. Indien een vergelijking gemaakt werd tussen de verschillende verouderingscycli, kon geconcludeerd worden dat de UV en dampbelasting de grootste impact hebben. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de initiële luchtpermeabiliteit van de afgetapete voeg reeds zeer klein was, namelijk $1,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}/\text{Pa}$ en deze permeabiliteit na veroudering nog steeds zeer klein bleef.

Omwillen van het kleine effect van deze verouderingscycli zullen deze niet opnieuw in dit experimenteel onderzoek opgenomen worden. Indien de dichting van de voegen zich langs de buitenzijde van de gevel bevindt, zal deze vooral tijdens de constructiefase ook nog aan andere weersfactoren onderworpen worden zoals wind en slagregen. Deze factoren zullen behandeld worden in dit onderzoek onder de vorm van verouderingscycli aan de hand van drukpulsaties, waterdichtheidstesten en het effect van de natte afdichting op de luchtdichtheid.

⁷⁸ Langmans, J. & Desta, T.Z. & Alderweireldt, L. & Roels, S. (2015). *Laboratory investigation on the durability of taped joints in exterior air barrier applications*. University of Leuven, Building Physics Section

Hoofdstuk 1

Algemeen

1.1 Materialen

In dit experimenteel onderzoek worden vier soorten afdichtingen getest op drie verschillende ondergronden namelijk beton, gebitumineerde houtvezelplaat en OSB. Hieronder wordt meer uitleg gegeven over de verschillende soorten afdichtingen en ondergronden die gebruikt werden. Voor de technische fiches van al de materialen wordt er verwezen naar bijlage 1.

Tapes

Tapes zijn als eerste soort afdichting getest. Drie tapes werden onderzocht die voornamelijk van elkaar verschillen op vlak van breedte, lijm en drager.



Figuur 1.1 Van links naar rechts: tape A, tape B, tape C

Tape A is ontwikkeld voor zowel binnen- als buitengebruik. De tape is bijgevolg volgens de technische fiche regendicht en heeft een hoge weersbestendigheid. Deze tape kan toegepast worden voor een blijvend luchtdichte verlijming van folies en het blijvend luchtdicht verkleven van de voegen tussen houtderivaatplaten zoals OSB- of multiplexplaten. De tape heeft een breedte van 60 mm en is opgebouwd uit een UV-bestendige witte LPDE film met diagonale versterking. Het te verkleven oppervlak dient steeds droog, olie-, vet- en stofvrij te zijn. De tape dient steeds krachtig aangedrukt te worden nadat deze aangebracht is op de te verkleven materialen. De maximale kleefkracht zal bereikt worden na ongeveer 60 minuten. De toepassing van de tape dient steeds te gebeuren bij een temperatuur tussen +5°C en +40°C.

Tape B is ontwikkeld voor de aansluiting tussen schrijnwerk en pleisterwerk. Volgens de technische fiche is de tape lucht- en waterdicht en heeft deze een vochtvariabele μ_d -waarde waardoor de tape zowel voor binnen- als buitentoepassingen kan gebruikt worden. De tape heeft een breedte van 100 mm en is opgebouwd uit een gewijzigd polyamide en een versterkte folie-vlies combinatie en een acrylaatlijm. Het oppervlak waarop de tape gekleefd zal worden, moet steeds droog, olie-, vet- en stofvrij zijn. De tape kan toegepast worden bij temperaturen tussen -10°C en $+30^{\circ}\text{C}$. Bij lage temperaturen dient er wel steeds gecontroleerd te worden of er geen scheidingsfilm door vocht, ijs of rijm aanwezig is zodat steeds een goede hechting kan gerealiseerd worden.

Tape C is ontwikkeld voor zowel binnen- als buitengebruik en kan toegepast worden voor het verlijmen van folies, geschaafd en gelakt hout, harde kunststoffen en harde houtderivaatplaten. De tape heeft een breedte van 60 mm en is opgebouwd uit een speciaal vlies van polypropyleen en een solid-lijm. De te verlijmen materialen dienen steeds vrij te zijn van afstotende stoffen zoals vetten of siliconen. De tape is toepasbaar vanaf -10°C .

Silicone

Twee types afdichtingen op basis van silicone werden getest.

De **Silicone Strip** is ontwikkeld om een lucht- en waterdichte aansluiting van ramen met de gevel te kunnen realiseren en kan zowel binnen als buiten gebruikt worden. De strips hebben een breedte van 300 mm en kunnen versneden worden tot kleinere breedtes. Ze zijn gevormd uit een doorschijnende silicone elastomeer extrusie en kunnen bevestigd worden aan de hand van een silicone sealant. Deze silicone dient eerst in twee parallelle banen langs de af te dichten materialen toegepast te worden. Vervolgens wordt de strip op de silicone geplaatst en krachtig aangedrukt. Het gebruik van twee banen silicone zorgt voor een verbeterde luchtdichtheid indien de strip niet voldoende aangedrukt is. De gebruikte silicone kan toegepast worden bij een temperatuur tussen -25°C en $+50^{\circ}\text{C}$.



Figuur 1.2 Toepassing Silicone Strip

De **silicone** die ook bij voorgaand systeem toegepast werd, kan ook afzonderlijk gebruikt worden in combinatie met een rugvulling en een **coating** bovenaan. De gebruikte silicone is een ééndelige neutrale silicone die ontwikkeld is voor het lucht- en waterdicht afdichten van ramen en gordijngesels. De silicone heeft een bewegingscapaciteit van 50% en kan verwerkt worden bij een temperatuur tussen -25°C en $+50^{\circ}\text{C}$. De gebruikte rugvulling is een polyethyleenschuim met gesloten cellen en heeft een diameter van 20 mm. De coating die bovenop de eerste laag silicone wordt aangebracht is een vloeibare silicone op waterbasis. Deze coating kan toegepast worden als luchtdichte laag op verschillende ondergronden zoals beton, OSB of multiplex. Een lucht- en waterdicht flexibel membraan wordt gevormd dat vochtvariabel is. De coating kan aangebracht worden bij een temperatuur tussen -6°C en $+38^{\circ}\text{C}$ en op een stof-, vorst-, olie- en vetvrij oppervlak. De coating kan aangebracht worden met een roller of kan gespoten worden. De droge coating moet een dikte hebben van 0,38 mm vooraleer deze zijn lucht- en waterdichte eigenschappen verkrijgt.



Figuur 1.3 Links: Silicone (zwart) op rugvulling (grijs), Rechts: Coating (wit) op silicone (zwart)

Polyurethaanschuim

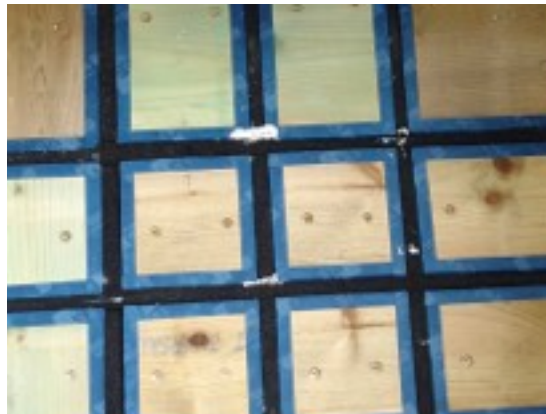
Polyurethaanschuim wordt toegepast voor de montage van ramen, het opvullen van holle ruimten, het aanbrengen van een akoestisch scherm of het optimaliseren van de isolatie. Het schuim wordt toegepast in een aerosolbus en polymeriseert als het in aanraking komt met vocht in de lucht. Het gebruikte polyurethaanschuim bestaat uit ongeveer 70 à 80% gesloten cellen en is volledig uitgehard na 1,5 uur voor een streng van 30 mm. Het is een één-component-schuim en vertoont geen krimp of postexpansie. De ondergrond dient volledig stof- en vetvrij te zijn en bevochtigd voor een betere hechting. De voeg dient gevuld te worden voor ongeveer 40% aangezien het schuim uitzet bij het uitharden. Het schuim kan toegepast worden bij een temperatuur tussen $+5^{\circ}\text{C}$ en $+30^{\circ}\text{C}$.



Figuur 1.4 Polyurethaanschuim tussen betontegels

Zwelbanden

De gebruikte zwelbanden zijn opgebouwd uit een geëxpandeerde EPDM synthetische rubber met gesloten cellen en zijn langs één zijde bedekt met een butyllijm laag. Ze zijn ontwikkeld om voegen af te sluiten tegen water, lucht, stof en geluid. De banden hebben een breedte van 30 mm en een dikte van 25 mm. Ze worden langs één zijde van de voeg verkleefd en vervolgens wordt de band gecomprimeerd door kracht uit te oefenen op de andere zijde. De banden kunnen tot 25% van hun oorspronkelijke dikte gecomprimeerd worden. De compressiegraad is afhankelijk van de toepassing en de dikte van de voeg. De banden kunnen temperaturen weerstaan van -55°C tot +121°C en zijn zeer UV-bestendig.



Figuur 1.5 Zwelbanden in combinatie met tape C

Beton

Betonpanelen kunnen zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde van de gevel toegepast worden omwille van het lucht- en waterdichte karakter. De waterdichtheid van betonpanelen is echter wel afhankelijk van de water-cementfactor (een dichte, weinig poreuze structuur zal meer waterdicht zijn) en van de druksterkte. Indien er gewerkt wordt met geprefabriceerde elementen dan kan de controle hierop beter gewaarborgd worden dan op ter plaatse gestort beton. De gebruikte betontegels hebben een dikte van 30 mm.

Gebitumineerde houtvezelplaat

Gebitumineerde houtvezelplaten kunnen gebruikt worden als regen- en winddichting aan de buitenzijde van de gevel achter de gevelbekleding. Ze zijn ook geschikt als extra ondersteuning voor de luchtdichting in combinatie met het dampscherm aan de binnenzijde van de gevel. De gebruikte houtvezelplaten hebben een dikte van 18 mm en zijn voorzien van een extra bitumenlaag aan één zijde. Door deze laag verbetert de luchtdichte eigenschap van de platen maar anderzijds vermindert de dampopenheid.

Oriented Strand Board

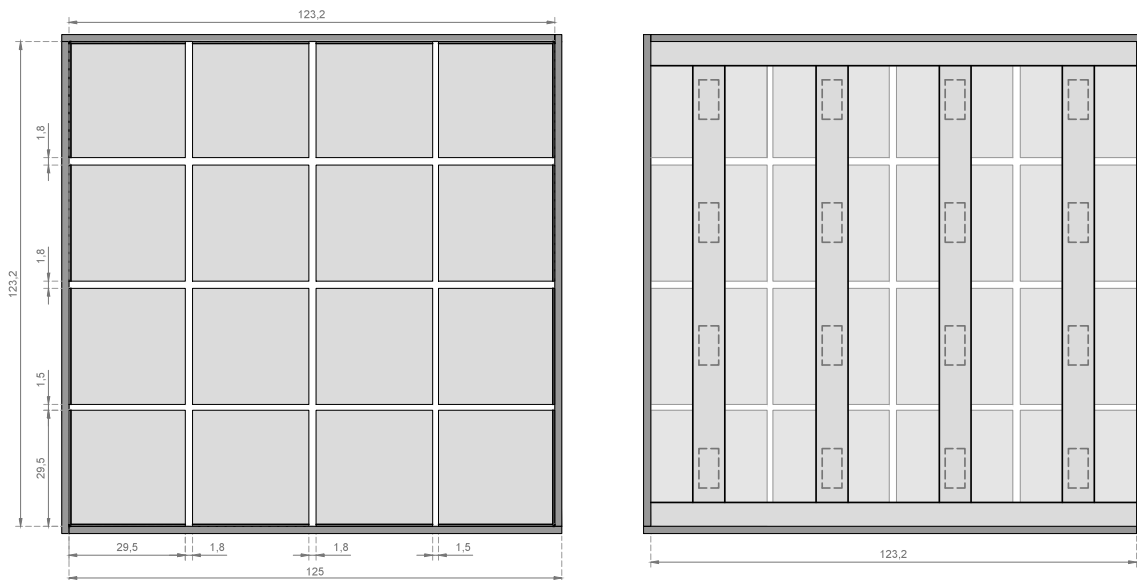
Oriented Strand Boards of OSB-platen zijn opgebouwd uit houtschilfers die met elkaar verlijmd worden en bij hoge temperatuur en hoge druk geperst worden. De houtschilfers van de buitenlagen zijn evenwijdig georiënteerd aan de plaatlengte en die van de binnenlaag zijn hierop dwars gericht. OSB-platen kunnen gebruikt worden als luchtdichting en verstijving van een houtskeletwand. De gebruikte OSB-platen zijn van het type OSB 3 en zijn bijgevolg geschikt voor last dragende constructies in vochtige omstandigheden. De dikte van de platen is 18 mm.

1.2 Testopstelling

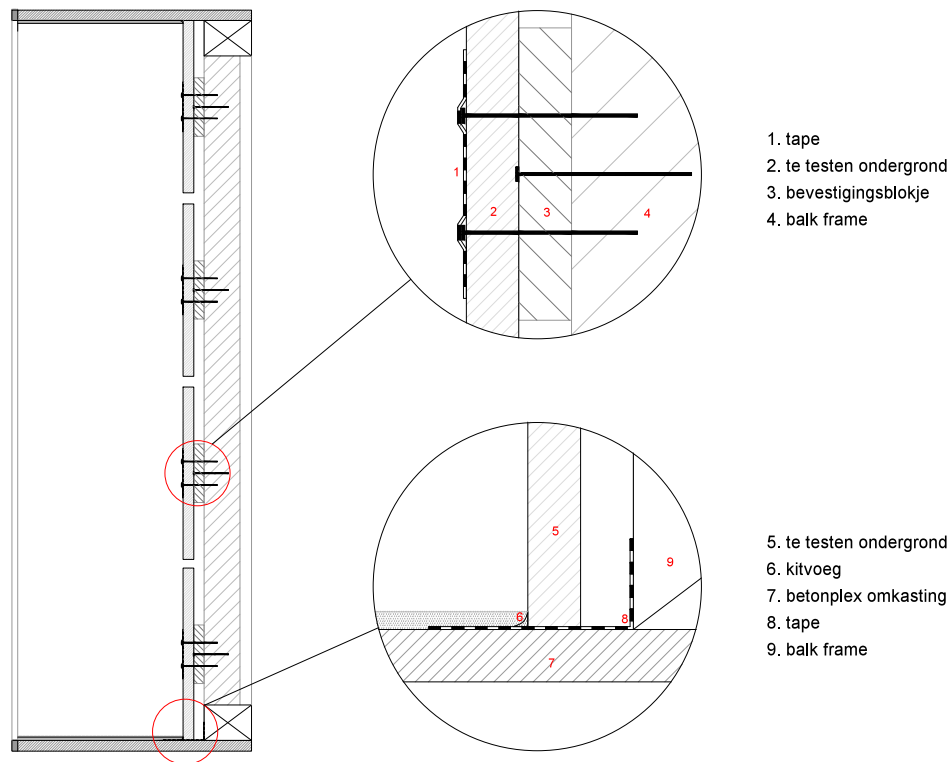
Vermits de te testen materialen om de voegen tussen prefabpanelen af te dichten enkel toegepast worden langs de buitenkant of binnenkant van het paneel, dienen enkel deze uiterste lagen gesimuleerd te worden. De zwelbanden zijn hierop een uitzondering aangezien deze tussen de panelen zelf geplaatst worden. Hiervoor zal dan ook een andere testopstelling gebruikt worden. Indien betonprefabpanelen toegepast worden bij een gevelrenovatie, bevindt er zich zowel langs de binnenkant als langs de buitenkant een betonpaneel. De betonpanelen kunnen dus dienst doen als luchtdichting en als wind- en regendichting. Indien er gekozen wordt om houtskeletpanelen toe te passen, kan er langs de buitenkant een gebitumineerde houtvezelplaat gebruikt worden als regen- en winddichting. Langs de binnenkant van het paneel kan een OSB-plaat gebruikt worden om een luchtdichting te creëren. Deze materialen zijn bijgevolg gekozen om als uiterste lagen te testen.

Voor dit onderzoek zijn drie testopstellingen gebouwd waarbij op iedere opstelling een andere ondergrond getest wordt, namelijk beton, gebitumineerde houtvezelplaat en OSB zoals reeds vermeld.

Elke opstelling is opgebouwd uit een houten frame met daarrond een omkasting bestaande uit betonplex. Deze betonplexplaten hebben een dikte van 18 mm en vormen een vierkant kader met een binnenafmeting van 1,232 m.



Figuur 1.6 Testopstelling vooraanzicht en achteraanzicht



Figuur 1.7 Details opbouw testopstelling

De hoeken die gevormd worden door de 4 platen zijn telkens dichtgekit met een universele silicone (fig. 1.7 nr. 6). In de hoek tussen de onderste balk van het frame en de omkasting is een tape gekleefd om te verhinderen dat water tijdens de waterdichtheidstesten via deze naad weg zou kunnen vloeien (fig. 1.7 nr. 8). De aansluiting tussen de bovenste balk van het frame en de omkasting wordt dichtgekit.

Er worden OSB-blokjes op het frame geschroefd om een afstand te creëren tussen de ondergrond en het frame (fig. 1.7 nr. 3). Hierdoor kan de volledige lengte van de voegen nog steeds bekeken worden langs de achterkant van de opstelling. Vervolgens wordt de ondergrond aan de hand van vierkante plaatjes van 29,5 cm op de blokjes geschroefd zodat drie horizontale en drie verticale voegen gecreëerd worden. Twee van de drie horizontale en verticale voegen hebben een breedte van 18 mm en de derde voeg heeft een breedte van 15 mm. Hierbij dient opgemerkt te worden dat niet al de opstellingen perfect gelijk opgebouwd zijn en er dus een speling van de breedte van de voegen is van ± 2 mm.



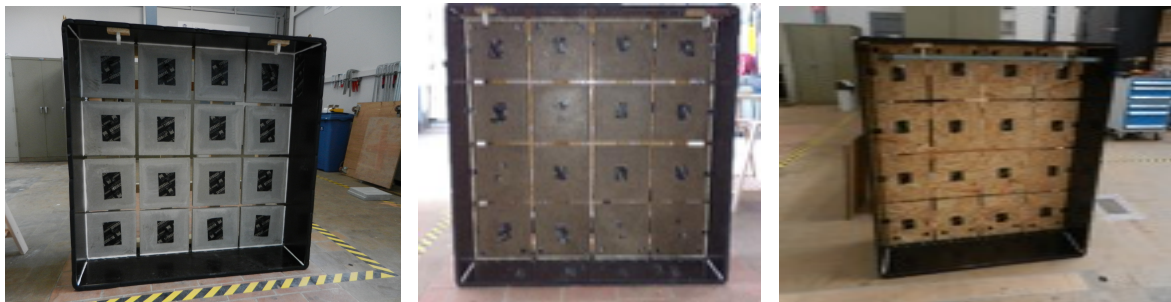
Figuur 1.8 Opbouw testopstelling

1. Algemeen

Achteraan de opstelling worden er extra blokjes tussen de ondergrond en het frame en tegen de omkasting geplaatst om extra steun voor de plaatjes te creëren en om ervoor te zorgen dat de plaatjes een effen oppervlak vormen. Hierdoor wordt een maximale oneffenheid van ± 5 mm gecreëerd. In werkelijkheid zullen prefabpanelen ook nooit volledig in hetzelfde vlak op elkaar aangesloten worden. Dit kan zijn omwille van een oneffenheid in de bestaande gevel, een onnauwkeurigheid bij de productie, het uitzetten of krimpen van de materialen of een menselijke fout bij plaatsing,... Bijgevolg leunt deze oneffenheid in de opstelling aan bij de praktijk en kan de invloed hiervan ook getest worden.

Vervolgens wordt een tape (fig. 1.7 nr. 1) gekleefd over de schroeven in de plaatjes zodat geen lucht of water via deze verbinding kan ontsnappen. Ook wordt de voeg tussen de plaatjes en de omkasting dichtgekit (fig. 1.7 nr. 6).

Er worden klemmen bevestigd aan de omkasting op een afstand van 25 cm van de ondergrond ter bevestiging van de leiding van het sproeisysteem. Ten slotte wordt er aan de kopse zijden van de omkasting een zwelband geplaatst.



Figuur 1.9 Testopstelling met betonondergrond, gebitumineerde houtvezelplaat en OSB

Om een goede hechting te kunnen realiseren tussen de gebitumineerde houtvezelplaat en de te testen materialen wordt deze plaat eerst behandeld met een primer.



Figuur 1.10 Behandeling houtvezelplaat met primer

1.3 Testprocedure

Elk afdichtingsmateriaal wordt onderworpen aan eenzelfde reeks van metingen waarbij een aantal parameters getest worden.

Parameters

Een eerste parameter die hierbij varieert is de **ondergrond**. De testreeks start steeds met een initiële lucht- en waterdichtheidstest waarbij de prestatie van de afdichtingsmaterialen op de verschillende ondergronden vergeleken kan worden.

De betonpanelen vormen elk een effen oppervlak en behouden hun afmetingen indien het vochtgehalte verandert. Ook zullen deze panelen onder invloed van luchtdrukpulsaties geen grote bewegingen ondergaan.

De gebitumineerde houtvezelplaten vormen tevens een effen oppervlak maar door hun vezelige structuur is een primer vereist om een goede hechting met de afdichtingsmaterialen te kunnen verzekeren. De afmetingen van de houtvezelplaten veranderen niet onder invloed van vocht. Door de geringe stijfheid van de platen, zullen deze bewegen onder invloed van luchtdrukpulsaties.

De verschillende houtschilfers waaruit de OSB-platen opgebouwd zijn, vormen kleine onregelmatigheden waardoor geen volledig effen oppervlak gevormd wordt. De lijm waarmee de schilfers samengehouden worden zorgt voor een zekere vochtwerendheid maar de afmetingen van de OSB-platen zullen echter wel verschillen naargelang de vochtigheid. Voornamelijk de dikte van de plaat zal hierbij veranderen. Vermits de gebruikte OSB-platen van het type OSB 3 zijn, hebben deze een redelijke mechanische sterkte. Hierdoor zullen de bewegingen onder invloed van luchtdrukpulsaties beperkt zijn, indien de plaatjes voldoende stevig bevestigd zijn.

Een tweede parameter die getest wordt, is de invloed van een **mechanische veroudering** van de afdichtingsmaterialen op de verschillende ondergronden. De afdichtingsmaterialen kunnen onderworpen worden aan grote winddrukken en dit voornamelijk tijdens de constructieperiode indien de gevelbekleding nog niet geplaatst is voor deze afdichting. Deze winddrukken worden gesimuleerd door het snel en herhaaldelijk opvoeren en verminderen van het drukverschil. Dit gebeurt aan de hand van 200 cycli waarbij er achtereenvolgens een overdruk en onderdruk gecreëerd wordt. Bij de eerst geteste afdichtingsmaterialen gebeurt dit in stappen van 50 cycli om een beter inzicht te krijgen in de effecten die hierdoor optreden. Bij de daaropvolgende testen zullen de afdichtingsmaterialen meteen onderworpen worden aan 200 cycli.

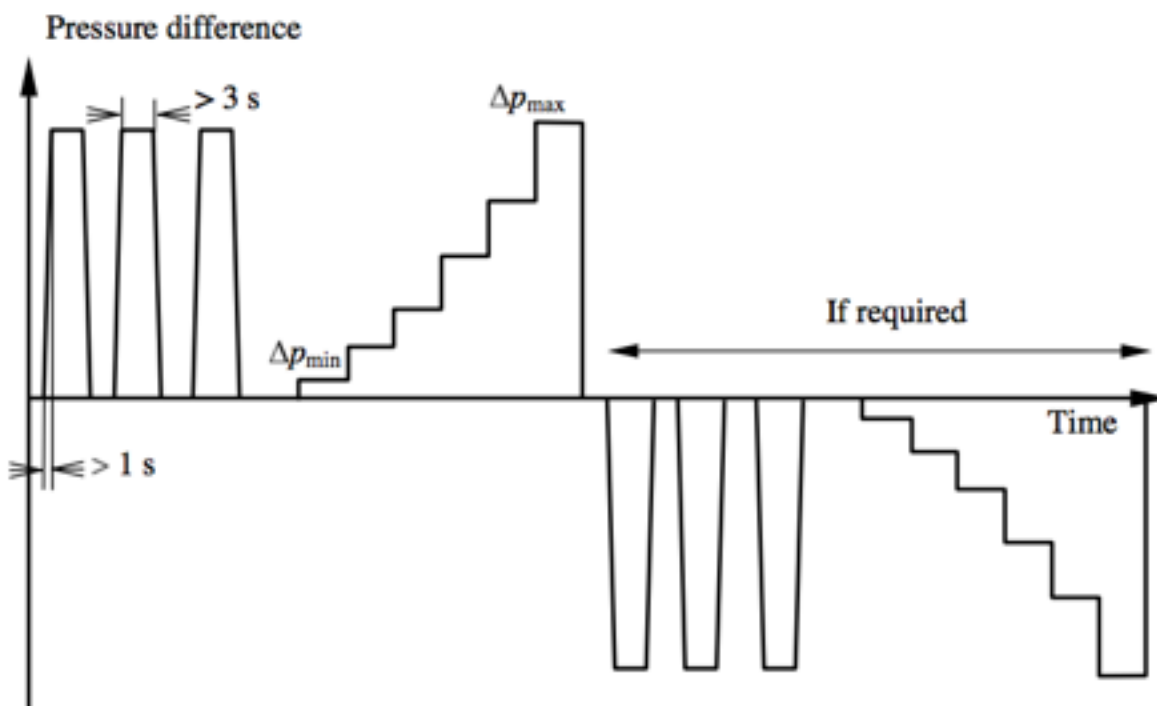
Een derde parameter is de invloed van **water**. Tijdens de constructieperiode kunnen de afdichtingsmaterialen onderworpen worden aan directe slagregen. Hierbij is het belangrijk na te gaan of er al dan niet waterinfiltratie optreedt door deze afdichtingsmaterialen op de verschillende ondergronden aangezien water of vocht achter de regendichting de structuur en de isolatie kunnen aantasten. Hierbij zal er ook getest worden wat de invloed is van een natte afdichting op de luchtdichtheid en of het water een invloed heeft op de prestatie van het afdichtingsmateriaal na uitdroging. Ten slotte zal er ook gekeken worden naar de invloed van de oriëntatie van het afdichtingsmateriaal op de waterdichtheid. Zo zal bij de eerste test eerst de horizontale voeg

bedekt worden en vervolgens de verticale. Bij een tweede test zal dit andersom gebeuren en bijgevolg ligt de afdichting van de verticale voeg dan onderaan en de horizontale voeg bovenaan.

Een laatste parameter die zal getest worden, is of de aanwezigheid van de **kruispunten** tussen een horizontale en verticale voeg al dan niet een grotere invloed heeft op de lucht- en waterdichtheid dan de rechte delen van de voegen. Dit zal getest worden door de kruispunten te bedekken met een luchtdichte coating en de verandering in lucht- en waterdichtheid te testen. Vervolgens wordt de volledige voeg bedekt met dezelfde luchtdichte coating zodat bepaald kan worden wat het exacte luchtlekdebiet is door het afdichtingsmateriaal.

Luchtdichtheid

De luchtdichtheid van de verschillende afdichtingsmaterialen wordt gemeten op basis van de norm *NBN EN 12114 Thermische eigenschappen van gebouwen - Luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen - Laboratoriumbeproevingsmethode*⁷⁹. Deze norm stelt dat het te testen element dient onderworpen te worden aan een serie van minstens zeven drukverschillen en dit zowel voor overdruk als onderdruk. Bij elke drukverhoging wordt vervolgens het luchtlekdebiet gemeten. Er wordt gekozen om de volgende acht drukverschillen toe te passen: 50-100-150-200-250-300-450-600 Pa. Telkens wordt eerst de test uitgevoerd voor overdruk en vervolgens voor onderdruk. Voorafgaande aan de test, wordt het element steeds onderworpen aan drie drukpulsen van 600 Pa. Figuur 1.11 toont het verloop van deze testen.

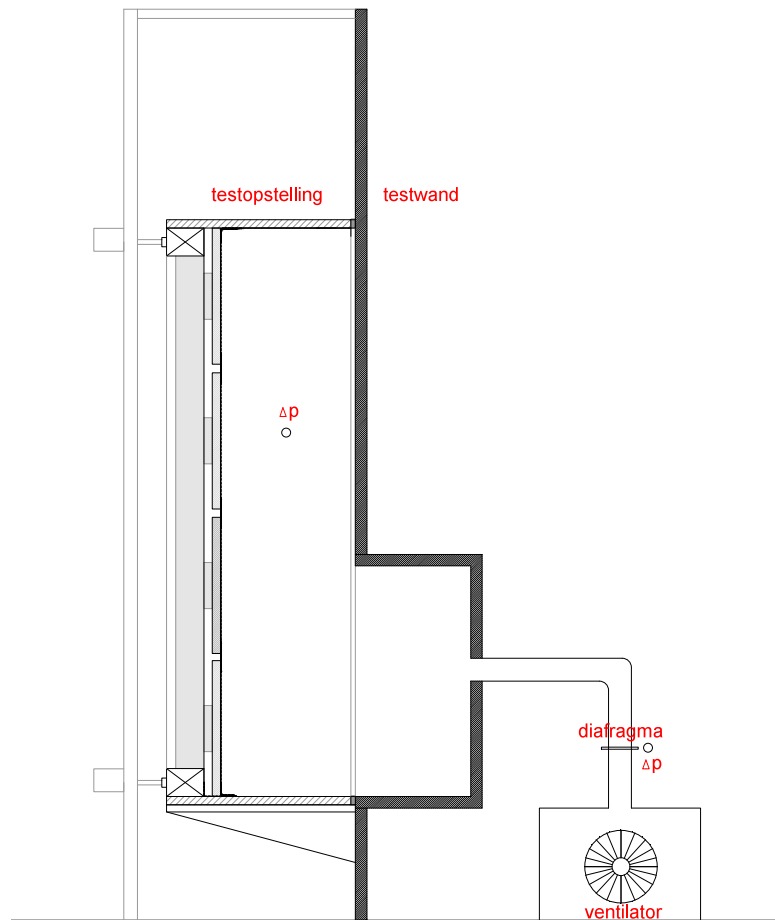


Figuur 1.11 Verloop luchtdichtheidstest

⁷⁹ NBN EN 12114 (2000). *Thermische eigenschappen van gebouwen - Luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen - Laboratoriumbeproevingsmethode*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normering

Na elke verhoging van de druk wordt er lang genoeg gewacht opdat de druk zich zou kunnen stabiliseren alvorens het luchtlekdebiet op te meten.

Deze drukverschillen worden gerealiseerd door de opstelling voor een testwand te plaatsen zoals aangegeven in figuur 1.12.



Figuur 1.12 Opstelling tegen testwand

De opstelling wordt pneumatisch tegen de testwand gedrukt en door de aanwezigheid van een zwelband aan de kopse zijde van de omkasting ontstaat hier een luchtdichte aansluiting. Er worden twee druksensoren aangesloten. Een van de twee druksensoren meet het drukverschil tussen de opstelling en de buitenomgeving en de andere meet het drukverschil over het diafragma dat zich tussen de ventilator en de opstelling bevindt. De druk wordt verhoogd totdat het gewenste drukverschil tussen de opstelling en de buitenomgeving bereikt wordt. Hierbij meet de druksensor ook het bijhorende drukverschil over het diafragma. Met dit drukverschil kan aan de hand van de *power law* het lekdebiet door de opstelling bepaald worden:

$$V = C \cdot \Delta p^n \quad [m^3/h]$$

met	V	=	luchtlekdebiet $[m^3/h]$
	C	=	stromingscoëfficiënt $[m^3/(h \cdot Pa^n)]$
	Δp	=	drukverschil $[Pa]$
	n	=	stromingsexponent $[-]$

1. Algemeen

Aangezien er zich in elk diafragma een afgelijnde opening bevindt, kan de stromingsexponent gelijk gesteld worden aan 0,5. Voor elk diafragma werd tijdens een kalibratie, die uitgevoerd is in 2009⁸⁰, de stromingscoëfficiënt bepaald binnen de $\pm 5\%$ nauwkeurigheidsgrens. Hierbij is diafragma 1 het diafragma met de kleinste opening en kan dus gebruikt worden voor het meten van kleine luchtlekdebieten, en diafragma 5 voor het meten van grote luchtlekdebieten.

$$C1 = 0,055$$

$$C2 = 0,112$$

$$C3 = 0,495$$

$$C4 = 2,298$$

$$C5 = 8,665$$

Bij iedere test wordt de temperatuur en de luchtvochtigheid gemeten en vervolgens worden de gevonden luchtlekdebieten omgezet naar referentieomstandigheden aan de hand van volgende formules:

$$V_0 = V \sqrt{(\rho/\rho_0)} \quad [m^3/h]$$

met	V_0	= gecorrigeerd luchtlekdebet bij referentiecondities $[m^3/h]$
	V	= gemeten luchtlekdebet $[m^3/h]$
	ρ_0	= luchtdichtheid bij referentiecondities = $1,1988 \text{ kg/m}^3$
	ρ	= luchtdichtheid bij laboratoriumcondities $[kg/m^3]$

$$\rho = (p_a - 0,378802 p_w) / (287,055 T)$$

met	p_a	= atmosferische druk $[Pa]$
	T	= absolute temperatuur $[K]$
	p_w	= waterdampdruk $[Pa]$

$$p_w = 610,5 \Phi \exp ((21,875 (T-273,15)) / (T - 7,65))$$

met	Φ	= relatieve vochtigheid $[\%]$
	T	= absolute temperatuur $[K]$

Ten slotte wordt het luchtlekdebet uitgezet in een grafiek ten opzichte van het drukverschil en dit zowel voor overdruk als onderdruk. De relatie tussen beide wordt hierbij gefit aan de eerder vermelde *power law*, waarbij de stromingscoëfficiënt en de stromingsexponent bepaald worden. Deze bepalen ook meteen de aard van de luchtstroom doorheen de opstelling.

⁸⁰ Testcentrum voor Gevelelementen (2009). *Controleverslag Ref.: 839/62 AEV Ramentestbank FIMEP P100*

Foutenanalyse

Om een vergelijking te maken van de prestatie van de verschillende afdichtingsmaterialen wordt steeds het luchtlekdebiet berekend bij een drukverschil van 50 Pa. Dit luchtlekdebiet en de bijhorende stromingscoëfficiënt C en de stromingsexponent n worden bepaald door de metingen te fitten aan de *power law*. Bijgevolg dient men rekening te houden met twee soorten fouten, namelijk de fout bij het meten van de individuele waarden en de fout bij het verwerken van de gegevens en dus het fitten naar de *power law*.

De eerste fout waarmee rekening gehouden moet worden, is de fout op de meetinstrumenten bij de omzetting van de meetwaarden naar referentiecondities. De Monte-Carlo analyse van 1000 simulaties toont echter aan dat de maximale fout beperkt is tot 0,14% en daardoor verwaarloosbaar is.

Vervolgens dient er ook rekening gehouden te worden met de onnauwkeurigheden van de meetapparatuur. Zo is de nauwkeurigheid van de testwand zelf vastgesteld op 3,965%. Deze waarde ligt binnen de grens van 5% die voorgeschreven is door NBN EN 12114.

De onzekerheid van de stromingscoëfficiënt en de stromingsexponent wordt bepaald aan de hand van de linearisatie en best fit naar de *power law*. De foutenpropagatie in de *power law* kan vervolgens bepaald worden aan de hand van volgende formule:

$$\sigma_v^2 = \sigma_C \cdot \sigma_n [(\Delta p^n)^2 \cdot \sigma_C / \sigma_n + (C \cdot \Delta p^n \cdot \ln(\Delta p))^2 \cdot \sigma_n / \sigma_C + 2C \cdot \Delta p^{2n} \cdot \ln(\Delta p) \cdot r]$$

met	σ_v	=	standaardafwijking van het luchtlekdebiet [m^3/h]
	σ_C	=	standaardafwijking van de stromingscoëfficiënt [$m^3/(h \cdot Pa^n)$]
	Δp	=	drukverschil [Pa]
	σ_n	=	standaardafwijking van de stromingsexponent [-]
	r	=	Pearson's correlatiecoëfficiënt

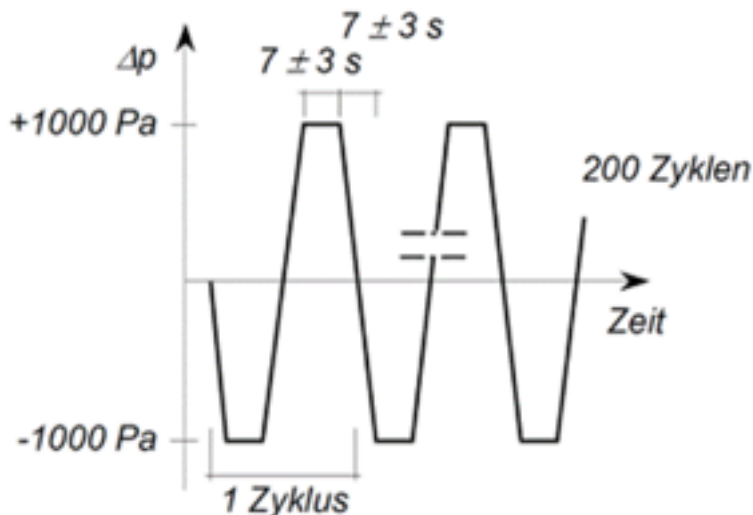
Deze laatstgenoemde Pearson's correlatiecoëfficiënt wordt op basis van een 30-tal metingen gelijk gesteld aan -0,5. Hieruit volgt dat C en n negatief gecorreleerd zijn. Dit is zoals verwacht aangezien dat een overschatting van C nooit gepaard zal gaan met een overschatting van n en omgekeerd.

Ten slotte zal er bepaald worden wat het luchtlekdebiet is door de combinatie van de ondergrond en het afdichtingsmateriaal. Bijkomend wordt ook het luchtlekdebiet door het afdichtingsmateriaal zelf bepaald. Om deze nettowaarden te bekomen, zal er van de meetwaarde een referentiewaarde afgetrokken worden. Beide waarden zijn gemeten aan dezelfde testwand dus in principe zijn de absolute fouten systematisch en moeten ze opgeteld worden. De fouten bij de fitting naar de *power law* zijn echter bepalend en aangezien deze niet gecorreleerd zijn voor de verschillende metingen, moeten de absolute fouten kwadratisch opgeteld worden.

Algemeen kan dus gesteld worden dat de totale onzekerheid steeds afhankelijk is van de meting zelf en de referentiemeting. De fout is hierbij samengesteld uit een relatieve fout van 3,965% per meting, de gepropageerde fout door een curve te fitten door 8 meetpunten (8 lekdebieten bij 8 drukverschillen), de extrapolatie van de curve naar één lekdebiet bij 50 Pa en het effect van twee lekdebieten van elkaar af te trekken.

Mechanische veroudering

De mechanische veroudering van de afdichtingsmaterialen op de verschillende ondergronden wordt uitgevoerd door het drukverschil herhaaldelijk op te voeren en te verminderen en gedurende een korte periode stabiel te houden. Hierdoor wordt de opstelling belast met een winddrukpulsatiebelasting en dit met drukamplitudes zoals beschreven in NBN EN 12211 *Ramen en deuren - Weerstand tegen windbelasting - Beproevingmethode*⁸¹. In totaal worden er 200 drukcycli uitgevoerd met een amplitude van +/- 1000 Pa.



Figuur 1.13 Verloop mechanische veroudering

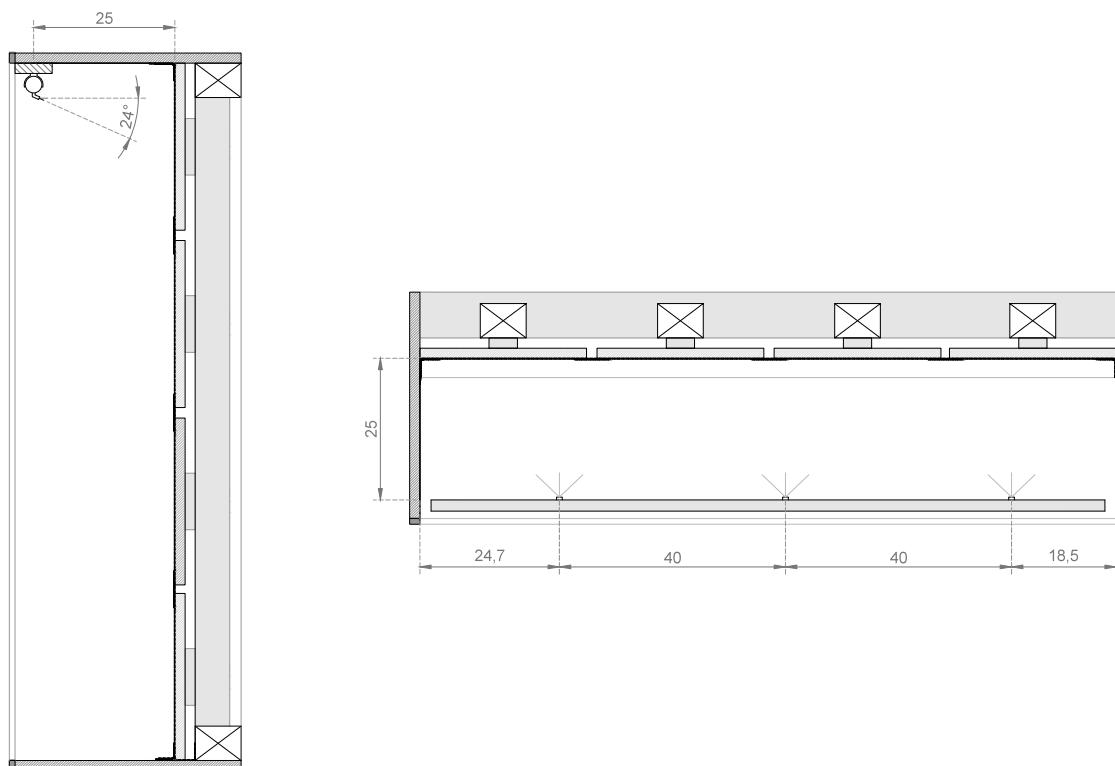
Waterdichtheid

De waterdichtheid van de verschillende afdichtingsmaterialen wordt getest aan de hand van de norm NBN EN 1027 *Ramen en deuren - Waterdichtheid - Beproevingmethode*⁸². Samenvattend stelt deze norm dat de opstelling besproeid moet worden met een bepaalde hoeveelheid water en terwijl onderworpen dient te worden aan toenemende drukverschillen op regelmatige tijdsintervallen. Hierbij dienen steeds de beproevingsdruk en de plaats waar er water door de opstelling infiltreert, genoteerd te worden.

Voor het starten van de test dient er gekozen te worden voor spuitmethode A of B in functie van de plaatsen van het te testen element in het voorziene bouwwerk. Voor dit onderzoek wordt gekozen voor spuitmethode A. Dit heeft als gevolg dat de sproeierlijn zich op een afstand van $250 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ moet bevinden ten opzichte van het buitenvlak van de te testen ondergrond. Ook dient de hoek tussen de as van de sproeiers en de horizontale gelijk te zijn aan $24^\circ \pm 1^\circ$. Figuur 1.14 toont op welke manier dit is toegepast in de opstelling.

⁸¹ NBN EN 12211 (2000). *Ramen en deuren - Weerstand tegen windbelasting - Beproevingmethode*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normering

⁸² NBN EN 1027 (2000). *Ramen en deuren - Waterdichtheid - Beproevingmethode*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normering



Figuur 1.14 Plaatsing sproeiers

Zoals de norm stelt is de horizontale afstand tussen de sproeiers gelijk aan $400 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ en is de afstand tussen de buitenste sproeiers en de rand van de omkasting gelegen tussen 50 mm en 250 mm.

Voor elementen met een hoogte kleiner dan 2,5 m en spuitmethode 1A dient een werkelijk waterdebiet toegepast te worden van 2 l/min/m^2 . Vermits de testopstelling een oppervlakte heeft van $1,52 \text{ m}^2$ komt dit neer op een waterdebiet van $3,04 \text{ l/min}$ of $182,4 \text{ l/h}$.

De metingen worden steeds uitgevoerd binnen de gestelde condities:

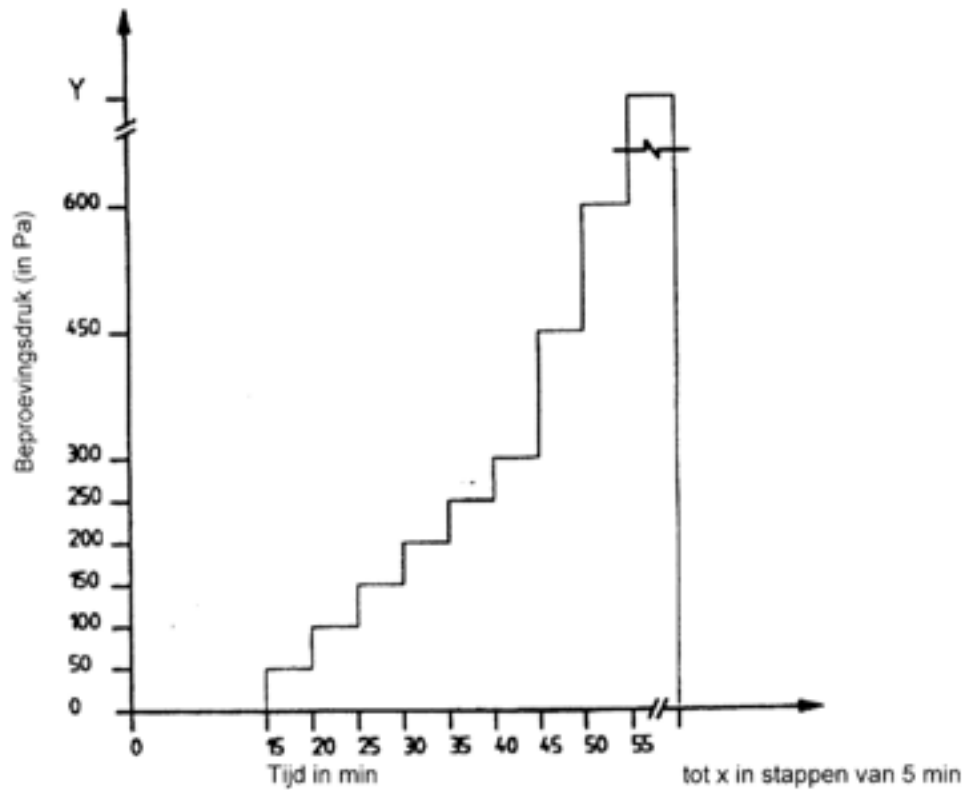
- de temperatuur van het gebruikte water ligt tussen 4°C en 30°C
- de omgevingstemperatuur ligt tussen 10°C en 30°C
- relatieve vochtigheid ligt tussen 25% en 75%
- en het testelement heeft zich gedurende minstens 4 uur aangepast aan deze referentiecondities.

Aangezien er telkens voor een waterdichtheidstest een luchtdichtheidsmeting wordt uitgevoerd, zal de opstelling reeds onderworpen zijn aan drie drukstoten van 600 Pa.

Figuur 1.15 toont het verloop van de waterdichtheidstest. Deze start steeds met het spuiten van water bij een drukverschil van 0 Pa gedurende 15 minuten. Daarna zal de druk verhoogd worden na elke $5 \text{ minuten} \pm 1 \text{ minuut}$. De norm stelt dat de test eindigt wanneer een waterlek wordt waargenomen. In dit onderzoek eindigt de test echter wanneer geen visueel onderscheid meer kan gemaakt worden tussen de verschillende waterlekken. Dit om na te gaan of het eerste lek niet louter ontstaan is door een verkeerde plaatsing van het afdichtingsmateriaal of dat het effectief een lek is door de aansluiting van het materiaal op de ondergrond of eventueel nog een andere

1. Algemeen

oorzaak. De duur van de test is bijgevolg afhankelijk van de waterdichtheid van het materiaal. Na elke 5 minuten zal de druk verhoogd worden met dezelfde stappen als diegene die gebruikt worden bij de luchtdichtheidstest namelijk 50-100-150-200-250-300-450-600 Pa. Indien er bij een drukverschil van 600 Pa nog geen lekken vastgesteld zijn, wordt de druk nog verhoogd tot een drukverschil van 750-900 Pa.



Figuur 1.15 Verloop waterdichtheidstest

Hoofdstuk 2

Luchtdichtheid

In dit hoofdstuk worden de resultaten weergegeven van de verschillende afdichtingsmaterialen op de drie ondergronden op vlak van luchtdichtheid. Eerst worden telkens de resultaten besproken per afdichtingsmateriaal. Hierbij kunnen de resultaten op de verschillende ondergronden met elkaar vergeleken worden. Vervolgens worden alle afdichtingsmaterialen ten opzichte van elkaar bekeken en worden conclusies getrokken over de prestaties van de materialen onderling.

De luchtdichtheid van de verschillende afdichtingsmaterialen op de drie verschillende ondergronden wordt bepaald door middel van een vaste reeks testen. Een initiële luchtdichtheidstest wordt uitgevoerd nadat het afdichtingsmateriaal bevestigd is op de ondergrond. Hierbij wordt de tijdsduur gerespecteerd voor uitharding of hechting van het materiaal zoals beschreven in de technische fiches alvorens de eerste test te starten. Vervolgens wordt een mechanische veroudering uitgevoerd aan de hand van 200 drukcycli van +/- 1000 Pa. De luchtdichtheid wordt opnieuw gemeten en vergeleken met de initiële test. Hierbij wordt de invloed nagegaan van de blootstelling aan hoge winddrukken. Nadien wordt de opstelling met water besproeid (benat) tijdens een waterdichtheidstest. De tijdsduur en het drukverschil waarbij de opstelling wordt blootgesteld aan water, is dus afhankelijk van de waterdichtheid van het materiaal. Vervolgens wordt opnieuw de luchtdichtheid gemeten van de opstelling in natte toestand. Hierbij wordt de invloed van slagregen nagegaan op de luchtdichtheid van het afdichtingsmateriaal in combinatie met de verschillende ondergronden. Na 24 uur droging wordt opnieuw een luchtdichtheidstest uitgevoerd om te bepalen of het materiaal een verandering heeft ondergaan tengevolge van het benatten en het opnieuw uitdrogen. Hierdoor kan nagegaan worden of er al dan niet een verminderde hechting van het materiaal op de ondergrond ontstaat.

Ten slotte worden systematisch de kruispunten, de volledige voegen, de zijkanalen en het volledige oppervlak bedekt met een luchtdichte coating om te bepalen wat de kritieke punten zijn voor de luchtdichtheid en om eventuele verbeteringen te kunnen aanbrengen.

Al de testen worden eerst uitgevoerd in overdruk en vervolgens in onderdruk. Het gemiddelde van deze resultaten wordt steeds weergegeven.

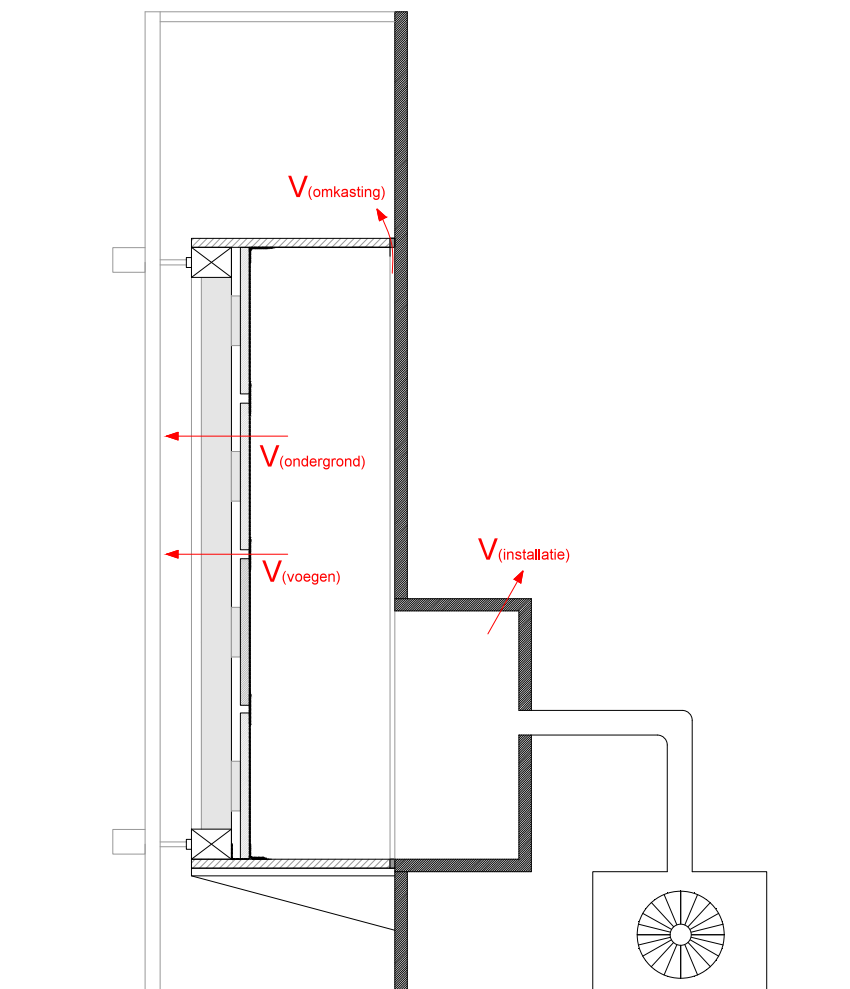
2.1 Referentiemetingen

De prestatie van de verschillende afdichtingsmaterialen wordt telkens weergegeven aan de hand van drie luchtlekdebieten.

Er wordt gestart vanuit het gemeten luchtlekdebiet dat kan opgedeeld worden in de som van meerdere lekdebieten.

$$\text{gemeten lekdebiet} = V_{(\text{voegen})} + V_{(\text{ondergrond})} + V_{(\text{omkasting})} + V_{(\text{installatie})} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Figuur 2.1 toont de verschillende lekdebieten die hierbij onderscheiden kunnen worden.



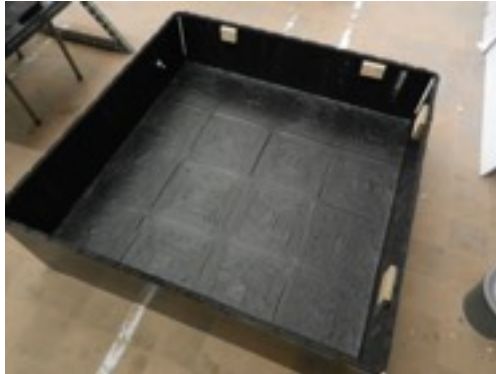
Figuur 2.1 Verdeling gemeten lekdebiet

Hierbij is $V_{(\text{installatie})}$ het lekdebiet dat door kleine openingen in de testwand en de installatie zelf wegvloeit. $V_{(\text{omkasting})}$ is het lekdebiet dat ontstaat door het niet perfect aansluiten van de zwelband tegen de testwand of door kleine gaatjes in de kitvoeg tussen de betonplexplaten. Indien de som van deze twee lekdebieten wordt afgetrokken van het gemeten lekdebiet, kan het lekdebiet

bepaald worden dat door de combinatie van de ondergrond met het afdichtingsmateriaal over de voegen gaat. Dit lekdebiet wordt het lekdebiet door het gehele oppervlak genoemd.

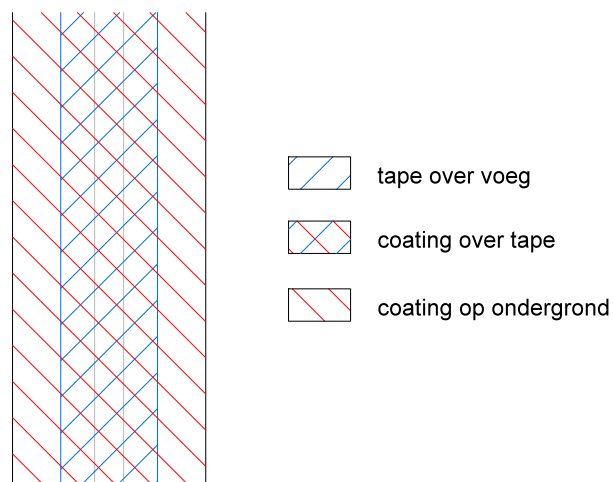
$$\text{lekdebiet door oppervlak} = V_{(\text{voegen})} + V_{(\text{ondergrond})} = \text{gemeten lekdebiet} - V_{(\text{omkasting})} - V_{(\text{installatie})} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

De som van het lekdebiet door de omkasting en de installatie wordt gemeten door de combinatie van de ondergrond en het afdichtingsmateriaal te bedekken met een luchtdichte coating. Deze meting wordt uitgevoerd voor de drie verschillende opstellingen in droge en natte toestand. Er wordt vanuit gegaan dat de bekomen waarde steeds dezelfde is voor elke daaropvolgende meting.



Figuur 2.2 Oppervlak bedekt met luchtdichte coating

Ten slotte wordt er gemeten wat het lekdebiet is dat enkel door het afdichtingsmateriaal gaat dat de voegen bedekt. Dit wordt bepaald door het afdichtingsmateriaal - en bijgevolg de volledige voegen - te bedekken met een luchtdichte coating. Hierbij dient opgemerkt te worden dat ook een strook naast het afdichtingsmateriaal bedekt werd met de luchtdichte coating om de zijdelingse luchtlekkages onder het afdichtingsmateriaal mee in rekening te kunnen brengen. Vermits de lucht die initieel door de bedekte strook van de ondergrond stroomde niet tot het lekdebiet van de voegen behoort, dient een correctie uitgevoerd te worden.



Figuur 2.3 Correctie lekdebiet door voegen

2. Luchtdichtheid

De meting waarbij de voegen bedekt zijn, omvat het lekdebiet door de ondergrond, de omkasting en de installatie. Indien deze vervolgens afgetrokken wordt van het volledig gemeten lekdebiet en de correctie gemaakt wordt voor het bedekte deel van de ondergrond, bekomt men het lekdebiet dat enkel door de voegen gaat.

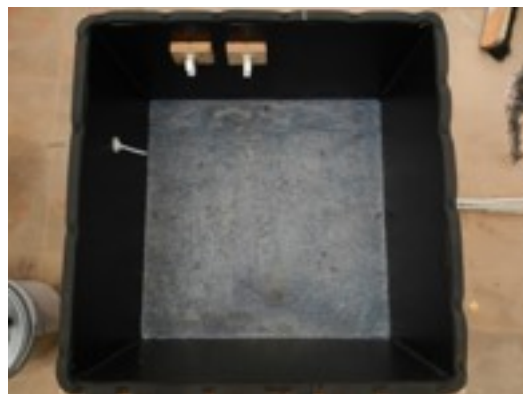
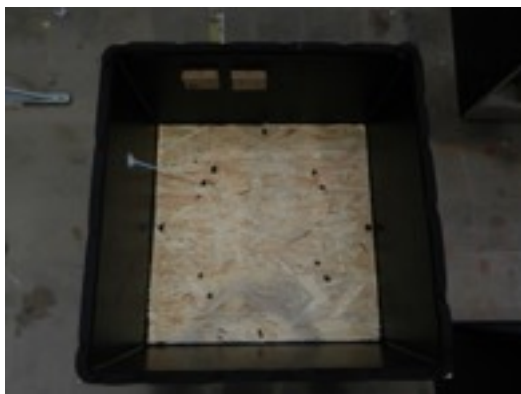
$$\text{lekdebiet door voegen} = V_{(\text{voegen})} = \text{gemeten lekdebiet} - V_{(\text{voegen bedekt})} - V_{(\text{door coating op ondergrond})} \quad [m^3/h]$$

$$V_{(\text{voegen})} = V_{(\text{gemeten})} - V_{(\text{ondergrond})} - V_{(\text{omkasting})} - V_{(\text{installatie})} \quad [m^3/h]$$



Figuur 2.4 Voegen bedekt met luchtdichte coating

Het al dan niet luchtdicht zijn van de gebruikte coating wordt getest aan de hand van een OSB-plaat die bevestigd is op een kleine testopstelling. Deze kleine opstelling wordt op dezelfde manier opgebouwd als de grote testopstelling die voor alle andere testen gebruikt wordt. Initieel wordt er bepaald dat deze kleine testopstelling op zich luchtdicht is. Vervolgens wordt het lekdebiet bepaald van de OSB-plaat en ten slotte wordt deze plaat volledig bedekt met twee lagen van de luchtdichte coating en wordt er gewacht totdat deze volledig uitgehard is. Er wordt opnieuw een luchtdichtheidstest uitgevoerd en hierbij wordt er geen lekdebiet meer gemeten. Er wordt besloten dat de coating luchtdicht is.



Figuur 2.5 Testen luchtdichte coating

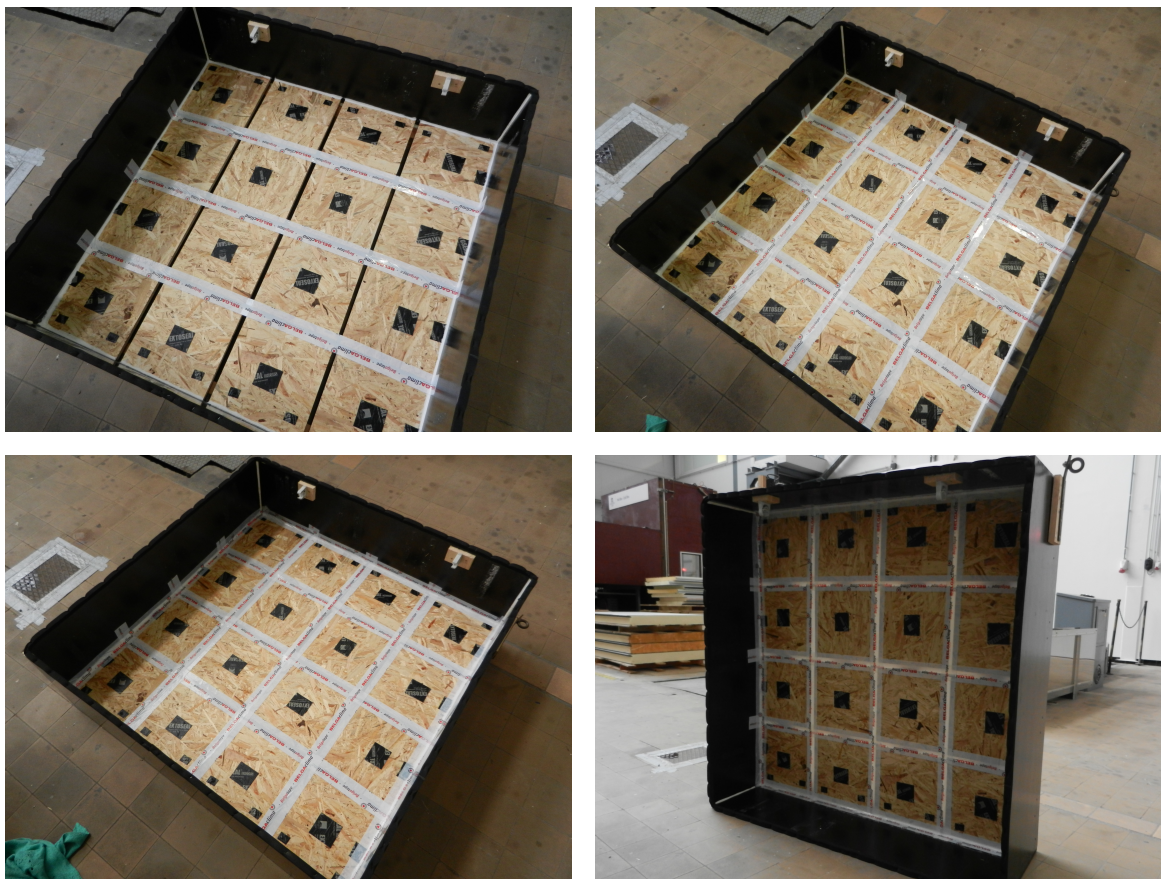
2.2 Tapes

Tapes worden als eerste soort afdichting getest. Hierbij worden drie soorten tapes behandeld.

Tape A heeft een breedte van 60 mm en is opgebouwd uit een witte LPDE film met diagonale versterking. **Tape B** heeft een breedte van 100 mm en is opgebouwd uit een gewijzigd polyamide, een versterkte folie-vlies combinatie en een acrylaatlijm. En ten slotte heeft **tape C** een breedte van 60 mm en is opgebouwd uit een speciaal vlies van polypropyleen en een watervaste SOLID-lijm.

Tape A en B worden getest op de drie verschillende ondergronden namelijk beton, houtvezelplaat en OSB. Tape C wordt enkel getest op de houtvezelplaat en de OSB-ondergrond.

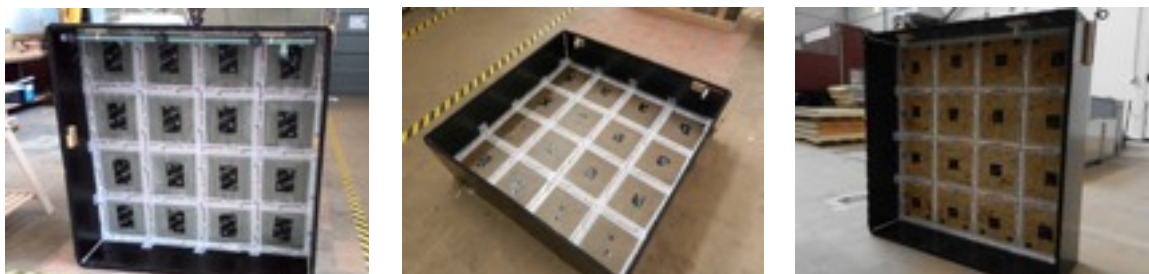
Bij het verkleven van de tapes worden telkens eerst de horizontale voegen bedekt en vervolgens de verticale voegen. Ten slotte worden ook de zijkanten afgetapet zodat de hoeken die gemaakt worden tussen de ondergrond en de omkasting, geen invloed kunnen hebben.



Figuur 2.6 Opbouw tape A op OSB-opstelling

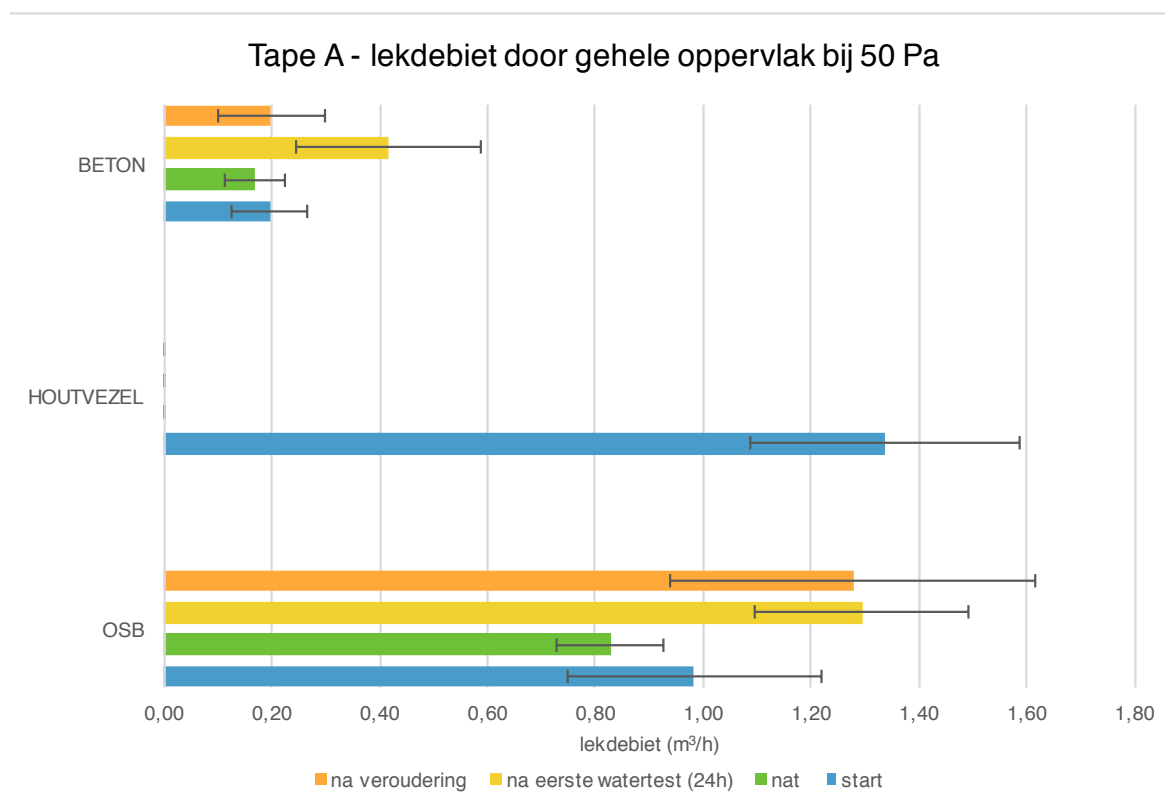
Tape A

Tape A werd gekleefd op zowel de betonondergrond als de houtvezelplaat en de OSB-ondergrond. Dit gebeurde telkens op dezelfde manier zoals hiervoor beschreven. Vervolgens werden achtereenvolgens een initiële luchtdichtheidstest, een test in natte toestand, na 24 uur uitdroging en ten slotte een test na een mechanische veroudering uitgevoerd.



Figuur 2.7 Tape A op beton, houtvezelplaat en OSB

Grafiek 2.1 toont het lekdebiet door de combinatie van de tape en de verschillende ondergronden en dit bij een drukverschil van 50 Pa.



Grafiek 2.1 Tape A lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa

Hierbij dient eerst opgemerkt te worden dat de meting van de betonondergrond na 24 uur droging niet representatief is, vermits er een lek ontstaan was ter hoogte van de zwelband. Deze meting werd bijgevolg vervangen door het resultaat dat bekomen werd bij de test na 24 uur droging na de eerste 50 cycli van 1000 Pa.

Vervolgens toont grafiek 2.1 enkel het resultaat van de startmeting op de gebitumineerde houtvezelplaat die eerst behandeld werd met een primer. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze meting uitgevoerd werd drie weken na het plaatsen van de tape. De initiële startmeting meteen na het kleven van de tape vertoonde een kleiner lekdebiet. Dit kan te wijten zijn aan het feit dat initieel de tape voldoende hard werd aangedrukt maar na verloop van tijd een verminderde hechting optrad. Een andere oorzaak kan ook het niet voldoende uitharden van de primer zijn vooraleer de tape geplaatst werd. Na drie weken werd een nieuwe luchtdichtheidstest uitgevoerd waarbij een hoger lekdebiet gemeten werd. Vervolgens werd de tape benat waardoor deze aan de kruispunten bijna volledig loskwam. Er kon geen stabiel drukverschil meer gecreëerd worden. Tape A faalde dus op de met primer behandelde houtvezelplaat bij de uitgevoerde test.



Figuur 2.8 Loskomen van tape A op gebitumineerde houtvezelplaat

Indien het initiële resultaat en de waarde in natte toestand van de betonopstelling met elkaar vergeleken worden, wordt er vastgesteld dat er geen significant verschil is tussen deze waarden volgens een significantieniveau van 0,01⁸³. Indien eenzelfde vergelijking gemaakt wordt voor de OSB-opstelling, wordt er echter wel een significant verschil vastgesteld. Dit kan te wijten zijn aan het feit dat bij de OSB-opstelling in natte toestand de poriën van de OSB gevuld worden met water en hierdoor deze waterdruppeltjes de lucht tegenhouden en bijgevolg de luchtdichtheid verbetert. De vraag die hierbij kan gesteld worden, is of ook de tape beïnvloed wordt door het benatten en eventuele openingen gevuld worden met waterdruppeltjes.

Beton wordt echter als luchtdicht beschouwd en zal het lekdebiet in natte toestand dus niet beïnvloeden. Bijgevolg wordt er besloten dat het benatten geen invloed heeft op de luchtdichtheid van de tape op de betonondergrond en waarschijnlijk ook niet op de OSB-ondergrond. Dit zal verder onderzocht worden in 2.5 *Ondergronden* door te bepalen hoe groot de verandering is van het luchtlekdebiet van de OSB-ondergrond na benatten.

Indien vervolgens het initiële resultaat vergeleken wordt met de waarde na 24 uur uitdroging na uitvoering van de eerste watertest, wordt er vastgesteld dat er zowel voor de betonondergrond als

⁸³ Berekend aan de hand van de formules die teruggevonden kunnen worden in Taerwe, L. (2011). *Statistiek en gegevensverwerking*. Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

2. Luchtdichtheid

de OSB-ondergrond een significant verschil is tussen deze resultaten. Voor de OSB-ondergrond kan een verhoging van het lekdebiet te wijten zijn aan het opzwellen van de OSB. De vraag hierbij - net zoals bij de tape in natte toestand - is of de verhoging van het lekdebiet enkel te wijten is aan de OSB of ondergaat de tape ook een verandering. Vermits voor de betonondergrond ook een verhoging van het luchtlekdebiet vastgesteld wordt en vermits beton geen volumeverandering ondergaat in natte of uitgedroogde toestand, wordt er besloten dat een verminderde hechting van de tape ontstaan is na 24 uur uitdroging.

Indien ten slotte de waarde na 24 uur uitdroging vergeleken wordt met de waarde na mechanische veroudering, wordt er vastgesteld dat het luchtlekdebiet door de tape op de betonondergrond vermindert. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat deze vermindering slechts zichtbaar is vanaf de laatste 50 cycli van 1000 Pa na 24 uur uitdroging. Indien eenzelfde vergelijking gemaakt wordt voor de OSB-ondergrond, wordt er geen verschil vastgesteld tussen de meting na 24 uur uitdroging en na veroudering.

Vervolgens worden systematisch de kruispunten, de hele voegen, de zijkanten en het volledige oppervlak bedekt met een luchtdichte coating zodat een verdeling kan gemaakt worden van het volledige luchtlekdebiet.



Figuur 2.9 Kruispunten, voegen, zijkanten en volledige oppervlak bedekt

Grafiek 2.2 toont het resultaat van de verdeling van het lekdebiet voor tape A op de betonondergrond en de OSB-ondergrond. Het lekdebiet na veroudering wordt hierbij opgedeeld in het lekdebiet door de kruispunten, door de voegen, door de zijkanten, door de ondergrond en ten slotte door de omkasting.

$$V_{(na\ veroudering)} = V_{(kruispunten)} + V_{(voegen)} + V_{(zijanten)} + V_{(ondergrond)} + V_{(omkasting)}$$

Bijgevolg kan het lekdebiet door de kruispunten bepaald worden door de meting waarbij de kruispunten bedekt zijn, af te trekken van het lekdebiet na veroudering. Het lekdebiet door de voegen kan vervolgens bepaald worden door de meting waarbij de volledige voegen bedekt zijn, af te trekken van het resultaat van de meting waarbij enkel de kruispunten bedekt zijn. Op eenzelfde manier worden ook het lekdebiet door de zijanten en het lekdebiet door de ondergrond bepaald.

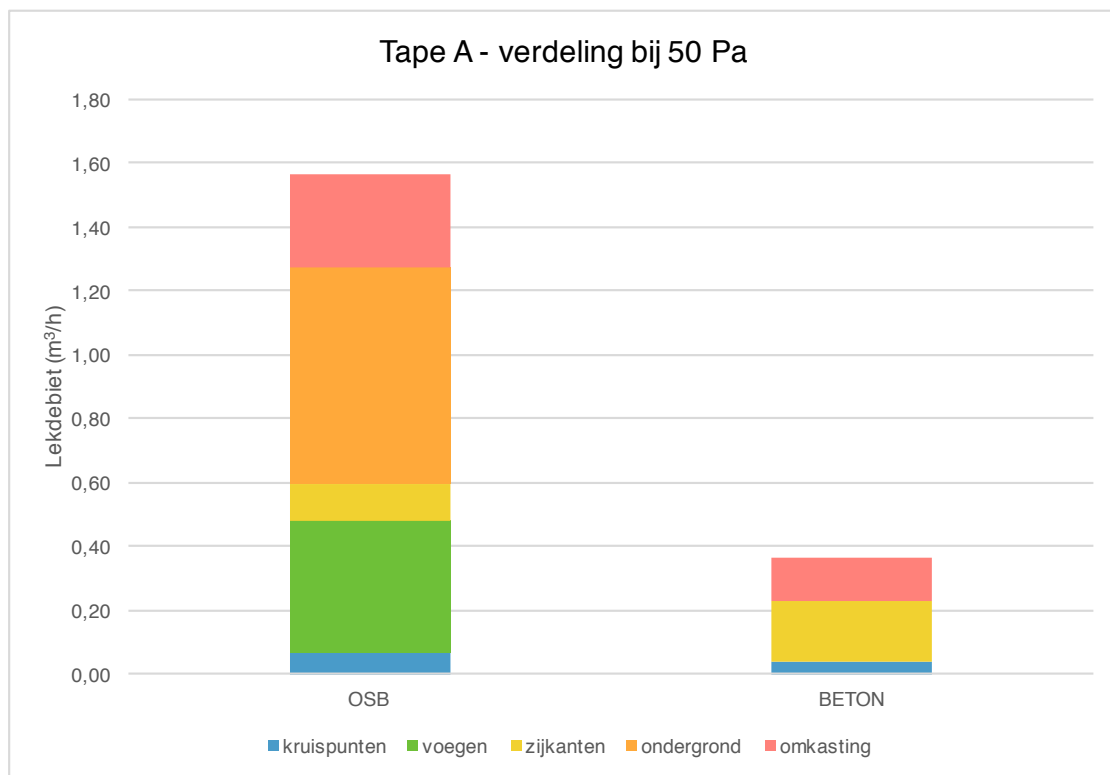
$$V_{(kruispunten)} = V_{(na\ veroudering)} - V_{(kruispunten\ bedekt)} = V_{(na\ veroudering)} - V_{(voegen)} - V_{(zijanten)} - V_{(ondergrond)} - V_{(omkasting)}$$

$$V_{(voegen)} = V_{(kruispunten\ bedekt)} - V_{(kruispunten\ voegen\ bedekt)}$$

$$V_{(zijanten)} = V_{(kruispunten\ en\ voegen\ bedekt)} - V_{(voegen\ en\ zijanten\ bedekt)}$$

$$V_{(ondergrond)} = V_{(voegen\ en\ zijanten\ bedekt)} - V_{(alles\ bedekt)}$$

$$V_{(omkasting)} = V_{(alles\ bedekt)}$$



Grafiek 2.2 Tape A verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa

Tape A - verdeling bij 50 Pa									
	OSB				BETON				
kruispunten	0,07	±	0,42	m³/h	0,04	±	0,11	m³/h	
voegen	0,41	±	0,43	m³/h	-0,01	±	0,11	m³/h	
zijanten	0,11	±	0,34	m³/h	0,19	±	0,32	m³/h	
ondergrond	0,68	±	0,18	m³/h	-0,02	±	0,09	m³/h	
omkasting	0,29	±	0,12	m³/h	0,14	±	0,06	m³/h	

Tabel 2.1 Tape A verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa

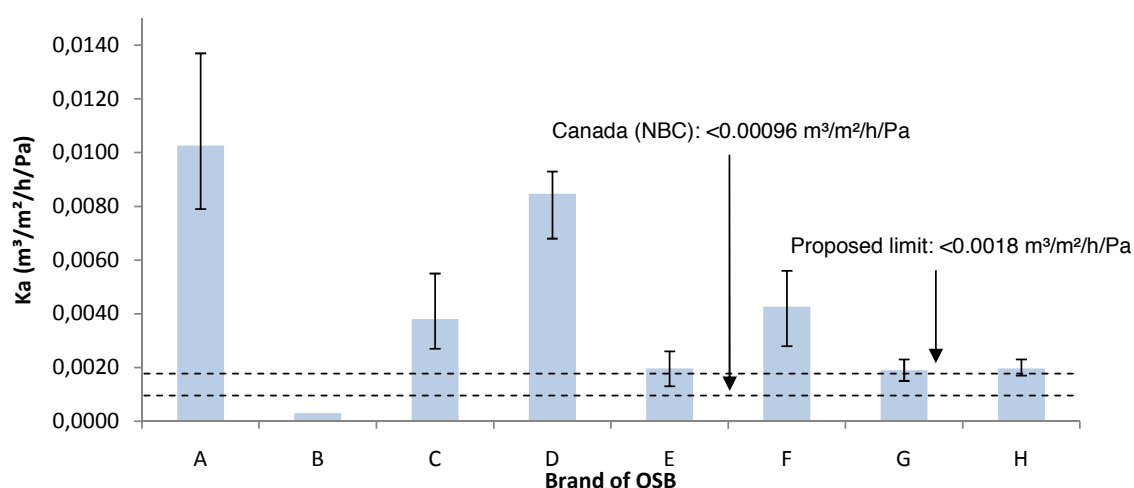
2. Luchtdichtheid

Grafiek 2.2 toont dat een klein lekdebiët door de kruispunten gemeten werd en dit zowel voor de betonondergrond als de OSB-ondergrond. Tabel 2.1 toont dat voor het lekdebiët door de kruispunten een relatief grote absolute fout berekend werd ten opzichte van de gemeten waarde. Hierdoor kan het lekdebiët door de kruispunten beschouwd worden als verwaarloosbaar.

Vervolgens toont grafiek 2.2 dat een zeker lekdebiët gemeten werd voor de voegen tussen de kruispunten op de OSB-ondergrond. Dit in tegenstelling tot de betonondergrond waarbij er geen lekdebiët gemeten werd voor de voegen tussen de kruispunten. Dit is te wijten aan het effen oppervlak van het beton ten opzichte van het meer onregelmatige oppervlak van de OSB-ondergrond ten gevolge van de aanwezigheid van de verschillende houtschilfers. Hierdoor kan de tape niet op elk punt perfect gekleefd worden aangezien er soms dikteverschillen op het oppervlak aanwezig zijn.

Ten slotte kan ook opgemerkt worden dat een aanzienlijke hoeveelheid lucht door de OSB-ondergrond zelf stroomt ten opzichte van de betonondergrond die volledig luchtdicht is. Het lekdebiët door de OSB-ondergrond bij deze test is gelijk aan $1,146 \pm 0,305 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ bij een drukverschil van 50 Pa. Dit komt neer op een luchtpermeabiliteit van $0,023 \pm 0,006 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$.

In 2010 werd er door Langmans⁸⁴ een onderzoek gevoerd naar de luchtdichtheid van acht verschillende merken OSB. Hierbij werd gebruik gemaakt van plaatjes van 35 x 35 cm van het type OSB 3 en met een dikte van 18 mm, net zoals in dit onderzoek. Per merk werd telkens de luchtdichtheid gemeten van drie testplaatjes. Hierbij kon reeds opgemerkt worden dat voor hetzelfde merk een grote variatie werd gemeten. Indien de merken onderling vergeleken worden, is er ook een grote verscheidenheid te zien op vlak van luchtdichtheid. Indien er op gebouwniveau een n_{50} -waarde van 0,6 1/h dient bereikt te worden - zoals voorgeschreven door 'Passive House' in Duitsland en door 'Minenergie' in Zwitserland en tegenwoordig vaak toegepast als uiterste waarde in heel Europa - wordt door het onderzoek een uiterste limiet voorgesteld voor de luchtpermeabiliteit van de gebruikte OSB van $0,0018 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$. In Canada wordt nog een veel strengere limiet gesteld van $0,00096 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$. Grafiek 2.3 toont de luchtpermeabiliteit van de verschillende merken OSB ten opzichte van de voorgestelde limiet.



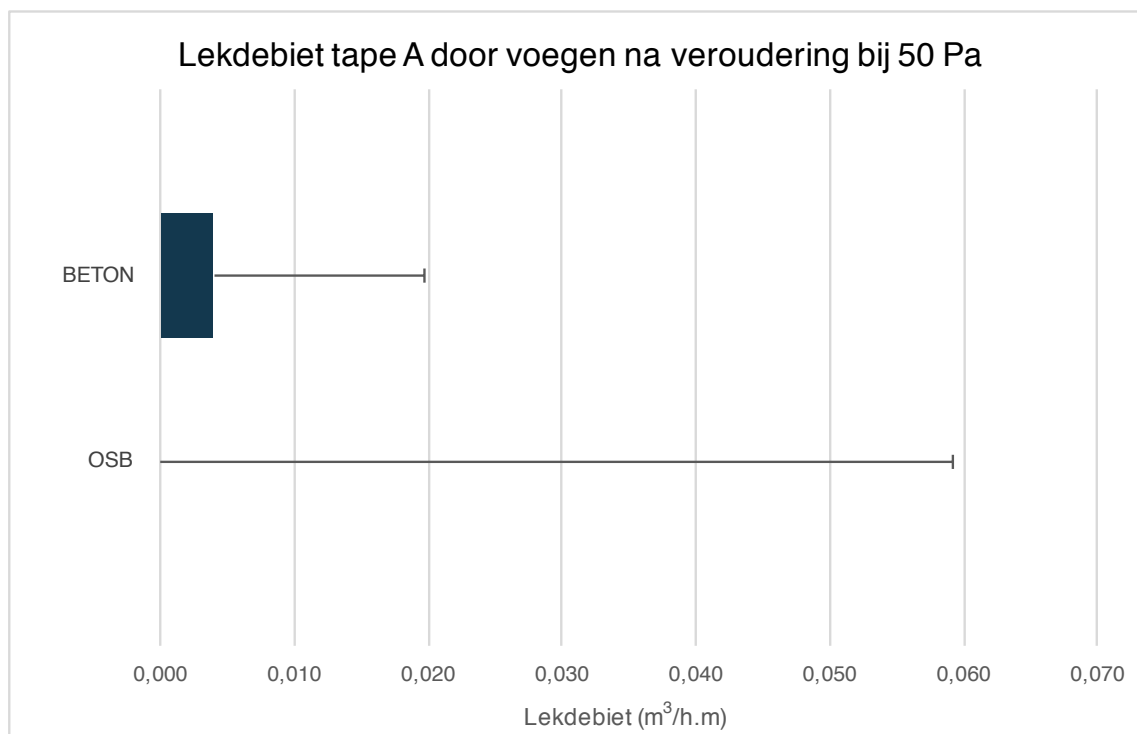
Grafiek 2.3 Luchtpermeabiliteit van acht OSB-merken ten opzichte van de voorgestelde limiet ⁸⁴

⁸⁴ Langmans, J. & Klein, R. & Roels, S. (2010). *Air permeability requirements for air barrier materials in passive houses - Comparison of the air permeability of eight commercial brands of OSB*. Catholic University of Leuven, Department of Civil Engineering

Grafiek 2.3 toont dat slechts vier van de acht merken OSB voldoen aan de voorgestelde limiet en slechts één soort OSB voldoet aan de Canadese limiet.

Indien de OSB die gebruikt wordt in dit onderzoek vergeleken wordt met de voorgestelde limiet, $0,023 \pm 0,006 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$ ten opzichte van $0,0018 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$, wordt er vastgesteld dat deze hier helemaal niet aan voldoet en dus zeker niet als luchtdicht kan beschouwd worden. In de hieropvolgende testen zal dan ook een ander merk OSB toegepast worden.

Ten slotte wordt er bepaald wat het lekdebiet is dat enkel door de tape via de voegen wegvloeit.



Grafiek 2.4 Tape A lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

TAPE A												
	na veroudering				door voegen				door voegen na correctie			
OSB	1,56	±	0,31	m³/h	0,065	±	0,060	m³/h.m	-0,004	±	0,063	m³/h.m
HOUTVEZEL	/	±	/	m³/h	/	±	/	m³/h.m	/	±	/	m³/h.m
BETON	0,34	±	0,08	m³/h	0,004	±	0,016	m³/h.m	0,004	±	0,016	m³/h.m

Tabel 2.2 Tape A lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

Dit lekdebiet wordt bepaald door de meting waarbij de voegen bedekt zijn, af te trekken van het resultaat dat bekomen werd na veroudering. Vervolgens dient een correctie uitgevoerd te worden zoals aangegeven in tabel 2.2. Deze correctie dient uitgevoerd te worden aangezien bij het bedekken van de voegen ook een deel naast de tape werd bedekt met de luchtdichte coating om de zijdelingse lekken mee in rekening te kunnen brengen. Het lekdebiet door het bedekte deel van de ondergrond naast de tape wordt afgetrokken van het initieel berekende lekdebiet door de

2. Luchtdichtheid

voegen. Aangezien de betonondergrond luchtdicht is, blijft de waarde voor en na correctie dezelfde.

Er wordt vastgesteld dat een zeer klein lekdebiet gemeten wordt voor de tape op de betonondergrond. De berekende absolute fout is echter relatief groot ten opzichte van de gemeten waarde. Bijgevolg kan dit lekdebiet als verwaarloosbaar beschouwd worden.

Het lekdebiet voor de tape op de OSB-ondergrond is zodanig klein dat een negatieve waarde bekomen wordt. Bijgevolg kan gesteld worden dat het lekdebiet van de tape niet gemeten kan worden.

Algemeen wordt geconcludeerd dat tape A op de betonondergrond en de OSB-ondergrond luchtdicht is na veroudering. Bijgevolg wordt er geconcludeerd dat de tape bij de startmeting ook luchtdicht was, aangezien initieel een kleiner lekdebiet werd gemeten.

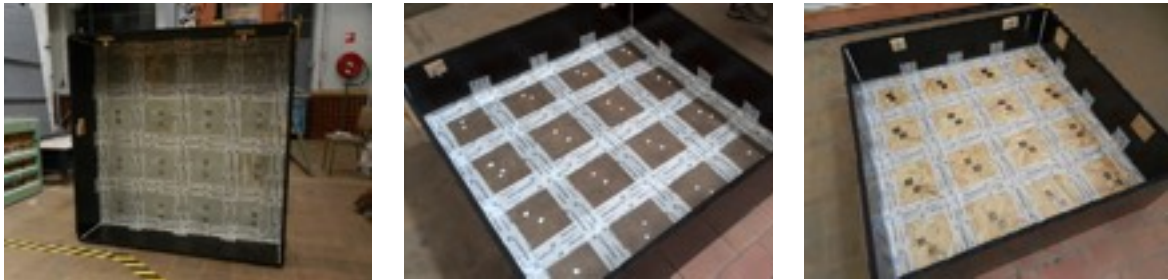
Tape A faalde echter op de gebitumineerde houtvezelplaat die eerst werd behandeld met een primer, bij de uitgevoerde testen.

Een hoge stromingsexponent werd berekend voor de tape zowel op de betonondergrond als op de OSB-ondergrond. Voor de betonondergrond werd een waarde van gemiddeld 0,8 bepaald en voor de OSB-ondergrond werd een waarde van 0,9 berekend. Dit wijst erop dat de lucht voornamelijk laminair door de materialen zelf stroomt en dat er geen duidelijke openingen aanwezig zijn.

Na afloop van de testen werd de tape verwijderd van de ondergrond. De lijmresten konden eenvoudig weggeveegd worden met een natte doek.

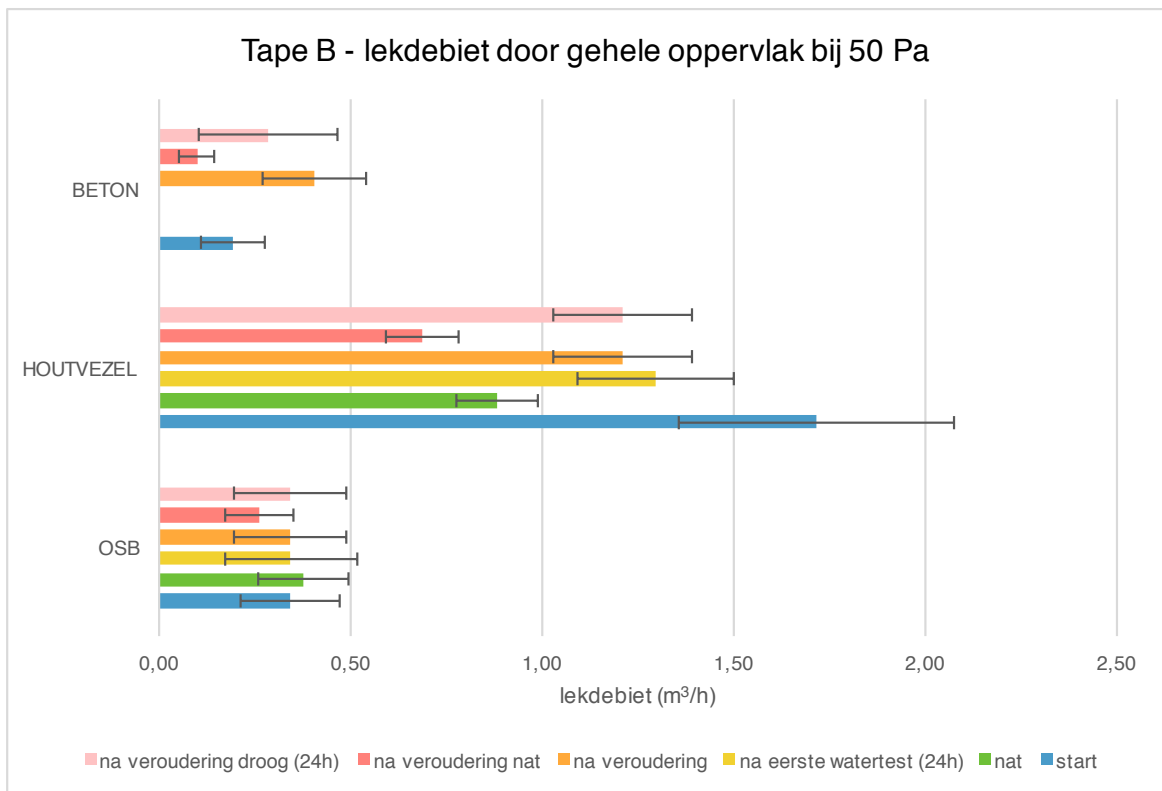
Tape B

Tape B werd net zoals tape A gekleefd op zowel de betonondergrond als de houtvezelplaat en de OSB-ondergrond. Dit gebeurde telkens op dezelfde manier zoals hiervoor beschreven. Vervolgens werden achtereenvolgens een initiële luchtdichtheidstest, een test in natte toestand, na 24 uur uitdroging en ten slotte een test na een mechanische veroudering uitgevoerd. Voor de tape op de betonondergrond werd echter de volgorde van de testen gewijzigd. Hierbij werd eerst een initiële luchtdichtheidstest uitgevoerd en vervolgens werd de tape mechanisch verouderd zodat het enkelvoudige effect van deze veroudering bepaald kan worden. Ten slotte werd net zoals bij de twee andere ondergronden een test in natte toestand en na 24 uur droging uitgevoerd.



Figuur 2.10 Tape B op beton, houtvezelplaat en OSB

Grafiek 2.5 toont het lekdebiet door de combinatie van de tape en de verschillende ondergronden en dit bij een drukverschil van 50 Pa.



Grafiek 2.5 Tape B lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa

Indien eerst de waarde bij de start vergeleken wordt met het resultaat van de meting in natte toestand voor de houtvezelplaat, wordt er een groot verschil in het luchtlekdebiet vastgesteld. Dit kan te wijten zijn aan het feit dat de poriën van de houtvezelplaat gevuld zijn met waterdruppeltjes en deze de luchtstroom tegenhouden of het feit dat de tape water geabsorbeerd heeft en daardoor minder permeabel is geworden of een combinatie van beide. Indien vervolgens het resultaat van de initiële meting in natte toestand vergeleken wordt met de waarde na veroudering in natte toestand, wordt er nog een verbetering van de luchtdichtheid vastgesteld. Dit is te danken aan het feit dat ook een verbeterde waterdichtheid werd vastgesteld en de opstelling daardoor gedurende een langere periode en bij een hoger drukverschil benat werd. Hierdoor heeft het water meer kans om dieper in de poriën binnen te dringen en zal bijgevolg het effect hiervan groter zijn.

Voor de OSB-ondergrond kan echter geen gelijkaardig effect vastgesteld worden. Bijgevolg kan geconcludeerd worden dat de tape op de OSB-ondergrond en de OSB zelf geen verandering ondergaan in natte toestand bij de hierbij toegepaste tijdsduur en drukverschil. De vraag die hierbij kan gesteld worden, is of er algemeen kan besloten worden dat de prestatie van de tape niet verandert in natte toestand.

Indien echter eenzelfde vergelijking gemaakt wordt voor de betonondergrond, wordt er vastgesteld dat hier wel een verminderd luchtlekdebiet gemeten wordt in natte toestand. Er wordt vanuit gegaan dat de luchtdichtheid van het beton zelf niet verandert indien het benat wordt. Het verminderde luchtlekdebiet in natte toestand kan hier dus enkel te verklaren zijn door een verbeterde prestatie van de tape op de betonondergrond.

Verder onderzoek dient uit te wijzen wat de verandering in prestatie is van de houtvezelplaat en de OSB afzonderlijk om een verklaring te geven aan de verandering in prestatie van de combinatie tape en ondergrond in natte toestand.

Vervolgens wordt een vergelijking gemaakt tussen het resultaat van de meting voor de eerste watertest en na 24 uur droging. Er wordt vastgesteld dat zowel voor de betonondergrond als de houtvezelplaat een verbetering van de luchtdichtheid gemeten werd. Voor de betonondergrond is dit verschil echter niet significant. Dit in tegenstelling tot het verschil voor de houtvezelplaat. Een onderzoek uitgevoerd door Langmans⁸⁵ in 2010 concludeerde dat gebitumineerde houtvezelplaten na droging - in het gevoerde onderzoek was dit reeds na 30 minuten - terug eenzelfde luchtpermeabiliteit vertonen als voor de watertest. Er wordt vanuit gegaan dat de houtvezelplaten die gebruikt zijn in dit onderzoek, ook eenzelfde luchtdichtheid vertonen na 24 uur uitdroging als de luchtdichtheid voor de watertest. Bijgevolg is de vermindering van het luchtlekdebiet te verklaren door een verbeterde hechting van de tape op de houtvezelplaat. Na de watertest na mechanische veroudering wordt er echter geen verschil meer vastgesteld voor de prestatie na uitdroging ten opzichte van deze voor het benatten. Dit effect is bijgevolg eenmalig.

Voor de OSB-ondergrond kan geen verschil vastgesteld worden in de luchtdichtheid voor en na de eerste watertest. Dit kan te verklaren zijn door het feit dat ofwel de tape reeds voldoende hechtte aan de OSB-ondergrond en daardoor geen verbetering meer plaatsvond ofwel werd de verbetering

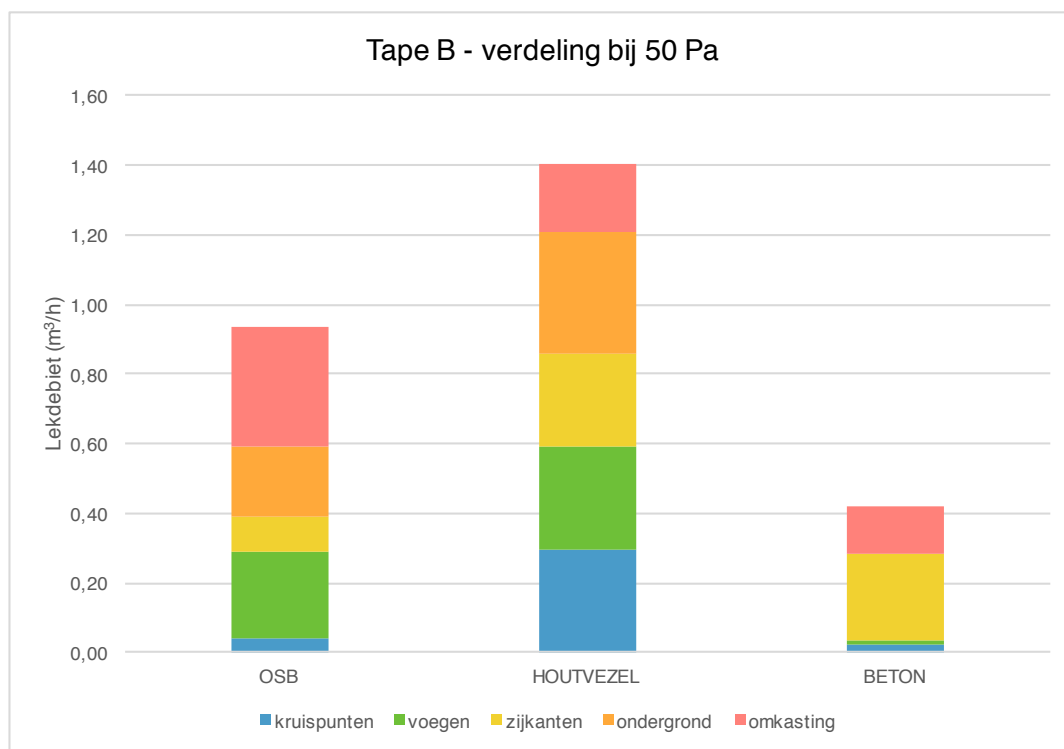
⁸⁵ Langmans, J. & Klein, R. & De Paepe, M. & Roels, S. (2010). *Potential of wind barriers to assure airtightness of wood-frame low energy constructions*. Catholic University of Leuven, Department of Civil Engineering

van de luchtdichtheid door een betere hechting van de tape opgeheven door een vermindering van de luchtdichtheid ten gevolge van het opzwellen van de OSB. Verder onderzoek zal in 2.5 *Ondergrond* uitwijzen wat de invloed is van het opzwellen van de OSB op de luchtdichtheid.

Ten slotte wordt het resultaat van de meting vòòr mechanische veroudering vergeleken met de waarde na veroudering. Voor de betonondergrond werd deze mechanische veroudering meteen na de startmeting uitgevoerd. Hierbij wordt er vastgesteld dat er een significant verschil bestaat tussen deze twee metingen. Indien echter eenzelfde vergelijking gemaakt wordt voor de houtvezelplaat en de OSB-ondergrond, wordt er geen verschil vastgesteld tussen het luchtlekdebiet voor veroudering en erna. Dit kan verklaard worden door het feit dat na het benatten een verbeterde hechting ontstaat en dat de veroudering hierdoor geen effect meer heeft. Voor de betonondergrond was de tape echter nog niet benat en had de veroudering een negatief effect.

Vervolgens worden systematisch de kruispunten, de hele voegen, de zijkanten en het volledige oppervlak bedekt met een luchtdichte coating zodat een verdeling kan gemaakt worden van het volledige luchtlekdebiet.

Grafiek 2.6 toont het resultaat van de verdeling van het lekdebiet voor tape B op de betonondergrond, de houtvezelplaat en de OSB-ondergrond. Het lekdebiet na veroudering wordt hierbij opgedeeld in het lekdebiet door de kruispunten, door de voegen, door de zijkanten, door de ondergrond en ten slotte door de omkasting. Deze verdeling werd bepaald aan de hand van dezelfde formules als diegene die gebruikt zijn bij tape A.



Grafiek 2.6 Tape B verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa

Tape B - verdeling bij 50 Pa									
	OSB			HOUTVEZEL			BETON		
kruispunten	0,04	±	0,15	m ³ /h	0,30	±	0,22	m ³ /h	0,02 ± 0,20 m ³ /h
voegen	0,25	±	0,14	m ³ /h	0,30	±	0,16	m ³ /h	0,01 ± 0,16 m ³ /h
zijkanen	0,10	±	0,11	m ³ /h	0,27	±	0,14	m ³ /h	0,25 ± 0,14 m ³ /h
ondergrond	0,20	±	0,06	m ³ /h	0,35	±	0,09	m ³ /h	0,00 ± 0,00 m ³ /h
omkasting	0,35	±	0,09	m ³ /h	0,20	±	0,03	m ³ /h	0,14 ± 0,06 m ³ /h

Tabel 2.3 Tape B verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa

Grafiek 2.6 toont dat een klein lekdebiet door de kruispunten gemeten werd voor de OSB-ondergrond en de betonondergrond. Vermits bij deze metingen de absolute fout groter is dan de gemeten waarde, kunnen deze als verwaarloosbaar beschouwd worden. Voor de houtvezelplaat werd echter wel een redelijk luchtlekdebiet gemeten door de kruispunten. Dit wordt verklaard door de lage stijfheid van de houtvezelplaten. Hierdoor kunnen de platen eenvoudig ten opzichte van elkaar bewegen en dit zowel tijdens de plaatsing als tijdens de testen. Bijgevolg ontstaat er een verminderde hechting van de tape ter hoogte van de randen van de plaatjes en voornamelijk ter hoogte van de kruispunten aangezien hier het bewegende effect in twee richting plaatsvindt.



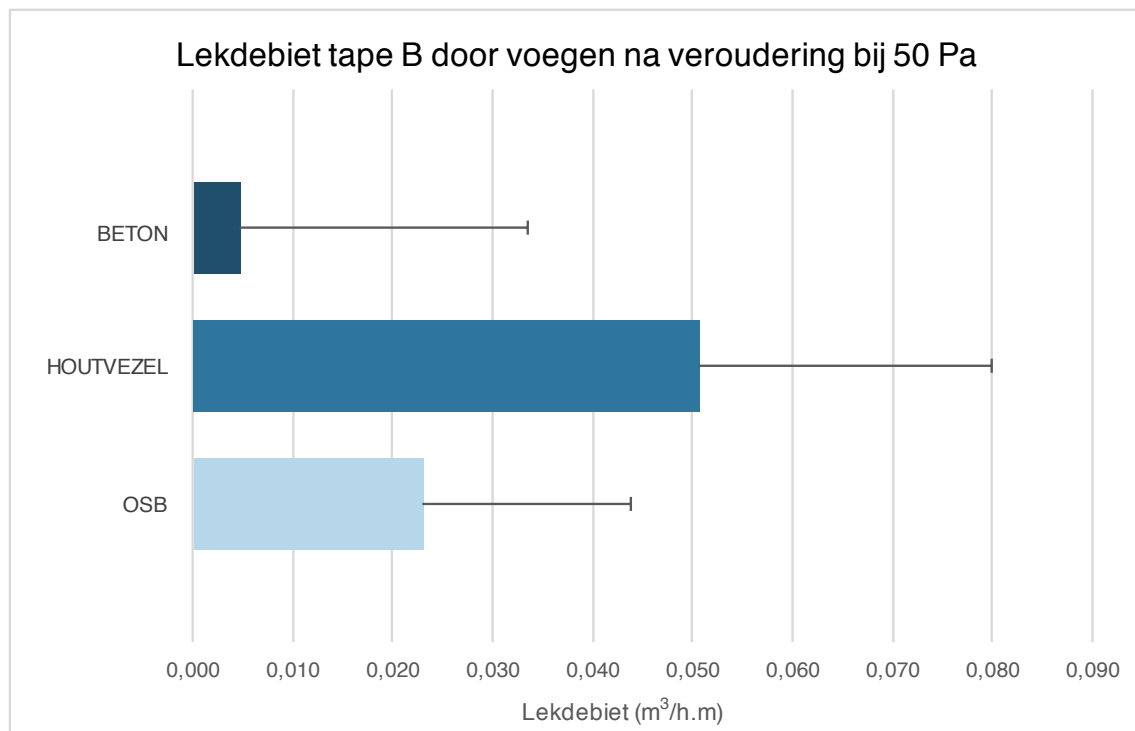
Figuur 2.11 Beweging houtvezelplaat ten opzichte van tape

Vervolgens wordt er vastgesteld dat een deel van het luchtlekdebiet voor de OSB-ondergrond en de houtvezelplaat bepaald wordt door de voegen. Voor de betonondergrond is dit echter niet zo. Het meer oneffen oppervlak van de OSB ten gevolge van de houtschilfers en de verminderde hechting van de tape op de houtvezelplaat zijn hiervan de oorzaak. Ook door de tape die gekleefd is aan de zijkanen over de hoek die gevormd wordt door de ondergrond en de omkasting, stroomt een aanzienlijk deel van het luchtlekdebiet en dit voor de drie ondergronden. Dit is te wijten aan het feit dat de tape niet hecht op de gebruikte silicone tussen de ondergrond en de omkasting. Via deze rand stroomt er dus lucht door de voegen. Ten slotte wordt er vastgesteld dat er ook nog lucht stroomt door de houtvezelplaten en de OSB-ondergrond zelf. De betonondergrond is echter luchtdicht zoals ook reeds vastgesteld bij de vorige reeks testen.

Het luchtlekdebiet gaande door de OSB is hier $0,411 \pm 0,122 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ bij een drukverschil van 50 Pa. Dit komt neer op een luchtpermeabiliteit van $0,008 \pm 0,002 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$. Dit is reeds een grote verbetering ten opzichte van de OSB die gebruikt werd bij de vorige tape ($0,023 \pm 0,006 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$). Indien deze waarde opnieuw vergeleken wordt met de limiet voor de luchtpermeabiliteit die voorgesteld werd door Langmans ($0,0018 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$), ligt deze er nog steeds ver boven. Het gemeten luchtlekdebiet voor de houtvezelplaat is $0,732 \pm 0,192 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$. Deze waarde ligt hoger dan het lekdebiet voor de OSB-ondergrond, die reeds als niet-luchtdicht werd beschouwd. Aangezien de houtvezelplaten in normale omstandigheden niet gebruikt worden als luchtdichting vormt dit geen probleem.

Ten slotte wordt er bepaald wat het lekdebiet is dat enkel door de tape via de voegen wegvloeit. Dit lekdebiet wordt bepaald door de meting waarbij de voegen bedekt zijn, af te trekken van het resultaat dat bekomen werd na veroudering. Vervolgens dient een correctie uitgevoerd te worden voor het bedekte deel naast de tape zoals aangegeven in tabel 2.4. Dezelfde methode voor het uitvoeren van de correctie als bij tape A wordt toegepast.

Grafiek 2.7 toont dat voor de betonondergrond een klein lekdebiet opgemeten werd. De absolute fout is echter groter dan de gemeten waarde. Bijgevolg kan deze als verwaarloosbaar beschouwd worden en wordt er geconcludeerd dat tape B op de betonondergrond luchtdicht is. Voor de houtvezelplaat en de OSB-ondergrond werd echter een groter lekdebiet gemeten door de tape via de voegen. Dit is te wijten aan het meer oneffen oppervlak van de OSB en de mindere hechting op de houtvezelplaat zoals eerder vermeld.



Grafiek 2.7 Tape B lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

TAPE B			
	na veroudering	door voegen	door voegen na correctie
OSB	0,69 ± 0,11 m³/h	0,039 ± 0,020 m³/h.m	0,023 ± 0,021 m³/h.m
HOUTVEZEL	1,41 ± 0,18 m³/h	0,080 ± 0,028 m³/h.m	0,051 ± 0,029 m³/h.m
BETON	0,42 ± 0,17 m³/h	0,005 ± 0,029 m³/h.m	0,005 ± 0,029 m³/h.m

Tabel 2.4 Tape B lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

Er wordt geconcludeerd dat tape B in natte toestand beter presteert op de houtvezelplaat en de betonondergrond. Vervolgens wordt steeds een verbetering van de luchtdichtheid vastgesteld na de eerste maal benatten van de tape. Het mechanisch verouderen van de tape heeft een negatieve invloed indien dit effect van het verbeteren van de hechting zich nog niet heeft

2. Luchtdichtheid

voorgedaan. Indien de tape wel al eens benat is geweest, heeft de mechanische veroudering geen invloed. Algemeen kan gesteld worden dat de tape na veroudering en na de eerste watertest op de betonondergrond luchtdicht is. Er kan vanuit gegaan worden dat de tape initieel ook luchtdicht was op de betonondergrond aangezien bij de starttest een gelijkaardig luchtlekdebiet gemeten werd. Tape B is echter niet luchtdicht op de houtvezelplaat en de OSB-ondergrond. Aangezien voor beide ondergronden een gemiddelde stromingsexponent van 0,9 werd berekend, wordt er geconcludeerd dat er voornamelijk laminaire stromingen gemeten worden doorheen de tape en de ondergrond.

Na afloop van de testen werd de tape verwijderd van de ondergrond. Hierbij was duidelijk de opbouw te zien van de tape die bestaat uit verschillende lagen zoals getoond wordt op figuur 2.12.



Figuur 2.12 Opbouw tape B

Bij het verwijderen van de tape kwam eerst het vlies los en bleef op sommige plaatsen de folie met de lijm achter op de ondergrond zoals rechts getoond wordt op figuur 2.12. Vervolgens kon eenvoudig de folie verwijderd worden. De weinige lijmresten die eventueel nog achterbleven konden met een natte doek weggenomen worden.

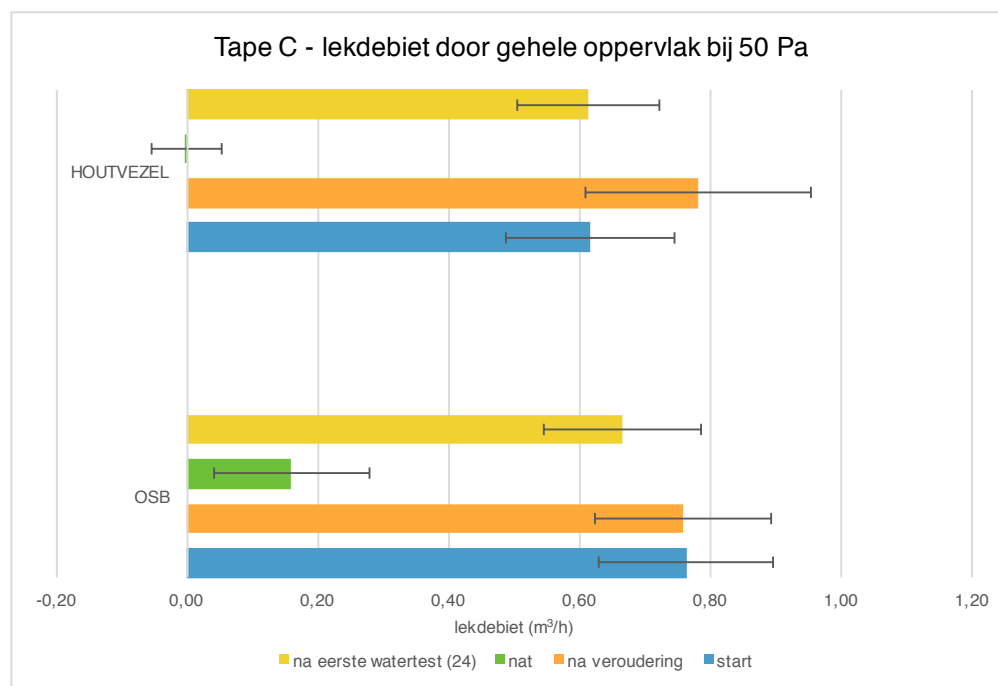
Tape C

Tape C werd enkel gekleefd op de gebitumineerde houtvezelplaat en de OSB-ondergrond. Dit gebeurde telkens op dezelfde manier zoals hiervoor beschreven. De houtvezelplaat werd hierbij echter niet eerst behandeld met een primer. De tape werd rechtstreeks gekleefd op de zijde met het extra bitumenlaagje. Binnen het tijdsbestek van deze masterscriptie was het niet mogelijk om de tape ook nog op de betonondergrond te testen. Aangezien de houtvezelplaat langs de buitenzijde toegepast wordt, dient er voornamelijk aandacht geschonken te worden aan de prestatie van de tape in natte toestand. De OSB-plaat daarentegen wordt langs de binnenzijde toegepast en bijgevolg is de luchtdichtheid van de tape belangrijk. Aan de hand van de prestaties van de tape op beide ondergronden kunnen bijgevolg goede conclusies getrokken worden. Er werden achtereenvolgens een initiële luchtdichtheidstest, een mechanische veroudering, een luchtdichtheidstest in natte toestand en na 24 uur uitdroging uitgevoerd. Tussen de initiële luchtdichtheidstest en de mechanische veroudering werden geen bijkomende testen uitgevoerd, zoals bij de vorige tapes, om het enkelvoudige effect van de mechanische veroudering te kunnen onderzoeken.



Figuur 2.13 Tape C op houtvezelplaat en OSB

Grafiek 2.8 toont het lekdebiet door de combinatie van de tape en de verschillende ondergronden en dit bij een drukverschil van 50 Pa.



Grafiek 2.8 Tape C lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa

Grafiek 2.8 toont dat voor de tape gekleefd op de houtvezelplaat initieel een kleiner luchtlekdebet gemeten werd dan na uitvoering van de mechanische veroudering. Dit is te wijten aan het feit dat ten gevolge van de drukpulsaties waaraan de opstelling onderworpen wordt tijdens de mechanische veroudering, de houtvezelplaatjes bewegen ten opzichte van elkaar. Hierdoor ontstaat een verminderde hechting van de tape aan de randen van de plaatjes, zoals voorgesteld in figuur 2.11. Voor de tape op de OSB-ondergrond wordt geen verschil vastgesteld tussen het initiële lekdebet en het lekdebet na mechanische veroudering. Doordat OSB een hogere stijfheid heeft dan houtvezelplaten, zullen de plaatjes minder bewegen ten gevolge van de drukpulsaties. Bijgevolg zal de hechting van de tape onveranderd blijven.

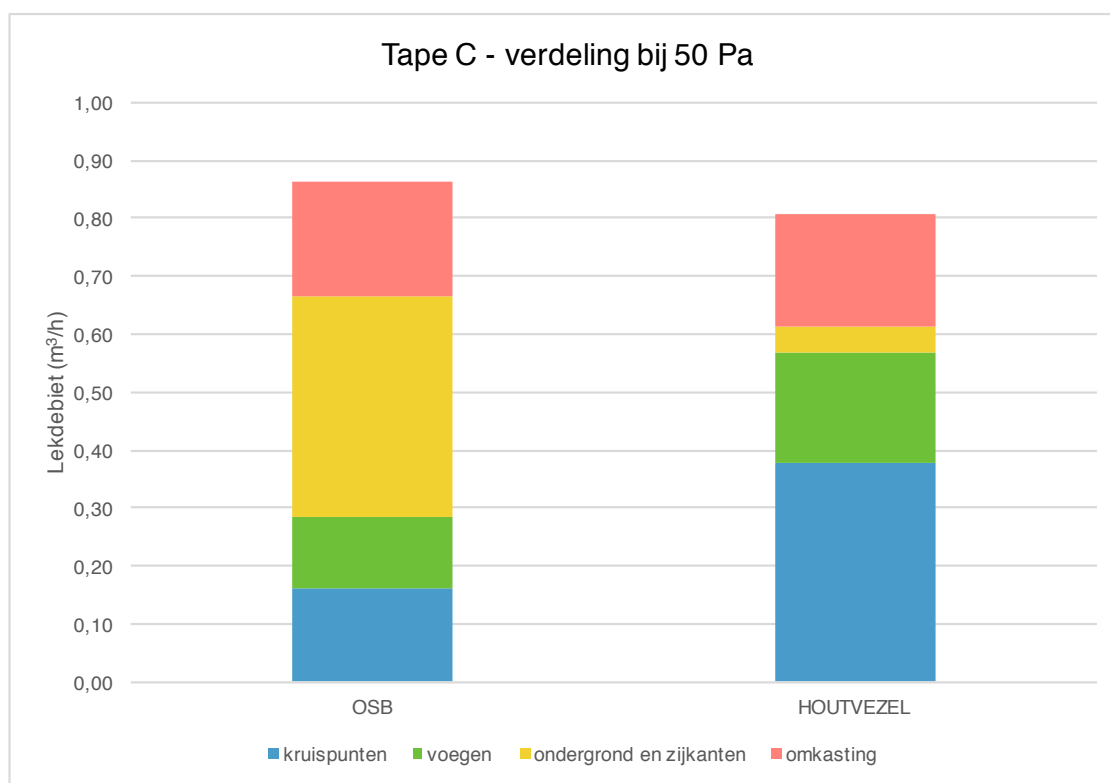
Vervolgens wordt een groot verschil van het luchtlekdebet vastgesteld in natte toestand ten opzichte van de meting na veroudering en dit zowel voor de tape op de houtvezelplaat als op de OSB-ondergrond. De tape op de houtvezelplaat werd hierbij gedurende een langere tijdsperiode en bij een hoger drukverschil benat dan bij de andere tapes. Hierdoor kunnen de waterdruppeltjes dieper in de poriën van de houtvezelplaat dringen en kan de tape meer water opnemen waardoor minder lucht doorheen de materialen kan weglekken. De OSB-ondergrond werd echter gedurende eenzelfde tijdsperiode en bij eenzelfde drukverschil benat als bij de vorige tape waarbij geen verschil in lekdebet werd vastgesteld tussen natte en droge toestand. Hierdoor wordt er geconcludeerd dat de natte tape een grote invloed heeft op het totale luchtlekdebet. Verder onderzoek omtrent de prestatie van natte houtvezelplaten en natte OSB zal uitgevoerd worden in 2.5 *Ondergronden* om deze conclusie te bevestigen.

Indien ten slotte het luchtlekdebet voor benatting en na 24 uur uitdroging met elkaar vergeleken worden, wordt er vastgesteld dat voor de tape op de houtvezelplaat een significant verschil bestaat tussen beide waarden volgens een significantieniveau van 0,05. Na 24 uur uitdroging ontstaat een verbetering van het luchtlekdebet en het negatieve effect van de mechanische veroudering wordt tenietgedaan. Voor de tape op de OSB-ondergrond is dit verschil echter kleiner en niet significant. Er kan bijgevolg niet met zekerheid besloten worden of de tape beter presteert na uitdroging.

Bij vorige testen werd er steeds een verhoogd luchtlekdebet gemeten na de eerste watertest voor de tape op de OSB-ondergrond, onder andere ten gevolge van het opzwellen van de OSB. Dit effect is bij deze test echter niet te zien vermits hier gebruik werd gemaakt van OSB-plaatjes die reeds benat werden bij voorgaande testen. Aangezien dit opzwellen enkel het lekdebet na de eerste watertest verhoogt, is dit hier dus niet meer van toepassing.

Vervolgens worden systematisch de kruispunten, de hele voegen, de zijkanten en het volledige oppervlak bedekt met een luchtdichte coating zodat een verdeling kan gemaakt worden van het volledige luchtlekdebet.

Grafiek 2.9 toont het resultaat van de verdeling van het lekdebet voor tape C op de houtvezelplaat en de OSB-ondergrond. Het lekdebet na veroudering wordt hierbij opgedeeld in het lekdebet door de kruispunten, door de voegen, door de zijkanten, door de ondergrond en ten slotte door de omkasting. Deze verdeling werd bepaald aan de hand van dezelfde formules als diegene die gebruikt zijn bij tape A.

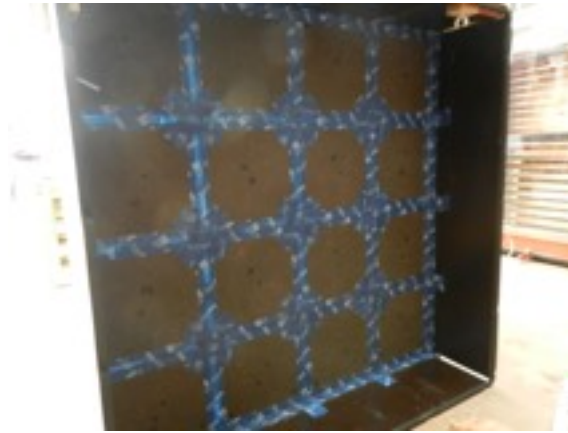


Grafiek 2.9 Tape C verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa

Tape C - verdeling bij 50 Pa				
	OSB		HOUTVEZEL	
kruispunten	0,16	± 0,20 m ³ /h	0,38	± 0,15 m ³ /h
voegen	0,12	± 0,19 m ³ /h	0,19	± 0,15 m ³ /h
ondergrond en zijkanten	0,38	± 0,21 m ³ /h	0,04	± 0,11 m ³ /h
omkasting	0,20	± 0,03 m ³ /h	0,20	± 0,03 m ³ /h

Tabel 2.5 Tape C verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa

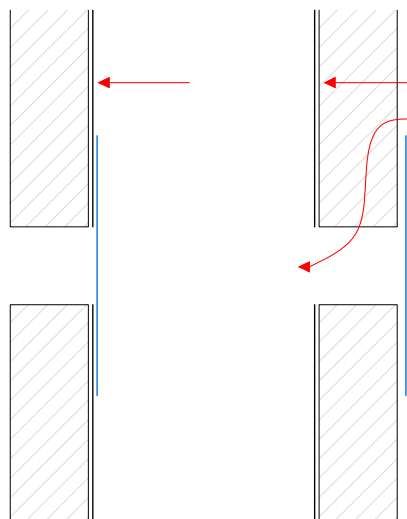
Grafiek 2.9 toont dat een groot deel van het luchtlekdebiet wegvloeit doorheen de kruispunten en dit zowel voor de OSB-ondergrond als de houtvezelplaat. Voor de kruispunten tussen de houtvezelplaten is dit het meest opvallend. Er werd dan ook nagegaan wat het effect is van een bijkomend kruis dat getapet werd over de kruispunten op het luchtlekdebiet.



Figuur 2.14 Extra kruis getapet over kruispunten

Het effect van deze extra kruisen was een vermindering van het luchtlekdebiet met meer dan de helft ($0,24 \pm 0,12 \text{ m}^3/\text{h}$ ten opzichte van $0,58 \pm 0,10 \text{ m}^3/\text{h}$). Het getapete kruis had hetzelfde effect als een luchtdichte coating die aangebracht werd over de kruispunten. Deze verbetering bevestigt bijgevolg het feit dat de kruispunten de kritieke punten vormen voor de luchtdichtheid van de combinatie tape C op de houtvezelplaten.

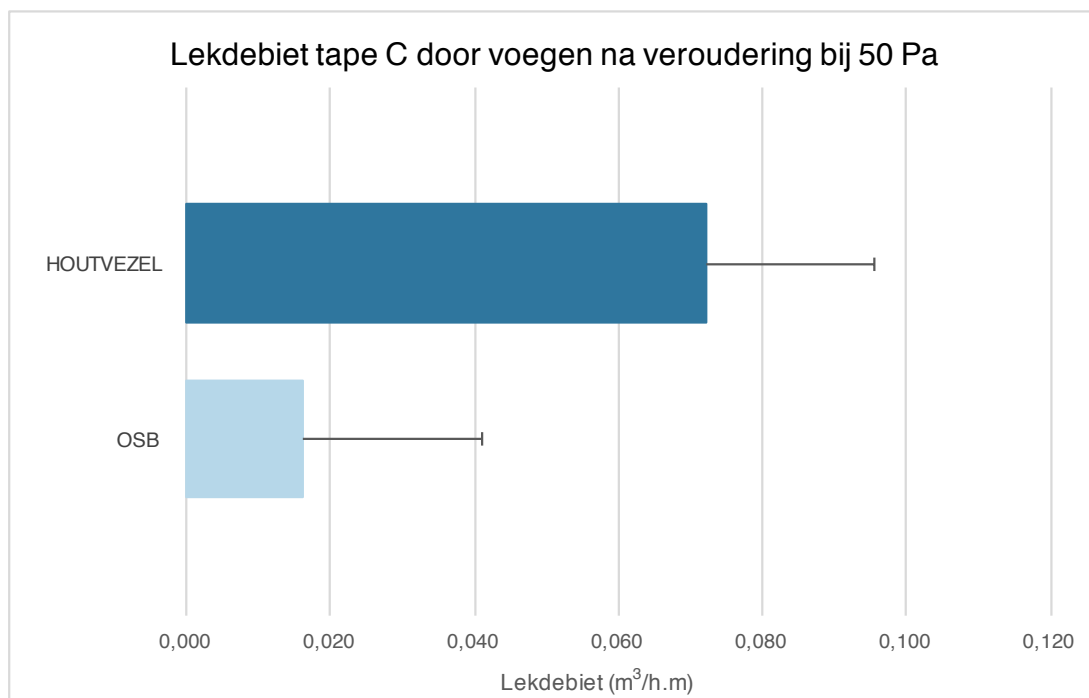
Vervolgens toont grafiek 2.9 dat slechts een zeer klein luchtlekdebiet door de houtvezelplaten zelf wegvloeit. Indien deze waarde vergeleken wordt met het luchtlekdebiet door de houtvezelplaat bij de vorige test, wordt er vastgesteld dat deze zeer sterk van elkaar verschillen ondanks het feit dat eenzelfde soort houtvezelplaten gebruikt werd ($0,075 \pm 0,187 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ten opzichte van $0,732 \pm 0,192 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$). Bij de vorige testen werd de tape echter gekleefd op de zachte zijde die behandeld werd met een primer en bij deze test werd de tape gekleefd op de zijde met het extra bitumenlaagje. Figuur 2.15 toont dat indien de tape gekleefd wordt op de bitumenlaag, deze laag de lucht tegenhoudt. Bijgevolg wordt er een zeer klein lekdebiet gemeten. Indien echter de tape gekleefd wordt op de andere zijde, kan de lucht niet in een rechte lijn door de houtvezelplaat stromen maar wel via de zijkant door de voegen tussen de platen aangezien de luchtdichte lijn hier onderbroken wordt.



Figuur 2.15 Invloed ligging bitumenlaagje houtvezelplaten op luchtdichtheid

Er kan bijgevolg geconcludeerd worden dat de ligging van het bitumenlaagje een invloed heeft op de luchtdichtheid van de combinatie tape en houtvezelplaat.

Ten slotte wordt er bepaald wat het lekdebiet is dat enkel door de tape via de voegen wegvloeit. Dit lekdebiet wordt bepaald door de meting waarbij de voegen bedekt zijn, af te trekken van het resultaat dat bekomen werd na veroudering. Vervolgens dient een correctie uitgevoerd te worden voor het bedekte deel naast de tape zoals aangegeven in tabel 2.6. Dezelfde methode voor het uitvoeren van de correctie als bij tape A wordt toegepast.



Grafiek 2.10 Tape C lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

TAPE C			
	na veroudering	door voegen	door voegen na correctie
OSB	0,86 ± 0,12 m³/h	0,039 ± 0,021 m³/h.m	0,016 ± 0,025 m³/h.m
HOUTVEZEL	0,81 ± 0,08 m³/h	0,077 ± 0,020 m³/h.m	0,072 ± 0,023 m³/h.m

Tabel 2.6 Tape C lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

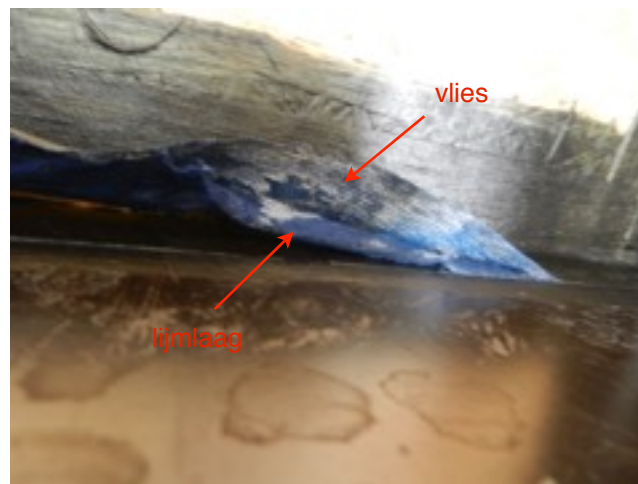
Grafiek 2.10 toont dat slechts een klein lekdebiet gemeten werd voor de tape over de voegen voor de OSB-ondergrond. Aangezien de bijhorende absolute fout groter is dan de gemeten waarde, wordt er geconcludeerd dat het lekdebiet zodanig klein is dat het niet gemeten kan worden. Bijgevolg kan er besloten worden dat tape C op de OSB-ondergrond luchtdicht is.

Voor tape C op de houtvezelplaat werd er echter wel een zeker luchtlekdebiet gemeten. Dit wijst erop dat de tape minder goed hecht op de gebitumineerde houtvezelplaat dan op de OSB-ondergrond. De beweging van de houtvezelplaatjes bij de plaatsing van de tape en de beweging tijdens de testen zijn hier mede de oorzaak van.

2. Luchtdichtheid

Algemeen wordt er geconcludeerd dat een mechanische veroudering een effect heeft op tape C indien een ondergrond gebruikt wordt met een geringe stijfheid en bijgevolg beweegt onder invloed van drukpulsaties. In natte toestand wordt een veel kleiner luchtlekdebiet gemeten dan in droge toestand. Vervolgens heeft het drogen van de tape na benatting slechts een kleine invloed. En ten slotte vormen de kruispunten steeds de kritieke punten voor de luchtdichtheid van de tape op de verschillende ondergronden.

Na afloop van de testen werd de tape verwijderd van de ondergrond. Hierbij was duidelijk de opbouw te zien van de tape die bestaat uit een vlies en vervolgens een laag met de lijm. Dit wordt getoond in figuur 2.16.



Figuur 2.16 Opbouw tape C

De lijmresten konden niet zoals bij de andere tapes verwijderd worden met een natte doek. Met een oplosmiddel voor het verwijderen van lijmresten van kleefbanden konden de lijmresten echter wel verwijderd worden.

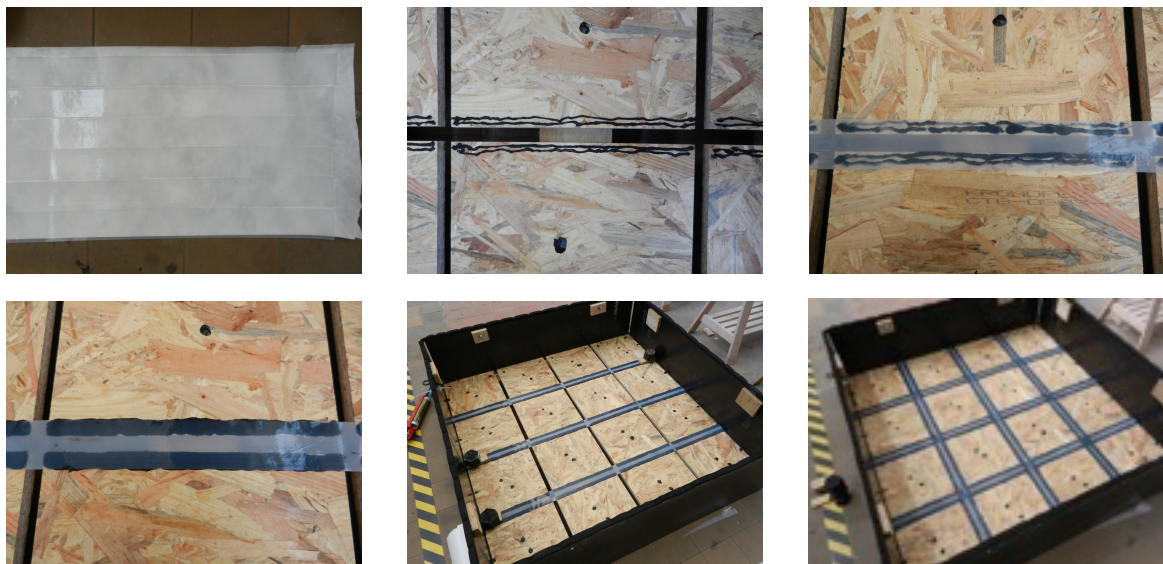
2.3 Silicone

Twee methodes op basis van silicone werden getest. Een eerste methode bestaat uit een **silicone strip** die gevormd is uit een doorschijnende silicone elastomeer extrusie en bevestigd wordt op de ondergrond aan de hand van een silicone sealant. Een tweede methode is de toepassing van een **coating** bovenop een silicone die - in combinatie met een rugvulling op basis van een polyethyleenschuim - de voeg vult.

Binnen het tijdsbestek van deze masterscriptie was het niet mogelijk om deze materialen te testen op de drie verschillende ondergronden. Er werd gekozen om de metingen enkel uit te voeren voor de OSB-ondergrond. Vermits OSB-platen vaak gebruikt worden als luchtdichting is het verzekeren van een luchtdichte aansluiting tussen de platen dan ook zeer belangrijk. Op basis van deze resultaten wordt er vervolgens een vergelijking gemaakt met de prestaties van de andere afdichtingsmaterialen op de OSB-ondergrond.

Silicone Strip

De silicone strip heeft een breedte van 300 mm. Aangezien de voegen tussen de plaatjes van de testopstelling maar een maximale afmeting van 18 mm hebben, worden de strips in stroken van 50 mm gesneden. Deze breedte volstaat om de strip met een overlap van minstens 13 mm aan weerskanten van de voeg te kunnen plaatsen - zoals aangegeven in de gebruiksaanwijzing. Vervolgens worden er 2 lijnen silicone gespoten aan beide zijden van de voeg. Er wordt gebruik gemaakt van twee lijnen om het risico op lucht lekkages te verkleinen indien de silicone niet voldoende aangedrukt zou zijn. Daarna worden de strips, die op de juiste lengte van 123,2 cm afgesneden zijn, over de voegen gelegd en stevig aangedrukt totdat een breedte van minstens 13 mm silicone bereikt wordt. Hierbij worden eerst de horizontale voegen bedekt en vervolgens de verticale.



Figuur 2.17 Toepassing silicone strip

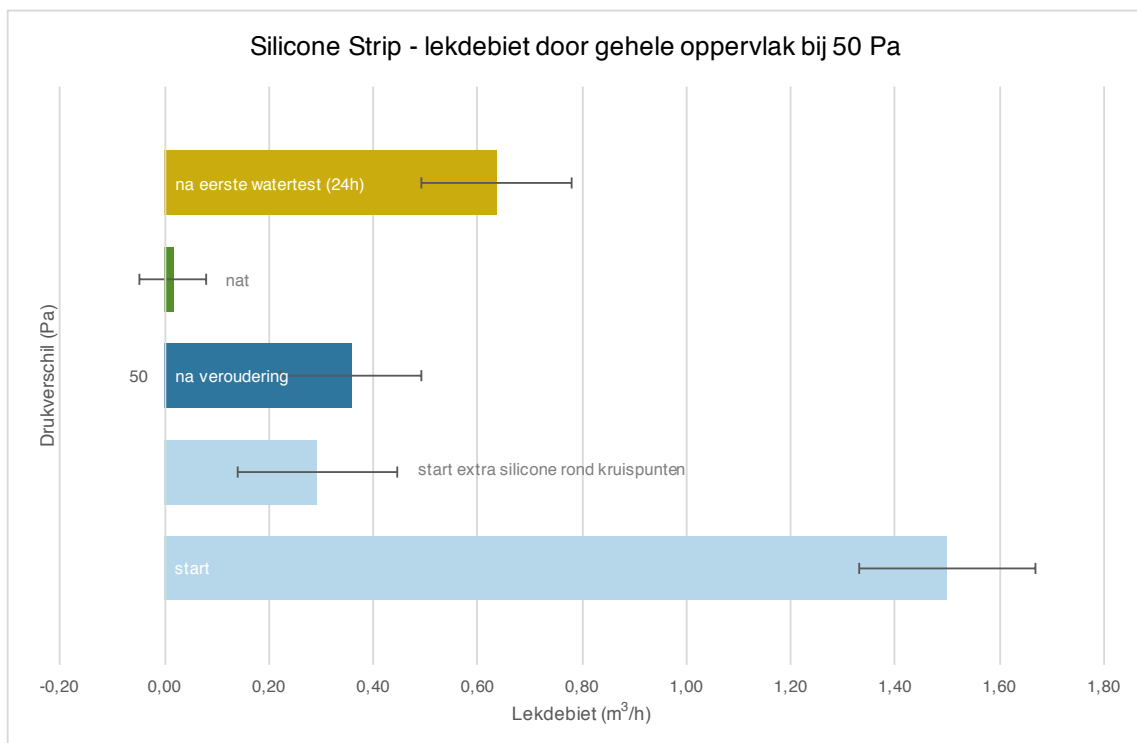
2. Luchtdichtheid

De strips worden langs de rand met de omkasting een klein stukje naar boven geplooid en vervolgens wordt er extra silicone over de aansluiting aangebracht om een goede hoekaansluiting te verzekeren.



Figuur 2.18 Randaansluiting silicone strip

Eerst wordt een initiële luchtdichtheidstest uitgevoerd en het luchtlekdebiet gemeten. Vervolgens wordt er extra silicone aangebracht ter hoogte van de kruispunten. Grafiek 2.12 toont dat er een groot verschil in het lekdebiet voor en na deze extra silicone werd opgemeten.



Grafiek 2.11 Silicone Strip lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa

Ten gevolge van de dikte van de strip ontstaat er ter hoogte van de overlap tussen een horizontale en een verticale strip een verminderde hechting van de silicone. Bijgevolg heeft het aanbrengen van extra silicone rond deze punten een grote impact op het luchtlekdebiet.



Figuur 2.19 Links: Verminderde hechting silicone ter hoogte van kruispunten, rechts: extra silicone

Ook de stromingsexponent wordt sterk beïnvloed door deze extra silicone rond de kruispunten. Initieel werd een stromingsexponent van 0,7 gemeten, wat wijst op de combinatie van laminaire luchtstromingen door de materialen en turbulente stromingen door openingen. Na het toevoegen van de extra silicone werd er echter een stromingsexponent van 0,9 gemeten. Deze verhoging is het gevolg van het sluiten van de openingen en bijgevolg het verdwijnen van de turbulente stromingen.

Vervolgens wordt een mechanische veroudering uitgevoerd aan de hand van 200 cycli van 1000 Pa. Hierna wordt er geen verschil vastgesteld in het lekdebiet. Dit betekent dat de silicone strips, die bevestigd zijn op de OSB-ondergrond, bestand zijn tegen het herhaaldelijk uitvoeren van drukpulsaties.

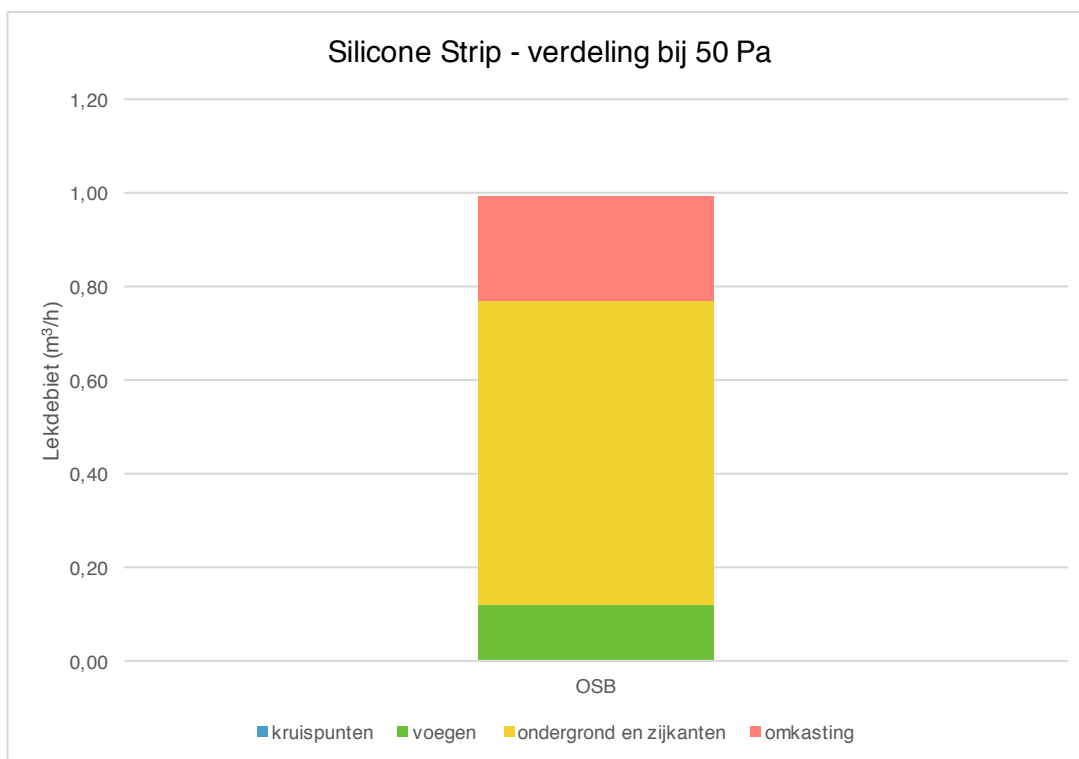
Indien echter het lekdebiet van de opstelling in natte toestand vergeleken wordt met de waarde in droge toestand, wordt er wel een significant verschil vastgesteld. Het vullen van de poriën van de OSB-plaat is hier de oorzaak van. De vraag hierbij is of er ook gaatjes in de silicone of de strip zelf gevuld worden met waterdruppeltjes en een vermindering van het lekdebiet veroorzaken. Verder onderzoek zal gevoerd worden in 2.5 *Ondergronden* om hier een antwoord op te bieden.

Ten slotte wordt de opstelling gedurende 24 uur gedroogd en wordt opnieuw het lekdebiet gemeten. Hierbij wordt een vermindering van de luchtdichtheid vastgesteld. Dit is het gevolg van het blijvende effect van het zwellen van de OSB nadat deze voor een eerste keer benat is. Of de silicone en de strip al dan niet ook een verminderde luchtdichtheid vertonen na deze uitdroging, zal verder besproken worden in 2.6 *Discussie*.

Vervolgens worden systematisch de kruispunten, de hele voegen en het volledige oppervlak bedekt met een luchtdichte coating zodat een verdeling kan gemaakt worden van het volledige luchtlekdebiet. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een andere coating gebruikt is dan bij de voorgaande testen. Ditmaal werd een coating van hetzelfde merk gebruikt als de silicone en de strip zodat een volledig systeem getest kan worden.



Figuur 2.20 Kruispunten, voegen en volledig oppervlak bedekt



Grafiek 2.12 Silicone Strip verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa

Silicone Strip - verdeling bij 50 Pa			
OSB			
kruispunten	-0,01	± 0,13	m³/h
voegen	0,12	± 0,11	m³/h
ondergrond en zijkanten	0,65	± 0,10	m³/h
omkasting	0,22	± 0,05	m³/h

Tabel 2.7 Silicone Strip verdeling van het lekdebiet bij 50 Pa

Grafiek 2.12 toont dat er geen lucht wegvloeit door de kruispunten. De extra silicone rond deze punten heeft er dus voor gezorgd dat deze volledig luchtdicht zijn. Vervolgens toont de grafiek een klein luchtlekdebiet voor de voegen. Dit is het gevolg van zeer kleine openingen die nog in de silicone aanwezig zijn, doordat deze op sommige plaatsen niet perfect werd aangedrukt. Hierbij

dient opgemerkt te worden dat het lekdebiet van het deel OSB dat ook bedekt werd door de coating hier nog mee in verwerkt zit. Bijgevolg zal het effectieve lekdebiet van de voegen nog verkleinen.

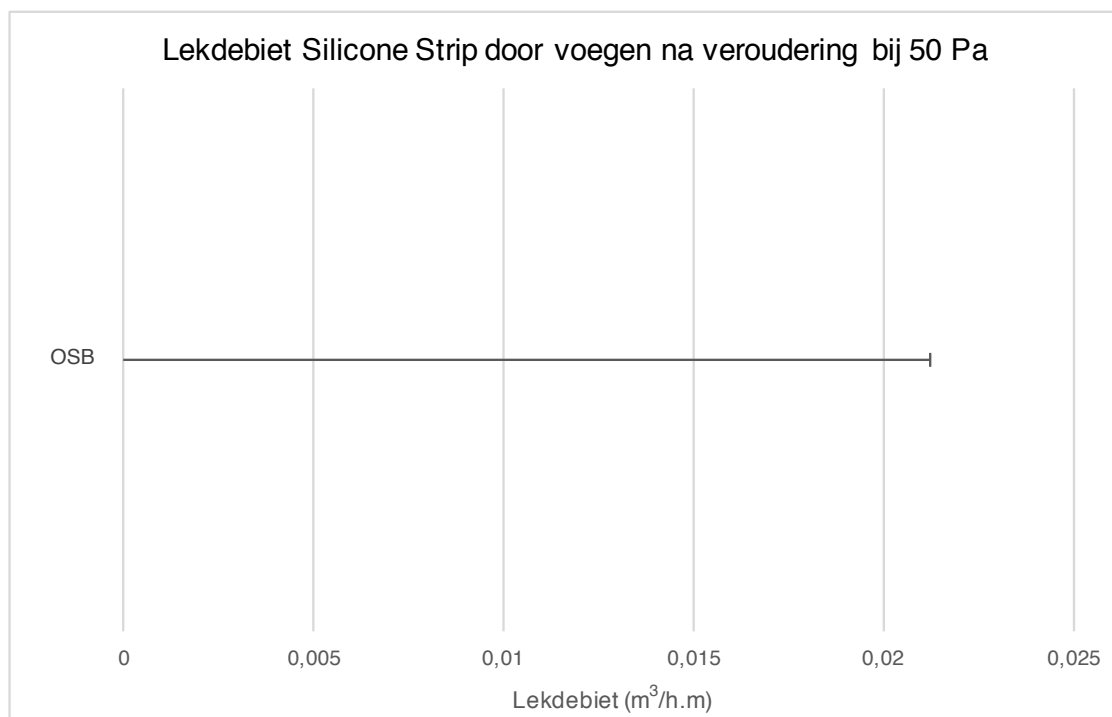
Er wordt een groter lekdebiet vastgesteld voor de ondergrond en de zijkanten dan bij de vorige metingen met dezelfde soort OSB ($0,65 \pm 0,10 \text{ m}^3/\text{h}$ ten opzichte van $0,38 \pm 0,21 \text{ m}^3/\text{h}$ voor tape C). Bijgevolg vloeit er nog een relatief grote hoeveelheid lucht door de aansluitingen aan de zijkanten van de opstelling. De hoek die gevormd wordt door de plaatjes en de omkasting, was ook moeilijk uit te voeren. Ondanks de extra silicone en de gewichtjes die geplaatst werden op de strip om deze neer te drukken, kon de hoek niet volledig luchtdicht gemaakt worden. In de praktijk zullen deze soort hoeken minder voorkomen. Indien deze toch gevormd worden, wordt er aangeraden om een bijkomende mechanische bevestiging toe te passen zodat de strip tegen de ondergrond gedrukt blijft en een goede hechting met de silicone bereikt kan worden.



Figuur 2.21 Hoekaansluiting

Er wordt een kleiner lekdebiet gemeten voor de omkasting dan bij de vorige metingen ($0,22 \pm 0,05 \text{ m}^3/\text{h}$ ten opzichte van $0,35 \pm 0,09 \text{ m}^3/\text{h}$). Aangezien er reeds geconcludeerd werd dat de coating die bij de vorige metingen gebruikt werd, luchtdicht was, kan er besloten worden dat ook deze coating luchtdicht toegepast werd. Het verschil in lekdebiet tussen beide coatings dat toch opgemeten werd, is te wijten aan het feit dat beide metingen niet meteen na elkaar uitgevoerd zijn. Aangezien de zwelband niet steeds op exact dezelfde manier aansluit tegen de testwand en ook de omkasting zelf kleine bewegingen kan ondergaan, worden er dus kleine verschillen in het lekdebiet gemeten.

Ten slotte wordt er bepaald wat het lekdebiet is dat enkel door de strip via de voegen wegvloeit. Dit lekdebiet wordt bepaald door de meting waarbij de voegen bedekt zijn, af te trekken van het resultaat dat bekomen werd na veroudering. Vervolgens dient een correctie uitgevoerd te worden voor het bedekte deel naast de strip zoals aangegeven in tabel 2.8. Hierbij wordt dezelfde methode toegepast voor het uitvoeren van de correctie als diegene die bij de tapes gebruikt wordt.



Grafiek 2.13 Silicone Strip lekdebiets door voegen na veroudering bij 50 Pa

SILICONE STRIP		
	na veroudering	door voegen door voegen na correctie
OSB	0,98 ± 0,11 m^3/h	0,015 ± 0,019 $\text{m}^3/\text{h.m}$ -0,002 ± 0,023 $\text{m}^3/\text{h.m}$

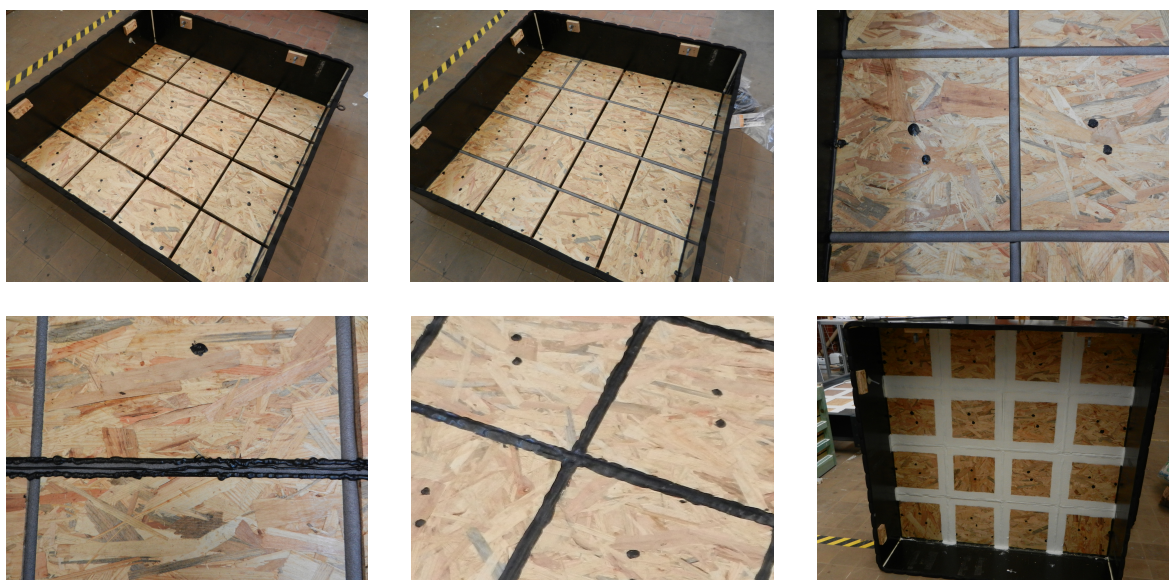
Tabel 2.8 Silicone Strip lekdebiets door voegen na veroudering bij 50 Pa

Er wordt vastgesteld dat het lekdebiets door de silicone strip zodanig klein is dat het niet gemeten kan worden. Er wordt bijgevolg geconcludeerd dat de silicone strip op de OSB-ondergrond na veroudering luchtdicht is. Aangezien bij de startmeting een kleiner lekdebiets werd gemeten dan na veroudering, wordt er besloten dat de silicone strip ook reeds van bij de start luchtdicht was.

Coating

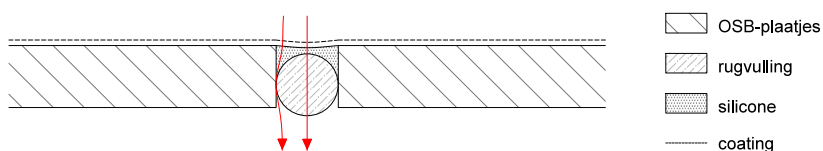
De tweede methode wordt opnieuw enkel uitgevoerd op de OSB-ondergrond omwille van dezelfde reden als voor de silicone strip.

Dit tweede afdichtingssysteem op basis van silicone start met het vullen van de voegen met een rugvulling bestaande uit een polyethyleenschuim. Eerst worden de horizontale voegen gevuld en daarna worden de verticale voegen stuksgewijs gevuld. Vervolgens worden er drie lijnen silicone gespoten over de rugvulling en worden deze aangedrukt zodat alle openingen gevuld worden tussen de OSB-plaatjes. Ten slotte wordt de coating, op basis van vloeibare silicone, met een roller aangebracht over de voegen in drie lagen.

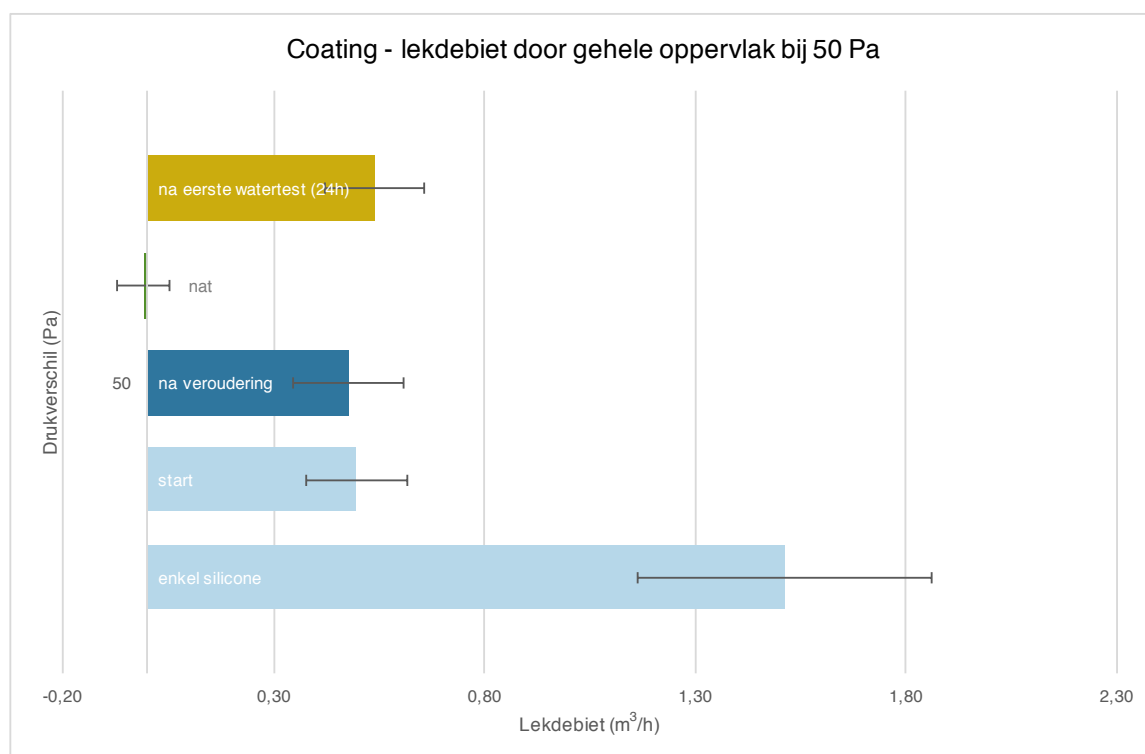


Figuur 2.22 Opbouw toepassing coating op OSB-ondergrond

Voordat de coating over de silicone werd aangebracht, werd er eerst een luchtdichtheidstest uitgevoerd om de enkelvoudige prestatie van de silicone te bepalen. Na deze eerste test werden de voegen bedekt met de coating en werd er opnieuw een luchtdichtheidstest uitgevoerd. Hierbij wordt er vastgesteld dat een relatief grote verbetering van de luchtdichtheid gemeten werd. De stromingsexponent wordt echter niet zo sterk beïnvloed door deze coating (0,80 met coating ten opzichte van 0,75 zonder). Dit is in tegenstelling met de grote verhoging van de stromingsexponent bij de silicone strip wanneer extra silicone rond de kruispunten werd toegevoegd. Hier is het echter zo dat de lucht reeds van bij de start voornamelijk door de materialen zelf stroomt - zelfs al zijn er nog kleine openingen aanwezig in de silicone - aangezien er zich achter deze silicone nog een rugvulling bevindt. Het bedekken van deze kleine openingen zorgt voor een verbetering van de luchtdichtheid maar verandert de soort luchtstroming niet in grote mate.



Figuur 2.23 Luchtstroming coating over silicone



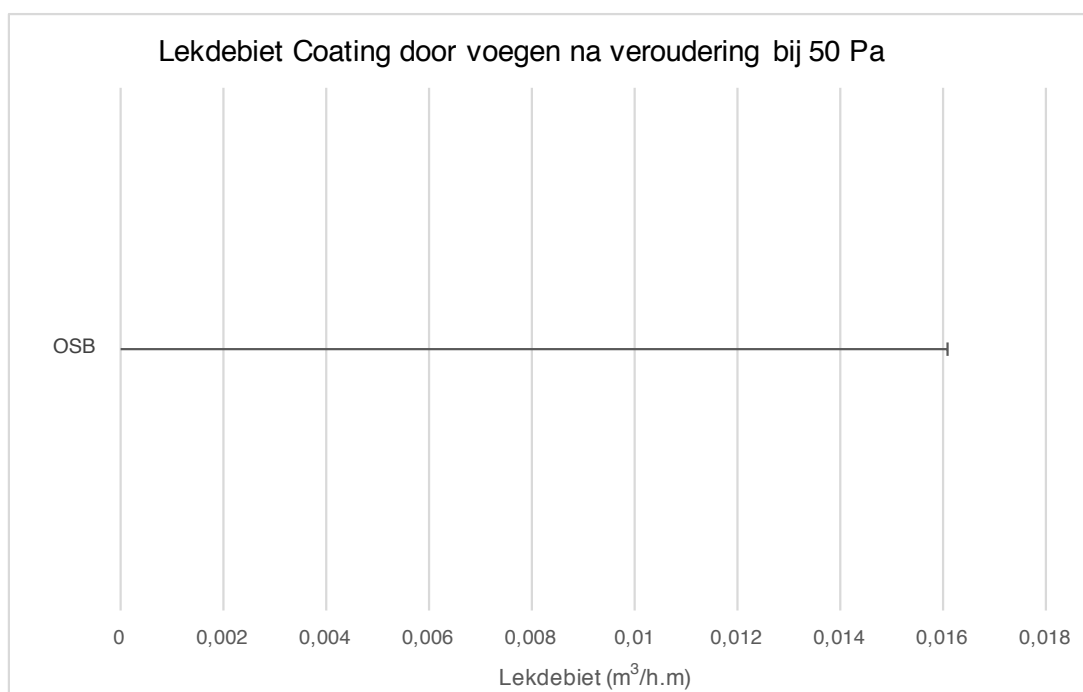
Grafiek 2.14 Coating lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa

Vervolgens wordt er een mechanische veroudering uitgevoerd aan de hand van 200 cycli van 1000 Pa. Er wordt geen verschil gemeten in het lekdebiet voor en na deze veroudering. Na het benatten van de opstelling wordt er echter wel een significant verschil vastgesteld. Dit is het gevolg van het vullen van de poriën van de OSB met waterdruppeltjes. Aangezien het lekdebiet in natte toestand gelijk kan gesteld worden aan nul, kan er van uitgegaan worden dat ook de kleine openingen die nog in de coating en de silicone aanwezig zijn, gevuld zijn met water waardoor er geen lucht meer kan doorstromen. Dit zal verder besproken worden in 2.6 *Discussie*.

Na 24 uur droging van de opstelling na de eerste watertest, wordt er een kleine verhoging van het lekdebiet gemeten. Deze verhoging is het gevolg van het blijvende effect van het zwellen van de OSB tijdens de eerste keer benatten en opnieuw opdrogen. Aangezien het hier slechts om een kleine verhoging gaat, kan er gesteld worden dat de silicone en de coating zelf geen verandering ondergaan.

De volgende stap in de testreeks is het systematisch bedekken van de kruispunten, de voegen en het gehele oppervlak met een luchtdichte coating. Aangezien er echter reeds een coating over de voegen toegepast is, kan het lekdebiet door de voegen niet meer op dezelfde manier bepaald worden als bij de voorgaande materialen.

Daarom wordt het resterende deel van de OSB-ondergrond bedekt met dezelfde luchtdichte coating als over de voegen en wordt het luchtlekdebiet gemeten ($0,32 \pm 0,13 \text{ m}^3/\text{h}$). Het bekomen resultaat wordt vergeleken met de meting waarbij het gehele oppervlak bedekt is met de luchtdichte coating van de opstelling met de silicone strip ($0,22 \pm 0,05 \text{ m}^3/\text{h}$). Indien deze twee waarden van elkaar afgetrokken worden, kan er bepaald worden wat het lekdebiet is van de voegen van de opstelling met de silicone en de coating.



Grafiek 2.15 Coating lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

COATING		
	na veroudering	door voegen
OSB	0,54 ± 0,12 m³/h	0,012 ± 0,019 m³/h.m
		door voegen na correctie
		-0,009 ± 0,025 m³/h.m

Tabel 2.9 Coating lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

Vervolgens dient een correctie uitgevoerd te worden voor het bedekte deel naast de voeg zoals aangegeven in tabel 2.9. Hierbij wordt dezelfde methode toegepast voor het uitvoeren van de correctie als diegene die bij de tapes gebruikt wordt. Er wordt vastgesteld dat het luchtlekdebiet van de voegen die bedekt zijn met de silicone en de coating zo klein is dat het niet gemeten kan worden. Deze zijn bijgevolg luchtdicht.

2.4 Polyurethaanschuim

Binnen het tijdsbestek van deze masterscriptie was het niet mogelijk om het polyurethaanschuim op de drie verschillende opstellingen te testen. Er wordt gekozen om het schuim enkel toe te passen op de betonondergrond aangezien een zekere diepte van de voeg nodig is. Het beton wordt zowel gebruikt als regendichting als als luchtdichting. Zowel de waterdichtheidstest als de luchtdichtheidstest zijn dus beide relevant voor het schuim dat toegepast wordt op de betonondergrond.

Het gebruikte schuim bestaat uit ongeveer 70 à 80% gesloten cellen. Het is een één-component-schuim en vertoont geen krimp of postexpansie.

Eerst wordt de ondergrond bevochtigd zodat het schuim voldoende kan polymeriseren. De verticale voegen worden als eerste opgevuld. Vervolgens wordt het schuim in de horizontale tussenstukken gespoten.



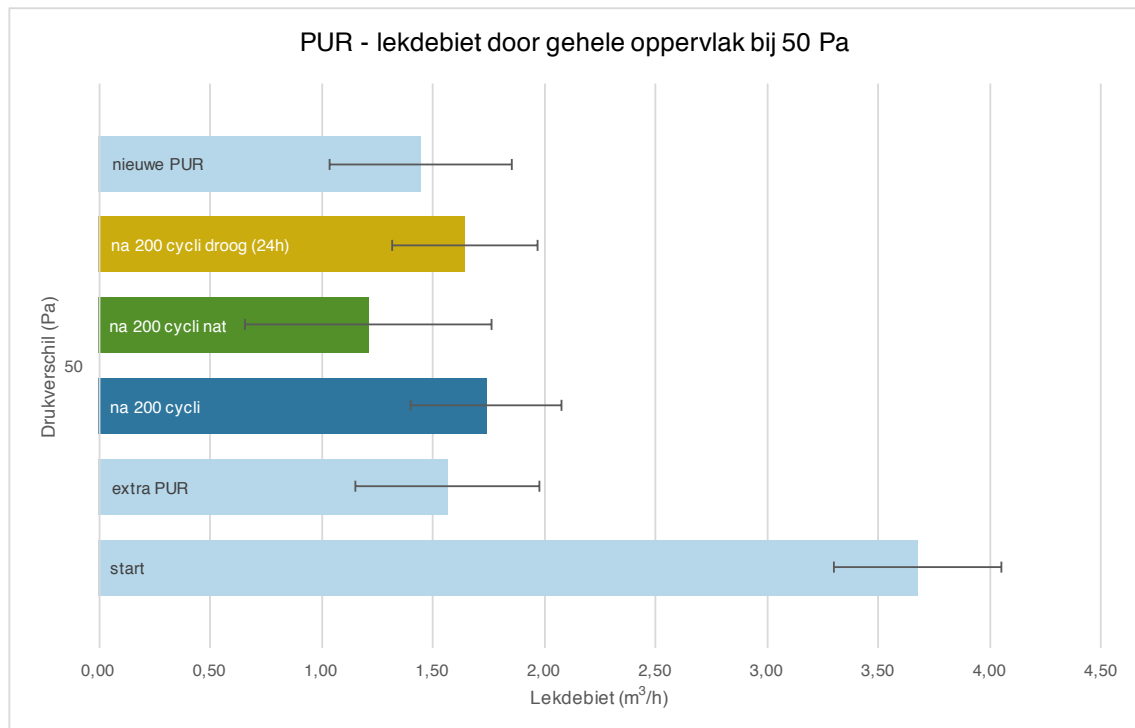
Figuur 2.24 Polyurethaanschuim op betonondergrond

Na het uitharden van het schuim konden nog duidelijk zichtbare openingen onderscheiden worden. Het schuim was namelijk vooral uitgezet naar de buitenkanten toe en in veel mindere maten tussen de voeg zelf. De luchtdichtheid werd gemeten en het relatief hoge lekdebiet en de stromingsexponent ($=0,59$) bevestigen de aanwezigheid van deze openingen. Vervolgens werd er extra PUR-schuim in de zichtbare openingen gespoten en werd opnieuw het lekdebiet gemeten. Er wordt een relatief grote verbetering van het luchtlekdebiet vastgesteld en ook de stromingsexponent is licht gestegen ($=0,65$). Deze stromingsexponent wijst er wel nog steeds op dat de lucht voornamelijk stroomt door kleine openingen.

Vervolgens wordt een mechanische veroudering uitgevoerd aan de hand van 200 cycli van 1000 Pa en wordt opnieuw de luchtdichtheid gemeten. Er wordt slechts een kleine verhoging van het lekdebiet vastgesteld. Deze is niet significant en bijgevolg weerstaat het schuim dat toegepast werd op de betonondergrond aan de uitgevoerde drukpulsaties.

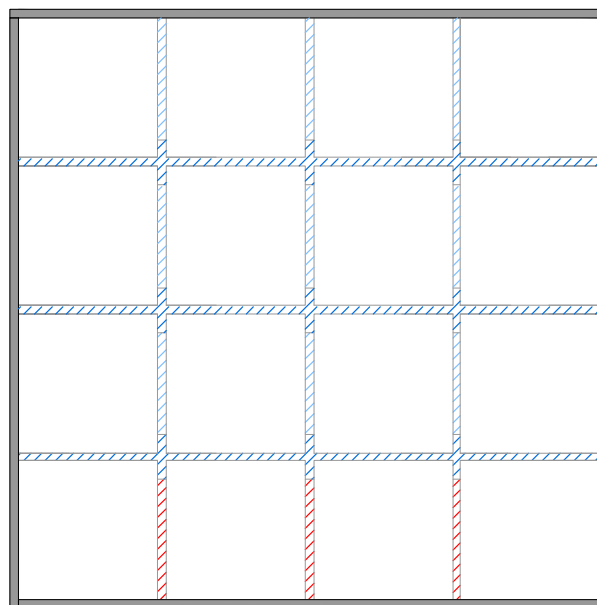
Indien de opstelling benat is, wordt er echter wel een significant verschil gemeten van het luchtlekdebiet. Aangezien de betonondergrond reeds luchtdicht was bij de start, is deze verbetering van de luchtdichtheid te wijten aan het polyurethaanschuim dat water absorbeert. Hierdoor worden

de poriën van het schuim gevuld en kan er minder lucht door stromen. De opstelling droogt daarna uit gedurende 24 uur. De luchtdichtheid wordt opnieuw gemeten en hetzelfde luchtlekdebiet als na mechanische veroudering wordt gemeten.



Grafiek 2.16 Polyurethaanschuim lekdebiet door gehele oppervlak bij 50 Pa

Vervolgens wordt het polyurethaanschuim verwijderd van de betonondergrond en wordt er nieuw schuim aangebracht. Dit om na te gaan of er initieel fouten zijn gemaakt bij het aanbrengen van het schuim en of de wijze van uitvoering invloed heeft op de luchtdichtheid. Ditmaal worden eerst enkel de onderste verticale stukjes opgevuld (figuur 2.25 rood).



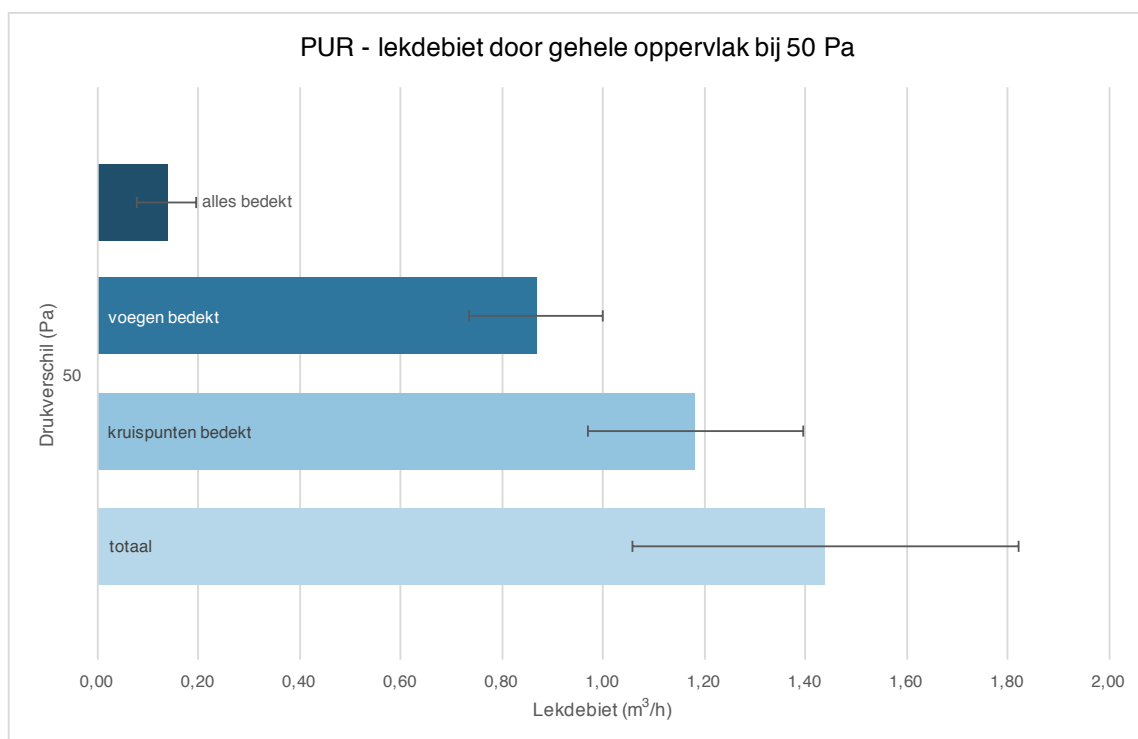
Figuur 2.25 Opbouw PUR op betonondergrond

2. Luchtdichtheid

Daarna wordt er een half uur gewacht totdat de buitenkant van het schuim reeds uitgehard is en het niet meer verder uitzet. Vervolgens wordt de eerste horizontale voeg opgevuld (figuur 2.25 donkerblauw). Hierbij wordt ervoor gezorgd dat de volledige kruispunten in eenzelfde beweging gevuld worden. Meteen daarna worden de volgende verticale tussenstukjes opgevuld (figuur 2.25 lichtblauw). Er wordt weer een half uur gewacht en vervolgens wordt de vorige stap nog twee maal herhaald.

Nadat het polyurethaanschuim volledig uitgehard is, wordt er opnieuw een luchtdichtheidstest uitgevoerd. Hierbij wordt eenzelfde luchtlekdebiet gemeten als bij voorgaande testen. Er wordt bijgevolg geconcludeerd dat de luchtdichtheid van het polyurethaanschuim op de betonondergrond niet afhankelijk is van de manier van uitvoering. Het schuim is echter niet in staat om alle onregelmatigheden van de betonranden op te vullen waardoor er luchtlekages ontstaan. Aangezien dezelfde betontegels gebruikt zijn voor alle metingen, kunnen min of meer dezelfde onregelmatigheden niet gevuld worden en wordt hetzelfde luchtlekdebiet gemeten.

Vervolgens worden systematisch de kruispunten, de hele voegen en het volledige oppervlak bedekt met een luchtdichte coating zodat een verdeling kan gemaakt worden van het volledige luchtlekdebiet.

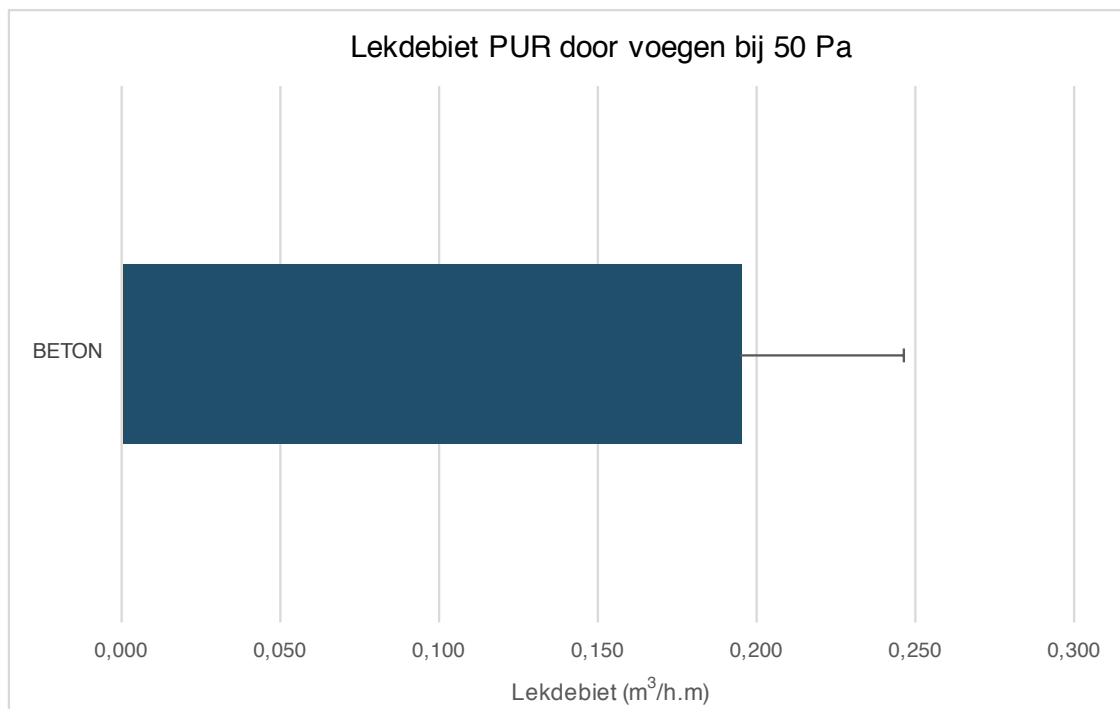


Grafiek 2.17 Polyurethaanschuim kruispunten, voegen en hele oppervlak bedekt

Grafiek 2.17 toont de lekdebieten die gemeten worden wanneer achtereenvolgens de kruispunten, de voegen en het gehele oppervlak bedekt zijn met een luchtdichte coating. Hierbij wordt er vastgesteld dat indien de voegen bedekt zijn, nog steeds een relatief groot lekdebiet gemeten wordt ten opzichte van de waarde waarbij alles bedekt is. Indien de betonondergrond en de coating luchtdicht zijn, zou het lekdebiet van de opstelling met enkel de voegen bedekt gelijk moeten zijn aan het lekdebiet van de opstelling waarbij alles bedekt is. Aangezien dezelfde soort betontegels

gebruikt worden als bij voorgaande testen, kunnen deze niet de oorzaak zijn van het verhoogde luchtlekdebiet. Er wordt bijgevolg geconcludeerd dat de coating niet volledig luchtdicht kan aangebracht worden op het polyurethaanschuim. Er kan dus geen correcte verdeling gemaakt worden van het luchtlekdebiet van de polyurethaanschuim op de betonondergrond.

Het lekdebiet door de voegen wordt ten slotte bepaald door de meting waarbij alles bedekt is met een luchtdichte coating, af te trekken van de initiële meting met de nieuwe PUR. Aangezien er verondersteld wordt dat de betontegels luchtdicht zijn, heeft het al dan niet bedekken van deze tegels geen effect op het luchtlekdebiet. Bijgevolg is het lekdebiet van de opstelling waarbij het hele oppervlak bedekt is met de luchtdichte coating gelijk aan het lekdebiet van de opstelling waarbij enkel de voegen volledig luchtdicht bedekt zijn met de coating. Het lekdebiet door de voegen kan dus berekend worden aan de hand van de meting waarbij alles bedekt is met de coating af te trekken van de initiële meting.



Grafiek 2.18 Polyurethaanschuim lekdebiet door voegen bij 50 Pa

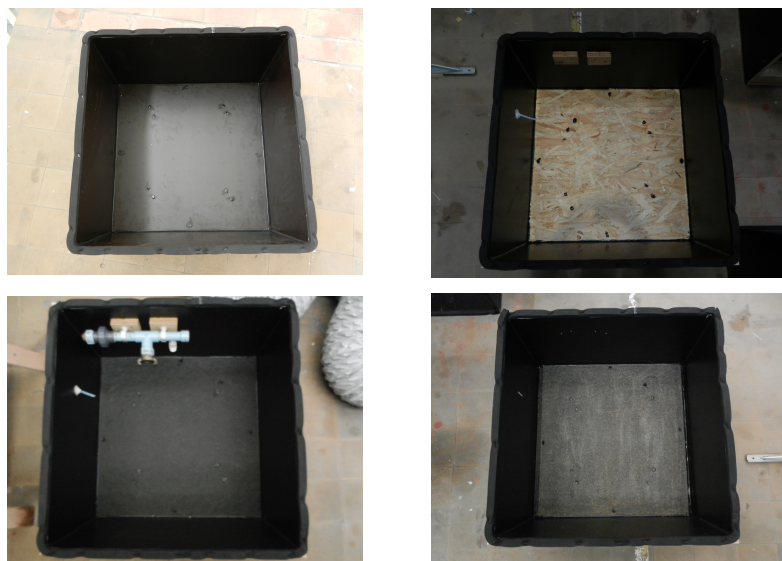
PUR		
	nieuwe PUR	door voegen
BETON	1,44 ± 0,38 m³/h	0,195 ± 0,052 m³/h.m
		door voegen na correctie
BETON		0,195 ± 0,052 m³/h.m

Tabel 2.10 Polyurethaanschuim lekdebiet door voegen bij 50 Pa

2.5 Ondergronden

Aangezien bij voorgaande testen geen definitieve conclusies konden gemaakt worden over het gedrag van de afdichtingsmaterialen in natte en uitgedroogde toestand op de verschillende ondergronden, wordt eerst het gedrag van de ondergronden zelf verder onderzocht. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van een kleine testopstelling (60,7 x 60,7 cm). Deze is op dezelfde manier opgebouwd als de grote testopstelling die voor alle voorgaande testen gebruikt werd, namelijk een betonplexomkasting rond een houten frame waarop de ondergrond bevestigd wordt. De naden tussen de betonplexplaten onderling en tussen de omkasting en de ondergrond zijn dichtgekit. Eerst wordt een betonplexplaat als ondergrond toegepast om na te gaan of de testopstelling zelf luchtdicht is. Bij de uitgevoerde luchtdichtheidstest kon er geen luchtlekdebiet gemeten worden. Dit bevestigt dat de testopstelling luchtdicht is.

Vervolgens worden de prestaties van een OSB-plaat, een houtvezelplaat met een extra bitumenlaagje en een houtvezelplaat zonder extra bitumenlaagje maar behandeld met een primer getest.

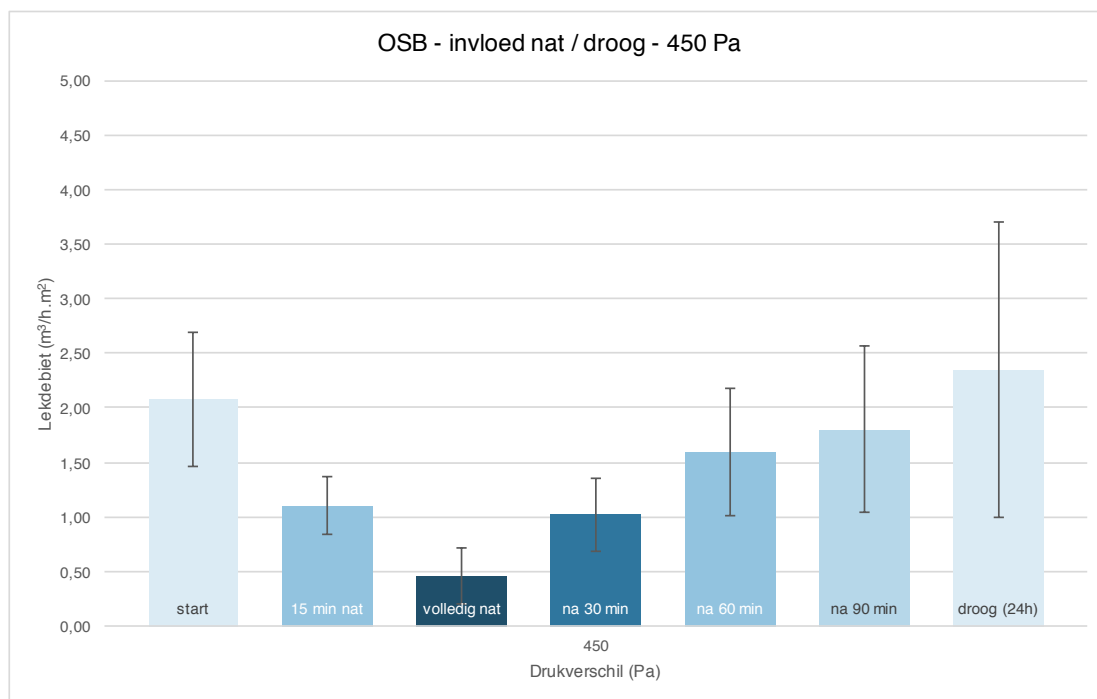


Figuur 2.26 Kleine opstelling met betonplex, OSB, houtvezelplaat met bitumenlaag, houtvezelplaat zonder bitumenlaag

Hierbij wordt er steeds eerst een initiële luchtdichtheidstest uitgevoerd. Vervolgens wordt de opstelling besproeid gedurende 15 minuten en wordt de luchtdichtheid opnieuw gemeten. Daarna wordt al dan niet de volledige watercyclus uitgevoerd en wordt de luchtdichtheid opnieuw gemeten om na te gaan of de tijdsduur en het drukverschil waarbij de opstelling besproeid wordt, een invloed heeft op de luchtdichtheid. Vervolgens wordt om de 30 minuten een nieuwe luchtdichtheidstest uitgevoerd om de droogtijd van de materialen te kwantificeren en de invloed van de afdichtingsmaterialen hierop. Ten slotte wordt na 24 uur een laatste luchtdichtheidstest uitgevoerd om de invloed van uitdroging na een eerste watertest te bepalen. Aangezien er soms zeer kleine lekdebieten gemeten worden, kan de evolutie van het luchtlekdebiet niet altijd met grote precisie gemeten worden bij 50 Pa, daarom worden hier telkens de lekdebieten bij 450 Pa weergegeven.

OSB

Een OSB-plaat met exact dezelfde afmetingen als de binnenafmetingen van de testopstelling, wordt op het houten frame bevestigd en de hoeken met de omkasting worden dichtgekit. Er wordt eerst een initiële luchtdichtheidstest uitgevoerd. Hierbij wordt een luchtlekdebiet gemeten dat verschilt van nul. Bijgevolg kan dus met zekerheid geconcludeerd worden dat de gebruikte OSB-platen niet volledig luchtdicht zijn.



Grafiek 2.19 OSB invloed nat/droog op luchtlekdebiet bij 450 Pa

OSB - gemiddelde - droogtijd - 450 Pa (25,5°C, 57,1% RV)						n
start	2,07	±	0,62	m³/h.m²		0,912
15 min benat	1,10	±	0,26	m³/h.m²	53,24% ± 20,33%	0,900
na volledige cyclus nat	0,46	±	0,25	m³/h.m²	22,15% ± 13,86%	0,635
na 30 min drogen	1,02	±	0,34	m³/h.m²	49,13% ± 21,85%	0,778
na 60 min drogen	1,59	±	0,58	m³/h.m²	76,76% ± 36,14%	0,921
na 90 min drogen	1,80	±	0,76	m³/h.m²	86,82% ± 44,87%	0,910
droog (24h)	2,35	±	1,35	m³/h.m²	113,39% ± 73,23%	0,883

Tabel 2.11 OSB droogtijd bij 450 Pa

De OSB wordt 15 minuten besproeid en vervolgens wordt de luchtdichtheid bepaald. Hierbij wordt er reeds een sterke vermindering van het luchtlekdebiet vastgesteld. Tabel 2.11 toont echter nog geen sterke daling van de stromingsexponent. Dit wijst erop dat reeds een deel van de poriën van de OSB gevuld zijn met water waardoor er minder lucht kan doorstromen maar dat het lekdebiet

2. Luchtdichtheid

wel nog voornamelijk bepaald wordt door de stroming door deze poriën. Vervolgens wordt de OSB-besproeid gedurende de volledige watercyclus en wordt het luchtlekdebiet opnieuw gemeten. Hierbij wordt vastgesteld dat het luchtlekdebiet nog slechts 22,15% bedraagt van het initiële luchtlekdebiet. Na de volledige watercyclus is het lekdebiet dus nog sterk gedaald ten opzichte van de meting die uitgevoerd werd nadat de opstelling gedurende 15 minuten besproeid werd. Ook de stromingsexponent is nu nog slechts 0,653. Dit wijst erop dat al de kleine poriën gevuld zijn en dat de luchtstroming voornamelijk bepaald wordt door de aanwezigheid van grotere openingen. Hierbij wordt er geconcludeerd dat de luchtdichtheid van de OSB-plaat afhankelijk is van de tijdsduur en het drukverschil waarbij deze besproeid wordt.

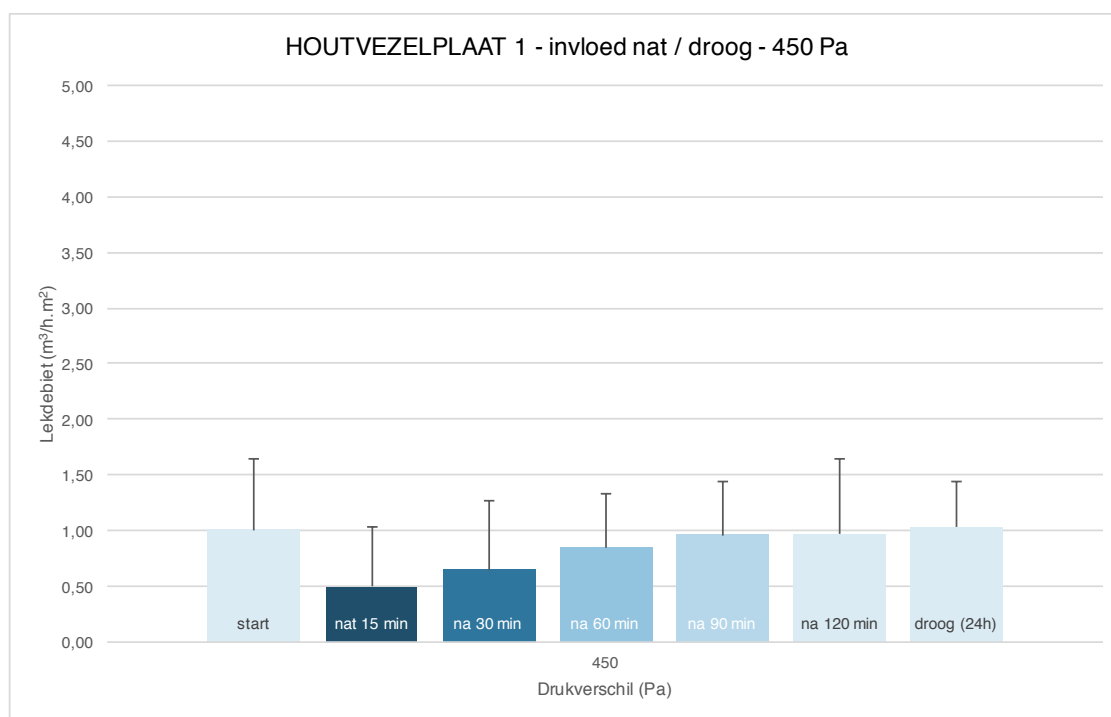
Vervolgens wordt de opstelling gedroogd bij een temperatuur van 25,5°C en een relatieve luchtvochtigheid van 57,1%. Na elke dertig minuten wordt opnieuw de luchtdichtheid gemeten. Hierbij wordt vastgesteld dat de stromingsexponent terug relatief snel stijgt - na 60 minuten is deze terug gelijk aan de oorspronkelijke stromingsexponent. Dit wijst erop dat het water zich snel verspreidt over de verschillende poriën van de OSB waardoor de lucht terug voornamelijk door het materiaal zelf stroomt. Na 90 minuten wordt er geen significant verschil meer gemeten in vergelijking met de startmeting. Na 24 uur wordt echter een verhoging van het luchtlekdebiet van ongeveer 13% gemeten ten opzichte van de startmeting. Tijdens het benatten zwelt de OSB-plaat. Deze swelling kan opgedeeld worden in twee soorten namelijk de omkeerbare en niet-omkeerbare swelling. De omkeerbare swelling is te wijten aan het zwellen en krimpen van de houtschilfers. De verandering in dikte van de plaat die hiermee gepaard gaat, zal na het uitdrogen geen effect meer hebben. De niet-omkeerbare swelling daarentegen is te wijten aan de lijm tussen de houtschilfers die ten gevolge van de spanningen die ontstaan tijdens het zwellen, zorgen voor een niet-omkeerbare verandering in dikte van de OSB-plaat. Deze verandering in dikte zorgt voor een verminderde densiteit van de plaat waardoor een verminderde luchtdichtheid gemeten wordt. Dit is ook te zien aan de stromingsexponent die licht verlaagd is ten opzichte van de startmeting (0,883 ten opzichte van 0,912).



Figuur 2.27 Zwellen van de OSB ten gevolge van blootstelling aan water

Gebitumineerde houtvezelplaat met extra bitumenlaagje

Een gebitumineerde houtvezelplaat met langs één zijde een extra bitumenlaagje en met exact dezelfde afmetingen als de binnenafmetingen van de testopstelling, wordt op het houten frame van de testopstelling bevestigd en de hoeken met de omkasting worden dichtgekit. Er wordt eerst een initiële luchtdichtheidstest uitgevoerd.



Grafiek 2.20 Houtvezelplaat met extra bitumenlaagje invloed nat/droog op luchtlekdebiet bij 450 Pa

HOUTVEZEL 1 - gemiddelde - droogtijd - 450 Pa (20,1°C, 50% RV)						n
start	1,01	±	0,65	m³/h.m²		0,936
15 min benat	0,50	±	0,54	m³/h.m²	49,52% ± 62,36%	0,673
na 30 min drogen	0,65	±	0,62	m³/h.m²	64,28% ± 74,65%	0,751
na 60 min drogen	0,85	±	0,48	m³/h.m²	84,63% ± 72,29%	0,861
na 90 min drogen	0,96	±	0,48	m³/h.m²	95,82% ± 77,86%	0,901
na 120 min drogen	0,96	±	0,69	m³/h.m²	95,91% ± 92,07%	0,918
droog (24h)	1,03	±	0,41	m³/h.m²	102,13% ± 77,56%	0,879

Tabel 2.12 Houtvezelplaat met extra bitumenlaagje droogtijd bij 450 Pa

Hierbij wordt vastgesteld dat een relatief klein luchtlekdebiet gemeten wordt in vergelijking met het luchtlekdebiet van de OSB-plaat die eigenlijk als luchtdichting gebruikt wordt. De vraag hierbij is of houtvezelplaten ook als luchtdichting kunnen gebruikt worden bijkomend aan hun toepassing als wind- en regendichting aan de buitenzijde van de gevel achter de gevelbekleding. Dit vlak aan de buitenzijde van de gevel vertoont minder verbindingen met andere constructie-elementen en

vertoont ook minder openingen dan het vlak aan de binnenzijde. Hierdoor kunnen grotere platen gebruikt worden waardoor minder voegen luchtdicht afgedicht dienen te worden dan voor het vlak aan de binnenzijde. In 2010 werd dit onderzocht door Langmans⁸⁶. Hij concludeerde dat een verbeterde winddichting het risico op inwendige condensatie in de gevel sterk vermindert aangezien de luchtexfiltratie doorheen de gevelopbouw verhinderd wordt. Hierbij wordt dan de vraag gesteld of een luchtdichting aan de binnenzijde van de gevel nog noodzakelijk is. Ook dit werd door Langmans onderzocht in 2012⁸⁷. Dit onderzoek toont aan dat indien openingen gelaten worden in de luchtdichting aan de binnenzijde van de gevel, de werking van de isolatie niet wordt aangetast maar dat er wel een verhoogd risico ontstaat op schade door vochttransport. Omwille van het temperatuurverschil in de wand ontstaat er een loop van natuurlijk convectie die constant vocht transporteert naar de koude buitenzijde van de wand (in wintercondities). Indien langs de buitenzijde van de wand een materiaal wordt aangebracht met een thermische weerstand en vochtbuffercapaciteit, kan dit effect verminderd worden. Er ontstaat echter wel een verhoogd risico op schimmeligroei aan de binnenzijde van de buitenste laag van de wand. Indien deze risico's vermeden willen worden, is het aangeraden om nog steeds een luchtdichting langs de binnenzijde van de gevel te voorzien.

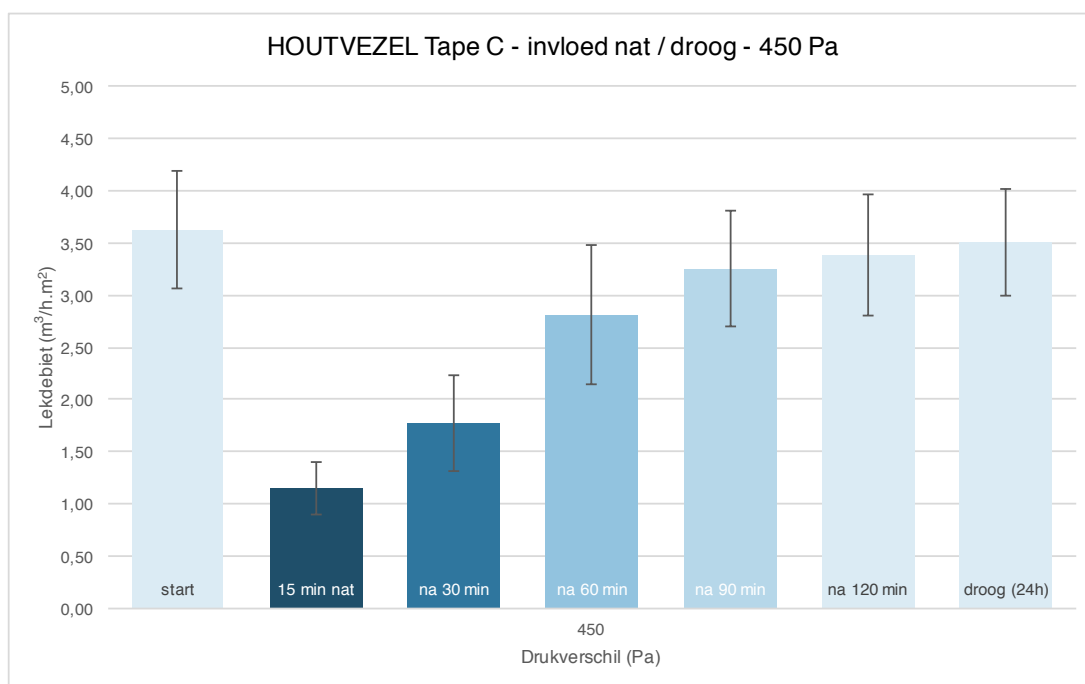
De opstelling wordt vervolgens 15 minuten besproeid met water. Hierna wordt een luchtlekdebiëet gemeten dat nog slechts de helft is van het initiële luchtlekdebiëet. Dit betekent dat de houtvezelplaat een deel van het water absorbeert waardoor deze luchtdichter wordt. Ook de verlaging van de stromingsexponent wijst erop dat de lucht voornamelijk door grotere openingen stroomt en niet meer door de kleine poriën van het materiaal. Na deze benatting verhoogt echter het luchtlekdebiëet relatief snel. Na 60 minuten wordt een luchtlekdebiëet gemeten dat ongeveer 85% bedraagt van het initiële luchtlekdebiëet. Hierbij wordt er geen significant verschil meer vastgesteld tussen het gemeten lekdebiëet en het initiële lekdebiëet in droge toestand. Na 90 minuten is de opstelling opnieuw volledig droog. Ook de stromingsexponent benaderd opnieuw na 90 minuten de initiële stromingsexponent. Deze relatief snelle opdroging is te danken aan het extra bitumenlaagje langs de buitenzijde van de plaat. Dit laagje houdt een groot deel van het water tegen waardoor niet veel water door de plaat zelf wordt opgenomen. Hierdoor is de plaat ook sneller opgedroogd. Na 24 uur wordt er opnieuw een luchtdichtheidstest uitgevoerd. Hierbij wordt een luchtlekdebiëet gemeten dat gelijk is aan het luchtlekdebiëet van de initiële luchtdichtheidstest. De houtvezelplaat heeft dus geen veranderingen ondergaan die de luchtdichtheid beïnvloeden ten gevolge van het benatten en daarna weer uitdrogen.

Dezelfde testreeks wordt uitgevoerd op dezelfde soort gebitumineerde houtvezelplaten met een extra bitumenlaagje aan de buitenkant maar ditmaal in combinatie met tape C. Hiervoor wordt de grote testopstelling toegepast waarbij plaatjes van 29,5 x 29,5 cm bevestigd zijn op het houten frame en de voegen tussen de plaatjes bedekt zijn met tape C. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de plaatjes en de tape reeds benat en opgedroogd zijn geweest voor deze test.

⁸⁶ Langmans, J. & Klein, R. & De Paepe, M. & Roels, S. (2010) *Potential of wind barriers to assure airtightness of wood-frame low energy constructions*. Catholic University of Leuven, Department of Civil Engineering

⁸⁷ Langmans, J. & Klein, R. & Roels, S. (2012). *Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation*. University of Leuven, Department of Civil Engineering

Een initiële startmeting wordt uitgevoerd waarbij een relatief hoog lekdebiet gemeten wordt in vergelijking met het lekdebiet van enkel de houtvezelplaat. Dit wijst erop dat de tape een grote invloed heeft op het totale lekdebiet. Vervolgens wordt de opstelling gedurende 15 minuten besproeid met water. Daarna wordt opnieuw een luchtdichtheidstest uitgevoerd. Hierbij wordt een luchtlekdebiet gemeten dat nog slechts 32% bedraagt van het oorspronkelijke lekdebiet in droge toestand. Aangezien bij de test op enkel de houtvezelplaat het lekdebiet daalde tot slechts 50% van het oorspronkelijke lekdebiet in droge toestand, wordt er vastgesteld dat hier ook de tape een invloed heeft op de vermindering van het luchtlekdebiet. De stromingsexponent daalt echter niet na het benatten van de opstelling. Dit wijst erop dat enkel de grotere openingen tussen de tape en de ondergrond gevuld zijn met water en dat er nog steeds lucht doorheen de tape en de houtvezelplaat stroomt.



Grafiek 2.21 Houtvezelplaat in combinatie met tape C invloed nat/droog bij 450 Pa

HOUTVEZEL Tape C - gemiddelde - droogtijd - 450 Pa (15,4°C, 49,4% RV)						n
start	3,62	±	0,57	m³/h.m²		0,873
15 min benat	1,15	±	0,25	m³/h.m²	31,68% ± 8,48%	0,881
na 30 min	1,77	±	0,46	m³/h.m²	48,80% ± 14,86%	0,884
na 60 min	2,82	±	0,67	m³/h.m²	77,71% ± 22,09%	0,902
na 90 min	3,25	±	0,55	m³/h.m²	89,62% ± 20,70%	0,867
na 120 min	3,39	±	0,59	m³/h.m²	93,42% ± 21,77%	0,871
droog (24h)	3,51	±	0,51	m³/h.m²	96,89% ± 20,66%	0,874

Tabel 2.13 Houtvezelplaat in combinatie met tape C droogtijd bij 450 Pa

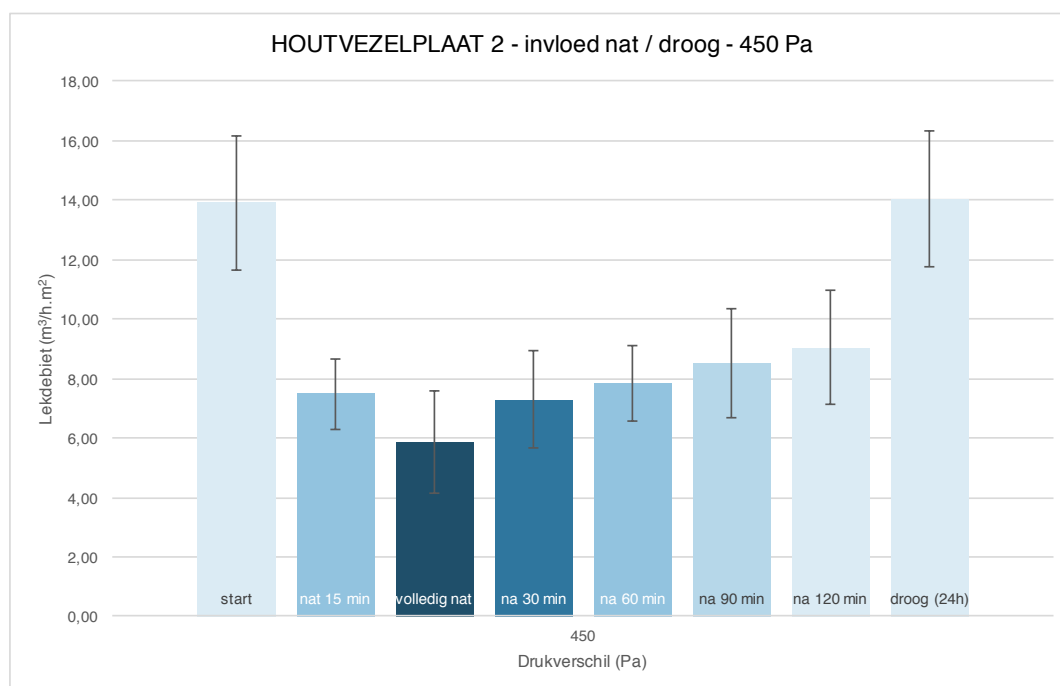
Vervolgens wordt de opstelling gedroogd bij een temperatuur van 15,4°C en een relatieve vochtigheid van 49,4%. Na 90 minuten wordt er geen significant verschil meer vastgesteld van het lekdebiet in vergelijking met het initiële luchtlekdebiet. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de

2. Luchtdichtheid

zones van de plaatjes rond de tape het langste nat blijven. De tape vertraagt in kleine mate de uitdroging van de opstelling indien deze vergeleken wordt met de uitdroging van enkel de houtvezelplaat. Deze vertraging kan echter ook te wijten zijn aan de andere condities waarbij de opstellingen getest zijn. Indien dit exact gekwantificeerd dient te worden, is verder onderzoek aangewezen.

Gebitumineerde houtvezelplaat zonder extra bitumenlaagje

Ten slotte wordt een gebitumineerde houtvezelplaat zonder een extra bitumenlaagje maar wel behandeld met een primer getest. Een plaat met exact dezelfde afmetingen als de binnenafmetingen van de testopstelling, wordt op het houten frame van de testopstelling bevestigd en de hoeken met de omkasting worden dichtgekit. Er wordt eerst een initiële luchtdichtheidstest uitgevoerd. Hierbij wordt een veel groter luchtlekdebiet gemeten in vergelijking met de houtvezelplaat met het extra bitumenlaagje ($13,91 \pm 2,27 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ten opzichte van $1,01 \pm 0,65 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$). Dit wijst erop dat het extra bitumenlaagje een groot effect heeft op de luchtdichtheid van de plaat. Vervolgens wordt de opstelling gedurende 15 minuten besproeid met water. De luchtdichtheid wordt opnieuw getest en er wordt een daling van het luchtlekdebiet vastgesteld van ongeveer 54%. Vervolgens wordt de volledige watercyclus toegepast op de opstelling. Er wordt nog een vermindering vastgesteld van het luchtlekdebiet maar ditmaal niet meer zo groot als na de eerste 15 minuten besproeiing. De stromingsexponent is echter wel gestegen tot 1. Dit wil zeggen dat de lucht enkel nog via laminaire stromingen door de plaat vloeit en dat alle openingen gevuld zijn met water.



Grafiek 2.22 Gebitumineerde houtvezelplaat zonder extra bitumenlaagje invloed nat/droog bij 450 Pa

HOUTVEZEL 2 - gemiddelde - droogtijd - 450 Pa (24,1°C, 50,4% RV)							n
start	13,91	±	2,27	m ³ /h.m ²			0,963
15 min benat	7,49	±	1,18	m ³ /h.m ²	53,86%	± 12,20%	0,999
na volledige cyclus nat	5,87	±	1,71	m ³ /h.m ²	42,22%	± 14,11%	1,019
na 30 min drogen	7,29	±	1,63	m ³ /h.m ²	52,41%	± 14,51%	0,998
na 60 min drogen	7,84	±	1,28	m ³ /h.m ²	56,37%	± 12,98%	0,985
na 90 min drogen	8,50	±	1,84	m ³ /h.m ²	61,07%	± 16,55%	0,973
na 120 min drogen	9,04	±	1,92	m ³ /h.m ²	64,95%	± 17,41%	0,975
droog (24h)	14,04	±	2,27	m ³ /h.m ²	100,89%	± 23,15%	0,960

Tabel 2.14 Gebitumineerde houtvezelplaat zonder extra bitumenlaagje droogtijd bij 450 Pa

Na het besproeien wordt de opstelling gedroogd bij een temperatuur van 24,1°C en een relatieve vochtigheid van 50,4%. Deze opdroging gebeurt zeer traag ten opzichte van de droogtijd van de andere reeds geteste materialen. Na 120 minuten wordt er een lekdebiet gemeten dat nog maar 65% is van het oorspronkelijke luchtlekdebiet in droge toestand ondanks het feit dat het oppervlak van de plaat reeds droog aanvoelt. Dit wijst erop dat eerst een deel van het vocht aan het oppervlak opdroogt door convectie waarbij het vochtfront in de plaat zich terugtrekt en gevolgd wordt door een opdroging door diffusie. Dit is in tegenstelling met de opdroging van de houtvezelplaat met een extra bitumenlaagje. Dit bitumenlaagje houdt echter een gedeelte van het water tegen waardoor het meeste water enkel aan het oppervlak blijft en bijgevolg door convectie opgedroogd wordt, wat veel sneller verloopt.

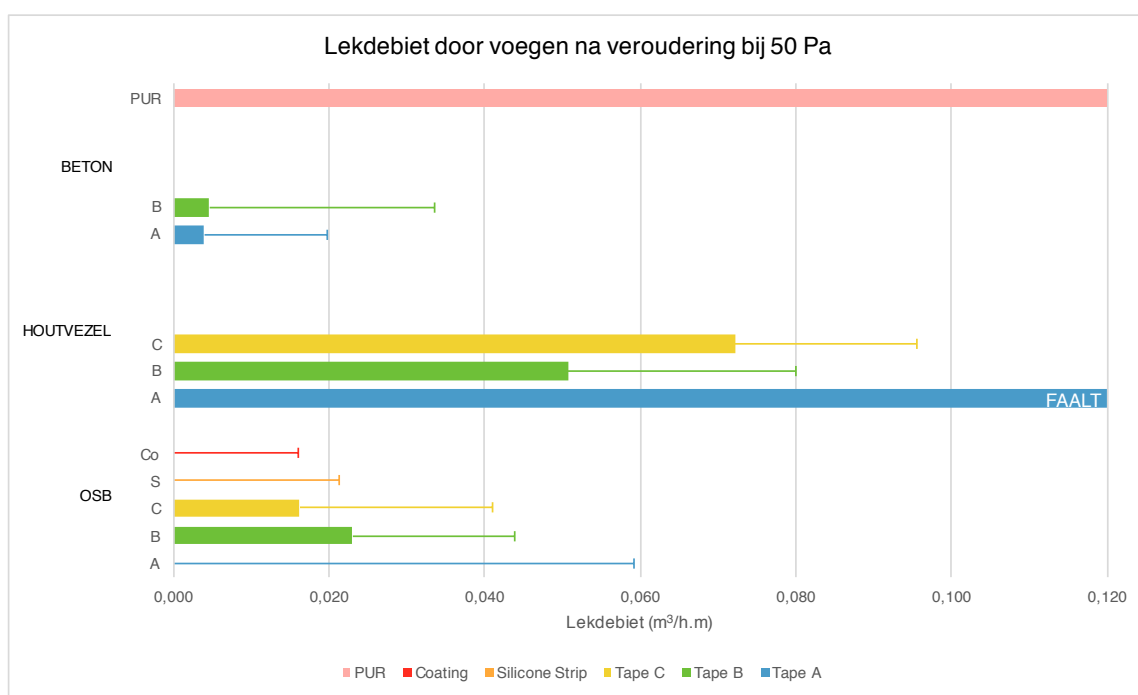
Ten slotte wordt de luchtdichtheid gemeten na 24 uur droging. Hierbij wordt er geen verschil vastgesteld tussen het lekdebiet na 24 uur uitdroging en het lekdebiet bij de startmeting. De plaat ondergaat bijgevolg geen verandering ten gevolge van het benatten en daarna uitdrogen met invloed op de luchtdichtheid.

2.6 Discussie

Om conclusies te kunnen trekken over de invloed van de vooropgestelde parameters, namelijk de ondergrond, een mechanische veroudering, water en de aanwezigheid van kruispunten, worden de prestaties van de verschillende afdichtingsmaterialen op de drie ondergronden met elkaar vergeleken.

Ondergrond

De eerste parameter die varieerde per afdichtingsmateriaal was de ondergrond. Grafiek 2.23 toont het luchtlekdebiet van de verschillende materialen op de drie ondergronden namelijk beton, een gebitumineerde houtvezelplaat en een OSB-plaat.



Grafiek 2.23 Lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

Lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa (m³/h.m)			
	OSB	HOUTVEZEL	BETON
Tape A	-0,004 ± 0,063	/ ± /	0,004 ± 0,016
Tape B	0,023 ± 0,021	0,051 ± 0,03	0,005 ± 0,029
Tape C	0,016 ± 0,025	0,072 ± 0,02	
Silicone Strip	-0,002 ± 0,023		
Coating	-0,009 ± 0,025		
PUR			0,195 ± 0,052

Tabel 2.15 Lekdebiet door voegen na veroudering bij 50 Pa

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het lekdebiet door de voegen na veroudering getoond wordt aangezien dit lekdebiet als laatste stap in de testreeks berekend werd. Vermits voor elk materiaal eenzelfde testreeks werd uitgevoerd, kan er een juiste vergelijking gemaakt worden tussen de berekende lekdebieten door de voegen na veroudering.

Er wordt geconcludeerd dat voor de **OSB-ondergrond** de afdichtingsmaterialen op basis van silicone het beste presteren op vlak van luchtdichtheid. Er wordt geen significant verschil gemeten tussen de prestaties van de silicone strip en de prestaties van de coating⁸⁸. Ook wordt er geen significant verschil gemeten tussen de prestaties van de verschillende tapes op de OSB-ondergrond.

Op de **gebitumineerde houtvezelplaat** die behandeld werd met een primer, faalt tape A bij de uitgevoerde testen. Tape B werd gekleefd op de gebitumineerde houtvezelplaat die opnieuw behandeld werd met een primer. Tape C werd echter op de zijde gekleefd met het extra bitumenlaagje. Ondanks het verschil in ondergrond wordt er geen significant verschil gemeten tussen de prestaties van beide tapes.

Voor de **betonondergrond** wordt er opnieuw geen significant verschil gemeten voor de luchtdichtheid van de tape A en tape B. Voor het polyurethaanschuim wordt daarentegen wel een relatief groot luchtlekdebiet gemeten ten opzichte van de tapes.

Algemeen wordt er geconcludeerd dat de tapes het beste presteren op de betonondergrond en het slechtst op de gebitumineerde houtvezelplaat. Deze goede prestatie van de tapes op de betonondergrond is te danken aan het effen oppervlak en de stijfheid van de betontegels waardoor de tapes vlak kunnen aangebracht worden en voldoende aangedrukt kunnen worden zonder dat het oppervlak mee beweegt. De houtvezelplaat daarentegen vertoont een geringere stijfheid waardoor bij het aandrukken van de tape de plaatjes zelf mee bewegen waardoor op sommige plaatsen de tape reeds minder goed hecht. De prestaties van de tapes op de OSB-ondergrond liggen tussen deze van de tapes op de betonondergrond en de houtvezelplaat. De OSB-plaat vertoont namelijk een grotere stijfheid dan de houtvezelplaat maar heeft een meer oneffen oppervlak dan de betontegels ten gevolge van de verschillende houtschilfers aan het oppervlak. Hierdoor is het niet altijd mogelijk om op elke plaats de tape even goed aan te drukken.

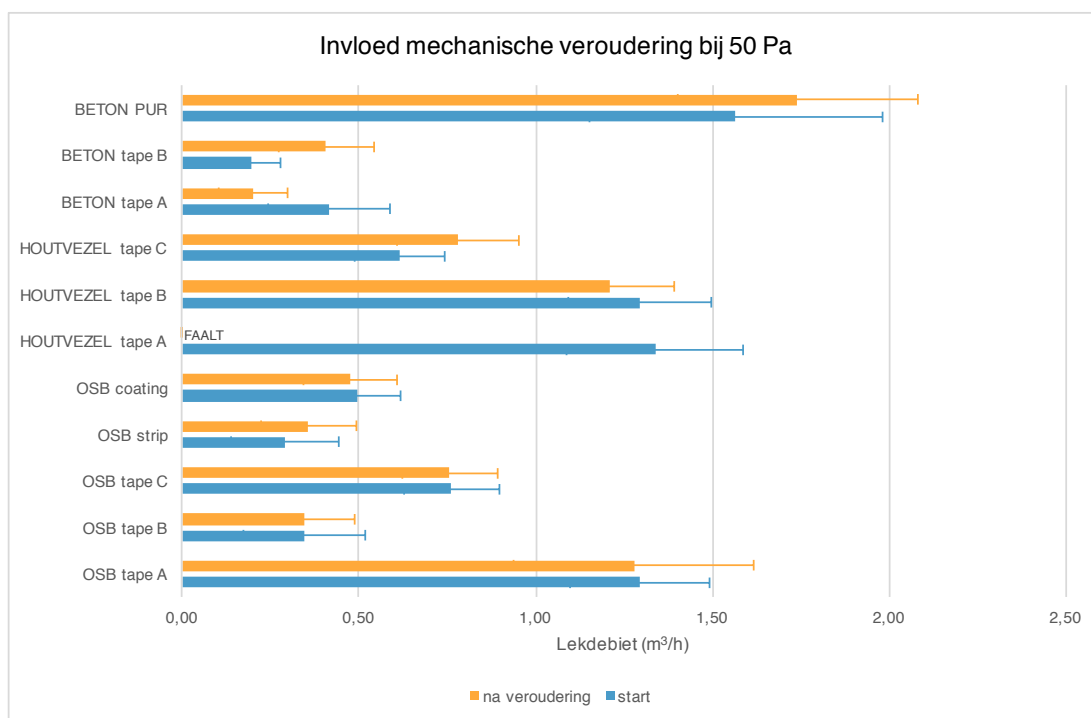
De luchtdichtheid van de silicone strip en de coating op de OSB-ondergrond kunnen gelijk gesteld worden aan de luchtdichtheid van de tapes op de betonondergrond. Aangezien de silicone een meer vloeibare pasta vormt dan de lijm van de tape, kan deze eenvoudiger alle oneffenheden van de OSB-ondergrond opvullen waardoor deze oneffenheden geen probleem meer vormen.

Het luchtlekdebiet van het polyurethaanschuim op de betonondergrond is daarentegen veel hoger dan het luchtlekdebiet van de andere afdichtingsmaterialen. Het schuim kan namelijk de zeer kleine oneffenheden aan de randen van de betontegels niet opvullen waardoor kleine luchtkanaaltjes gevormd worden.

⁸⁸ De significantie van het verschil in prestatie tussen de verschillende afdichtingsmaterialen wordt hierbij telkens berekend met een significantieniveau van 0,05

Mechanische veroudering

De tweede parameter waarvan de invloed getest werd op de verschillende afdichtingsmaterialen is een mechanische veroudering. Deze mechanische veroudering werd uitgevoerd aan de hand van 200 cycli druppelpulsaties van 1000 Pa overdruk en onderdruk. Grafiek 2.24 toont de luchtlekdebieten die gemeten werden voor en na deze mechanische veroudering. De resultaten worden weergegeven voor de combinatie van de afdichtingsmaterialen en de ondergronden.



Grafiek 2.24 Invloed mechanische veroudering op het luchtlekdebiet bij 50 Pa

Invloed mechanische veroudering bij 50 Pa				
	start			na veroudering
OSB tape A	1,29	±	0,20 m³/h	1,28 ± 0,34 m³/h
OSB tape B	0,34	±	0,17 m³/h	0,34 ± 0,15 m³/h
OSB tape C	0,76	±	0,13 m³/h	0,76 ± 0,13 m³/h
OSB strip	0,29	±	0,15 m³/h	0,36 ± 0,14 m³/h
OSB coating	0,50	±	0,12 m³/h	0,48 ± 0,13 m³/h
HOUTVEZEL tape A	1,34	±	0,25 m³/h	/ ± / m³/h
HOUTVEZEL tape B	1,30	±	0,20 m³/h	1,21 ± 0,18 m³/h
HOUTVEZEL tape C	0,62	±	0,13 m³/h	0,78 ± 0,17 m³/h
BETON tape A	0,42	±	0,17 m³/h	0,20 ± 0,10 m³/h
BETON tape B	0,19	±	0,09 m³/h	0,41 ± 0,14 m³/h
BETON PUR	1,57	±	0,41 m³/h	1,74 ± 0,34 m³/h

Tabel 2.16 Invloed mechanische veroudering op het luchtlekdebiet bij 50 Pa

Voor de afdichtingsmaterialen op de **OSB-ondergrond** wordt er enkel een klein verschil vastgesteld van het luchtlekdebiet voor en na de mechanische veroudering voor de silicone strip. Dit verschil is echter niet significant en wordt dus als verwaarloosbaar beschouwd.

Voor tape C op de **gebitumineerde houtvezelplaat** wordt er echter wel een significant verschil vastgesteld tussen het lekdebiet voor en na de mechanische veroudering. Ten gevolge van de drukpulsaties ondergaan de houtvezelplaatjes relatief grote bewegingen en bijgevolg ook de tape. Hierdoor ontstaat op sommige plaatsen een verminderde hechting van de tape. Voor tape C op de OSB-ondergrond is deze verminderde hechting niet te zien aangezien deze plaatjes een grotere stijfheid hebben en bijgevolg minder zullen bewegen.

Tape B die gekleefd is op de gebitumineerde houtvezelplaat vertoont niet hetzelfde effect als tape C. Dit wijst ofwel op het feit dat tape B beter hecht op de houtvezelplaat dan tape C, ofwel ontstaat deze betere hechting door het besproeien van de opstelling dat voorafgegaan werd aan de mechanische veroudering bij tape B en niet bij tape C.

Voor tape B op de **betonondergrond** kan hetzelfde gezegd worden als voor tape C op de houtvezelplaat. Er wordt namelijk een verhoging van het luchtlekdebiet vastgesteld die bij dezelfde tape op de andere ondergronden niet vastgesteld wordt. Het verschil hierbij is dat tape B op de betonondergrond niet eerst benat werd voor de mechanische veroudering, hetgeen voor dezelfde tape op de andere ondergronden wel gebeurd is.

Tape A die gekleefd is op de betonondergrond, vertoont een verbetering van het luchtlekdebiet na mechanisch veroudering. Dit effect is echter pas zichtbaar na de 50 laatste cycli drukpulsaties. De vraag hierbij is of deze verbetering het effect is van de drukpulsaties of dat dit ten gevolge van ander factoren is.

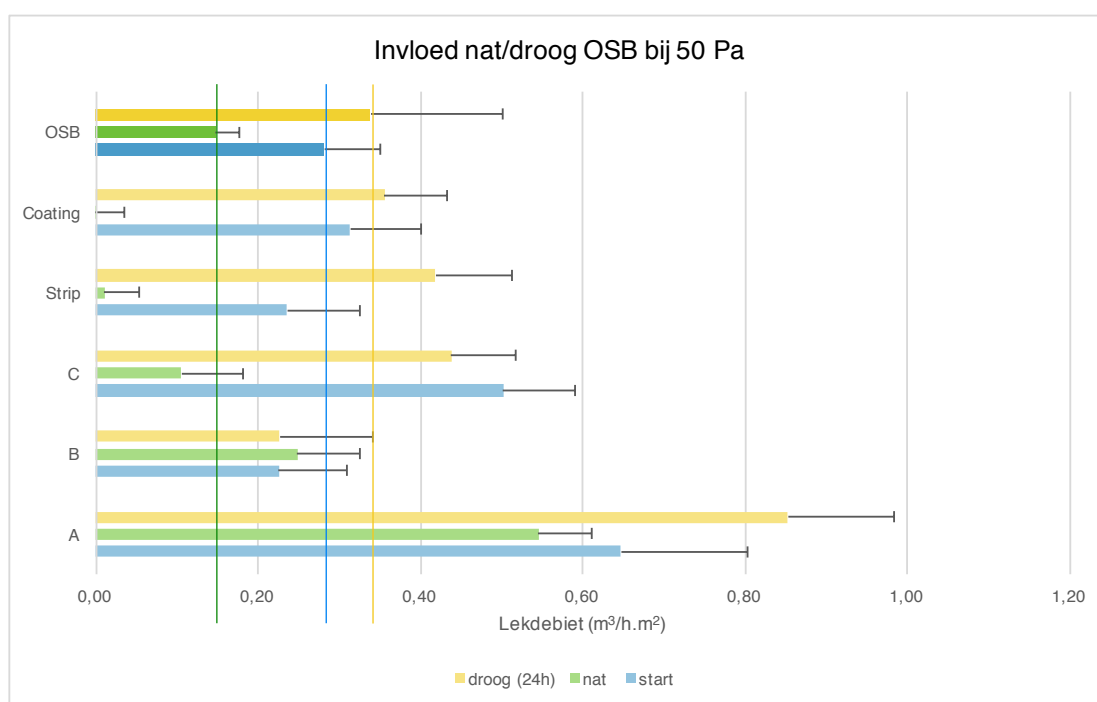
Het gemeten luchtlekdebiet van het polyurethaanschuim op de betonondergrond verhoogt in kleine mate na de mechanische veroudering maar dit is niet significant.

Algemeen wordt er geconcludeerd dat indien de opstelling eerst benat wordt, de mechanische veroudering geen effect heeft op de luchtdichtheid van de verschillende tapes. Indien de tapes niet eerst benat worden, wordt een verhoging van het luchtlekdebiet vastgesteld. De afdichtingsmaterialen op basis van silicone vertonen geen effect ten gevolge van de mechanische veroudering en ook de luchtdichtheid van het polyurethaanschuim op de betonondergrond blijft zo goed als ongewijzigd.

Water

De derde parameter die getest werd, is de invloed van water en de daaropvolgende uitdroging op de luchtdichtheid van de verschillende materialen. Het luchtlekdebiet vòòr benatting, vlak na benatting en na 24 uur uitdroging wordt voor ieder afdichtingsmateriaal per ondergrond vergeleken met het luchtlekdebiet van enkel de ondergrond. Hierbij kan bepaald worden of ook de luchtdichtheid van de afdichtingsmaterialen beïnvloed wordt door het benatten en opnieuw opdrogen van de opstelling.

Grafiek 2.25 toont het luchtlekdebiet in droge en natte toestand van de afdichtingsmaterialen op de **OSB-ondergrond**. De luchtlekdebieten worden weergegeven in $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$ aangezien de combinatie van de afdichtingsmaterialen en de OSB gemeten werd met de grote testopstelling en de prestatie van de OSB afzonderlijk werd gemeten met de kleine testopstelling.



Grafiek 2.25 Invloed nat/droog OSB bij 50 Pa

Vergelijking nat / droog OSB - 50 Pa									
	start			nat			droog (24h)		
Tape A	0,65	±	0,16 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,55	±	0,06 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,85	±	0,13 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$
Tape B	0,23	±	0,08 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,25	±	0,08 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,23	±	0,11 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$
Tape C	0,50	±	0,09 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,11	±	0,08 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,44	±	0,08 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$
Silicone Strip	0,24	±	0,09 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,01	±	0,04 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,42	±	0,09 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$
Coating	0,31	±	0,09 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	-0,01	±	0,04 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,36	±	0,08 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$
OSB	0,28	±	0,07 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,15	±	0,03 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$	0,34	±	0,16 $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$

Tabel 2.17 Invloed nat/droog bij 50 Pa

Grafiek 2.25 toont dat de opstelling met tape A een relatief hoog lekdebiët vertoont ten opzichte van de andere metingen. Tape A werd dan ook op OSB-plaatjes gekleefd van een ander merk dan de OSB die bij de andere afdichtingsmaterialen gebruikt werd.

Ook de opstelling met tape C vertoont een verhoogd luchtlekdebiët bij de start. Dit is te wijten aan het gebruik van OSB-plaatjes die reeds benat zijn geweest en dus al een verhoogd lekdebiët vertonen ten opzichte van de andere startmetingen.

Voor de andere opstellingen kan er geconcludeerd worden dat het totale lekdebiët bij de start voornamelijk bepaald wordt door de OSB-ondergrond aangezien het luchtlekdebiët van de startmetingen steeds in lijn ligt met de startmeting van de OSB afzonderlijk.

Vervolgens worden de lekdebieten in natte toestand vergeleken met het luchtlekdebiët in natte toestand van enkel de OSB. De tapes zijn hierbij benat bij een drukverschil tot maximaal 250 Pa. Voor de silicone strip en de coating werd de volledige watercyclus doorlopen. Aangezien het luchtlekdebiët van de OSB niet veel verschilt nadat deze 15 minuten benat is of na de volledige watercyclus ($0,15 \pm 0,03 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ten opzichte van $0,11 \pm 0,06 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ bij een drukverschil van 50 Pa), wordt hier enkel het luchtlekdebiët na 15 minuten weergegeven.

Voor tape B op de OSB-ondergrond wordt een significant verschil vastgesteld van het luchtlekdebiët in natte toestand ten opzichte van het luchtlekdebiët van de natte OSB. De tape heeft bijgevolg een negatief effect indien deze benat is. Voor tape C wordt dit effect echter niet vastgesteld. Integendeel wordt er procentueel gezien een grotere verbetering van het luchtlekdebiët vastgesteld in natte toestand. Dit wijst erop dat de tape positief beïnvloed wordt door het water.

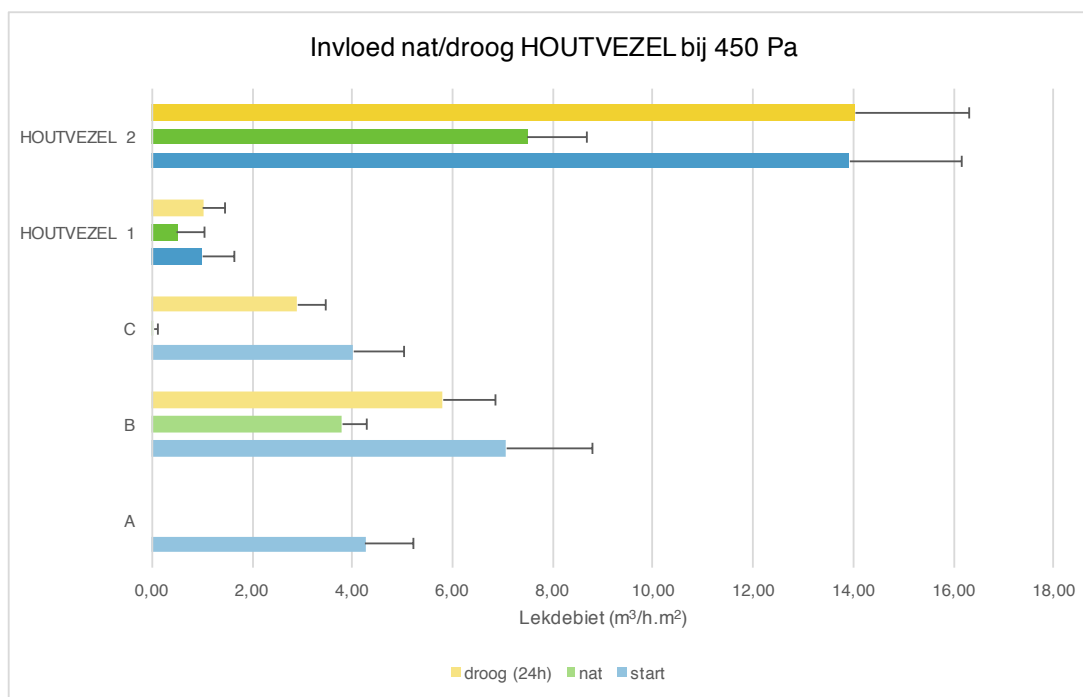
De afdichtingsmaterialen op basis van silicone in combinatie met de OSB-ondergrond worden volledig luchtdicht nadat deze benat zijn gedurende de volledige watercyclus. Dit betekent dat zowel de silicone strip als de coating positief beïnvloed worden door het besproeien met water. De kleine gaatjes die nog aanwezig waren in de silicone zijn volledig gevuld met water waardoor er geen lucht meer door de materialen door kan.

Na 24 uur uitdroging wordt er een verhoging vastgesteld van het luchtlekdebiët van de OSB zelf ten opzichte van het luchtlekdebiët bij de startmeting ten gevolge van het zwellen van de OSB. Eenzelfde effect is zichtbaar voor alle opstellingen behalve voor tape C waarbij de OSB reeds dit negatief effect heeft ondergaan voor de startmeting. Voor tape C op de OSB-ondergrond is zelfs een lichte verbetering zichtbaar. Het verhoogde lekdebiët wordt ook in mindere mate gemeten voor tape B. Hierbij kan de verbeterde hechting van de tape het effect van het zwellen van de OSB teniet doen. Dit dient verder onderzocht te worden bij de andere ondergronden.

Algemeen worden er geen significante verschillen tussen het lekdebiët na 24 uur uitdroging van de OSB en het lekdebiët na 24 uur uitdroging van de afdichtingsmaterialen op de OSB (tape A buiten beschouwing) gemeten. Dit wil zeggen dat de afdichtingsmaterialen op de OSB-ondergrond niet in grote mate beïnvloed worden door de uitdroging na de eerste benatting.

2. Luchtdichtheid

Eenzelfde vergelijking als voor de OSB-ondergrond wordt ook gemaakt voor de **gebitumineerde houtvezelplaat**. Grafiek 2.26 toont echter niet de luchtlekdebieten bij een drukverschil van 50 Pa maar bij een drukverschil van 450 Pa aangezien de luchtlekdebieten voor de houtvezelplaat bij 50 Pa zodanig klein waren dat ze niet nauwkeurig gemeten konden worden. De evolutie van de luchtlekdebieten van de combinatie van de afdichtingsmaterialen en de houtvezelplaat zijn echter hetzelfde bij 50 Pa als bij 450 Pa. Daarom kan er nog steeds een juiste vergelijking gemaakt worden met de afdichtingsmaterialen op de andere ondergronden.



Grafiek 2.26 Invloed nat/droog gebitumineerde houtvezelplaat bij 450 Pa

Vergelijking nat / droog HOUTVEZEL - 450 Pa									
	start			nat			droog (24h)		
Tape A	4,26	±	0,95 m³/h.m²	/	±	/ m³/h.m²	/	±	/ m³/h.m²
Tape B	7,07	±	1,73 m³/h.m²	3,79	±	0,50 m³/h.m²	5,81	±	1,07 m³/h.m²
Tape C	4,02	±	1,02 m³/h.m²	0,03	±	0,10 m³/h.m²	2,90	±	0,58 m³/h.m²
HOUTVEZEL 1	1,01	±	0,65 m³/h.m²	0,50	±	0,54 m³/h.m²	1,03	±	0,41 m³/h.m²
HOUTVEZEL 2	13,91	±	2,27 m³/h.m²	7,49	±	1,18 m³/h.m²	14,04	±	2,27 m³/h.m²

Tabel 2.18 Invloed nat/droog gebitumineerde houtvezelplaat bij 450 Pa

Tape A en B werden gekleefd op een gebitumineerde houtvezelplaat met een extra bitumenlaagje aan de binnenzijde. Deze plaat werd behandeld met een primer net zoals houtvezelplaat 2. Houtvezelplaat 2 heeft echter geen extra bitumenlaagje. Tape C werd gekleefd op een gebitumineerde houtvezelplaat met een extra bitumenlaagje aan de buitenzijde net zoals houtvezelplaat 1.

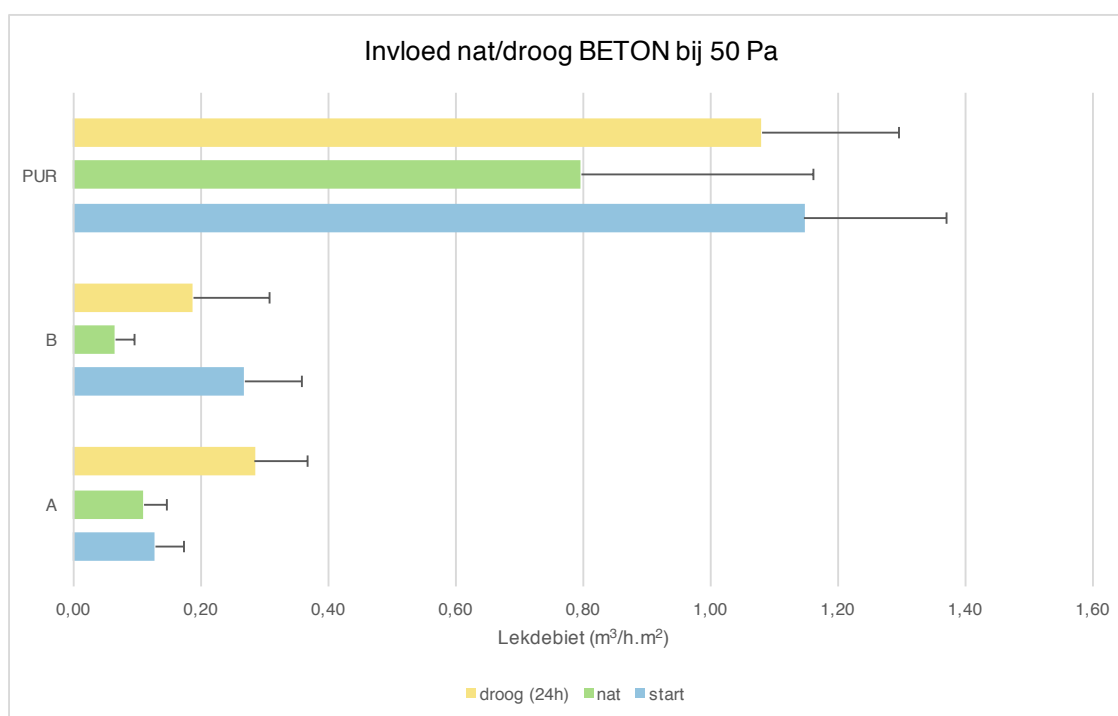
Indien de startmetingen van de verschillende opstellingen met elkaar vergeleken worden, wordt er met zekerheid geconcludeerd dat tape C een grote invloed heeft op het gemeten luchtlekdebet. Dit

kan gesteld worden aangezien tape C op dezelfde soort plaat is gekleefd als houtvezelplaat 1, namelijk met een extra bitumenlaagje aan de buitenzijde, maar toch vertoont tape C op deze plaat een relatief groot lekdebiet. Het luchtlekdebiet van tape A en B op de houtvezelplaat bevinden zich tussen het luchtlekdebiet van plaat 1 en 2. Er kan niet met zekerheid geconcludeerd worden wat hier de meeste invloed heeft op het luchtlekdebiet aangezien de ligging van het extra bitumenlaagje hier een invloed heeft.

Vervolgens wordt een vergelijking gemaakt tussen het luchtlekdebiet van tape C op de houtvezelplaat in natte toestand en het lekdebiet van houtvezelplaat 1 in natte toestand. Hierbij wordt er vastgesteld dat een sterkere vermindering van het lekdebiet gemeten wordt voor de tape dan voor de plaat zelf. Er wordt bijgevolg geconcludeerd dat de natte tape een positieve invloed heeft op de luchtdichtheid.

Ten slotte wordt er zowel voor tape B als voor tape C op de houtvezelplaat een verbetering van het luchtlekdebiet vastgesteld na 24 uur uitdroging. Zowel de luchtdichtheid van de houtvezelplaat zonder het extra bitumenlaagje als de luchtdichtheid van de plaat met het extra bitumenlaagje worden niet beïnvloed door deze uitdroging. Er wordt dus geconcludeerd dat zowel tape B als tape C beter hechten op de houtvezelplaat nadat deze voor de eerste keer besproeid zijn met water.

Ook het gedrag van de verschillende afdichtingsmaterialen op de **betonondergrond** in natte en droge toestand wordt met elkaar vergeleken. De betonondergrond zelf werd hierbij niet getest maar er wordt vanuit gegaan dat deze weinig invloed heeft op het luchtlekdebiet in natte toestand en dat de prestatie niet verandert na uitdroging.



Grafiek 2.27 Invloed nat/droog betonondergrond bij 50 Pa

2. Luchtdichtheid

Invloed nat/droog BETON - 50 Pa											
	start				nat				droog (24h)		
Tape A	0,13	±	0,05	m³/h.m²	0,11	±	0,04	m³/h.m²	0,28	±	0,08 m³/h.m²
Tape B	0,27	±	0,09	m³/h.m²	0,07	±	0,03	m³/h.m²	0,19	±	0,12 m³/h.m²
PUR	1,15	±	0,22	m³/h.m²	0,80	±	0,37	m³/h.m²	1,08	±	0,22 m³/h.m²

Tabel 2.19 Invloed nat/droog betonondergrond bij 50 Pa

Voor tape A op de betonondergrond wordt er geen verschil gemeten van het lekdebiet in natte toestand ten opzichte van de startmeting. Na 24 uur uitdroging is het luchtlekdebiet echter wel vergroot. Het benatten en daaropvolgend uitdrogen van de tape heeft dus een negatieve invloed op tape A die gekleefd is op de betonondergrond.

Tape B op de betonondergrond vertoont in natte toestand een kleiner luchtlekdebiet dan bij de startmeting. Bijgevolg kan gesteld worden dat de tape water absorbeert en daardoor het luchtlekdebiet positief beïnvloed wordt indien deze besproeid wordt met water. Vervolgens is een kleine verbetering van het luchtlekdebiet op te merken na 24 uur uitdroging ten opzichte van de startmeting. Dit verschil is echter niet significant.

Ten slotte toont grafiek 2.27 een verminderd lekdebiet voor het polyurethaanschuim op de betonondergrond ten opzichte van het gemeten lekdebiet bij de start. Het polyurethaanschuim absorbeert water waardoor de poriën gevuld worden met waterdruppeltjes. Hierdoor kan er minder lucht doorstromen. Na 24 uur uitdroging wordt opnieuw hetzelfde lekdebiet gemeten als bij de start.

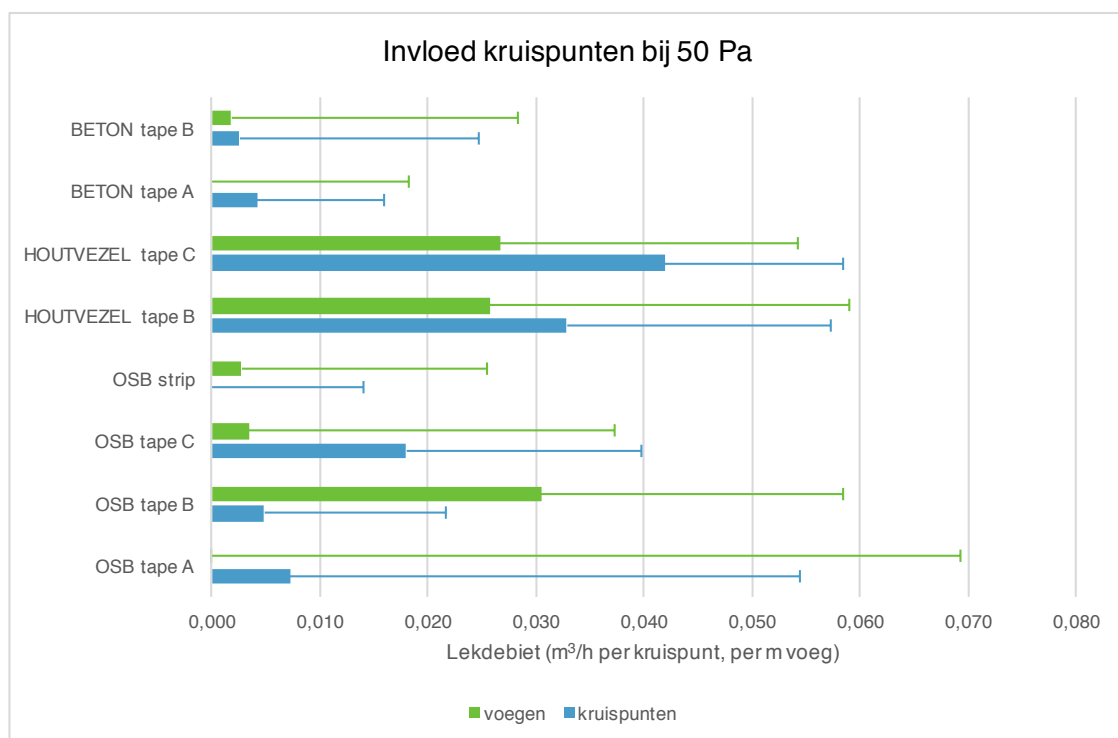
Algemeen wordt er geconcludeerd dat de afdichtingsmaterialen beter presteren op de verschillende ondergronden in natte toestand. Voor de materialen op basis van silicone is dit effect het grootst aangezien bij deze materialen de kleine openingen die nog aanwezig waren, volledig gevuld worden met water. Voor de tapes zijn deze openingen in mindere mate aanwezig maar absorbeert de tape zelf een deel van het water. Voor tape A is dit effect slechts in zeer kleine mate zichtbaar en is het voornamelijk te danken aan de verbetering van de ondergrond zelf.

Na 24 uur uitdroging vertoont tape A een verhoogd luchtlekdebiet. Dit in tegenstelling tot tape B en C die een verbeterde hechting vertonen na 24 uur opdrogen en bijgevolg wordt een kleiner luchtlekdebiet gemeten. Deze effecten zijn echter enkel zichtbaar na de eerste keer benatting. De luchtdichtheid van de afdichtingsmaterialen op basis van silicone en het polyurethaanschuim verandert niet na 24 uur droging ten opzichte van het initieel gemeten luchtlekdebiet.

Kruispunten

De laatste parameter waarvan de invloed op de de luchtdichtheid gemeten werd, is de aanwezigheid van de kruispunten tussen de verschillende plaatjes. Op deze punten moeten voor sommige afdichtingsmaterialen twee stroken elkaar overlappen. Bijgevolg ontstaat er een klein dikteverschil dat door een van de twee stroken overbrugd dient te worden. Grafiek 2.28 toont voor deze afdichtingsmaterialen het luchtlekdebiet per kruispunt ten opzicht van het luchtlekdebiet per meter voeg. De opstelling met de coating en de opstelling met het polyurethaanschuim zijn niet mee in deze vergelijking opgenomen aangezien hierbij het afzonderlijke lekdebiet door de kruispunten en de tussenliggende voegen niet bepaald kon worden.

De opstelling die gebruikt werd bij dit onderzoek bestaat uit 9 kruispunten en 6 rechte voegen met een gemiddelde lengte van 0,932 m.



Grafiek 2.28 Invloed kruispunten bij 50 Pa

Voor **tape A** is de invloed van de kruispunten en de invloed van de voegen op het luchtlekdebiet ongeveer gelijk en dit zowel op de OSB-ondergrond als op de betonondergrond.

Voor **tape B** daarentegen wordt er wel een verschil vastgesteld tussen het lekdebiet van de kruispunten en het lekdebiet van de voegen. De voegen hebben hier een relatief grote invloed op het totale lekdebiet ten opzicht van de kruispunten. Bijgevolg stroomt er lucht door de tape zelf. Over de kruispunten is een dubbele tape gekleefd waardoor de lucht hier minder eenvoudig kan doorstromen. Voor tape B op de betonondergrond is het verschil tussen het lekdebiet van de kruispunten en het lekdebiet van de voegen minder groot. Indien er vanuit gegaan wordt dat er lucht door de tape stroomt, zal deze lucht op de plaatsen waar de tape op het beton gekleefd is, tegengehouden worden door het beton zelf aangezien deze luchtdicht is. De lucht kan dus enkel door het deel van de tape stromen dat zich over de open voeg bevindt. Voor de OSB-ondergrond

kan de lucht ook door de tape die op de OSB zelf gekleefd is, stromen aangezien de lucht zich vervolgens verder kan bewegen door de poriën van de OSB. De impact van de tape over de voegen tussen de betontegels is bijgevolg minder groot dan over de voegen tussen de OSB-plaatjes. Het luchtlekdebiet van tape B op de houtvezelplaat ondervindt evenveel invloed van de voegen als van de kruispunten. Door de grotere bewegingen van de houtvezelplaatjes ten opzichte van elkaar ontstaat er een verminderde hechting van de tape langs de randen. Hierdoor hebben op deze ondergrond de kruispunten in het algemeen een grotere impact dan voor de twee andere ondergronden.

De impact van de voegen op het luchtlekdebiet van **tape C** die gekleefd is op de OSB-ondergrond, is beperkt ten opzichte van de impact van de kruispunten. Tape C kan bijgevolg minder goed het dikteverschil ten gevolge van de onderliggende tape op de OSB-ondergrond overbruggen. Deze verhoogde impact van de kruispunten wordt ook vastgesteld voor de tape op de houtvezelplaat.

Ten slotte is de invloed van de kruispunten op het luchtlekdebiet van de **silicone strip** slechts zeer klein. Dit is dankzij de extra silicone die werd toegepast rond de punten waar de ene strook over de andere strook bevestigd is. Aangezien de strips een zekere dikte hebben en de silicone niet snel genoeg uithardt om een perfecte aansluiting te creëren ter hoogte van de overlapping van twee stroken, zou de impact zonder deze extra silicone veel groter zijn.

Algemeen wordt er geconcludeerd dat de invloed van de kruispunten afhankelijk is van de eigenschappen van het afdichtingsmateriaal.

De invloed van de kruispunten voor tape A is gelijk aan de invloed van de voegen. Tape B is niet volledig luchtdicht ongeacht de goede hechting. Bijgevolg heeft de lengte van de voegen een grotere invloed dan enkel de kruispunten. Tape C daarentegen is zelf luchtdicht maar kan moeilijker het dikteverschil van de kruispunten overbruggen waardoor deze een grotere impact hebben dan de voegen op het totale luchtlekdebiet. Ten slotte is het luchtlekdebiet van de silicone strip sterk afhankelijk van de hoeveelheid silicone die gebruikt wordt en de juiste uitvoering.

Conclusie

Indien als definitie gesteld wordt dat een materiaal luchtdicht is indien de absolute fout van de meting groter is dan de meting zelf, zijn alle afdichtingsmaterialen die bevestigd zijn op de OSB-ondergrond en de betonondergrond, luchtdicht, het polyurethaanschuim niet meegerekend.

Indien echter als voorwaarde voor luchtdichtheid gesteld wordt dat de gemeten waarde gelijk moet zijn aan 0, voldoen enkel de materialen op basis van silicone hieraan op de OSB-ondergrond en tape A en B op de betonondergrond.

Het verschil in lekdebiet van de afdichtingsmaterialen op zowel de OSB-ondergrond als op de betonondergrond is relatief klein. Het lekdebiet van de materialen op de houtvezelplaat is daarentegen relatief groot. Aangezien de luchtdichte aansluiting van de houtvezelplaten langs de buitenzijde van de gevel minder belangrijk is indien een correcte luchtdichting langs de binnenzijde van de gevel geplaatst is, vormt dit geen probleem.

Het polyurethaanschuim is het meest eenvoudig en het snelst om aan te brengen. Voor dit schuim werd echter wel het grootste lekdebiet gemeten en zal bijgevolg steeds in combinatie met een ander materiaal zoals bijvoorbeeld een silicone kitvoeg gebruikt moeten worden om een luchtdichte aansluiting te verzekeren. De tapes zijn alle even eenvoudig aan te brengen maar er dient gewezen te worden op het belang van het voldoende aandrukken van deze tapes op alle punten zodat overal een even goede hechting verzekerd kan worden. Voornamelijk ter hoogte van de kruispunten dient hier zeker aandacht aan besteed te worden. Ook wordt er aangeraden om een extra kruis tape over de kruispunten te kleven zodat het risico op verminderde hechting van de tape sterk verminderd wordt. De materialen op basis van silicone zijn het meest tijdrovend en sterk afhankelijk van de uitvoering maar ze vertonen wel het kleinste luchtlekdebiet indien correct aangebracht.

Er werd ook vastgesteld dat de prestaties van de OSB-ondergrond sterk afhankelijk zijn van het gebruikte merk. Daarom wordt er aangeraden om steeds bij de fabrikant na te vragen wat de luchtdichtheid is van de OSB-platen. Indien de luchtdichtheid niet met zekerheid kan bepaald worden, kan een luchtdichte coating de prestaties van de plaat en ook de tussenliggende aansluitingen sterk verbeteren.

	OSB	HOUTVEZEL	BETON	veroudering	nat	na uitdroging	kruispunten	voegen
Tape A	/	-	+	/	/	-	/	/
Tape B	/	-	+	-	+	+	/	-
Tape C	/	-		-	+	+	-	/
Silicone Strip	+			-	++	/	/ -	-
Coating	+			/	++	/		
PUR			-	-	+	/		

+ positief effect op luchtdichtheid; - negatief effect op luchtdichtheid; / geen effect

Tabel 2.20 Samenvatting prestaties afdichtingsmaterialen op vlak van luchtdichtheid

Hoofdstuk 3

Waterdichtheid

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten met betrekking tot de waterdichtheid weergegeven van de verschillende afdichtingsmaterialen aangebracht op de drie verschillende ondergronden. De afdichtingsmaterialen worden hierbij telkens op dezelfde manier aangebracht zoals bij de luchtdichtheidstesten. De horizontale stroken van het afdichtingsmateriaal worden steeds eerst aangebracht en nadien de verticale stroken.

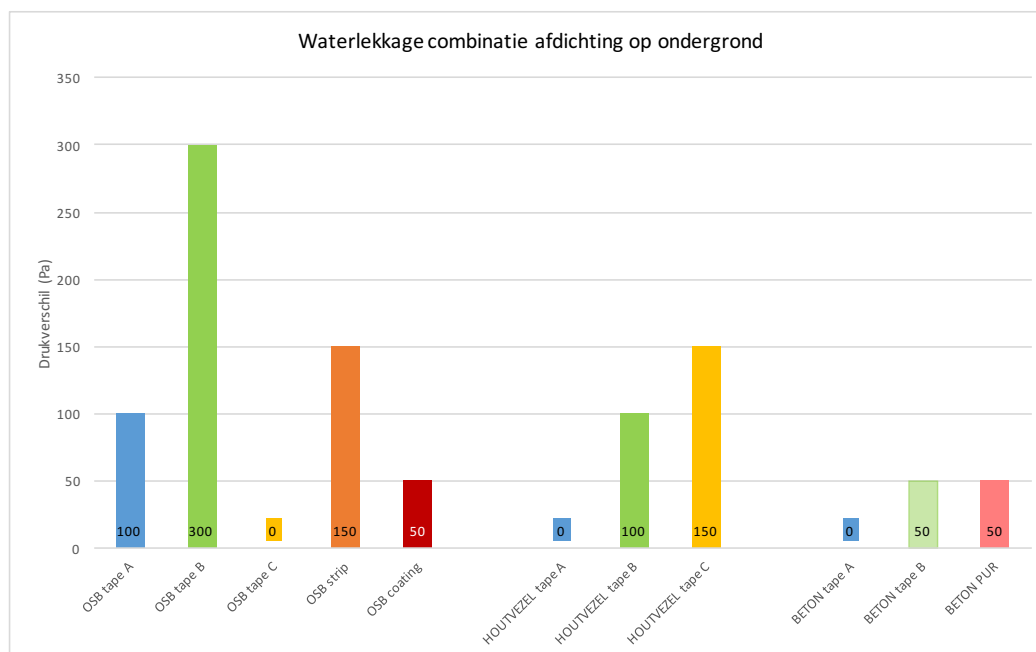
Eerst worden de prestaties van de afdichtingsmaterialen op de verschillende ondergronden met elkaar vergeleken. Hierbij worden ook een aantal verschillen in de prestatie van de ondergronden zelf vastgesteld. Daarna wordt de opstelling 90° gedraaid zodat de oriëntatie van de boven elkaar gelegen stroken afdichtingsmateriaal verandert (horizontaal onderaan en verticaal bovenaan worden dan respectievelijk verticaal onderaan en horizontaal bovenaan).

Vervolgens wordt er een mechanische veroudering uitgevoerd aan de hand van 200 drukcycli van +/- 1000 Pa. Hierna wordt opnieuw een waterdichtheidstest uitgevoerd om na te gaan of de blootstelling aan hoge winddrukken een invloed heeft op de waterdichtheid van de materialen. Daarna worden de kruispunten bedekt met een lucht- en waterdichte coating. Hierbij wordt er onderzocht of deze coating in combinatie met de afdichtingsmaterialen een verbetering kunnen vormen voor de waterdichtheid. Ten slotte worden ook de voegen bedekt met deze coating zodat de prestatie van enkel de ondergrond in combinatie met de coating met betrekking tot de waterdichtheid kan gekwantificeerd worden.

De watertest wordt telkens uitgevoerd totdat er geen visueel onderscheid meer kan gemaakt worden tussen de verschillende lekken. Alle lekken worden vervolgens aangeduid op een schema van de opstelling met de bijhorende tijd en het drukverschil. In dit hoofdstuk worden telkens de eerste lekken of vochtplekken weergegeven in een grafiek. Deze eerste lekken zijn immers bepalend voor de waterdichtheidsklasse van elk materiaal. Voor het volledige verloop van elke watertest wordt er verwezen naar bijlage 2.

3.1 Ondergrond

De eerste parameter die onderzocht wordt, is de invloed van de ondergrond op de waterdichtheid van het afdichtingsmateriaal. Aangezien er niet voor elk materiaal een startmeting werd uitgevoerd, worden hier de verschillende metingen na mechanische veroudering met elkaar vergeleken. Grafiek 3.1 toont voor elk afdichtingsmateriaal op de verschillende ondergronden, bij welk drukverschil het eerste lek werd waargenomen. Deze lekken bevinden zich alle aan de kruispunten tussen de plaatjes.



Grafiek 3.1 Waterlekage combinatie afdichtingsmateriaal op ondergrond (na veroudering)

OSB

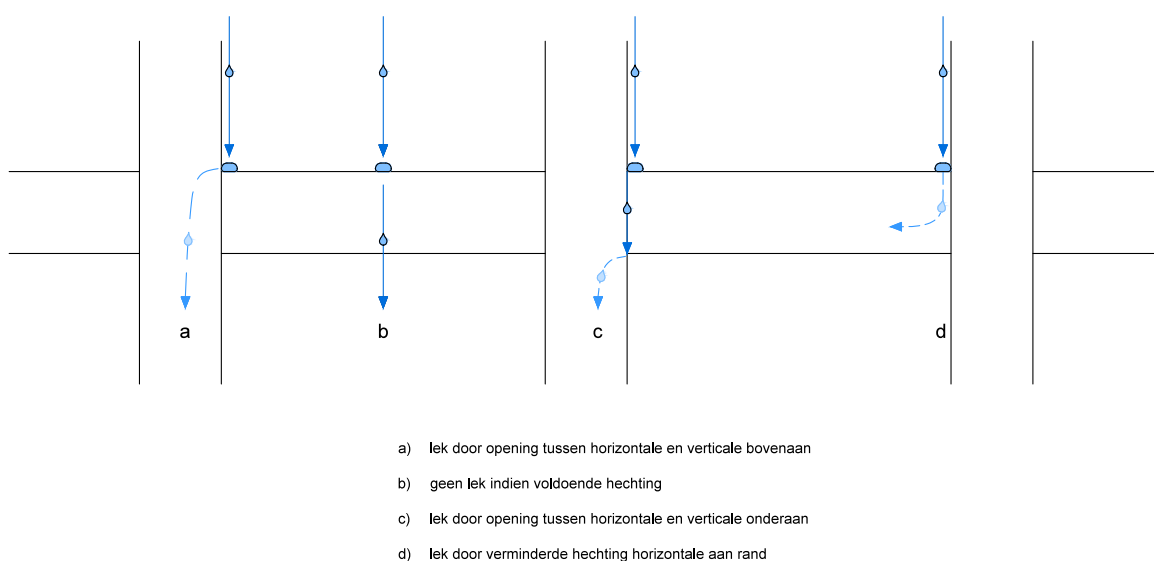
OSB is waterresistent. Dit betekent dat de lijm die de verschillende houtschilfers samenhoudt niet zal bezwijken ten gevolge van blootstelling aan water. Dit betekent echter dat OSB waterdicht is. Dit wordt opgemerkt bij de watertest die wordt uitgevoerd op de opstelling met de silicone strip die bedekt is met een lucht- en waterdichte coating. Bij een drukverschil van 600 Pa worden er namelijk waterdruppeltjes waargenomen aan de zijkant van de OSB-plaatjes. Bij de daaropvolgende watertest wordt dit fenomeen reeds waargenomen bij een drukverschil van 250 Pa.



Figuur 3.1 Waterdruppeltjes door zijkant OSB

Bij al de andere watertesten worden er echter geen waterlekken door de OSB zelf waargenomen, maar vormen de aansluitingen tussen de afdichtingsmaterialen en de OSB-ondergrond de kritieke punten.

Voor de tapes en de silicone strip op de OSB-ondergrond worden de meeste lekken vastgesteld rond de kruispunten tussen de plaatjes. Hierbij worden er een aantal mogelijke scenario's onderscheiden. Ter hoogte van horizontaal lopende dikteverschillen hebben de waterdruppeltjes de grootste kans om waterlekken te veroorzaken aangezien ze daar langer blijven liggen en zich bijgevolg kunnen verder bewegen naar binnen toe in plaats van recht naar beneden. Indien het afdichtingsmateriaal over de horizontale voegen voldoende hecht op de OSB-ondergrond, vormen deze geen probleem (figuur 3.2 b). Ter hoogte van de overlapping met een verticale voeg kunnen deze druppeltjes echter eenvoudig achter het afdichtingsmateriaal vloeien indien de verticale strook van het afdichtingsmateriaal niet voldoende hecht op de horizontale strook en deze het dikteverschil niet kan overbruggen (figuur 3.2 a en c). Indien de verschillende plaatjes niet in één vlak liggen, kan de tape een verminderde hechting vertonen langs de rand van deze plaatjes. Hierdoor zullen de waterdruppeltjes door deze kleine opening achter het afdichtingsmateriaal naar beneden vallen op de bovenkant van het onderliggende plaatje.



Figuur 3.2 Schematische voorstelling vorming lekken

Indien de positie van de waterlekken van de verschillende **tapes** op de OSB-ondergrond met elkaar vergeleken worden, wordt er vastgesteld dat bij tape A voornamelijk waterlekken volgens scenario d ontstaan, bij tape B volgens scenario c en bij tape C volgens scenario a. De eerste lekken vormen zich bij tape C reeds na 10 minuten zonder dat een drukverschil gecreëerd wordt in de testopstelling. Bij de luchtdichtheidstesten werd er ook reeds vastgesteld dat ter hoogte van de kruispunten tape C ten gevolge van het dikteverschil niet goed hecht. Bijgevolg kunnen er door deze kleine openingen waterdruppeltjes achter de tape vloeien. Deze druppeltjes stromen vervolgens verder via de tape naar beneden. Bij tape A ontstaan de eerste lekken bij een drukverschil van 100 Pa. De verticale stroken van tape A hechten beter op de horizontale stroken dan tape C maar ten gevolge van de plaatjes die niet volledig in hetzelfde vlak liggen, ontstaat er een verminderde hechting van de tape langs de randen van de plaatjes. Door het drukverschil worden vervolgens de waterdruppeltjes naar de achterzijde van de tape geduwd. Ten slotte

3. Waterdichtheid

ontstaan de eerste lekken bij tape B pas bij een drukverschil van 300 Pa. Deze lekken bevinden zich grotendeels aan de onderzijde van de kruispunten. De waterdruppeltjes blijven bij tape B minder liggen ter hoogte van de horizontale strook aangezien de tape een deel van het water opneemt. Het water zal dus sneller verder naar beneden stromen langs de tape in plaats van door de eventuele openingen aan de bovenzijde van het kruispunt te lekken. Indien een drukverschil gecreëerd wordt, zullen de waterdruppeltjes wel vervolgens bij het loslaten van de horizontale tape door de eventuele opening aan de onderzijde van het kruispunt lekken en via de achterkant van de tape naar beneden vloeien.

Bij de **silicone strip** die bevestigd is op de OSB-ondergrond, ontstaan er echter veel minder grote lekken maar eerder vochtplekken die langzaam groter worden. Deze vochtplekken ontstaan door watertransport door heel fijne kanaaltjes die gevormd zijn ten gevolge van het niet voldoende hechten van de silicone aan elke onregelmatigheid van het OSB-oppervlak. Ook ontstaan er vochtplekken langs de kruispunten omdat op deze punten het dikteverschil van de onderliggende strip overbrugd moet worden. Zelfs met de extra silicone rond deze kruispunten zijn er toch nog kleine openingen waarlangs het water kan wegvloeien. De weinige grotere lekken ontstaan ten gevolge van het niet voldoende aandrukken van de silicone waardoor het water door grotere openingen kan lekken. Deze lekken ontstaan bij een drukverschil van 150 Pa.



Figuur 3.3 Waterlek ten gevolge van niet voldoende aandrukken silicone

Na de watertest wordt er vastgesteld dat op sommige punten van de horizontale stroken waar de silicone niet volledig tot aan de buitenrand van de strip gedrukt werd, er zich nog waterdruppeltjes achter de strip bevinden. De vraag hierbij is hoe snel deze opdrogen en of deze de werking van de silicone kunnen aantasten.

Bij de **coating** die wordt aangebracht over de voegen die gevuld zijn met silicone over een rugvulling, ontstaan de eerste lekken bij een drukverschil van 50 Pa. Deze lekken ontstaan ten gevolge van het plaatselijk versmallen van de rugvulling. Door deze versmalling dient de silicone een bepaalde opening te overbruggen. Hierdoor ligt de silicone een beetje dieper en kunnen er nog kleine openingen blijven langs de randen van de plaatjes. De vloeibare coating die over de silicone wordt aangebracht zal ter hoogte van deze dieper gelegen punten kleine openingen

vertonen. Figuur 3.4 toont een voorbeeld van deze kleine openingen en de achterliggende versmalde rugvulling. Ter hoogte van deze openingen ontstaan bijgevolg lekkages.



Figuur 3.4 Waterlekkage ter hoogte van opening coating

Gebitumineerde houtvezelplaat

Een gebitumineerde houtvezelplaat dankt zijn waterbestendigheid aan de toevoeging van de bitumenemulsie. Deze platen zijn waterdicht tot op zekere hoogte. Ze zijn met andere woorden voldoende waterdicht om de slagregen die tot achter de gevelbekleding komt, op te vangen en af te voeren maar ze kunnen niet langdurig blootgesteld worden aan directe slagregen.

De drie **tapes** worden getest op de gebitumineerde houtvezelplaat. Tape A vertoont reeds lekken na een halve minuut zonder dat een drukverschil gecreëerd wordt. Deze tape komt dan ook los aan de kruispunten na deze watertest. Zoals reeds bij de luchtdichtheidstesten vermeld, wordt er reeds een verminderde hechting van de tape vastgesteld nadat deze drie weken op de ondergrond gekleefd is. Na de watertest komt deze dan ook bijna volledig los ter hoogte van de kruispunten.

Bij tape B worden de eerste lekken vastgesteld bij een drukverschil van 100 Pa. Deze lekken bevinden zich weer ter hoogte van de kruispunten en stromen volgens scenario d. Dit is te wijten aan de geringe stijfheid van de houtvezelplaten waardoor de plaatjes niet in één vlak liggen. Aan de kruispunten ontstaat er bijgevolg een verminderde hechting van de tape waardoor waterdruppeltjes via kleine openingen tot achter de tape kunnen stromen.

3. Waterdichtheid

De eerste lekken bij tape C vormen zich bij een drukverschil van 150 Pa. Opnieuw worden de meeste lekken waargenomen ter hoogte van de kruispunten. Ditmaal volgens scenario a. De overlapping tussen de horizontale en verticale tape vormen dus de kritieke punten voor tape C op de houtvezelplaat.

Beton

Beton is een poreus materiaal. Er zijn met andere woorden poriën of holle ruimtes aanwezig. Deze poriën worden gevormd doordat er meer water dan nodig aanwezig is voor de hydratatie en ook de gebruikte granulaten kunnen reeds holtes bevatten. De porositeit van beton is bijgevolg afhankelijk van de toegepaste water/cement-factor. Voor een goede verwerkbaarheid van het beton wordt meestal een W/C-factor gebruikt die groter is dan 0,40. Een hogere W/C-factor betekent meer toevoeging van water en bijgevolg ook een hogere porositeit. Uit experimenteel onderzoek blijkt dat de permeabiliteit (waterdoorlatendheid) snel toeneemt indien een W/C-factor gebruikt wordt die groter is dan 0,6 ten gevolge van de toename van de capillaire porositeit. Via deze capillaire holten wordt immers water geabsorbeerd indien deze holten in verbinding staan met de buitenomgeving.⁸⁹

De W/C-factor van de gebruikte betontegels is onbekend. Er wordt echter wel vastgesteld dat deze tegels water absorberen aan het oppervlak maar dat er geen doorlatendheid is over de gehele dikte van de tegel. Wel ontstaan er reeds lekken na enkele minuten ter plaatse van barsten.



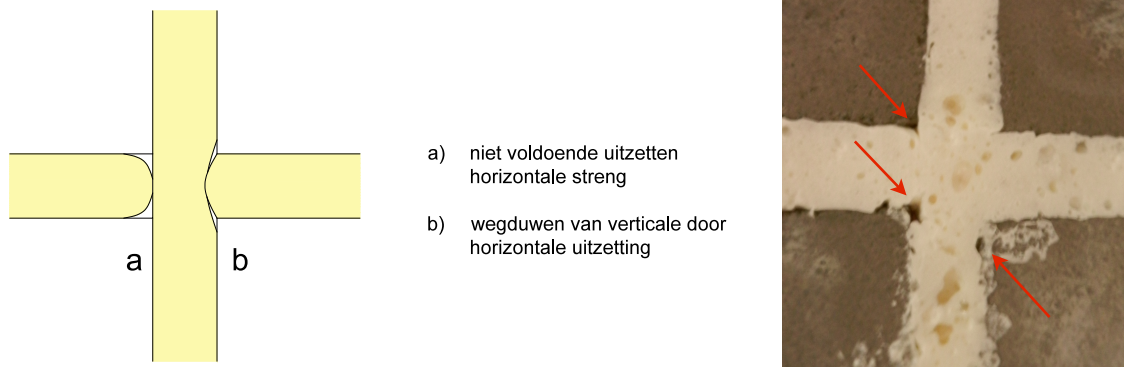
Figuur 3.5 Waterlek ter plaatse van barst in betontegel

Indien de positie van de waargenomen lekken voor de twee **tapes** (tape A en B) die gekleefd zijn op de betonondergrond, vergeleken worden, wordt er vastgesteld dat beide tapes voornamelijk

⁸⁹ Taerwe, L. (2006). *Betontechnologie* [cursus]. Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen

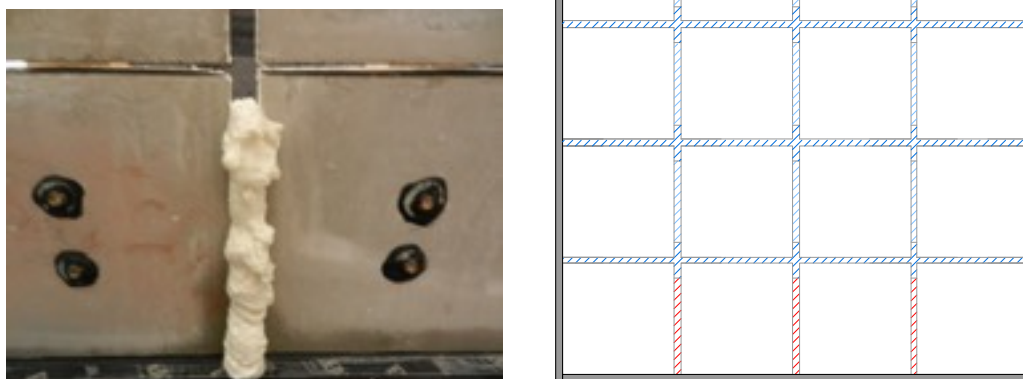
waterlekken vertonen boven- en onderaan de kruispunten, met andere woorden volgens scenario a en c. Tape A vertoont enkele lekken na de eerste twee minuten. Opvallend hierbij is dat de waterdruppeltjes die achter de tape komen niet verder naar beneden vallen via de tape zoals op de andere twee ondergronden maar wel via de zijkant van de betontegel. In de daaropvolgende minuten vormen er zich meerdere vochtplekken zonder dat een drukverschil gecreëerd wordt. Tape C vertoont bij een drukverschil van 600 Pa nog geen duidelijke lekken maar wel een heel aantal vochtplekken. De vraag hierbij is of deze vochtplekken ontstaan door de verminderde hechting van de tape of door het vochttransport doorheen de betontegel. Aangezien de vochtplekken zich steeds rond de kruispunten bevinden, wordt er aangenomen dat voornamelijk de verminderde hechting van de tape bij de overlap van twee stroken op de vochtige ondergrond de oorzaak is van de vochtplekken.

Voor de eerste watertest die wordt uitgevoerd op de opstelling met het **polyurethaanschuim**, worden eerst de verticale voegen gevuld met het schuim en meteen daarna de horizontale tussenstukken. Hierbij worden reeds in de eerste minuut dat de opstelling besproeid wordt, verschillende lekken vastgesteld ter hoogte van de kruispunten waar een verticale streng van het schuim en een horizontale streng elkaar raken. Ofwel zijn deze twee strengen niet voldoende uitgezet naar elkaar toe waardoor er openingen ontstaan waardoorheen het water kan lekken (figuur 3.6 a). Ofwel duwt de horizontale streng de verticale opzij (figuur 3.6 b). Indien de buitenkant van deze verticale reeds gedeeltelijk verhard is, zullen de twee strengen niet in elkaar vloeien en ontstaan er opnieuw openingen.



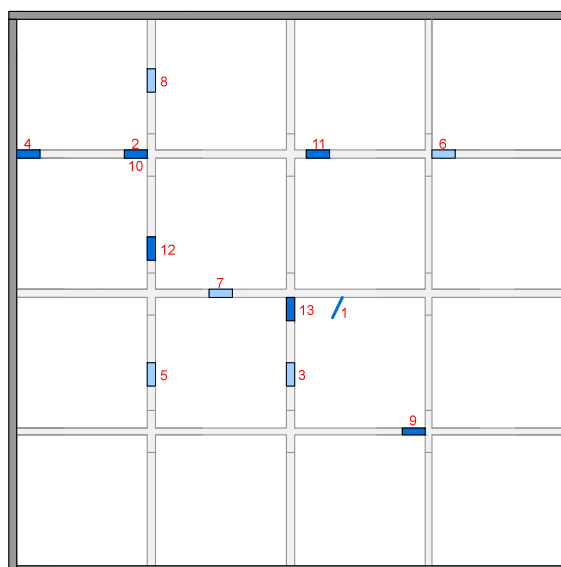
Figuur 3.6 Waterlekken polyurethaanschuim

Voor de tweede watertest wordt het polyurethaanschuim in een andere volgorde aangebracht. Er wordt onderaan gestart met het vullen van de verticale voegen tussen de onderste betontegels (figuur 3.7 rood). Deze worden gevuld tot ongeveer 2 cm van het kruispunt. Hierna wordt er minimum een half uur gewacht totdat het schuim niet meer uitzet en de buitenkant reeds volledig verhard is. Vervolgens wordt de volledige horizontale voeg gevuld met schuim en de volledige kruispunten (figuur 3.7 donkerblauw). Meteen daarna worden ook de volgende verticale tussenstukken gevuld tot weer ongeveer 2 cm van het kruispunt (figuur 3.7 lichtblauw). Dit wordt herhaald totdat alle voegen gevuld zijn met polyurethaanschuim.



Figuur 3.7 Plaatsing polyurethaanschuim tweede watertest

Vervolgens wordt opnieuw een watertest uitgevoerd. Hierbij ontstaan er verschillende vochtplekken rond de kruispunten en voegen zonder dat een drukverschil gecreëerd wordt. De eerste lekken ontstaan bij een drukverschil van 50 Pa, ten opzichte van de lekken die reeds gevormd werden in de eerste minuut bij de vorige watertest. Indien de positie van de verschillende waterlekken bekeken wordt, wordt er vastgesteld dat er zich minder lekken ter hoogte van de smallere voegen (ongeveer 1cm ten opzichte van 1,8 cm) uiterst rechts en onderaan bevinden.



Figuur 3.8 Positie lekkages en vochtplekken

In deze smallere voegen, moet het schuim minder uitzetten om alle kleine onregelmatigheden van de betegels op te vullen. Dit in tegenstelling met de grotere voegen waar het schuim niet in staat is om alle kleine onregelmatigheden op te vullen en er bijgevolg op die plaatsen lekken ontstaan.

Conclusie

Er wordt geconcludeerd dat de tapes het slechtst presteren op de betonondergrond. Er dient wel opgemerkt te worden dat hier voornamelijk vochtplekken gevormd worden terwijl bij de andere ondergronden meer grotere lekken ontstaan.

De kruispunten vormen steeds de kritieke punten voor het ontstaan van waterlekken. Deze lekken worden grotendeels gevormd volgens drie scenario's. Ofwel stroomt het water door de openingen ter plaatse van de overlap tussen een horizontale en een verticale strook en dit kan zowel aan de bovenkant van een kruispunt als aan de onderkant zijn, ofwel stroomt het water door de openingen die gevormd zijn door de verminderde hechting van de tape aan de rand van de plaatjes ten gevolge van het niet in éénzelfde vlak liggen van deze plaatjes. Dit laatste scenario wordt vooral vastgesteld voor de houtvezelplaat met een geringe stijfheid.

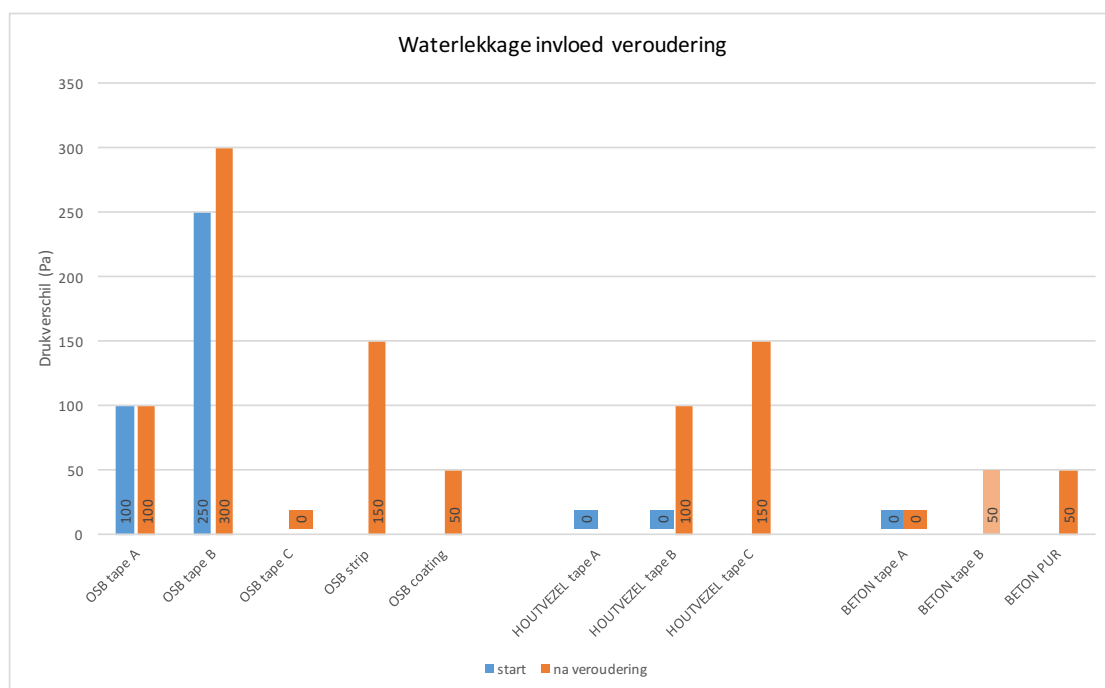
Tape A presteert in het algemeen op de drie ondergronden het slechtst. Tape B presteert het best en bij tape C ontstaan er steeds lekken ter hoogte van de bovenkant van de kruispunten.

De waterdichtheid van de afdichtingsmaterialen op basis van silicone is zeer afhankelijk van de uitvoering. Bijgevolg ontstaan er zowel lekken aan de kruispunten als aan de voegen. Bij het aanbrengen van de silicone strip dient er steeds aandacht besteed te worden aan het voldoende aandrukken van de silicone zelf. Bij het gebruik van de coating is de aanwezigheid van een vlakke ondergrond in de voeg een aandachtspunt. Hierbij is het belangrijk dat de rugvulling op elke punt even diep en even hard samengedrukt in de voeg geplaatst wordt zodat de silicone hierover vlak kan worden aangebracht.

Ten slotte is de waterdichtheid van het polyurethaanschuim ook zeer afhankelijk van de wijze waarop deze wordt aangebracht en de mate waarin het schuim kan uitzetten opdat alle onregelmatigheden gevuld worden. De breedte van de voeg speelt hierbij ook een rol aangezien het schuim in een minder brede voeg minder moet uitzetten om alle onregelmatigheden te vullen.

3.2 Mechanische veroudering

Enkel bij tape A en B wordt er eerst een watertest uitgevoerd nadat de tape gekleefd wordt op de ondergrond en vervolgens wordt er een watertest uitgevoerd na mechanische veroudering. Deze mechanische veroudering verloopt in 4 stappen van 50 cycli drukpulsaties van +/- 1000 Pa. Voor de andere afdichtingsmaterialen wordt er enkel een watertest uitgevoerd na de mechanische veroudering van 200 cycli van +/- 1000 Pa. Voor deze materialen worden dus enkel veronderstellingen gemaakt aangezien een bijkomende test meteen na het aanbrengen van deze materialen op de ondergrond dient uitgevoerd te worden om een correcte vergelijking te kunnen maken.



Grafiek 3.2 Invloed mechanische veroudering op waterdichtheid

Grafiek 3.2 toont dat de waterdichtheid van **tape A** op de OSB-ondergrond en de betonondergrond ongewijzigd blijft na de mechanische veroudering. Tape A die gekleefd is op de houtvezelplaat komt los tijdens de eerste watertest. Bijgevolg worden er geen bijkomende testen meer uitgevoerd op deze opstelling.

Tape B daarentegen vertoont een verbeterde waterdichtheid na de mechanische veroudering en dit zowel op de OSB-ondergrond als de houtvezelplaat. Voor de tape die gekleefd is op de houtvezelplaat, is deze verbetering het grootst. Bij de startmeting werden er namelijk verschillende lekken in de eerste minuut dat de opstelling besproeid werd, vastgesteld. Na 100 cycli werden de eerste lekken pas bij een drukverschil van 50 Pa waargenomen en na 200 cycli bij een drukverschil van 100 Pa. De waterdichtheid van de tape is dus gelijkmatig verbeterd. Voor de tape op de OSB-ondergrond is deze verbetering echter niet gelijkmatig maar wordt deze vastgesteld meteen na de eerste 50 cycli. De vraag hierbij is of deze verbetering te wijten is aan de mechanische veroudering zelf of aan het herhaaldelijk benatten en opdrogen van de tape na de startmeting en na elke 50 cycli. Aangezien het waarschijnlijker is dat de waterdichtheid van de tape zou verslechteren na de

uitvoering van een mechanische veroudering dan verbeteren, wordt er verondersteld dat deze verbetering voornamelijk te danken is aan het herhaaldelijk benatten en uitdrogen. Deze verbeterde prestatie van de tape na benatten en opnieuw uitdrogen was ook zichtbaar bij de luchtdichtheidstesten.

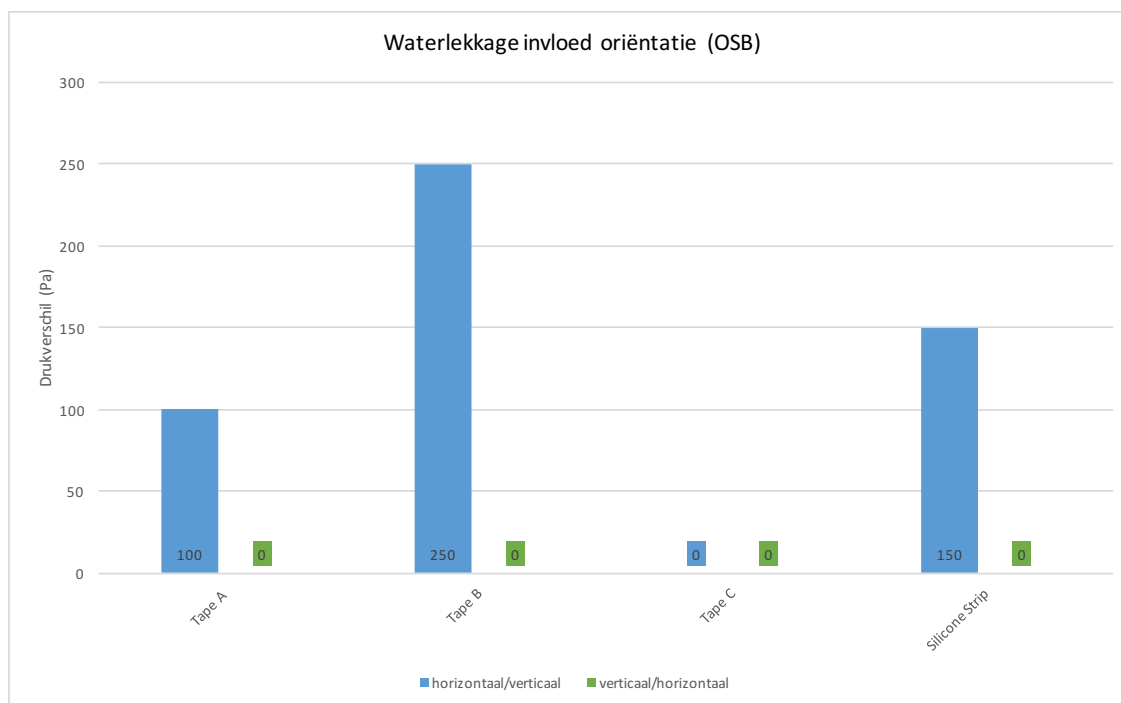
Voor **tape C** wordt een gelijkaardig gedrag als tape B verondersteld aangezien bij de luchtdichtheidstesten ook een kleine vermindering van de prestatie op te merken was na mechanische veroudering maar deze verbeterde opnieuw na benatten en opdrogen van de opstelling.

Indien de luchtdichtheidstesten als referentie genomen worden, wordt er ook voor de **silicone strip**, de **coating** en het **polyurethaanschuim** slechts weinig tot geen verandering verwacht van de waterdichtheid na mechanische veroudering ten opzichte van de startmeting.

Algemeen wordt er geconcludeerd dat de mechanische veroudering weinig tot geen invloed heeft op de waterdichtheid van de afdichtingsmaterialen op de verschillende ondergronden. De eerste keer benatten en opnieuw opdrogen (en eventueel ook de daaropvolgende watertesten) hebben echter wel een invloed op de prestatie van tape B en vermoedelijk ook tape C. Hierbij wordt een verbetering van de waterdichtheid vastgesteld.

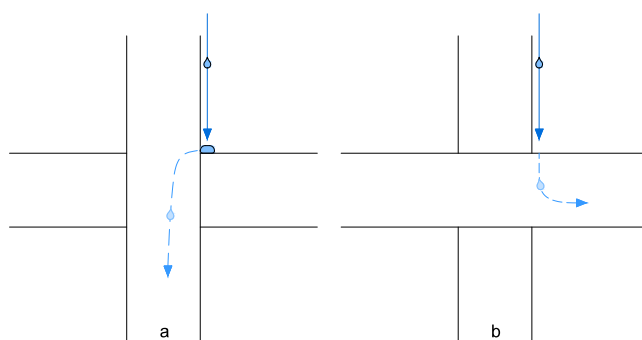
3.3 Oriëntatie

Er wordt nagegaan wat de invloed is van de volgorde van de plaatsing van de tapes en de silicone strip op de OSB-ondergrond. Hierbij wordt de waterdichtheid getest indien eerst de horizontale voegen afgedicht worden en nadien de verticale voegen. Vervolgens wordt de opstelling 90° gedraaid zodat nu de verticale strook zich onderaan bevindt en de horizontale strook erboven is aangebracht.



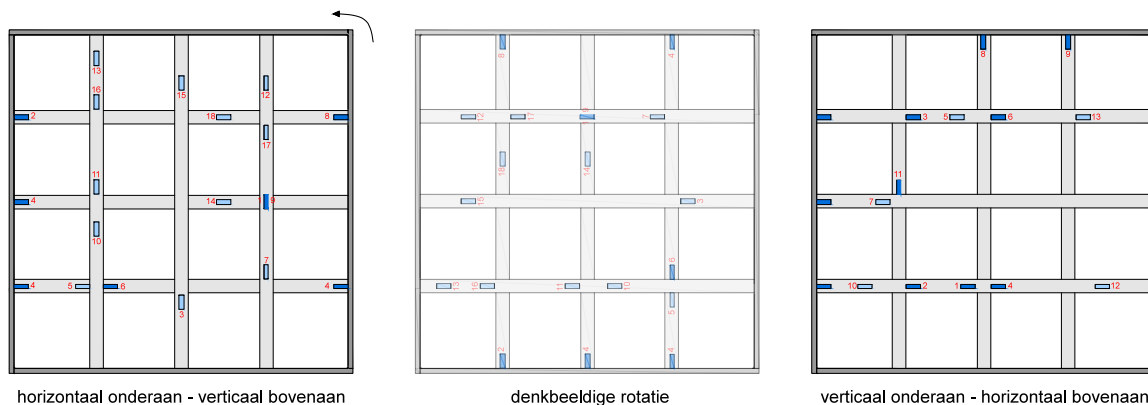
Grafiek 3.3 Invloed oriëntatie tapes en silicone strip op waterdichtheid

Grafiek 3.3 toont dat er steeds een negatieve invloed vastgesteld wordt indien de verticale strook zich onderaan bevindt en de horizontale strook bovenaan. Dit is te wijten aan het feit dat indien de openingen ter hoogte van de overlapping van beide stroken horizontaal gelegen zijn, de waterdruppeltjes hier rechtstreeks invallen (figuur 3.9 b). Dit in tegenstelling tot wanneer deze openingen in verticale richting liggen aangezien hierbij de druppel eerst zal vergroten vooraleer deze door de opening zal lekken of ten gevolge van het gecreëerde drukverschil door de opening geduwd wordt (figuur 3.9 a).



Figuur 3.9 Invloed oriëntatie tapes en silicone strip op waterlekkages

Indien de positie van de verschillende lekken met elkaar vergeleken worden voor beide oriëntaties, wordt er vastgesteld dat de lekken op dezelfde punten ontstaan. Bij de opstelling waar de horizontale strook zich bovenaan bevindt, ontstaan deze lekken echter sneller dan indien deze strook zich onderaan bevindt.

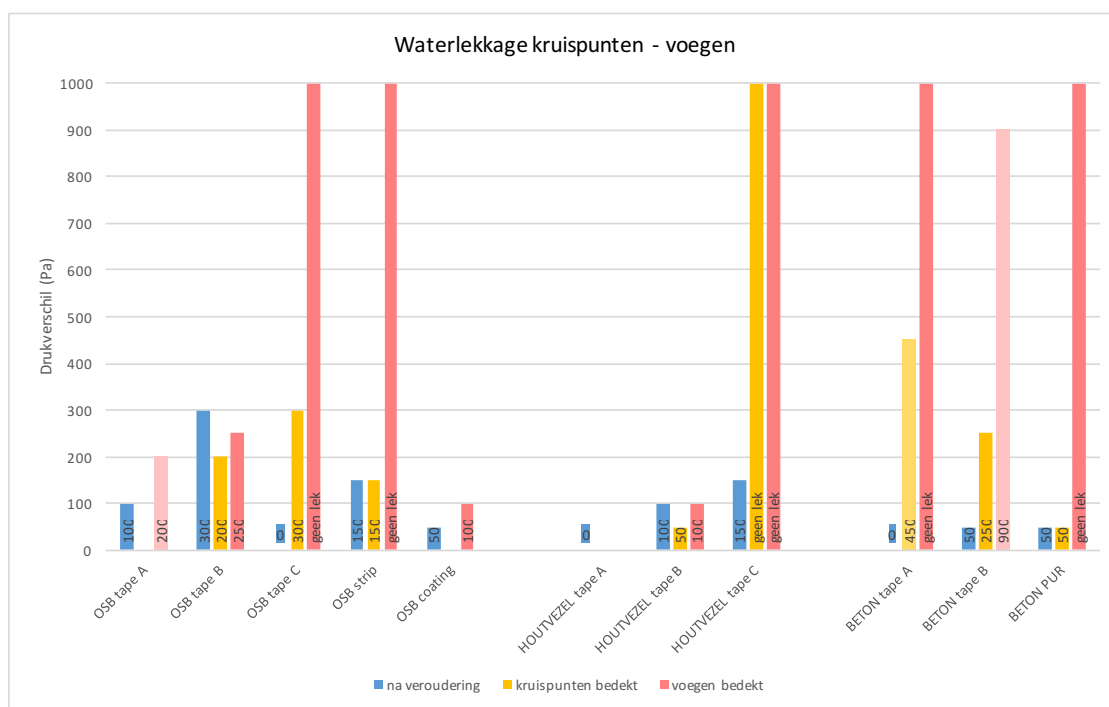


Figuur 3.10 Invloed oriëntatie silicone strip op positie lekkages

Er wordt verondersteld dat de invloed van de oriëntatie van de tapes en de silicone strip die bevestigd worden op de andere ondergronden, dezelfde zal zijn als voor de OSB-ondergrond.

3.4 Kruispunten - voegen

Er wordt nagegaan wat het effect is van een lucht- en waterdichte coating die wordt aangebracht over de kruispunten en vervolgens over de hele voegen.



Grafiek 3.4 Waterlekages indien kruispunten - voegen bedekt zijn met coating

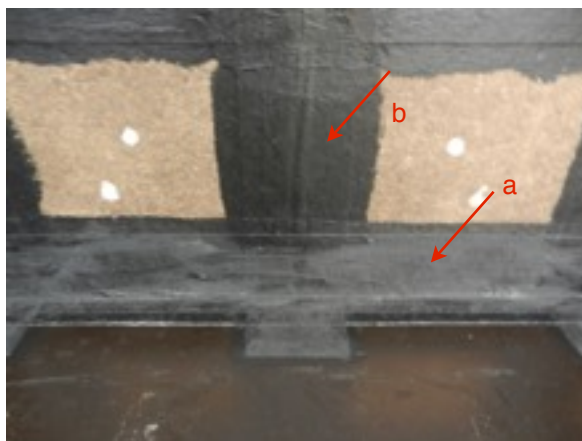
Kruispunten

Grafiek 3.4 toont dat voor alle tapes een verbetering van de waterdichtheid wordt vastgesteld behalve voor tape B, indien de kruispunten bedekt worden met een lucht- en waterdichte coating. Deze verbetering is te verwachten aangezien de kruispunten steeds de kritieke punten vormen voor de waterdichtheid.

Indien de kruispunten van **tape A** die gekleefd is op de betonondergrond, bedekt worden met de coating, wordt een grote verbetering van de waterdichtheid vastgesteld. Er worden echter wel nog steeds vochtplekken waargenomen ter hoogte van de kruispunten. Dit is te wijten aan de minder goede hechting van de eerste laag coating op de gladde zijde van de tape. Aangezien de coating een extra dikteverschil creëert, kunnen de waterdruppeltjes op sommige plaatsen nog steeds achter de coating vloeien en vervolgens door de openingen ter hoogte van de overlapping van twee tapes.

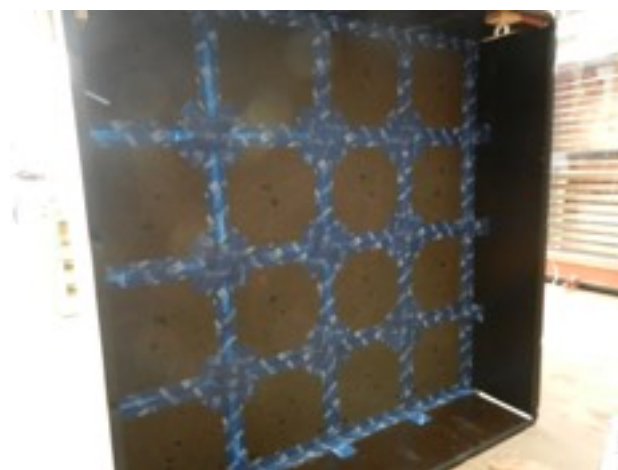
Indien **tape B** bedekt wordt met de coating, wordt er geen verbetering vastgesteld. Er wordt integendeel zelfs een vermindering van de waterdichtheid waargenomen. Dit is te wijten aan het feit dat de tape zelf een deel van de coating absorbeert waardoor deze minder goed presteert. Dit

wordt waargenomen bij het aanbrengen van de eerste laag coating. Boven de andere afdichtingsmaterialen vormt deze coating een licht blinkende laag. Indien deze coating wordt aangebracht op tape B, vormt deze echter na opdroging een matte laag (figuur 3.11 a). De tweede laag coating over deze matte laag is wel licht blinkend (figuur 3.11 b). De gedeeltelijke absorptie van de eerste laag coating heeft bijgevolg een nadelig effect op de waterdichtheid van de aansluiting.



Figuur 3.11 a) absorptie eerste laag coating door tape B, b) licht blinkende tweede laag coating

Indien de kruispunten van **tape C**, die gekleefd is op de OSB-ondergrond, bedekt worden met de coating, wordt een verbetering van de waterdichtheid vastgesteld, maar er ontstaan nog steeds waterlekken ter hoogte van deze kruispunten. Dit wijst ofwel op het feit dat de coating niet volledig waterdicht kan aangebracht worden op de OSB-ondergrond, ofwel op het feit dat niet al de openingen die zich ter hoogte van de overlapping van de tapes bevinden, gedicht zijn door de coating. Tape C die bevestigd is op de houtvezelplaat en waarvan de kruispunten bedekt zijn met de coating, vertoont echter geen waterlekken meer. Hierbij dient opgemerkt te worden dat eerst een extra kruis tape over de kruispunten wordt gekleefd en vervolgens de coating wordt toegepast. Voor de opstelling waarbij een extra kruis over tape C wordt gekleefd op de houtvezelplaat, wordt ook reeds een grote verbetering van de waterdichtheid vastgesteld. Het eerste lek wordt hierbij pas bij een drukverschil van 750 Pa waargenomen.



Figuur 3.12 Extra kruis tape C over kruispunten

3. Waterdichtheid

Voor het bedekken van de kruispunten van de **silicone strip** wordt een andere coating gebruikt dan voor de andere afdichtingsmaterialen. De gebruikte coating is namelijk van hetzelfde merk als de strip en de silicone zodat een volledig systeem getest kan worden. Er worden hierbij geen lekken meer vastgesteld ter hoogte van de kruispunten maar wel ter hoogte van de voegen. Dit heeft als gevolg dat de algemene waterdichtheid van de opstelling niet veranderd is.

Indien de kruispunten van het **polyurethaanschuim** op de betonondergrond bedekt worden met de coating, worden er geen lekken meer waargenomen ter hoogte van de kruispunten. De lekken aan de tussenliggende voegen die reeds bij de eerste watertest werden vastgesteld, ontstaan echter nu opnieuw. Dit heeft als gevolg dat ook hier de algemene waterdichtheid van de opstelling niet veranderd is.

Voegen

Indien vervolgens ook de tussenliggende voegen - en voor de tapes ook de zijkanten - bedekt worden met de coating, worden er geen waterlekken meer waargenomen behalve voor tape B. Dit wijst erop dat er geen water door de ondergronden zelf kan vloeien. Voor tape A wordt er echter wel nog een vochtplek vastgesteld ter hoogte van een kruispunt. Zoals reeds werd vermeld, is dit te wijten aan het feit dat de coating niet volledig waterdicht kan aangebracht worden op de OSB-ondergrond of dat de coating niet voldoende hecht aan de gladde zijde van de tape. Het niet waterdicht zijn van de coating op tape B werd reeds verklaard bij de bedekte kruispunten.

Voor het systeem met de coating over de silicone op de OSB-ondergrond kunnen de voegen niet bedekt worden aangezien er reeds een coating toegepast is. Hierbij worden de overige delen van de OSB-ondergrond bedekt zodat er geen lekken meer kunnen ontstaan door vochttransport door de ondergrond zelf. Hierbij wordt een kleine verbetering van de waterdichtheid vastgesteld. De lekken worden voornamelijk gevormd door de kleine openingen in de coating ten gevolge van de plaatselijk dieper gelegen silicone over de rugvulling zoals reeds in 3.1 *Ondergrond* beschreven werd.

Conclusie

Algemeen wordt er geconcludeerd dat het bedekken van de kruispunten met een coating een positief effect heeft op de waterdichtheid aangezien de kruispunten steeds de meest kritieke punten vormen. Enkel voor tape B heeft het bedekken van de kruispunten echter geen positief effect op de waterdichtheid.

De coating zou dus kunnen toegepast worden om de algemene waterdichtheid van de aansluitingen te verbeteren. Een extra kruis tape over de kruispunten heeft echter bijna hetzelfde effect als deze coating. Dit werd enkel getest voor tape C op de houtvezelplaat maar er wordt verondersteld dat dit kruis voor alle tapes een verbetering van de waterdichtheid zal veroorzaken.

Dit kruis is eenvoudiger om toe te passen dan de coating aangezien deze coating in twee lagen dient aangebracht te worden en er telkens moet gewacht worden vooraleer deze volledig uitgedroogd is. Er moet wel bijzondere aandacht geschonken worden aan het voldoende aandrukken van de tape.

Voor de silicone strip wordt er wel aangeraden om een extra coating toe te passen. Een extra kruis gevormd door de strip zou immers geen voordeel opleveren op vlak van waterdichtheid gezien het extra dikteverschil dat gecreëerd zou worden. Indien de coating correct wordt aangebracht over de volledige strip, is deze waterdicht bij een drukverschil van 600 Pa.

De coating op het polyurethaanschuim vormt ook een grote verbetering van de waterdichtheid. Indien er gekozen wordt voor betonnen gevelpanelen, blijft de buitenste laag beton meestal zichtbaar. Het zal bijgevolg niet gewenst zijn om een zichtbare coating op deze buitenste laag aan te brengen. Alternatieven zoals een extra kitvoeg over het polyurethaanschuim dienen daarom verder onderzocht te worden. Indien er toch een bijkomende gevelbekleding voor het betonpaneel geplaatst wordt, wordt er wel aangeraden om een bijkomende coating over het polyurethaanschuim aan te brengen.

3.5 Zwelbanden

Bijkomend aan de testen op voorgaande afdichtingsmaterialen, wordt ook de prestatie van zwelbanden als waterdichte afsluiting tussen prefabpanelen getest. De gebruikte zwelbanden zijn opgebouwd uit een geëxpandeerde EPDM synthetische rubber met gesloten cellen en zijn langs één zijde bedekt met een butyllijm laag. Voor het testen van deze zwelbanden worden drie nieuwe testopstellingen gebruikt. Deze zijn alle opgebouwd uit 16 grenen (verduurzaamde) houtblokken met een dikte van 4,5 cm. Deze blokken worden volgens een 4x4 matrix gepositioneerd binnen een houten kader en aan de hand van schroeven bevestigd aan een houten frame dat zich aan de achterzijde van de opstelling bevindt. Het houten kader heeft een breedte van 78 cm en een hoogte van 69,5 cm. Rondom dit kader wordt een omkasting geschroefd bestaande uit MDF-platen met een dikte van 12 mm. Alle naden worden luchtdicht afgekit. Aan elke open zijkant van de houtblokken wordt een tape met een ruw oppervlak (type tape C) en een breedte van 6 cm aangebracht. Uit voorgaand onderzoek werd immers geconcludeerd dat de toepassing van deze tape aan de niet-klevende zijde van de zwelband, de kans op waterinfiltratie aanzienlijk vermindert.⁹⁰



Figuur 3.13 Voorzijde en achterzijde opstelling zwelbanden

De drie testopstellingen verschillen van elkaar op basis van de afmetingen van de voegen tussen de houtblokken en de wijze waarop de zwelbanden in de voegen op elkaar worden aangesloten. De focus van de testen op de zwelbanden ligt voornamelijk op de waterdichtheid van de verticale en horizontale voegen en de kruispunten, net zoals bij de andere afdichtingsmaterialen, en bijkomend wordt ook de kopse aansluiting van twee zwelbanden getest.

Hierbij wordt de invloed nagegaan van het plaatsen van de zwelbanden met een verschillende compressiegraad (30% - 60%). Deze verschillende compressiegraden worden bekomen door het positioneren van zwelbanden met eenzelfde dikte van 2,5 cm in de voegen met verschillende afmetingen. Voor testopstelling A worden zwelbanden toegepast met de laagste compressiegraad. Testopstelling B bevat zwelbanden met een hogere compressiegraad dan deze van opstelling A. En voor testopstelling C worden zwelbanden met de hoogste compressiegraad toegepast.

⁹⁰ Carbonez, K. (2015) *Rapport: Waterdichtheid- en luchtdichtheidstesten op zwelbanden met verschillende compressiegraad* [Ongepubliceerd Rapport], Universiteit Gent, Onderzoeksgroep Bouwfysica, Vakgroep Architectuur & Stedenbouw

Vervolgens worden ook verschillende methodes voor de aansluitingen van de zwelbanden ter hoogte van de kruispunten met elkaar vergeleken. Drie methodes worden hierbij toegepast. De eerste bestaat uit de toepassing van een lijm-/afdichtingskit tussen de horizontale zwelband en de bovenliggende verticale zwelband. De tweede methode is het gebruik van een butylbandtape die wordt verkleefd tussen de horizontale zwelband en de bovenliggende verticale zwelband. Ten slotte is de laatste methode een stompe aansluiting zonder bijkomende dichting tussen de horizontale en bovenliggende verticale zwelband.

De horizontale zwelbanden worden steeds doorlopend aangebracht en worden langs de onderzijde verkleefd op de houtblokken. De verticale zwelbanden daarentegen worden stuksgewijs tussen de horizontale zwelbanden geplaatst en aan de linkerzijde verkleefd tegen de houtblokken.

Op sommige punten zijn de horizontale zwelbanden onderbroken en ontstaan er kopse aansluitingen tussen twee zwelbanden. Deze onderbrekingen worden toegepast om na te gaan of deze aansluitingen kritieke punten vormen voor waterinfiltratie.

Op 25 cm van het te testen oppervlak wordt net zoals bij de voorgaande opstellingen een sproeisysteem aangebracht.

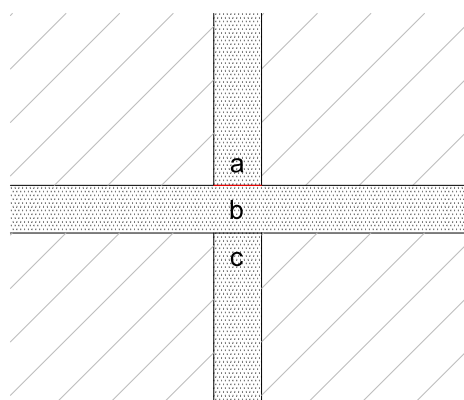
Ten slotte worden er steeds op de niet verkleefde zijde van de zwelband vloeipapiertjes voorzien aan de achterzijde van de opstelling. Het uiteinde van de vloeipapiertjes bevindt zich op een diepte van 15 mm in de voeg en met andere woorden in de helft van de breedte van de zwelband. Deze vloeipapiertjes worden toegepast om de vochtindringing ter hoogte van de voeg te kunnen nagaan.

Verder wordt een samenvatting gegeven van de bekomen resultaten. Voor meer informatie wordt er verwezen naar het volledige rapport.⁹¹

⁹¹ De Vogelaere, K. (2016) *Rapport: Waterdichtheid van zwelbanden met verschillende compressiegraden. Kruispunten van voegen tussen prefabpanelen*. [Ongepubliceerd Rapport], Universiteit Gent, Onderzoeksgroep Bouwfysica, Vakgroep Architectuur & Stedenbouw

Kruispunten

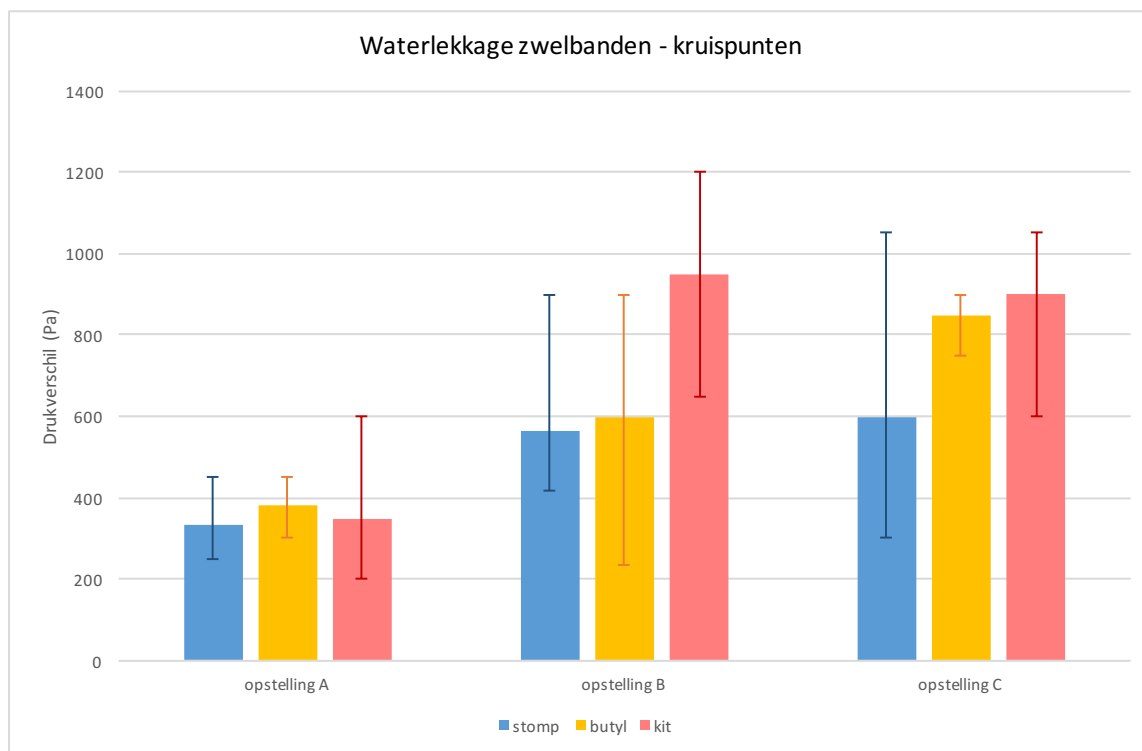
De kruispunten tussen een horizontale en een verticale zwelband worden op drie verschillende manieren afgewerkt en dit telkens aan de bovenkant van de horizontaal doorlopende zwelband zoals getoond wordt op figuur 3.14.



- a) stompe, butyl- of kitafwerking
- b) horizontaal doorlopende zwelband
- c) verticale tussenstukken zwelband

Figuur 3.14 Stompe, butyl- of kitafwerking kruispunten zwelband

Grafiek 3.5 toont bij welk drukverschil een lek werd waargenomen ter hoogte van de kruispunten voor iedere testopstelling per afwerkingsmethode. De gekleurde balkjes geven het gemiddelde drukverschil weer bij lekkage en de afwijkingsstreepjes tonen het minimale en maximale drukverschil bij lekkage.

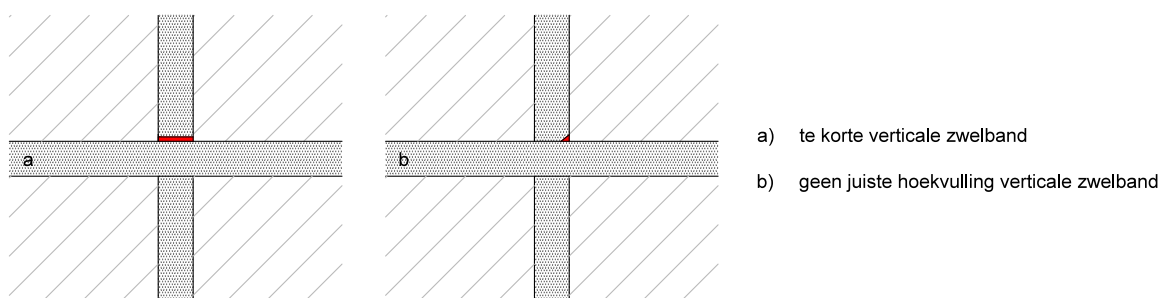


Grafiek 3.5 Waterlekkage zwelbanden ter hoogte van de kruispunten

Hierbij wordt er vastgesteld dat voor elke opstelling de stompe afwerking waarbij de twee zwelbanden zonder meer op elkaar worden aangesloten, gemiddeld steeds het slechtst presteert. Deze prestatie wordt gevolgd door die van de kruispunten waarbij een butyltape tussen de zwelbanden gepositioneerd is. Gemiddeld gezien presteren de kruispunten waarbij een kit werd aangebracht tussen de horizontale zwelband en de bovenliggende verticale zwelband het best.

Algemeen is de waterdichtheid van de verschillende afwerkingsmethodes het best bij een hogere compressiegraad van de zwelband. Voor opstelling A werden immers zwelbanden gebruikt met een lagere compressie dan voor testopstelling B en voor testopstelling C werden zwelbanden gebruikt met de hoogste compressiegraad.

Er wordt ook vastgesteld dat de meeste lekken ontstaan ter hoogte van de aansluiting tussen de verticale en de horizontale zwelband en dit voornamelijk langs de zijde van de zwelband zonder lijmlaag. Hier kunnen immers kleine openingen ontstaan door het niet nauwkeurig plaatsen van de zwelband of doordat de zwelband niet voldoende samengedrukt is.



Figuur 3.15 Foute uitvoering zwelbanden ter hoogte van de kruispunten

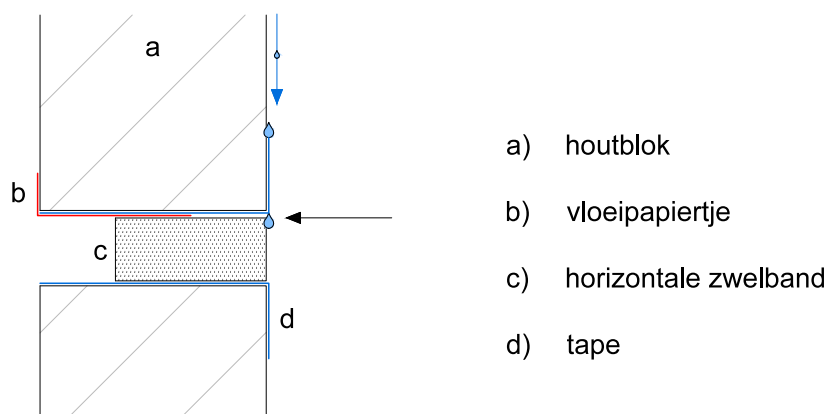
Horizontale en verticale voegen

Ook de waterindringing door de horizontale en verticale voegen tussen de kruispunten wordt getest. Hiervoor werd per houtblok een vloeipapiertje langs de verticale voeg voorzien en een papiertje langs de horizontale voeg en dit steeds aan de niet-verkleefde zijde van de zwelband. Het uiteinde van de vloeipapiertjes bevindt zich hierbij op de halve dikte van de zwelband.

Slaagpercentage zwelbanden							
compressiegraad	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	totaal
verticale voegen	1	10	11	6	4	4	36
niet gefaald bij 600 Pa	100%	70%	64%	100%	75%	100%	81%
horizontale voegen		11	12	9	3	1	36
niet gefaald bij 600 Pa		36%	75%	78%	100%	100%	64%

Tabel 3.1 Percentage natte vloeipapiertjes in verticale en horizontale voegen

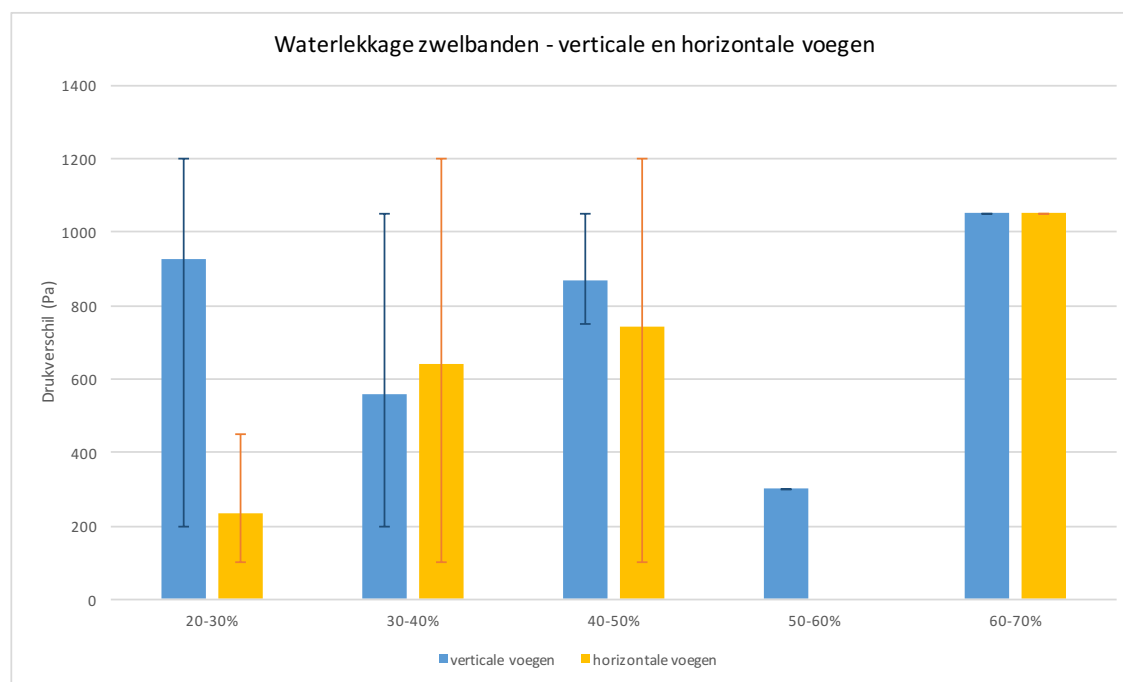
Tabel 3.1 toont het percentage van de vloeipapiertjes dat niet nat wordt bij een drukverschil van 600 Pa. Voor de verticale voegen is dit in totaal 81% van de papiertjes en voor de horizontale voegen 64%. De verticale voegen presteren bijgevolg beter op vlak van waterdichtheid dan de horizontale voegen. Dit is te wijten aan het veranderen van oppervlak in verticale richting ter hoogte van de horizontale zwelband. Indien het oppervlak met water besproeid wordt, zal dit water immers van de houtblokken verder naar beneden willen vallen. Omwille van de onderbreking van dit oppervlak door de horizontale zwelband en de gekleefde tape, wordt deze beweging afgeremd. Hierdoor ontstaan er lokaal grotere waterdruppels langs de onderkant van de houtblokken, die ten gevolge van het drukverschil naar de achterkant van de zwelband kunnen geduwd worden. Aangezien het oppervlak van de verticale voeg hetzelfde blijft in verticale richting, kan het water hier in een meer gelijkmatige beweging naar beneden vallen en zal er zich minder waterindringing voordoen.



Figuur 3.16 Waterafloop ter plaatse van horizontale zwelband

Er wordt ook vastgesteld dat de horizontale zwelbanden met een hogere compressiegraad beter presteren dan deze met een lagere compressiegraad. Voor de verticale voegen is dit verschil veel kleiner.

Grafiek 3.6 toont het drukverschil waarbij er toch waterindringing ter hoogte van de verticale en horizontale voegen werd vastgesteld. De gekleurde balkjes geven het gemiddelde drukverschil weer bij lekkage en de afwijkingsstreepjes tonen het minimale en maximale drukverschil bij lekkage.

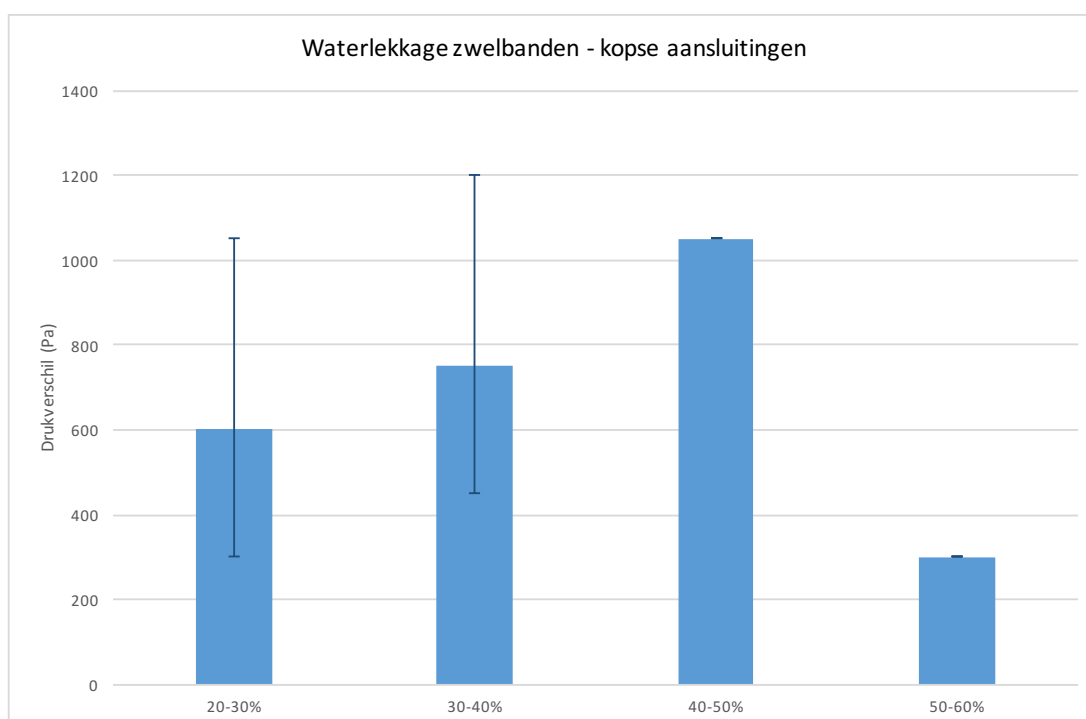


Grafiek 3.6 Waterlekkage ter hoogte van de verticale en horizontale voegen

Hierbij wordt er geen duidelijk verschil waargenomen van het drukverschil waarbij lekkage ontstaat voor een lagere of hogere compressiegraad of voor de horizontale of verticale voegen. Er dient een groter aantal voegen bij een hogere compressiegraad getest te worden, alvorens hier duidelijke conclusies kunnen uit getrokken worden.

Kopse aansluitingen

Ten slotte worden ook de kopse aansluitingen tussen twee horizontale zwelbanden getest. Hierbij wordt voor elke aangebrachte kopse aansluiting een lek waargenomen. Het drukverschil waarbij dit lek wordt vastgesteld, varieert naargelang de compressiegraad van de zwelband behalve voor de kopse aansluiting tussen de zwelbanden met de hoogste compressiegraad. Hierbij wordt er reeds een lek waargenomen bij een drukverschil van 300 Pa. Er dient echter opgemerkt te worden dat er slechts één kopse aansluiting met deze hoogste compressiegraad getest werd. Ook de uitvoering van deze kopse aansluitingen heeft een invloed op de waterdichtheid. Aangezien er reeds bij de doorlopende horizontale voegen een groot percentage lekkages werd vastgesteld, moeten de twee horizontale zwelbanden perfect op elkaar aangesloten worden zodat geen enkele opening kan ontstaan waardoor water kan indringen.



Grafiek 3.7 Waterlekkage ter hoogte van de kopse aansluiting tussen twee horizontale zwelbanden

Conclusie

Als eis voor waterdichtheid wordt gesteld dat de aansluitingen geen lekkages mogen vertonen bij een drukverschil van 600 Pa. Deze eis komt overeen met een klasse 9A volgens NBN B 25-002-1⁹² voor ramen en deuren en betekent een waterdichtheid in een kustomgeving, het platteland en een bosrijk gebied tot een hoogte van 50 m boven het maaiveld en in een stedelijke omgeving tot 100 m boven het maaiveld.

Slaagpercentage zwelbanden							
compressiegraad	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	totaal
verticale voegen	1	10	11	6	4	4	36
niet gefaald bij 600 Pa	100%	70%	64%	100%	75%	100%	81%
horizontale voegen		11	12	9	3	1	36
niet gefaald bij 600 Pa		36%	75%	78%	100%	100%	64%
kopse aansluitingen		4	3	1	1		9
niet gefaald bij 600 Pa		50%	67%	100%	0%		56%
	opstelling A	opstelling B		opstelling C			totaal
stomp	3	3		3			9
niet gefaald bij 600 Pa	0%	67%		33%			33%
butyl	3	2		3			8
niet gefaald bij 600 Pa	0%	50%		100%			50%
kit	3	3		3			9
niet gefaald bij 600 Pa	0%	67%		100%			56%

Tabel 3.2 Slaagpercentage zwelbanden bij een drukverschil hoger dan 600 Pa

Tabel 3.2 toont het percentage horizontale en verticale voegen, kopse aansluitingen en kruispunten dat aan deze eis voldoet. Hierbij wordt er geconcludeerd dat de kruispunten de meest kritieke punten vormen en de stompe aansluiting van de zwelbanden ter hoogte van deze kruispunten in het bijzonder. Ook ter hoogte van de kopse aansluitingen tussen twee horizontale zwelbanden worden veel lekken waargenomen. De voegen en voornamelijk de verticale voegen zijn minder problematisch, zeker indien een hoge compressiegraad wordt toegepast.

Deze verbeterde waterdichtheid bij een hogere compressiegraad geldt ook in het algemeen voor alle soorten aansluitingen.

Er dient opgemerkt te worden dat het aantal aansluitingen per compressiegraad echter beperkt was. Hierdoor kunnen er geen uitsluitende conclusies getrokken worden. Ook wijken de resultaten sterk af van het voorgaande onderzoek dat gevoerd werd op de waterdichtheid van de zwelbanden.⁹³ Bij dit onderzoek werden een aantal verticale voegen getest waarbij een zwelband

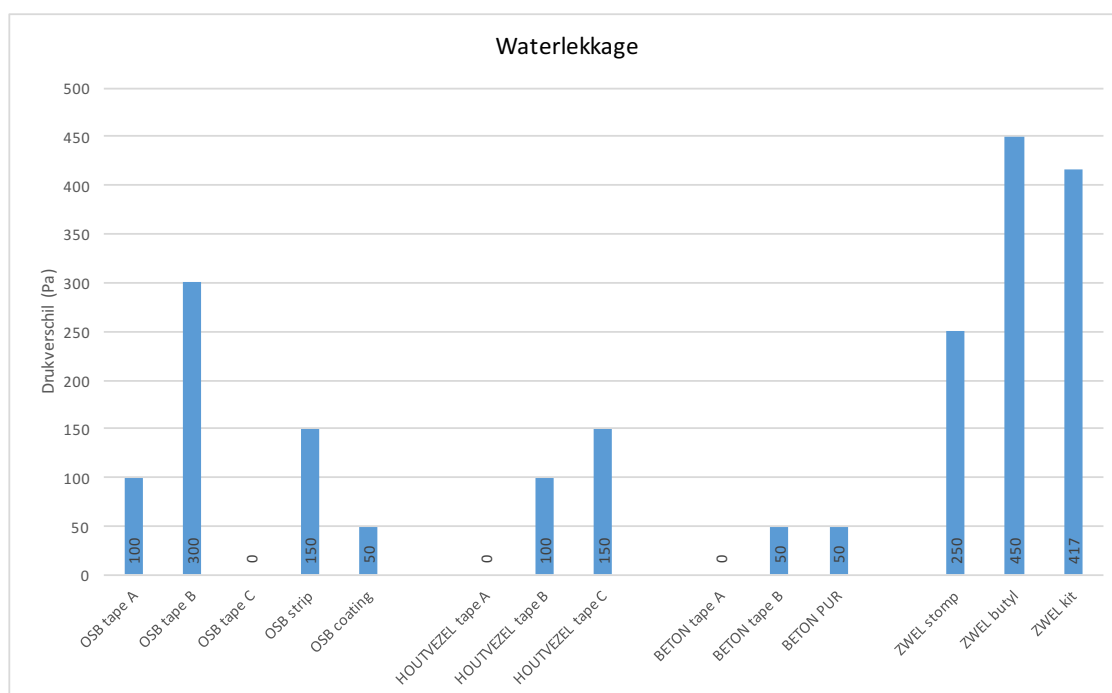
⁹² NBN B 25-002-1 (2009). *Buitenschrijnwerk - Deel 1 - Algemene voorschriften*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

⁹³ Carbonez, K. (2015) *Rapport: Waterdichtheid- en luchtdichtheidstesten op zwelbanden met verschillende compressiegraad* [Ongepubliceerd Rapport], Universiteit Gent, Onderzoeksgroep Bouwfysica, Vakgroep Architectuur & Stedenbouw

3. Waterdichtheid

met verschillende compressiegraad werd toegepast. Hieruit bleek dat indien een ruwe tape wordt toegepast zowel aan de kleefzijde van de zwelband als aan de drukzijde van een éézijdig verkleefde zwelband - zoals ook in dit onderzoek werd toegepast - met een compressiegraad van 20%, deze zwelband slechts bij een drukverschil van 2000 Pa waterindringing vertoont op een diepte van 10 mm. Dit toont aan dat de waterdichtheid van de zwelbanden sterk afhankelijk is van de uitvoering en de hoeveelheid van de aansluitingen tussen de verschillende zwelbanden.

Grafiek 3.8 toont ten slotte de prestatie van de zwelbanden ten opzichte van de andere afdichtingsmaterialen. Hierbij wordt telkens het drukverschil weergegeven waarbij de eerste lekken ter plaatse van de kruispunten werden waargenomen. Enkel de lekken ter plaatse van de kruispunten worden weergegeven aangezien deze voor elk afdichtingsmateriaal het meest kritiek zijn.



Grafiek 3.8 Waterlekage afdichtingsmaterialen

Hierbij wordt vastgesteld dat de kruispunten die gedicht worden aan de hand van zwelbanden met een extra butyltape of een kit, het best presteren op vlak van waterdichtheid gevolgd door tape B op de OSB-ondergrond. In het algemeen presteren de zwelbanden het best ten opzichte van de andere afdichtingsmaterialen.

3.6 Conclusie

Indien ook als eis voor waterdichtheid van alle afdichtingsmaterialen wordt gesteld dat de aansluitingen geen lekkages mogen vertonen bij een drukverschil van 600 Pa, voldoet geen enkele aansluiting bij de startmeting of na veroudering. Deze eis komt overeen met een klasse 9A volgens NBN B 25-002-1⁹⁴ voor ramen en deuren en betekent een waterdichtheid in een kustomgeving, het platteland en een bosrijk gebied tot een hoogte van 50 m boven het maaiveld en in een stedelijke omgeving tot 100 m boven het maaiveld.

Reikwijdte v.h. terrein NBN EN 1991-1-4	Stad IV	Bosrijk gebied/ Voorstedelijke gebieden III	Dieperende/ landelijke gebieden II	Open vlakten/ mee of waterland (I) I – 0
Verste klasse				
0 - 10 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ⁹⁵ NBN EN 12207	3 ⁹⁵	3 ⁹⁵	3 ⁹⁵	3
Waterdichtheid ⁹⁵ NBN EN 12208	4A ⁹⁵	4A ⁹⁵	6A ⁹⁵	8A
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C2	C2	C3	C3
10 - 15 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ⁹⁵ NBN EN 12207	3 ⁹⁵	3 ⁹⁵	3 ⁹⁵	3 ⁹⁵
Waterdichtheid ⁹⁵ NBN EN 12208	4A ⁹⁵	6A ⁹⁵	8A ⁹⁵	9A
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C2	C3	C3	C3
15 - 25 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ⁹⁵ NBN EN 12207	3 ⁹⁵	3	3	3
Waterdichtheid ⁹⁵ NBN EN 12208	6A ⁹⁵	8A	9A	9A
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C2	C3	C3	C3
25 - 50 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ⁹⁵ NBN EN 12207	3	3	3	4
Waterdichtheid ⁹⁵ NBN EN 12208	8A ⁹⁵	9A	9A	9A
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C3	C3	C4	C4
50 - 100 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ⁹⁵ NBN EN 12207	Zie nota 5)			
Waterdichtheid ⁹⁵ NBN EN 12208	Exxx zie nota 5)			
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C5			
> 100 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid NBN EN 12207	Zie nota 5)			
Waterdichtheid ⁹⁵ NBN EN 12208	Exxx zie nota 5)			
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	Exxx zie nota 5)			

Waterdichtheidsklasse	Proefdruk [Pa]
0	(Niet getest)
1A	0
2A	50
3A	100
4A	150
5A	200
6A	250
7A	300
8A	450
9A	600
Exxx	>600

Figuur 3.17 Waterdichtheidsklassen buitenschrijnwerk volgens NBN B 25-002-1 en NBN EN 12208⁹⁵

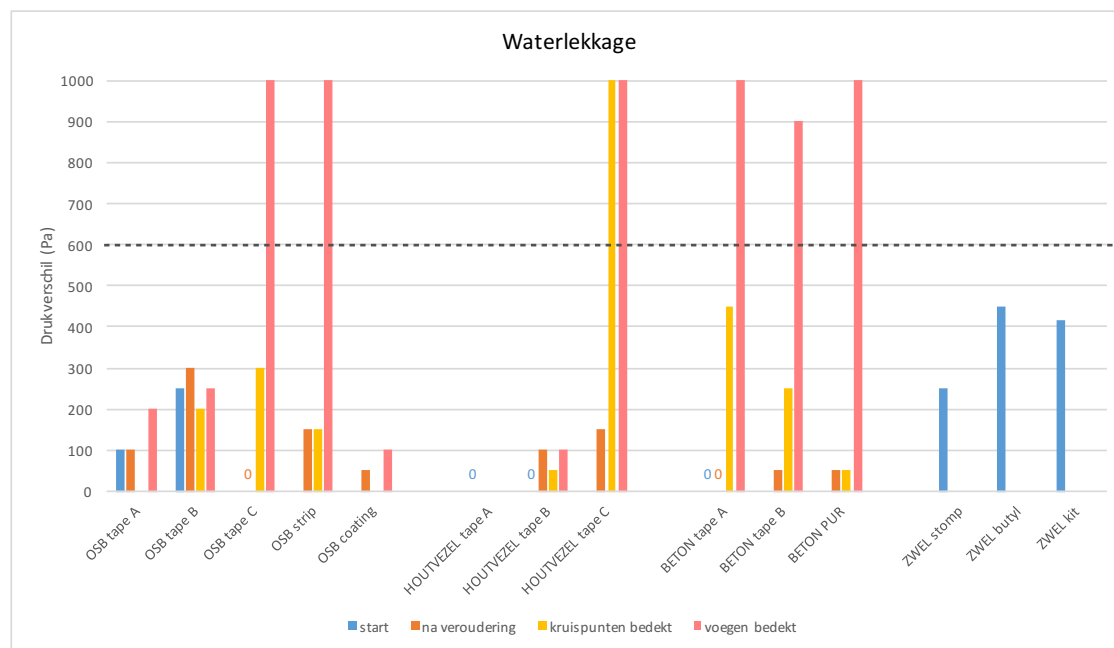
Indien echter de kruispunten bedekt worden met een lucht- en waterdichte coating of een extra kruis met tape, voldoet de opstelling met tape C die gekleefd is op de houtvezelplaat wel aan deze eis. Indien vervolgens de volledige voegen bedekt worden met een lucht- en waterdichte coating, voldoen bijna alle materialen behalve tape B aan de eis. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze eis geldt voor het gehele oppervlak van ramen en deuren die direct blootgesteld worden aan slagregen en een drukverschil. De aansluitingen tussen prefabpanelen worden echter enkel direct blootgesteld aan regen tijdens de constructiefase op de werf indien de gevelbekleding er nog niet voor geplaatst is. Ook zal er nog steeds een luchtdichting langs de binnenzijde van het paneel

⁹⁴ NBN B 25-002-1 (2009). *Buitenschrijnwerk - Deel 1 - Algemene voorschriften*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

⁹⁵ NBN EN 12208 (2000). *Ramen en deuren - Waterdichtheid - Classificatie*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

3. Waterdichtheid

geplaatst worden die ook een deel van het drukverschil opvangt. Deze prestatie-eis is bijgevolg strenger dan wat er in realiteit zal optreden.



Grafiek 3.9 Waterlekage samenvatting

Voor alle afdichtingsmaterialen zijn de kruispunten het meest kritiek. Bij de toepassing van de silicone strip, de coating, het polyurethaanschuim en de zwelbanden ontstaan er ook bijkomende lekken ter hoogte van de voegen.

Initieel presteren de zwelbanden het best op basis van waterdichtheid ten opzichte van de andere afdichtingsmaterialen. Deze laatstgenoemde vereisen immers nog een bijkomende afwerking in de vorm van een coating of een extra kruis tape om beter te presteren.

Indien de gevelbekleding nog niet of slechts gedeeltelijk tijdens prefabricatie wordt bevestigd aan de panelen, kunnen tapes en de materialen op basis van silicone toegepast worden. Hierbij wordt er steeds aangeraden om een extra kruis over de kruispunten van de tapes te kleven of een coating toe te passen bij de silicone strips, al dan niet over het gehele oppervlak.

Indien de gevelbekleding reeds volledig is bevestigd aan de panelen bij prefabricatie, kunnen voorgaande materialen niet toegepast worden aangezien de aansluitingen tussen de panelen moeilijker bereikbaar zullen zijn. Hierbij wordt aangeraden om zwelbanden te plaatsen in de voegen tussen de panelen. De verticale zwelbanden kunnen reeds bij prefabricatie aan de panelen bevestigd zijn en de horizontale zwelbanden worden tijdens de constructiefase op de werf zelf uitgerold over de verschillende panelen. Er wordt ook aangeraden om de gevelbekleding zodanig te plaatsen dat de voeg tussen de platen van de gevelbekleding niet samenvallen met de voegen tussen de prefabpanelen. Op deze manier zal regen en wind minder direct tegen de zwelbanden komen.

Voor de betonpanelen kunnen tapes enkel toegepast worden indien er nog een extra gevelbekleding voor de panelen wordt aangebracht. Indien er gekozen wordt voor zichtbeton langs

de buitenkant, is het gebruik van tapes niet gewenst op deze buitenste laag. In dit geval kan er gekozen worden om polyurethaanschuim te gebruiken. Dit kan ook sneller toegepast worden dan de tapes. Er dient echter wel nog een bijkomende afwerking toegepast te worden vermits de waterdichtheid van het polyurethaanschuim op zich niet toereikend is. Aangezien een coating niet gewenst is langs de buitenzijde van het zichtbetonpaneel, wordt er aangeraden om een kitvoeg toe te passen. Er dienen echter nog extra testen uitgevoerd te worden om de prestatie hiervan te kwantificeren. Ook zal de effenheid van het betonoppervlak een invloed hebben om de waterdichtheid van het polyurethaanschuim.

De waterdichtheid van de gebruikte OSB-platen werd als ontoereikend beschouwd aangezien er lekken door de OSB zelf werden vastgesteld bij een drukverschil van 250 Pa. Deze platen voldoen bijgevolg niet aan de vooropgestelde eis van 600 Pa. De houtvezelplaten daarentegen worden wel als voldoende waterdicht beschouwd. Dit geldt ook voor de betonpanelen. Er dient echter wel extra aandacht besteed te worden aan eventuele barsten in het beton aangezien er ter plaatse van deze barsten reeds na enkele minuten waterlekken ontstaan.

	OSB	HOUTVEZEL	BETON	veroudering/drogen	kruispunten bedekt	voegen bedekt
Tape A	/	-	-	/	+	+
Tape B	+	/	/	+	-	/
Tape C	-	/		+	+	++
Silicone Strip	/			/	/	++
Coating	/			/		+
PUR			/	/	/	++
Zwelband		+				

+ positief effect op waterdichtheid; - negatief effect op waterdichtheid; / geen effect

Tabel 3.3 Samenvatting prestaties afdichtingsmaterialen op vlak van luchtdichtheid

Hoofdstuk 4

Praktische toepassing

In dit hoofdstuk worden op basis van voorgaande meetresultaten enkele plaatsingsmethodes voorgesteld - met het oog op lucht- en waterdichte aansluitingen - bij de toepassing van geprefabriceerde houtskeletpanelen.

4.1 Geprefabriceerde houtskeletpanelen

Bij het voorgaande experimentele onderzoek werden twee panelen getest op basis van hout, namelijk een gebitumineerde houtvezelplaat en een OSB-plaat. Uit dit onderzoek bleek dat zowel de gebitumineerde houtvezelplaat met een extra bitumenlaagje als de OSB-plaat als luchtdichte laag kunnen gebruikt worden. De houtvezelplaten zijn echter dampopen waardoor het niet aangeraden is om deze aan de binnenzijde van de gevel te gebruiken aangezien de meest dampdichte laag zich steeds aan de binnenzijde dient te bevinden en de meest dampopen laag aan de buitenzijde van de gevel. Dit is noodzakelijk om transport van vochtige lucht van binnen naar buiten tijdens de wintermaanden te vermijden en om eventuele opdroging naar de buitenzijde van de gevel te kunnen voorzien. Deze gebitumineerde houtvezelplaten met extra bitumenlaagje zouden dus wel als luchtdichting langs de buitenzijde kunnen gebruikt worden om luchtexfiltratie tegen te gaan. Hierdoor ontstaat er echter zoals reeds vermeld een verhoogd risico op schimmelvorming indien geen bijkomende luchtdichting langs de binnenzijde toegepast wordt. Deze luchtdichting kan in de vorm zijn van OSB-platen. Er werd echter wel vastgesteld dat de luchtdichtheid van OSB-platen sterk verschilt naargelang het gebruikte merk. Indien deze platen als luchtdichting toegepast worden, dient er dus steeds nagegaan te worden bij de fabrikant of de gebruikte platen toereikend zijn met betrekking tot luchtdichtheid. Indien de luchtdichtheid van de platen niet verzekerd kan worden, kan er ook geopteerd worden om deze platen te bespuiten met een luchtdichte coating of om een luchtdichte folie toe te passen in plaats van platen. Indien een folie toegepast wordt in plaats van een OSB-plaat, dient er nagegaan te worden of het paneel nog voldoende stijf is zonder deze plaat.

Aan de buitenzijde van het paneel dient een water- en winddichte laag voorzien te worden. Uit voorgaande testen bleek dat de toepassing van gebitumineerde houtvezelplaten met of zonder extra bitumenlaagje voldoende waterdicht zijn om slagregen achter de gevelbekleding op te vangen en af te voeren. Het extra bitumenlaagje zorgt ervoor dat er minder water tot in de plaat

kan dringen waardoor de plaat sneller opdroogt in vergelijking met de plaat zonder extra bitumenlaagje. Voor hoogbouw wordt er echter aangeraden om vezelcementplaten toe te passen in plaats van houtvezelplaten omwille van de hogere brandweerstand.

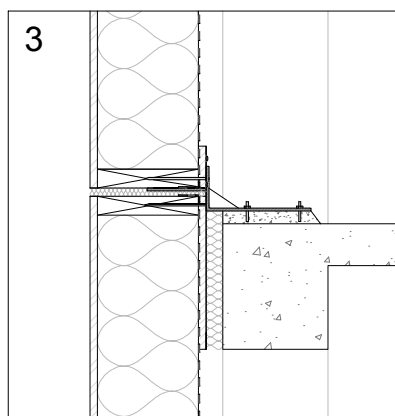
De dikte van de gebruikte platen zal afhankelijk zijn van de nodige stijfheid en bijgevolg de hoogte van het gebouw en de gebruikte gevelbekleding.

Tussen de lucht- en waterdichte plaat bevindt zich het houten skelet met daartussen isolatie. De dikte van dit skelet is vooral afhankelijk van de gewenste isolatiedikte en bijgevolg de gewenste U-waarde.

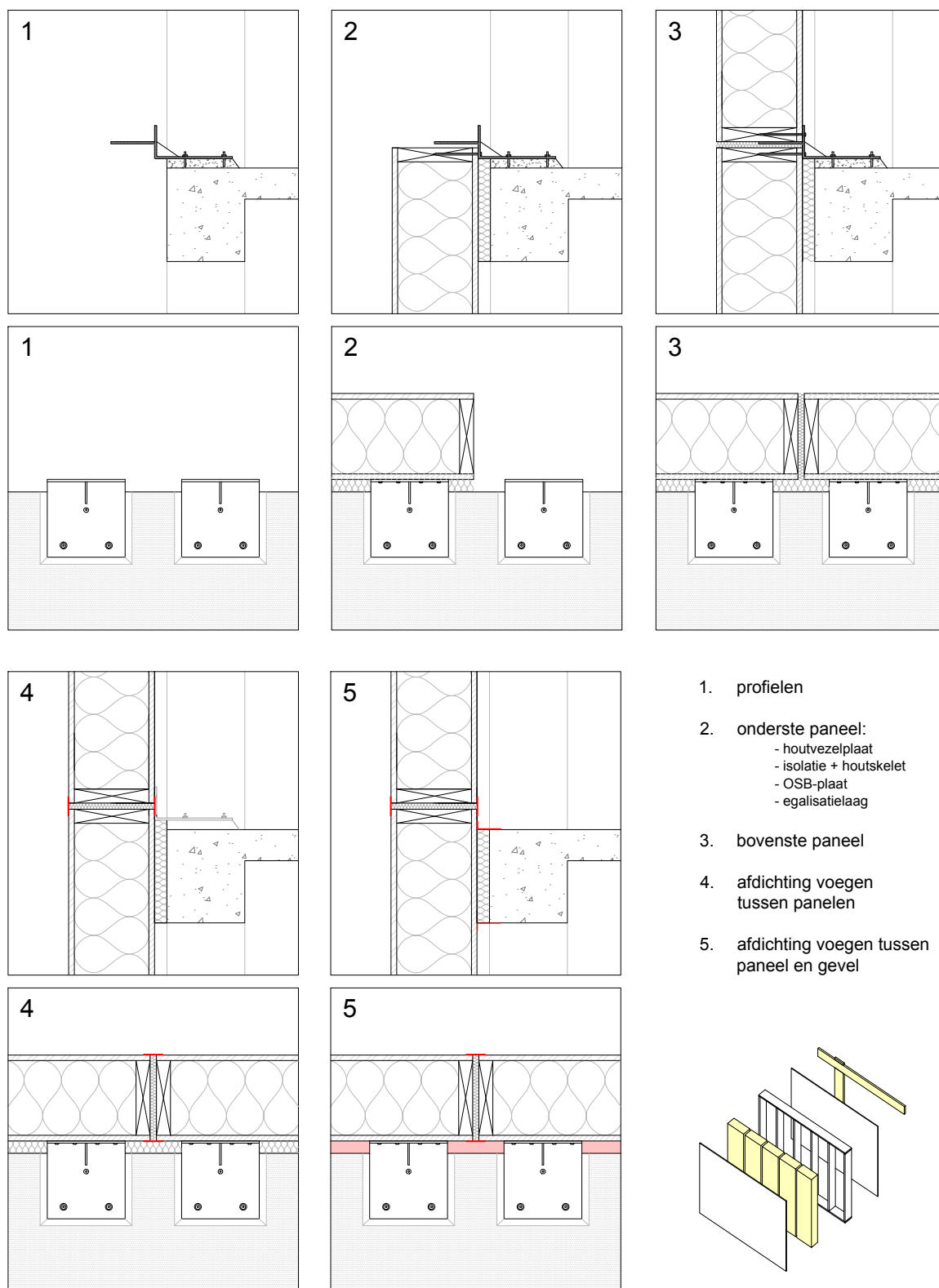
Ten slotte wordt er een egalisatielaag aangebracht tussen het paneel en de bestaande gevel om de onregelmatigheden van deze gevel op te vullen ten opzichte van het vlakke oppervlak van het nieuwe paneel. Deze laag is meestal reeds bevestigd aan het geprefabriceerde paneel. Indien geopteerd wordt voor de toepassing van een folie langs de binnenzijde van het paneel, dient ter hoogte van de egalisatielaag een extra plaat aangebracht te worden zodat deze laag voldoende kan aangedrukt worden tegen de bestaande gevel.

Figuur 4.2 toont schematisch de mogelijke opbouw van deze panelen en ook de plaatsing van de panelen tegen de bestaande structuur. Eerst worden de profielen bevestigd aan de bestaande structuur. Hierbij is het zeer belangrijk dat deze exact uitgelijnd worden zodat de panelen meteen op de juiste plaats bevestigd kunnen worden. Vervolgens wordt het eerst paneel geplaatst en bevestigd aan dit profiel langs de onder- en bovenzijde. Daarna wordt het volgende paneel erboven of ernaast geplaatst. Hierbij wordt meestal een gehele verdieping afgewerkt vooraleer de panelen van de verdieping erboven geplaatst worden. De panelen worden telkens per verdieping bevestigd om tegen te gaan dat indien één paneel zou bezwijken, alle bovenliggende panelen ook zouden bezwijken.

Ten slotte dienen de voegen tussen de panelen lucht- en waterdicht afgewerkt te worden indien dit niet in het prefabricatieproces geïntegreerd is. Ook dienen de voegen tussen het paneel en de bestaande structuur luchtdicht afgedicht te worden.



Figuur 4.1 Toepassing folie als luchtdichting



Figuur 4.2 Opbouw en plaatsing geprefabriceerde houtskeletpanelen

4.2 Luchtdichte aansluiting tussen prefabpanelen

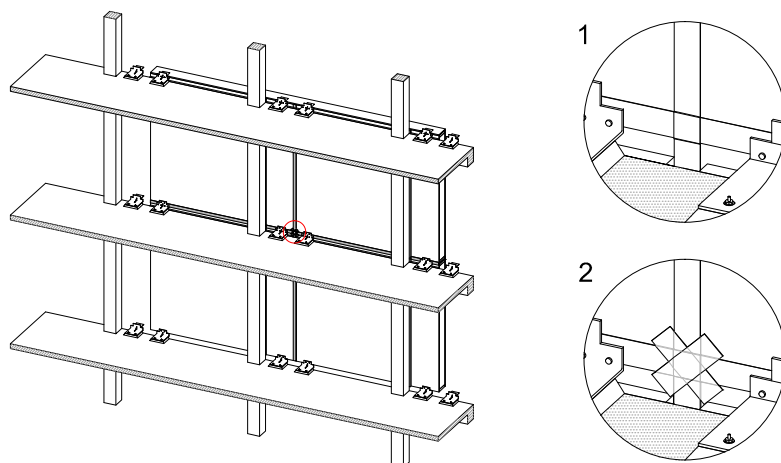
Twee soorten afdichtingsmaterialen werden in voorgaand experimenteel onderzoek getest om de voegen tussen de OSB-panelen luchtdicht af te sluiten, namelijk tapes en de materialen op basis van silicone. Deze materialen verschillen van elkaar in de wijze waarop ze kunnen toegepast worden. Tapes kunnen namelijk enkel na de plaatsing van de panelen gekleefd worden over de voegen. De materialen op basis van silicone daarentegen en in het bijzonder de silicone strips kunnen reeds gedeeltelijk bevestigd worden op de panelen tijdens het prefabricatieproces.

Tapes

Zoals reeds vermeld dienen eerst de geprefabriceerde panelen aan de bestaande structuur bevestigd te worden alvorens de tapes kunnen gekleefd worden over de voegen. Hierbij dient getracht te worden om zo weinig mogelijk verschillende stukken tape te gebruiken aangezien elke overlap een risico vormt op een mogelijk luchtlekage. De volgorde van (eerst horizontale tape of eerst verticale tape) is voor de luchtdichtheid niet belangrijk. Wel het toepassen van een extra kruis gevormd met tape over de kruispunten heeft een effect op de luchtdichtheid van de voegen.

Zo toonde het voorgaande experimenteel onderzoek aan dat initieel alle tapes eenzelfde luchtdichtheid vertoonden. Indien echter vervolgens een extra kruis wordt gekleefd over de kruispunten, wordt er vastgesteld dat voornamelijk voor tape C het luchtlekdebiet sterk vermindert. Er wordt dan ook aangeraden om deze tape met een extra kruis toe te passen om de voegen tussen de prefabpanelen luchtdicht af te sluiten. Figuur 4.3 toont hoe eerst de tapes over de voegen worden gekleefd en vervolgens het kruis. Hierbij wordt abstractie gemaakt van een deel van een bestaande structuur waartegen vier prefabpanelen bevestigd zijn volgens de eerder vermelde methode.

Er dient ook nagegaan te worden of de tapes doorlopend kunnen gekleefd worden tussen de bestaande structuur en het nieuwe paneel. Indien dit niet zo is, kan er een extra tape voorzien worden om de hoek te vormen tussen de panelen en de bestaande structuur. Dit valt echter buiten de scope van deze masterscriptie.



Figuur 4.3 Plaatsing tapes luchtdichting

Silicone Strip

In tegenstelling tot de tapes, kunnen de silicone strips wel reeds gedeeltelijk bevestigd worden aan de panelen tijdens het prefabricatieproces. Dit heeft als voordeel dat deze bevestigd kunnen worden in een horizontale positie, bij een ideale temperatuur en zonder aanwezigheid van wind. Dit zorgt ervoor dat de positie van deze strips exacter kan bepaald worden en er ook meer controle kan uitgevoerd worden op de correcte plaatsing van de strips. Dit is zeker noodzakelijk aangezien de prestatie van deze strips zeer afhankelijk is van de wijze van uitvoering. Figuur 4.4 stelt drie verschillende methodes voor die toegepast kunnen worden bij de plaatsing van de silicone strips en de prefabpanelen.

Een eerste methode die voorgesteld wordt, is de toepassing van een verticale en een horizontale strip die reeds aan één zijkant en de bovenkant van het paneel bevestigd zijn met silicone (figuur 4.4 overlap 1). Hierbij wordt een overlap gemaakt tussen de horizontale en verticale strip. Welke strip bovenaan ligt, heeft geen invloed op de luchtdichtheid. De uitvoering van deze overlap is daarentegen wel bepalend voor het luchtlekdebiet, zoals vastgesteld werd bij het voorgaande experimentele onderzoek. Daarna wordt het naastgelegen paneel geplaatst. Op dit paneel zijn ook reeds een horizontale en verticale strip bevestigd. De twee horizontale strips van de twee panelen liggen hierbij perfect naast elkaar. De verticale strip van het eerste paneel kan dan voorzichtig omhoog geheven worden opdat silicone onder deze strip gespoten kan worden. Vervolgens dient men deze voldoende aan te drukken op het tweede paneel (figuur 4.4 overlap 2).

Daarna worden ook de bovenliggende panelen bevestigd met de bijhorende strips. Opnieuw sluit de verticale strip van het ene paneel aan op de verticale strip van het andere paneel (figuur 4.4 overlap 3a).

Ten slotte wordt er extra silicone aangebracht ter hoogte van de aansluiting tussen de strips van de verschillende panelen (figuur 4.4 overlap 3b). Ook kan er nog extra silicone aangebracht worden ter hoogte van het kruispunt indien de strips ter hoogte van de overlap geen perfecte hechting vertonen.

Aangezien de overlap tussen de twee strips steeds een kritiek punt blijft door de dikte van de strips, wordt er een oplossing voorgesteld waarbij een hoekelement toegepast wordt rond het prefabpaneel (figuur 4.4 hoek 1). Dit element kan met de gewenste afmetingen gesneden worden uit de volledige strip die een oorspronkelijke breedte heeft van 30 cm. Vervolgens wordt opnieuw zoals bij de vorige methode het naastgelegen element geplaatst en de silicone strip wordt bevestigd door toevoeging van silicone onder de strip. Ook de bovenliggende elementen worden op dezelfde wijze geplaatst. Ten slotte worden ook de aansluitingen van de verschillende strips gedicht met extra silicone (figuur 4.4 hoek 3b). Deze aansluitingen bevinden zich echter wel dicht tegen de kruispunten van de verschillende panelen. Indien de panelen kunnen bewegen ten opzichte van elkaar, kan er hier een verminderde hechting van de strips of de bovenliggende extra silicone ontstaan.

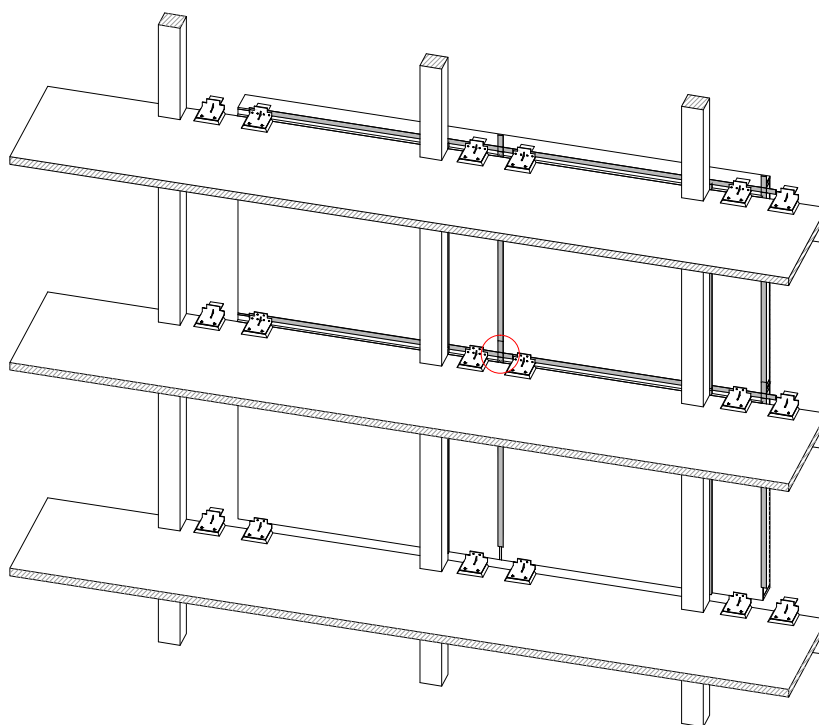
Ten slotte kan er ook gebruik gemaakt worden van een volledig kruis dat uit een strip met een breedte van 30 cm gesneden wordt en bevestigd wordt aan het paneel (figuur 4.4 kruis 1). De strips worden opnieuw aan de bijhorende panelen bevestigd. Het voordeel van het gebruik van een volledig kruis is dat de aansluitingen tussen de verschillende strips verder gelegen zijn van het kruispunt en daardoor minder kritiek zijn. Een nadeel hierbij is echter dat bij transport aandacht dient geschonken te worden aan de uitstekende delen van het kruispunt opdat de silicone hier niet los zou komen. Indien de strip toch een verminderde hechting vertoont aan de hoek van het

4. Praktische toepassing

paneel, kan er steeds extra silicone aangebracht worden ter hoogte van deze hoek achter de strip na de plaatsing van het eerste paneel.

Er dient echter opgemerkt te worden dat deze twee laatste methodes en de toepassing van een kopse aansluiting tussen twee strips niet getest werden. Op basis van voorgaand experimenteel onderzoek wordt er echter wel verondersteld dat deze beter zullen presteren dan de overlap tussen twee strips.

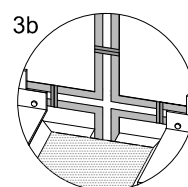
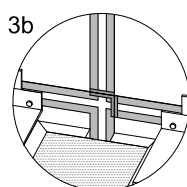
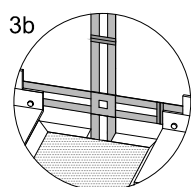
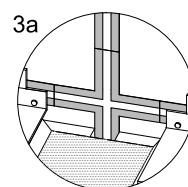
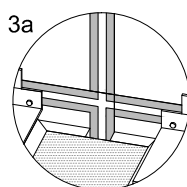
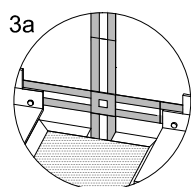
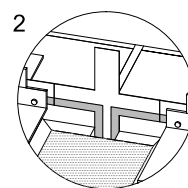
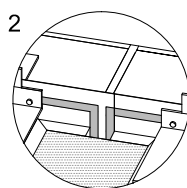
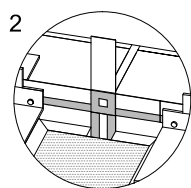
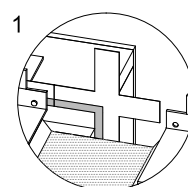
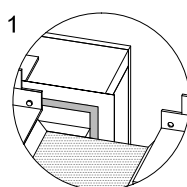
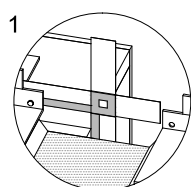
Ook kunnen strips gebruikt worden met een grotere breedte dan de breedte van de strips die getest werden (5 cm). Hierdoor kunnen deze eventueel eenvoudiger opgeheven worden om de silicone eronder aan te brengen. Hierdoor dient er echter eventueel wel meer silicone gebruikt te worden. Het evenwicht tussen beide dient verder onderzocht te worden.



overlap

hoek

kruis



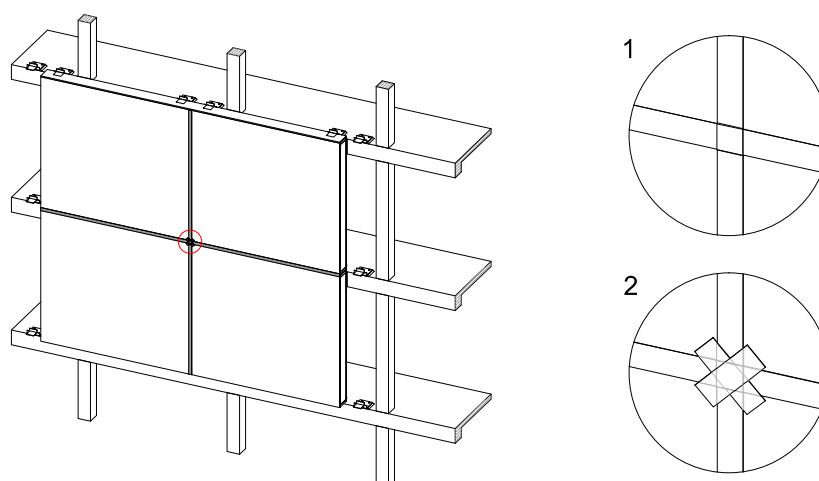
Figuur 4.4 Plaatsing silicone strip

4.3 Waterdichte aansluiting tussen prefabpanelen

De waterdichte aansluiting tussen houtvezelplaten werd getest in voorgaand experimenteel onderzoek aan de hand van tapes. Ook de waterdichtheid van zwelbanden die toegepast worden tussen de panelen, werd getest. Deze twee materialen verschillen van elkaar net zoals bij de luchtdichtheid in de wijze waarop ze kunnen toegepast worden. Tapes kunnen namelijk enkel na de plaatsing van de panelen gekleefd worden over de voegen. Zwelbanden daarentegen kunnen reeds gedeeltelijk gekleefd worden tijdens het prefabricatieproces aan de panelen.

Tapes

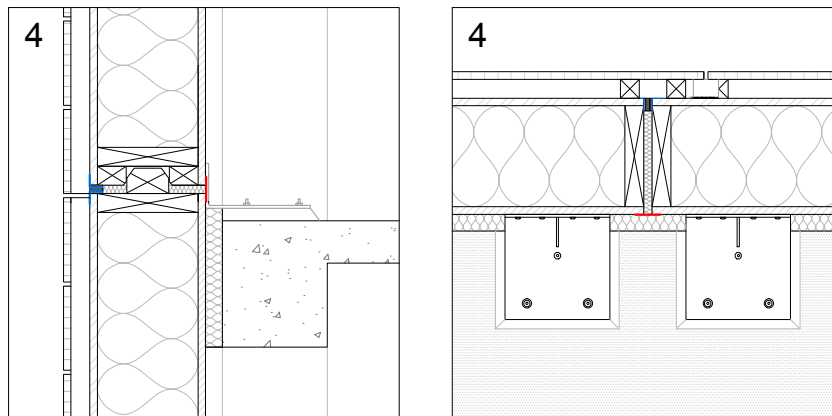
Zoals reeds vermeld dienen eerst de geprefabriceerde panelen aan de bestaande structuur bevestigd te worden alvorens de tapes kunnen gekleefd worden over de voegen aan de buitenzijde van de panelen. Hierbij zal gebruik moeten gemaakt worden van een stelling of een mobiele kraan om deze tapes te kleven. De volgorde van (eerst horizontale tape of eerst verticale tape) is in tegenstelling tot het effect op de luchtdichtheid, wel belangrijk voor de waterdichtheid. Uit voorgaand experimenteel onderzoek bleek immers dat steeds een betere waterdichtheid werd vastgesteld indien eerst de horizontale tape werd gekleefd en vervolgens de verticale tape. Initieel presteerde tape B het best maar voldeed niet aan de vooropgestelde eis. Indien enkel een horizontale en verticale tape gebruikt worden, wordt er bijgevolg voorgesteld om deze niet langdurig bloot te stellen aan directe slagregen en wind en zo snel als mogelijk de gevelbekleding voor de tapes aan te brengen. Indien echter bij voorgaand onderzoek een extra kruis werd getapet over tape C, werd er een grote verbetering van de waterdichtheid vastgesteld en voldeed de aansluiting wel aan de vooropgestelde eis. Er wordt verondersteld dat de waterdichtheid van de andere tapes ook zal verbeteren met dit extra kruis. De aansluitingen kunnen bijgevolg langer blootgesteld worden aan directe slagregen en wind. Ten slotte wordt er nog aangeraden om de voegen van de gevelbekleding niet te laten samenvallen met de voegen van de prefabpanelen zodat regen en wind minder direct een invloed hebben op de tapes, wat resulteert in een verbeterde waterdichtheid.



Figuur 4.5 Plaatsing tapes waterdichting

Zwelbanden

In tegenstelling tot de tapes kunnen de zwelbanden wel reeds gedeeltelijk bevestigd worden aan de panelen tijdens het prefabricatieproces. Dit resulteert in een snellere afwerking van de panelen en een bijkomend voordeel dat de gevelbekleding ook reeds tijdens prefabricatie bevestigd kan worden aan de panelen. Deze gevelbekleding wordt zodanig geplaatst dat de voeg tussen de gevelbekledingspanelen niet samenvalt met de zwelband. Hierdoor wordt de zwelband minder direct belast. De zwelbanden worden steeds bevestigd op een tape die gekleefd is enerzijds op de buitenste plaat en anderzijds op een bijkomend plaatje tussen de panelen. Uit voorgaand onderzoek bleek immers dat deze tape zorgt voor een betere waterdichtheid van de aansluiting.



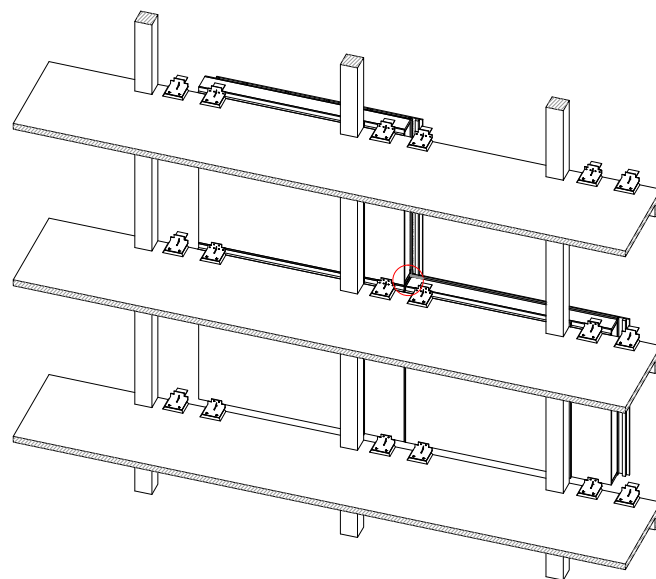
Figuur 4.6 Zwelband tussen panelen

Zoals werd getest in voorgaand experimenteel onderzoek, worden de verticale zwelbanden stuksgewijs per paneel bevestigd. Steeds één verticale zwelband wordt bij prefabricatie bevestigd aan de zijkant van het paneel (figuur 4.7 doorlopende horizontale 1). Bij de plaatsing van het naastgelegen paneel wordt deze zwelband samengedrukt (figuur 4.7 doorlopende horizontale 2a). Na de plaatsing van de onderste panelen wordt de horizontale zwelband hier volledig over gelegd en verkleefd (figuur 4.7 doorlopende horizontale 2b). Vervolgens worden de bovengelegen panelen geplaatst waardoor de horizontale zwelband wordt samengedrukt door het gewicht van de panelen. Er worden extra houten blokjes geplaatst bovenop de panelen die exact passen in openingen die gemaakt zijn in de onderste balk van het bovengelegen paneel. Er kan ook een volledig doorlopende extra balk op het onderste paneel geplaatst worden die exact past tussen twee naastgelegen balkjes van het bovenliggende paneel. Deze blokjes of balk hebben een hoogte die iets hoger is dan de zwelband zodat de panelen eerst juist gepositioneerd kunnen worden en vervolgens worden deze recht naar beneden geschoven. Hierdoor worden de zwelbanden volledig rechtlijnig belast en kunnen deze niet verschuiven.

Vermits bij het voorgaande experimentele onderzoek bleek dat de kruispunten tussen de verticale zwelbanden en de horizontaal doorlopende zwelband kritiek waren, werd er door de fabrikant gezocht naar een oplossing. Deze oplossing werd gevonden in de vorm van hoekvormige zwelbanden die eerst op de hoeken van het paneel worden bevestigd en daartegen wordt de verticale zwelband gekleefd (figuur 4.7 extra hoeken 1). Indien vervolgens het naastgelegen paneel geplaatst wordt, ook met een extra zwelband op de hoek van het paneel, wordt de tussenliggende verticale zwelband ter hoogte van deze hoeken harder samengedrukt (figuur 4.7

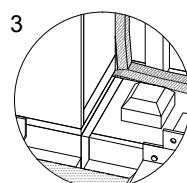
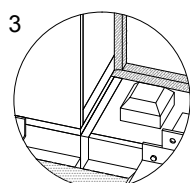
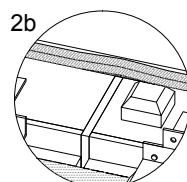
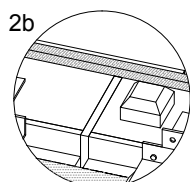
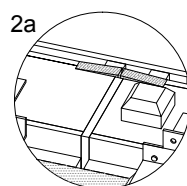
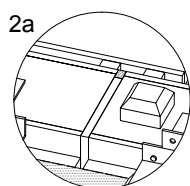
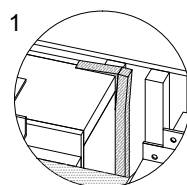
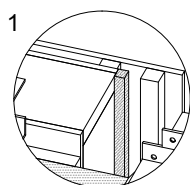
4. Praktische toepassing

extra hoeken 2a). Vervolgens wordt de horizontale zwelband geplaatst bovenop de panelen en de extra hoekjes (figuur 4.7 extra hoeken 2b). Daarna worden de bovengelegen panelen geplaatst, ook steeds met een extra zwelband rond de hoeken (figuur 4.7 extra hoeken 3). Hierdoor ontstaat ter hoogte van het hele kruispunt een hogere compressiegraad van de zwelbanden en bijgevolg een verbeterde waterdichtheid.



doorlopende horizontale

extra hoeken



Figuur 4.7 Plaatsing zwelbanden

Algemene conclusie

De residentiële sector is verantwoordelijk voor het grootste deel van het energieverbruik in België. Dit is voornamelijk te wijten aan de oude woningen die nog nooit energetisch gerenoveerd zijn. Een groot deel van deze oude woningen zijn appartementsgebouwen die in het bezit zijn van particuliere eigenaren. Deze eigenaren hebben vaak niet de investeringscapaciteit om mee te gaan in een algemeen energetisch renovatieproject van het gebouw. Ook het feit dat de bewoners gedurende een bepaalde periode hun woning zullen moeten verlaten, spreekt niet in het voordeel van een energetische renovatie. Het gebruik van geprefabriceerde gevelelementen kan hier een oplossing bieden. Hierdoor zal de constructietijd in situ sterk verminderen en ook de lagere kostprijs kan de bewoners overtuigen om toch te kiezen voor een energetische renovatie.

Zowel in binnen- als buitenland zijn er de voorbije jaren reeds een aantal onderzoeken gevoerd naar het gebruik van geprefabriceerde gevelelementen bij een energetische renovatie. Twee voorbeelden hiervan werden besproken namelijk '*Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Building*' en '*TES Energy Façade: prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*'. Deze onderzoeksprojecten geven een overzicht van mogelijke prefabgevelrenovatiesystemen. Ze geven echter geen antwoord op de vraag hoe deze panelen onderling lucht- en waterdicht aangesloten kunnen worden. Deze vraag wordt wel beantwoord in het experimentele onderzoek van deze masterscriptie.

Er worden vier soorten afdichtingsmaterialen in dit experimentele onderzoek getest namelijk tapes, materialen op basis van silicone, zwelbanden en polyurethaanschuim. De invloed van vier parameters wordt hierbij nagegaan. De eerste parameter die getest wordt, is de ondergrond. De afdichtingsmaterialen worden telkens op drie verschillende ondergronden bevestigd, namelijk beton, OSB en gebitumineerde houtvezelplaat met en zonder extra bitumenlaagje. De tweede parameter is de invloed van een mechanische veroudering. Hierbij wordt nagegaan of de materialen bestand zijn tegen grote en herhaaldelijke winddrukken. Vervolgens wordt nagegaan wat de invloed is van slagregen op de prestaties van de materialen. Hiervoor wordt een derde parameter namelijk water onderzocht. Bijkomend wordt ook getest of de oriëntatie van de materialen een invloed heeft op de waterdichtheid. Ten slotte wordt er bepaald wat het effect is van de aanwezigheid van kruispunten tussen de verschillende panelen.

De materialen worden telkens onderworpen aan een vaste testreeks en dit zowel met betrekking tot luchtdichtheid als waterdichtheid.

Met betrekking tot de luchtdichtheid van de afdichtingsmaterialen op de verschillende ondergronden wordt er geconcludeerd dat de tapes die aangebracht zijn op de betonondergrond en de materialen op basis van silicone, namelijk de silicone strip en de coating, die aangebracht zijn op de OSB-ondergrond het best presteren. Het verschil in luchtdebiet tussen alle materialen aangebracht op de betonondergrond (polyurethaanschuim buiten beschouwing) en op de OSB-

ondergrond is echter relatief klein. Het luchtlekdebiet van de tapes op de houtvezelplaat daarentegen is relatief groot.

Dit in tegenstelling tot de waterdichtheid van de verschillende afdichtingsmaterialen die minder afhankelijk is van de ondergrond maar eerder van het materiaal zelf.

LUCHTDICHTHEID								
	OSB	HOUTVEZEL	BETON	veroudering	nat	na uitdroging	kruispunten	voegen
Tape A	/	-	+	/	/	-	/	/
Tape B	/	-	+	-	+	+	/	-
Tape C	/	-		-	+	+	-	/
Silicone Strip	+			-	++	/	/ -	-
Coating	+			/	++	/		
PUR			-	-	+	/		

WATERDICHTHEID								
	OSB	HOUTVEZEL	BETON	veroudering/ drogen			kruispunten bedekt	voegen bedekt
Tape A	/	-	-	/			+	+
Tape B	+	/	/	+			-	/
Tape C	-	/		+			+	++
Silicone Strip	/			/			/	++
Coating	/			/				+
PUR			/	/			/	++
Zwelband		+						

+ positief effect; - negatief effect; / geen effect

Samenvattende tabel prestatie afdichtingsmaterialen

De luchtdichtheid van **tape A** is in vergelijking met de luchtdichtheid van de andere tapes ongeveer even goed. Met betrekking tot de waterdichtheid daarentegen presteert tape A slechter in vergelijking met de andere tapes. De tape komt zelfs los ter hoogte van de kruispunten na de watertest die uitgevoerd wordt op de opstelling met de houtvezelplaten. Op de andere ondergronden wordt er dan ook een verminderde luchtdichtheid vastgesteld na 24 uur uitdroging van de opstelling. Het luchtlekdebiet van tape A wordt even veel bepaald door de luchtlekkages via de kruispunten als de luchtlekkages via de voegen. Bijgevolg heeft zowel het bedekken van de kruispunten als het bedekken van de volledige voegen een positief effect op de luchtdichtheid en waterdichtheid van de tape.

De luchtdichtheid van **tape B** is opnieuw in vergelijking met de luchtdichtheid van de andere tapes ongeveer even goed. De waterdichtheid daarentegen is initieel beter dan de andere materialen. Er wordt echter niet voldaan aan de vooropgestelde eis waarbij er geen waterlekkages mogen ontstaan bij een drukverschil van 600 Pa. Na de eerste keer benatten, opnieuw opdrogen en de mechanische veroudering is er wel een verbetering te zien van de waterdichtheid. Deze is echter niet toereikend om te voldoen aan de vooropgestelde eis. Na de mechanische veroudering wordt er met betrekking tot de luchtdichtheid een kleine verhoging vastgesteld van het luchtlekdebiet. Na

de daaropvolgende benatting en uitdroging verbetert echter de luchtdichtheid opnieuw. Er wordt geconcludeerd dat de eerste maal benatting en opnieuw uitdroging zowel de waterdichtheid als de luchtdichtheid van tape B positief beïnvloeden. Ten slotte wordt er vastgesteld dat het luchtlekdebiet van de tape voornamelijk bepaald wordt door de luchtlekages via de tape zelf. Ook wordt er vastgesteld dat de coating een negatief effect heeft op de waterdichtheid van de tape ten gevolge van het absorberend effect van de tape ten opzichte van de coating.

De luchtdichtheid van **tape C** is vergelijkbaar met de luchtdichtheid van tape B. Het enige verschil is dat het luchtlekdebiet van tape C voornamelijk bepaald wordt door de luchtlekages via de kruispunten ten opzichte van het luchtlekdebiet van tape B dat voornamelijk bepaald wordt door de luchtlekages via de tape zelf. Bijgevolg heeft het kleven van een extra kruis over de kruispunten van tape C een positieve invloed. Ook met betrekking tot de waterdichtheid heeft dit extra kruis een grote positieve invloed. Met dit kruis voldoet de tape immers aan de vooropgestelde eis en presteert tape C het best van alle tapes. Er wordt verondersteld dat indien een extra kruis zou gekleefd worden over tape B, de waterdichtheid van deze tape ook sterk zou verbeteren.

De luchtdichtheid van de afdichtingsmaterialen op basis van silicone, namelijk de **silicone strip** en de **coating**, is initieel het best op de OSB-ondergrond ten opzichte van de andere materialen. De eerste keer benatten en 24 uitdrogen hebben echter geen effect op deze materialen, wat wel zo is voor de tapes en dit zowel met betrekking tot de luchtdichtheid als de waterdichtheid. Zowel de luchtdichtheid als de waterdichtheid van de materialen op basis van silicone is zeer afhankelijk van de wijze van uitvoering. Zo is de hoeveelheid silicone en het voldoende aandrukken van deze silicone belangrijk bij de toepassing van de silicone strips. Dit wordt vastgesteld door de extra silicone die is aangebracht rond de kruispunten van de silicone strip, waardoor deze kruispunten volledig luchtdicht zijn. Bijgevolg heeft het bedekken van de kruispunten geen grote impact op de waterdichtheid van de silicone strip, aangezien er nog lekken ontstaan ter hoogte van de tussenliggende voegen waar de silicone niet voldoende aangedrukt is. Voor de coating is de juiste plaatsing van de rugvulling zeer belangrijk waardoor de silicone een effen oppervlak kan vormen in de voeg waarboven vervolgens de coating aangebracht kan worden.

Voor het **polyurethaanschuim** dat wordt toegepast op de betonondergrond, wordt het grootste luchtlekdebiet gemeten. Het schuim is namelijk niet in staat om alle kleine onregelmatigheden van de zijkanten van de betontegels op te vangen. Ook op vlak van waterdichtheid voldoet het polyurethaanschuim niet aan de vooropgestelde eis. Ook is de waterdichtheid afhankelijk van de wijze waarop de voegen gevuld worden. Zo is het aangeraden om telkens het volledige kruispunt in één spuitbeweging op te vullen. Het polyurethaanschuim is het materiaal dat het meest eenvoudig kan aangebracht worden, maar zal steeds in combinatie met een andere materiaal zoals bijvoorbeeld een kitvoeg moeten gebruikt worden om voldoende lucht- en waterdicht te zijn.

Initieel is de waterdichtheid van de **zwelbanden** het best in vergelijking met de waterdichtheid van de andere materialen. Voornamelijk de kruispunten waarbij twee verticale zwelbanden aansluiten op de horizontale zwelband, vormen hierbij de kritieke punten. Drie soorten aansluitingen worden hierbij getest, namelijk een stompe aansluiting tussen de zwelbanden, het gebruik van een butyltape tussen de horizontale zwelband en de bovenliggende verticale zwelband en een kit tussen de horizontale zwelband en de bovenliggende verticale zwelband. Er wordt geconcludeerd

dat de stompe aansluiting het minst goed presteert en er weinig verschil is tussen de toevoeging van een butyltape of een kit. Voornamelijk de compressiegraad heeft een invloed op de waterdichtheid. Een hogere compressiegraad resulteert in een betere waterdichtheid. Aangezien deze hoge compressiegraden moeilijk te bereiken zijn met het gebruik van geprefabriceerde houtskeletpanelen, wordt er door de fabrikant voorgesteld om extra hoekvormige zwelbanden aan te brengen ter hoogte van de hoeken van de panelen zodat ter hoogte van de kruispunten een hogere compressiegraad kan bereikt worden van de zwelband.

Algemeen wordt er geconcludeerd dat tape C met extra kruisen gekleefd over de kruispunten, het best presteert in vergelijking met de andere tapes met betrekking tot de luchtdichtheid. Ook de waterdichtheid van tape C met extra kruisen beantwoordt aan de vooropgestelde eis. Vermits echter de initiële waterdichtheid van tape B beter was dan deze van tape C, wordt er verondersteld dat tape B met extra kruisen het best zal presteren met betrekking tot waterdichtheid in vergelijking met de andere tapes. De toepassing van deze tapes voor het verkrijgen van een waterdichte aansluiting tussen de geprefabriceerde gevelpanelen is enkel mogelijk indien de gevelbekleding nog niet of slechts gedeeltelijk tijdens het prefabricatieproces bevestigd is aan de panelen.

Indien de gevelbekleding wel reeds is bevestigd aan de panelen tijdens prefabricatie, kunnen zwelbanden toegepast worden voor de waterdichte aansluiting tussen de panelen.

De materialen op basis van silicone en in het bijzonder de silicone strips presteren het best op de OSB-ondergrond met betrekking tot de luchtdichtheid. Hierbij is echter de correcte uitvoering zeer belangrijk. Daarom wordt er aangeraden om deze strips reeds gedeeltelijk op de panelen te bevestigen bij prefabricatie zodat deze precies geplaatst kunnen worden in ideale omstandigheden.

Indien silicone strips toegepast worden voor een luchtdichte aansluiting en zwelbanden voor een waterdichte aansluiting en indien beide reeds tijdens prefabricatie gedeeltelijk aan het paneel worden bevestigd, is de tijd die nodig is voor de afwerking van de aansluitingen slechts beperkt. Dit verkort de constructietijd in situ waardoor de bewoners nog minder hinder ondervinden van de renovatiewerken. Dit kan hen overtuigen om te kiezen voor een energetische renovatie.

Referentielijst

Boeken

De Meulder, B. 'De Belgische stedenbouw en de belofte van welvaart 1945-1975. 10 punten over de veranderende productie van het wonen' in : Van Herck, K. & Avermaete, T. (red.) (2006). *Wonen in welvaart. Woningbouw en wooncultuur Vlaanderen 1948-1973*. Rotterdam: Uitgeverij 010

Carrié, F.R. & Jobert, R. & Leprince, V. (2012). *Methods and techniques for airtight buildings*. Belgium: AIVC

Carll, C. (2000). *Rainwater Intrusion in Light-Frame Building Walls*. in *Proceedings of 2nd annual conference on Durability and Disaster Mitigation in Wood-Frame Housing*. Madison: Wisconsin.

Panek, J.R. & Cook, J.P. (1991). *Construction sealants and adhesives*. New York: John Wiley & Sons

Proskiv, G. (1995) Air leakage characteristics of various rough-opening sealing methods for windows and doors. in Modera, M.P. & Persily A.K. (1995) *Airflow performance of building envelopes, components and systems*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials

Taerwe, L. (2006). *Betontechnologie* [cursus]. Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen

Turkington, R. & van Kempen, R. & Wassenberg, F. (red.) (2004). *High-rise housing in Europe. Current trends and future prospects*. Delft: DUP Science, Delft University Press

Papers

Bieseman, W & Wallyn, B & Bosmans, W. & Dilles, A. (2013). *Woonforum 2013, Resultaten enquête 2012*. Energie Renovatie Programma 2020

Carbonez, K. (2015) *Rapport: Waterdichtheid- en luchtdichtheidstesten op zwelbanden met verschillende compressiegraad* [Ongepubliceerd Rapport], Universiteit Gent, Onderzoeksgroep Bouwfysica, Vakgroep Architectuur & Stedenbouw

De Loof, P.J. & Rottiers, R. & van de Walle, D. (2011). *E-Cube ontwerp en bouw van een nul-energiewoning* [Scriptie]. Universiteit Gent, Vakgroep Architectuur en Stedenbouw.

De Pauw, J. & Cleemput, E. (2015). *Solar Decathlon: ontwerpend onderzoek naar renovatiesstrategieën van Etrimo woontorens* [Scriptie]. Universiteit Gent, Vakgroep Architectuur en Stedenbouw.

De Vogelaere, K. (2016) Rapport: Waterdichtheid van zwelbanden met verschillende compressiegraden. Kruispunten van voegen tussen prefabpanelen. [Ongepubliceerd Rapport], Universiteit Gent, Onderzoeksgroep Bouwfysica, Vakgroep Architectuur & Stedenbouw

ERA-NET WoodWisdom Net. (2009). *TES Energy Façade - Prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*

FOD Economie, K.M.O. Middenstand en Energie (2010). *De energiemarkt in 2010*. Brussel: Jean-Marc Delporte

FOD Economie, K.M.O. Middenstand en Energie (2014). STS P 71-3 *Luchtdichtheid van gebouwen. Luchtdichtheidstest*.

Hens, H. (2008). *Koudebruggen en luchtdichtheid: berekening, impact op de bouwprestaties. Studiemiddag koudebruggen*. K.U. Leuven

Hilderson, W. & Meicnik, J. & Cré, J. (2010). *Potential of Low Energy Housing Retrofit (LEHR)*. Brussels: Belgian Science Policy

International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems (2011). *Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings - Part 1: Retrofit Strategies Design Guide*

International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems (2011). *Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings - Part 2: Retrofit Module Design Guide*

Langmans, J. & Klein, R. & Roels, S. (2010). *Air permeability requirements for air barrier materials in passive houses - Comparison of the air permeability of eight commercial brands of OSB*. Catholic University of Leuven, Department of Civil Engineering

Langmans, J. & Klein, R. & De Paepe, M. & Roels, S. (2010). *Potential of wind barriers to assure airtightness of wood-frame low energy constructions*. Catholic University of Leuven, Department of Civil Engineering

Langmans, J. & Klein, R. & Roels, S. (2012). *Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation*.

Langmans, J. & Desta, T.Z. & Alderweireldt, L. & Roels, S. (2015). *Laboratory investigation on the durability of taped joints in exterior air barrier applications*. University of Leuven, Building Physics Section

Maes, P. (2009) Luchtdichte gebouwen, een nieuwe norm. Syllabus voor luchtdichting van gebouwen. Boomer bvba

Relander, T.O. & Thue, J.V. & Gustavsen, A. (2008). *Air tightness performance of different sealing methods for windows in wood-frame building*. Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering

Sahala, N. & Lacasse, A. (2004). *Water entry function of a hardboard siding-clad wood stud-wall*.

Sherman, M.H. & Chan, R. (2004). *Building Airtightness: Research and Practice*. U.S. Department of Energy

Straube, J. (2001). *Pressure Moderation and Rain Penetration Control*. University of Waterloo

Testcentrum voor Gevelelementen (2009). *Controleverslag Ref.: 839/62 AEV Ramentestbank FIMEP P100*

Van Parys, T. & Tassignon, T. (2013). *Solar Decathlon China 2013: Construction and Engineering Process of the Prefabricated Composite House 'Solatrium'* [Scriptie]. Universiteit Gent, Vakgroep Architectuur en Stedenbouw.

Vanneste, D. & Thomas, I. & Goossens, L. (2007). *Woning en woonomgeving in België*. Brussel: FOD Economie, K.M.O. Middenstand en Energie

Verbeeck, G. & Ceulemans, W. (2015). *Samenvattend rapport analyse van de EPC databank. Resultaten tot en met 2012*. Steunpunt Wonen

Brochures

Bison Promax Purschuim technische fiche. Geraadpleegd op 28 januari 2016 via http://www.bison.be/static/products/assets/asset_3989_2.pdf.

Infobrochure Etrimo

Intelligent luchtdicht renoveren isoproc. Geraadpleegd op 25 januari 2016 via [http://www.oved.be/sites/default/files/upload/K3_Isoproc-XG-EPC-Luchtdicht_renoveren%20\(2\).pdf](http://www.oved.be/sites/default/files/upload/K3_Isoproc-XG-EPC-Luchtdicht_renoveren%20(2).pdf)

Isocell. Perfect luchtdicht afwerken van ramen. Geraadpleegd op 28 januari 2016 via <http://www.buildtechnics.be/resources/pdf>.

Luchtdicht bouwen. Isover. Geraadpleegd op 25 januari 2016 via http://docs.isover.be/Luchtdicht_bouwen_NL.pdf

Thema-avond Implicaties van lage-energie constructies voor de ruwbouw. luchtdicht bouwen. WTCB (2010) Geraadpleegd op 25 januari 2016 via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=agenda&doc=Luchtdicht_Bouwen_Themaavond_FABA_sept_okt_2010.pdf

Speciale uitgave: luchtdichtheid (2012). Brussel: WTCB

Artikels

Lambrecht, J. (2014, 12 september). Drie Limburgse proeftuinen prikkelen transitie in de bouwsector. *Bouwkroniek*

Websites

AIM-ES (2014). <http://www.brusselsretrofitxl.be/projects/aim-es/>. Geraadpleegd op 7 januari 2016

Bebouwde oppervlakte Vlaanderen (2014). <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/bodem/bodemafdicthting/bebouwde-oppervlakte/>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

Bebouwde oppervlakte Nederland (2013). <http://www.pbl.nl/nieuws/nieuwsberichten/2013/ontwikkeling-stedelijk-gebied>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

Bevolking en gezinnen 1970-2009 (2012). <http://www.indicators.be/nl/indicator/gezinsgrootte-personen-gezin?detail=>. Geraadpleegd op 14 januari 2016

Blowerproof via <http://www.blowerproofliquid.com/nl/>. Geraadpleegd op 28 januari 2016

Cijfers over sociale huisvesting in Vlaanderen (2016). <https://www.wonenvlaanderen.be/woononderzoek-en-statistieken/cijfers-over-sociale-huisvesting-vlaanderen>. Geraadpleegd op 18 februari 2016.

Commissie voor Binnenlandse Aangelegenheden, Huisvesting en Stedelijk Beleid Vergadering van 10/02/2000 (2000). <https://docs.vlaamsparlement.be/website/htm-vrg/273505.html>. Geraadpleegd op 5 januari 2016

Demografische vooruitzichten 2060 (2014). <http://www.plan.be/press/communique-1321-nl-volgens+de+demografische+vooruitzichten+zal+belgie+tegen+2060+1+4+miljoen+meer+inwoners+en+1+miljoen+meer+gezinnen+tellen>. Geraadpleegd op 14 januari 2016

E-cube (2011). <http://www.solardecathlon.ugent.be/nl/>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

EPB-eisen vanaf 1 januari 2016. Geraadpleegd op 25 januari 2016 via <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/epbeisentabel2016.pdf>

Etrimo (2014). <https://fr.wikipedia.org/wiki/Etrimo>. Geraadpleegd op 5 januari 2016

Etrimo, une affaire qui a marqué l'immobilier au fer rouge (2014). <http://www.lesoir.be/679026/article/economie/immo/2014-10-13/etrimo-une-affaire-qui-marque-l-immobilier-au-fer-rouge>. Geraadpleegd op 5 januari 2016

GAP-Solutions (2014). <http://www.gap-solutions.at/en/solutions/gapskin/>. Geraadpleegd op 8 januari 2016

Luchtdichtheidstest: te meten zone. (2014) Geraadpleegd op 25 januari 2016 via <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/luchtdichtheidstesttemetenzone.pdf>

Renovatie 2020 (2015). <http://www.renovatie2020.be/wat-is-renovatie2020.php>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

Solar Decathlon 2014. <http://www.solardecathlon2014.fr>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

Solar Decathlon China (2013). <http://www.architectuur.ugent.be/2013/09/solar-decathlon-china/>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

Team BEMANY (2013). <http://bemany.wpi.edu/home.htm>. Geraadpleegd op 4 januari 2016

Normen

NBN B 25-002-1 (2009). *Buitenschrijnwerk - Deel 1 - Algemene voorschriften*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

NBN D 50-001 (1991). *Ventilatievoorzieningen in residentiële gebouwen*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

NBN EN 1027 (2000). *Ramen en deuren - Waterdichtheid - Beproevingsmethode*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normering

NBN EN 12208 (2000). *Ramen en deuren - Waterdichtheid - Classificatie*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

NBN EN 12114 (2000). *Thermische eigenschappen van gebouwen - Luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen - Laboratoriumbeproevingsmethode*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

NBN EN 12211 (2000). *Ramen en deuren - Weerstand tegen windbelasting - Beproevingsmethode*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normering

NBN EN 13829 (2001). *Thermische eigenschappen van gebouwen - Bepaling van de luchtdoorlatendheid van gebouwen - Overdrukmethode*. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie

Bijlagen

Bijlage 1: Technische fiches

Tape A



Belgatape DUO



PRODUCTBESCHRIJVING

UNIVERSELE KLEEFBAND VOOR BINNEN EN BUITEN

De Belgatape^{DUO} is een universele kleefband voor een blijvend luchtdichte verlijming van alle folies uit het BelgaClima gamma alsook voor het blijvend luchtdicht verkleven van de voegen tussen houtderivaatplaten (zoals OSB- of multiplexplaten). De kleefband is geschikt voor binnen- en buitentoepassingen.

PRODUCTEIGENSCHAPPEN

- Geschikt voor renovatie en nieuwbouw
- Zeer hoge kleefkracht en adhesie op alle BelgaClima folies alsook op PE, PP en non-woven materialen, ook bij lage temperaturen
- Dikke, vochtregulerende lijmlaag
- Regendicht en hoge weersbestendigheid
- Zeer elastisch
- UV-bestendig
- Toepasbaar binnen en buiten

TOEPASSINGSGEBIED

Belgatape^{DUO} is ontwikkeld voor de blijvend luchtdichte verlijming van alle folies uit het BelgaClima gamma alsook voor het blijvend luchtdicht verkleven van de voegen tussen houtderivaatplaten.

VERWERKING

Het oppervlak waarop verkleefd gaat worden moet droog, olie-, vet- en stofvrij zijn. Het bescherm papier verwijderen en de Belgatape^{DUO} mooi gecentreerd over de voeg tussen twee te verbinden BelgaClima folies of houtderivaatplaten aanbrengen. Zorg ervoor dat de te verbinden folies gelijk gespannen staan en vermijd plooien in de folies en de kleefband bij het verlijmen. Vervolgens de kleefband zorgvuldig en krachtig aandrukken tegen de te verbinden materialen. Hoe krachtiger kan aangedrukt worden (gebruik indien mogelijk een aandrukrol) hoe beter de verkleving. Onder normale omstandigheden wordt de maximale kleefkracht bereikt na ongeveer 60 minuten. Bij lage omgevingstemperaturen raden wij aan om de kleefbanden steeds te bewaren tussen de 15°C en 25°C omdat dit dan zorgt voor een nog betere hechting. Kleef nooit op bevroren ondergronden.

VERPAKKING

Op rollen met een lengte van 25m en een standaardbreedte van 60mm. Er zitten 10 rollen van 25m lengte en 60mm breedte in 1 karton.

SCHOONMAKEN

Lijmresten op de huid kunnen met water en zeep verwijderd worden.

AFVALVERWERKING

Restanten Belgatape^{DUO} mogen met het huisvuil meegegeven worden. De lokale voorschriften moeten worden nageleefd.

Belga Plastics nv • Gontrode Heirweg 142 • B-9090 Melle - België • Tel.: +32 9 210 77 60 • Fax: +32 9 210 77 65 • www.belgaclima.be



01-2014



0800 90 90 3





TECHNISCHE KENMERKEN

Productopbouw

Drager	UV- bestendige witte LDPE film met diagonale versterking
Bescherm papier	gesiliconiseerd papier
Temperatuurbestendigheid	-40°C tot +80°C
Verwerkingstemperatuur	+5°C tot +40°C
Houdbaarheid	12 maanden, droog, bij kamertemperatuur, in de originele verpakking.
UV-bestendigheid	24 maanden

VEILIGHEIDSRICHTLIJNEN

Het product is op basis van de beschikbare gegevens en ervaring geen gevaarlijke stof in de zin van de verordening betreffende gevaarlijke stoffen en van de desbetreffende EG-richtlijnen. Toch bevelen wij aan om bij het hanteren van chemische stoffen de gangbare voorzichtigheid en hygiëne in acht te nemen.

SPECIALE AANWIJZINGEN

Gelieve rekening te houden met onze plaatsingsrichtlijnen.

AANSPRAKELIJKHEID

Onze algemene verkoops- en garantievooraarden zijn van toepassing. Die kunt u inkijken op www.belgaclima.be. Dit informatieblad geeft alleen advies, zonder aanvaarding van aansprakelijkheid. De voorgestelde verwerkings-aanwijzingen moeten worden aangepast aan de werkelijke omgevingsomstandigheden. De gebruiker is verplicht de geschiktheid en de toepassingsmogelijkheid door eigen onderzoek na te gaan, om mislukkingen, waarvoor wij geen verantwoordelijkheid opnemen, te vermijden. Onder voorbehoud van technische wijzigingen. De meest recente versie van dit informatieblad kunt u vinden op www.belgaclima.be.

Opmerking: Bij het gebruik van luchtdichtingsmaterialen (folies, lijm, kleefbanden, manchettes) die geen deel uitmaken van het BelgaClima gamma in combinatie met onze BelgaClima luchtdichtingsproducten vervalt elke vorm van systeemgarantie. Eventuele luchtlekken die hiervan het gevolg zouden zijn vallen volledig buiten onze verantwoordelijkheid.

Belga Plastics nv • Gontrode Heirweg 142 • B-9090 Melle - België • Tel.: +32 9 210 77 60 • Fax: +32 9 210 77 65 • www.belgaclima.be



01-2014



Tape B



Belgafoil^{SA-L}



PRODUCTBESCHRIJVING

De folie bestaat uit een gewijzigd polyamide en een versterkte folie-vlies combinatie. De uit vier vlakke lagen samengestelde folie heeft een vochtvariabele μ_d -waarde. De onderzijde van de folie is over de volledige breedte voorzien van een sterk zelfklevende laag (IGT) die een eenvoudige en compleet verborgen inbouw van de bepleister- en overschilderbare folie mogelijk maakt, zonder bijkomende verlijming aan de (vlakke!) metselwerk ondergrond. Indien u een extra kleefstrook wenst aan de bovenzijde van de folie voor een zijdelingse bevestiging aan het raamprofiel, kies dan voor Belgafoil^{SA}.

PRODUCTEIGENSCHAPPEN

- Luchtdicht
- Vochtvariabele μ_d -waarde (voor binnen en buiten)
- Blijvend elastisch
- Overpleister- en overschilderbaar
- Geschikt voor renovatie en nieuwbouw
- Extra dikke lijmlaag (IGT)
- **3 gesplitte en beschermde kleefstroken voor aansluiting metselwerk**
- **100% volvlakse lijmlaag**
- **Luchtdicht over de volledige breedte**
- Ideaal om schade in de luchtdichte bouwschil te herstellen
- Geen bijkomende lijm vereist in de hoeken
- Ook verwerkbaar bij lage temperaturen (zie verwerkingsvoorschriften)

Belgafoil^{SA-L} is niet universeel inzetbaar, consulteer de plaatsingsvoorschriften

TOEPASSINGSGBIED

Belgafoil^{SA-L} is ontwikkeld voor de aansluiting tussen schrijnwerk en pleisterwerk en is door zijn variabele μ_d -waarde zowel toepasbaar aan de binnen- als aan de buitenzijde van het raam. De ondergrond waarop verlijmd moet worden dient voldoende vlak te zijn, zo niet kan u beter werken met een combinatie van Belgafoil^{IN}, Belgafoil^{OUT} of Belgafoil^{QUO} met Belgaseal^{GOO}.

VERWERKING

Het bevestigingsoppervlak moet droog, olie-, vet- en stofvrij zijn. Belgafoil^{SA-L} afrollen en afsnijden met ca. 10 cm extra lengte. De smalle beschermfolie verwijderen en de bevestigingsstroken zorgvuldig aandrukken tegen de voorzijde van het raamprofiel, dit zowel voor binnen- als voor buitentoepassingen. Dit proces herhalen op alle af te dichten zijden van het raam. Het raam in de opening plaatsen, uitlijnen en bevestigen, de ruimte tussen het raam en de wand desgevallend gedoseerd opvullen met isolerend materiaal, bijvoorbeeld met PU-schuim.

Vervolgens de resterende beschermfolie verwijderen en de folie zorgvuldig volvlaks vastkleven op de (metselwerk) ondergrond door stevig aan te drukken. Belgafoil^{SA-L} kan ook bij lage temperaturen tot -10°C verwerkt worden. Er moet wel grondig gecontroleerd worden dat er op de te verlijmen oppervlakken geen scheidingsfilm aanwezig is onder de vorm van bijvoorbeeld vocht, ijs of rijm omdat dit het lijmcontact met de ondergrond verhindert waardoor een goede verlijming niet mogelijk is!

VERPAKKING

Op rollen met een lengte van 25m en met een standaardbreedte van 100 of 150mm. De beschermfolies op de onderzijde van het membraan zijn in de langsrichting gesplit om een gemakkelijke plaatsing mogelijk te maken.

Belga Plastics nv • Gontrode Heirweg 142 • B-9090 Melle - België • Tel.: +32 9 210 77 60 • Fax: +32 9 210 77 65 • www.belgaclima.be



01-2015

gratis advieslijn

0800 90 90 3



Belgafoil^{SA-L} 2/2

NL

SCHOONMAKEN

Lijmresten op de huid kunnen met water en zeep verwijderd worden.

AFVALVERWERKING

Restanten Belgafoil^{SA-L} mogen met het huisvuil meegegeven worden.
De lokale voorschriften moeten worden nageleefd.

TECHNISCHE KENMERKEN

Productopbouw vezels/folie	*	combinatie van PET-vlies en PA-folie
Lijm		acrylaatlijm
Gewicht	EN 29073-1	ca. 400 g/m ²
Dikte	EN 29073-1	ca. 0,65mm
Toelaatbare totale vervorming	*	5%, gerelateerd aan de niet-gekleefde foliebreedte
Luchtdichtheid systeemvoegen	EN 1026	$a_n < 0.1$ (MPA Hannover)
Slagregendichtheid	EN 1027	> 1050 Pa (MPA Hannover)
Waterdichtheidsfolie	EN 1928	OK
Waterdichtheidsklasse	EN 13984	W1
μ_d -waarde	EN 1931/EN12572	$0.48 \leq \mu_d \leq 12$ m (vochtvariabel)
Brandgedrag	EN 13501	Klasse E (MPA Hannover)
Emissies	EMICODE®	EC1 ^{plus} , 4100 GEV
Bepelbaarheid	*	geschikt (MPA Hannover)
UV-stabiliteit		3 maanden
Temperatuurbestendigheid	*	-40°C tot +80°C
Verwerkingstemperatuur	*	+5°C tot +30°C; tot -10°C te gebruiken, wel controleren dat er geen scheidingsfilm door vocht, ijs of rijm aanwezig is!
Houdbaarheid	*	12 maanden, droog (bij kamertemperatuur, in de originele verpakking)

VEILIGHEIDSRICHTLIJNEN

Het product is op basis van de beschikbare gegevens en ervaring geen gevaarlijke stof in de zin van de verordening betreffende gevaarlijke stoffen en van de desbetreffende EG-richtlijnen. Toch bevelen wij aan om bij het hanteren van chemische stoffen de gangbare voorzichtigheid en hygiëne in acht te nemen.

SPECIALE AANWIJZINGEN

Gelieve rekening te houden met onze plaatsingsrichtlijnen! Nuttige informatie kunt u ook vinden in de brochure 'Verputzen von Fensteranschlusssfolien' (Bepalesteren van raamaansluitfolie), Bundesverband der Gipsindustrie eV. – Industriegruppe Baugipse.

AANSPRAKELIJKHEID

Onze algemene verkoops- en garantievooraarden zijn van toepassing. Die kunt u inkijken op www.belgaclima.be. Dit informatieblad geeft alleen advies, zonder aanvaarding van aansprakelijkheid. De voorgestelde verwerkings-aanwijzingen moeten worden aangepast aan de werkelijke omgevingsomstandigheden. De gebruiker is verplicht de geschiktheid en de toepassingsmogelijkheid door eigen onderzoek na te gaan, om mislukkingen, waarvoor wij geen verantwoordelijkheid opnemen, te vermijden. Onder voorbehoud van technische wijzigingen. De meest recente versie van dit informatieblad kunt u vinden op www.belgaclima.be.

Belga Plastics nv • Gontrode Heirweg 142 • B-9090 Melle - België • Tel.: +32 9 210 77 60 • Fax: +32 9 210 77 65 • www.belgaclima.be



01-2015

gratis advieslijn
0800 90 90 3



Tape C

TESCON **Vana**

Allround-kleefband

**Technische gegevens:**

Eigenschap	Waarde
Drager	Speciaal vlies van PP
Afdekpapier	gesiliconiseerd papier
Temperatuurbestendigheid	langdurig -40 °C tot +90 °C
Verwerkingstemperatuur	vanaf -10 °C
Kleur	donkerblauw
Blootgesteld aan weersinvloeden	3 maanden
Opslag	mits koel en droog bewaard

Toepassingsgebied:**Binnen:**

luchtdichte verlijming van dampremmen en luchtdichtingsbanen evenals luchtdichte houtderivaatplaten.

Buiten:

luchtdichte verlijming van buitendakse en saneringsdampremmen en luchtdichtingsbanen. Verkrijgen van winddichtheid bij onderdak- en onderspanbanen en wandbetimmeringsfolies (bijv. pro clima SOLITEX). Winddichte verlijmingen van houtderivaatplaten als onderlaag.

Alle verlijmingen binnen en buiten zijn zowel onderling als met aangrenzende gladde, niet-minerale bouwelementen mogelijk (bijv. buisdoorvoeren, ramen in dakvlakken).

Leveringsvorm:

Art.-nr.	EAN	Lengte	Breedte	VE	VE/pallet
11248	4026639016706	30 m	6 cm	10	48
11249	4026639016713	30 m	6 cm	20	24
11250	4026639016683	30 m	7,5 cm	4	96
11251	4026639016690	30 m	15 cm	2	96
13491	4026639134912	30 m	20 cm	1	112

NIEUW

* Profi-VE niet op maat gesneden leverbaar!

Ondergronden:

Voorafgaand aan het verlijmen moeten ondergronden met een bezem worden geveegd of met een doek worden gereinigd.

Verlijming op bevroren ondergronden is niet mogelijk. Er mogen geen afstotende stoffen op de te verlijmen materialen aanwezig zijn (bijv. vetten of siliconen). De materialen moeten voldoende draagvermogen hebben.

Duurzame verlijming wordt bereikt op alle pro clima folies voor gebruik binnen en buiten (damprem- en luchtdichtingsbanen evenals stofbeschermingsfolies en onderdak- resp. wandbetimmeringsfolies) en PE-, PA-, PP-, aluminiumfolies voor het bereiken van luchtdichtheid. Verlijmingen en aansluitingen zijn mogelijk op geschaafd en gelakt hout, harde kunststoffen resp. metaal (bijv. buizen, ramen enz.), harde houtderivaatplaten (spaans-, OSB- en BFU-, mdf- en zachtboard-onderdakplaten). Bij de verlijming van houtderivaat-onderdakplaten is voorbehandeling met TESCO PRIMER RP vereist.

De beste resultaten voor een betrouwbare constructie worden op kwalitatief hoogwaardige ondergronden bereikt. Er dient op eigen verantwoordelijkheid te worden gecontroleerd of de ondergrond geschikt is. Evt. zijn proefverlijmingen aan te bevelen.

Bijzonderheden:

- ✓ Uiterst buigzaam
- ✓ 3 maanden weerbestendig
- ✓ Watervast
- ✓ Hoge warmtestabiliteit

De weergegeven informatie heeft betrekking op de huidige stand van onderzoek en ervaringen uit de praktijk. Wij behouden ons het recht voor om de aanbevolen constructies en de verwerking, de verdere ontwikkeling en de daarmee gepaard gaande kwaliteitsverandering van de afzonderlijke producten te wijzigen. Op het tijdstip van montage informeren wij u graag over het actuele kennisniveau.

Verdere informatie over de verwerking en de constructiedetails vindt u in de pro clima planningsdocumentatie of via het Techniek-Hotline:
BE Tel.: +32 (0) 15 62 19 35
NL Tel.: +31 (0) 57 55 64 805

pro clima België
ISOPROC cvba
Kapelstraat 1
1980 Zemst
Tel.: +32 (0) 15 62 39 35
Fax.: +32 (0) 15 62 39 36
info@isoproc.be
www.be.proclima.com

pro clima Nederland
Warmteplan BV
Mercuriusweg 5
NL 6971 GV Brummen
Tel.: +31 (0) 575 564805
Fax: +31 (0) 575 564815
info@warmteplan.nl
www.nl.proclima.com



Stand: 02/2012

Silicone Strip

Product Information Silicone Seal

DOW CORNING

Dow Corning[®] Silicone Transition Strip

FEATURES

- Provides high-movement seal capability of +200/-75 percent at transition openings
- High-shear movement seal capable of handling specified live loads, wind sway and seismic movements in properly designed openings
- Provides an easy to install transition system when used in combination with *Dow Corning*[®] 758 Silicone Weatherbarrier Sealant or other *Dow Corning*[®] Construction Sealants including *Dow Corning*[®] 756 SMS Building Sealant, *Dow Corning*[®] 795 Silicone Building Sealant, and *Dow Corning*[®] 791 Silicone Building Sealant
- Available in clear for ease of quality control and assurance of good sealant application
- Mechanical fastening is not required

COMPOSITION

- Preformed silicone elastomer extrusion

Preformed silicone seal for flashing and transition applications for weatherproofing against air and water infiltration

APPLICATIONS

Dow Corning[®] Silicone Transition Strip is specifically designed for sealing weather barrier membranes to adjacent curtain walls, store fronts, or windows. The transition flashing can be installed for in-plane, in-board, or out-board installations. Highlights include:

- Long term durability and adhesion of the transition strip using *Dow Corning* 758 Silicone Weatherbarrier Sealant, specifically designed for adhesion to low energy substrates such as polyethylene, a common top sheet material for flashing substrates
- A leak free transition seal
- Reliable method to flash openings when used in conjunction with *Dow Corning* 758 Silicone Weatherbarrier Sealant for adhesion to low energy surfaces; or other *Dow Corning* sealants as appropriate for adjacent metal and porous substrates
- Can be applied and adhered solely with sealant

TYPICAL PROPERTIES

Specification Writers: These values are not intended for use in preparing specifications. Please contact your local Dow Corning sales office or your Global Dow Corning Connection before writing specifications on this product.

Test ¹	Property	Unit	Result
As Supplied – Cured Rubber Extrusion			
ASTM D 412	Durometer Hardness, Shore A	points	53
ASTM D 412	Tensile Strength	psi (MPa)	800 (5.5)
ASTM D 412	Elongation	percent	400
ASTM D 624	Tear Strength, die B	ppi (kN/m)	200 (35)

¹ASTM: American Society for Testing and Materials.

HANDLING PRECAUTIONS

PRODUCT SAFETY INFORMATION REQUIRED FOR SAFE USE IS NOT INCLUDED IN THIS DOCUMENT. BEFORE HANDLING, READ PRODUCT AND MATERIAL SAFETY DATA SHEETS AND CONTAINER LABELS FOR SAFE USE, PHYSICAL AND HEALTH HAZARD INFORMATION. THE MATERIAL SAFETY DATA SHEET IS AVAILABLE ON THE DOW CORNING WEB SITE AT DOWCORNING.COM, OR FROM YOUR DOW CORNING SALES APPLICATION ENGINEER, OR DISTRIBUTOR, OR BY CALLING DOW CORNING CUSTOMER SERVICE.

PACKAGING INFORMATION

Dow Corning Silicone Transition Strip is available in 100-foot rolls. Standard stocked sizes include widths of 6", 9" and 12" in clear.

LIMITATIONS

Dow Corning Silicone Transition Strip is not intended for use:

- With *Dow Corning*® 790 Silicone Building Sealant as an adhesive
- With non-*Dow Corning* sealants or acetoxy cure silicone sealants as the bonding sealant
- In below-grade applications

This product is neither tested nor represented as suitable for medical or pharmaceutical uses.

HEALTH AND ENVIRONMENTAL INFORMATION

To support Customers in their product safety needs, Dow Corning has an extensive Product Stewardship organization and a team of Product Safety and Regulatory Compliance (PS&RC) specialists available in each area.

For further information, please see our Web site, dowcorning.com or consult your local Dow Corning representative.

LIMITED WARRANTY INFORMATION – PLEASE READ CAREFULLY

The information contained herein is offered in good faith and is believed to be accurate. However, because conditions and methods of use of our products are beyond our control, this information should not be used in substitution for customer's tests to ensure that our products are safe, effective, and fully satisfactory for the intended end use. Suggestions of use shall not be taken as inducements to infringe any patent.

Dow Corning's sole warranty is that our products will meet the sales specifications in effect at the time of shipment.

Your exclusive remedy for breach of such warranty is limited to refund of purchase price or replacement of any product shown to be other than as warranted.

DOW CORNING SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY OTHER EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR MERCHANTABILITY.

DOW CORNING DISCLAIMS LIABILITY FOR ANY INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.

We help you invent the future.™

dowcorning.com

Coating

Product Information High Performance Building

DOW CORNING

Dow Corning® DefendAir 200

FEATURES & BENEFITS

- UV Resistant – Long term resistance
- Provides long-term air and water protection properties even when exposed to sunlight, rain, snow, or temperature extremes.
- Excellent weatherability – Temperature extremes of -15°F to 300°F
- Meets National Fire Protection Association (NFPA) Class A Fire Rating
- NFPA 285 – Pass¹
- Ease of Installation – One coat installation
- Air tight – Exceeds industry requirements
- Primerless adhesion on most substrates
- Solventless
- Elastomeric – Accommodates building movement
- Seamless – Cured membrane is continuous and does not form seams or laps
- Nail sealability
- Low VOC
- Compatibility – Compatible with Dow Corning® Sealants, Dow Corning® 123 Silicone Seal, Dow Corning® Transition Strips, and Dow Corning® Molded Corners

¹NFPA 285, Standard Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Loading Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components, 2012 Edition – Passed in assembly tested. Please contact Dow Corning for more details.

Silicone Liquid Applied Air and Weather Barrier

APPLICATIONS

- Permeable air barrier used for new construction and renovation applications on many substrates including concrete, OSB, exterior sheathing, preformed panels, plywood, wood or steel stud walls.

DESCRIPTION

Dow Corning® DefendAir 200 is a 100% silicone liquid applied Air and Weather Barrier designed to protect against air infiltration and water penetration. The vapor permeable, one component, water-based coating cures to form a flexible membrane that is impervious to water but has the ability to “breathe,” allowing water vapor to escape from inside the substrate.

The coating provides long-term protection from air and water infiltration; normal movement imposed by seasonal thermal contraction and expansion; ultraviolet radiation; and the elements. The coating maintains its water protection properties even when exposed to sunlight, rain, snow, or temperature extremes. There is not a limit on exposure time before being covered by the exterior cladding.

Dow Corning DefendAir 200 can be applied between -6°C (20°F) and 38°C (100°F) to a clean, dry surface.

HOW TO USE

When properly applied and cured, *Dow Corning* DefendAir 200 provides a fast, easy, and effective method of providing protection from air and water infiltration. This product may settle during prolonged storage, therefore, it is recommended to mix well before using. Do not dilute.

Surface Preparation

All surfaces to be coated with *Dow Corning* DefendAir 200 must be prepared as described in the most recent *Dow Corning Air and Weather Barrier Application Guide* (Form No 62-1723). The following is a short reference guide for surface preparations.

All surfaces must be clean and free of dirt, frost, dust, oil, grease, mold, fungus, efflorescence, laitance, peeling coating, chalking coating, and any other foreign material. Green concrete must be allowed to cure 28 days before application of *Dow Corning* DefendAir 200 (see “Limitations”). Repair cracks larger than 1/16 inch (1.6 mm) with a material that is compatible with the substrate and *Dow Corning* DefendAir 200. *Dow Corning®* 790 Silicone Building Sealant, *Dow Corning®* 795 Silicone Building Sealant, *Dow Corning®* 791 Silicone Perimeter Sealant, *Dow Corning®* 756 SMS Building Sealant, and *Dow Corning®* 758 Silicone Weather Barrier Sealant can be used for crack repairs.

All joints between exterior grade sheathing which are greater than 1/16 inch (1.6 mm) must be sealed using one of the above silicone sealants and struck flush prior to installing the coating. In addition, any unused nail holes or screws that missed the stud must be sealed.

TYPICAL PROPERTIES

Values are based on 15 mil dry film thickness. Specification Writers: These values are not intended for use in preparing specifications. Please contact your local Dow Corning sales representative or your Global Dow Corning Connection before writing specifications on this product.

Test ¹	Property	Unit	Result
ASTM E2178	Air Permeance	cfm/ft ² L/(s·m ²)	< 0.0003 at 1.57 psf < 0.0016 at 75 Pa
CAN/ULC- S741	Air Permeance	L/(s·m ²)	<0.0019 at 75 Pa after UV Exposure and conditioning (Pass)
ASTM E2357	Assembly Air Leakage	cfm/ft ²	< 0.000007 at 1.57 psf
CAN/ULC- S742		L/(s·m ²)	< 0.00003 at 75 Pa Class 1A
ASTM E283	Assembly Air Infiltration	cfm/ft ²	< 0.01 at 1.57 psf
ASTM E331	Assembly Water Infiltration	Tested to 15 PSF	Pass - No leakage
ASTM E330	Assembly Structural Loading	Tested to 30 PSF and 45 PSF	Pass - No damage to air barrier
ASTM E96 Water Vapor Permeance			
	Desiccant (Method A)	US Perms (ng/(m ² ·Pa·s))	10.1 (578)
	Water (Method B)	US Perms (ng/(m ² ·Pa·s))	26.6 (1521)
ASTM D1970, Section 8.9	Nail Sealability (Head of Water Test)		Pass
ASTM 1970, Section 8.6	Low Temperature Flexibility		Pass
ASTM E 84	Flame Spread		5
ASTM E 84	Smoke Develop		115 NFPA Class A, UBC Class 1
ASTM C1305	Crack Bridging		Pass
ASTM D 2369	Solids Content	% by volume	50
		% by weight	59
EPA Method 24	Volatile Organic Content (VOC)	(g/L)	< 19
ASTM D4541 Pull Adhesion			
	Concrete	psi	> 120
	Fiberglass mat gypsum sheathing	psi	> 40 (substrate failure)
ASTM D 412	Tensile Strength	psi (MPa)	> 200 (1.38)
ASTM D 412	Elongation	%	650
ASTM D2243	Freeze-Thaw Resistance		No change
	UV Exposure/Resistance 5000 hour exposure: 8 hour UV at 60°C – 4 hour water at 50°C, UVA 340 bulbs		No change
	Color		White

¹ASTM: American Society of Testing and Materials
CAN/ULC: Canadian/Unlimited Liability Corporation
EPA: Environmental Protection Agency

Coating

Apply the coating in a 30-32 mils (0.76–0.81 mm) wet thickness (a job-specific mockup is recommended to determine actual usage which will result in the required 15-mil (0.38-mm) dry coating thickness. On occasion, a second coat may be necessary on porous or rough surfaces to achieve the minimum dry film thickness.

Apply using a ¾ to 1½ inch (19- to 38-mm) nap, polyester, or 50/50 polyester/wool blend roller cover, nylon bristle brush, or airless sprayer. When applying the coating with a roller, apply it in a fan pattern to achieve uniform thickness. When applying the coating with a sprayer, a minimum 0.019 inch tip must be used. Sufficient pump pressure should be used to obtain an even spray pattern. Back rolling is not required.

Allow the coating to dry (typically 2 to 4 hours) before applying additional coats if needed. After the additional coat has been applied, the average drying time is 4 to 12 hours, depending upon temperature, humidity, and wind conditions. If the temperature drops below -6°C (20°F) after the air barrier is applied, the average drying time will increase. *Dow Corning* DefendAir 200 requires temperatures higher than -6°C (20°F) for a cumulative total of 24 hours to dry. *Dow Corning* DefendAir 200 will attain full adhesion and physical properties in 7 to 14 days.

Dow Corning DefendAir 200 was developed to obtain good adhesion to the substrate without the need of a primer. Refer to the *Dow Corning Air and Weather Barrier Application Guide* to determine if adhesion testing or a primer is required for your specific substrate.

Low Temperature Application

If temperatures drop below 20°F, the coating will freeze on the surface until the temperature increases. This will not affect the cured properties of the air barrier but will extend the drying time.

Roller application of the air barrier at low temperature will require 2 coats. The air barrier should dry to touch, not simply freeze, between coats. Application equipment such as rollers and the tips of spraying equipment should be kept above 0°C (32°F) when not in use.

Allow the air barrier to fully dry prior to adhering other materials to the surface of the air barrier. For more information on cold temperature application, refer to the *Dow Corning Air and Weather Barrier Application Guide*.

HANDLING PRECAUTIONS

PRODUCT SAFETY INFORMATION REQUIRED FOR SAFE USE IS NOT INCLUDED IN THIS DOCUMENT. BEFORE HANDLING, READ PRODUCT AND SAFETY DATA SHEETS AND CONTAINER LABELS FOR SAFE USE, PHYSICAL AND HEALTH HAZARD INFORMATION. THE SAFETY DATA SHEET IS AVAILABLE ON THE DOW CORNING WEBSITE AT DOWCORNING.COM, OR FROM YOUR DOW CORNING SALES DEVELOPMENT PROFESSIONAL, OR DISTRIBUTOR, OR BY CALLING DOW CORNING CUSTOMER SERVICE.

USABLE LIFE AND STORAGE

Protect *Dow Corning* DefendAir 200 and *Dow Corning*® DefendAir 200 Primer from freezing. Store in a cool, dry place out of the weather. When properly stored in its original, unopened container above below 32°C (90°F), *Dow Corning* DefendAir 200 and *Dow Corning* DefendAir 200 Primer have shelf lives from date of manufacture of 6 months and 18 months, respectively. Refer to product packaging for Use by Date.

If *Dow Corning* DefendAir 200 is stored at temperatures below -6°C (20°F) for longer than 8 hours, the air barrier will start to freeze. Allow the *Dow Corning* DefendAir 200 to sit at temperatures greater than 20°F for at least 8 hours or until the material thaws before application.

PACKAGING INFORMATION

Dow Corning DefendAir is available in 4.5 gal (16.9 L) pails (44 lb [20 kg]) and 51.5 gal (195 L) drums (507 lb [230 kg]).

LIMITATIONS

Dow Corning DefendAir 200 should not be applied:

- When there is a threat of rain within the next 8 hours or the relative humidity is in excess of 90 percent (because conditions would not permit complete surface drying)
- On below-grade applications
- On newly applied or green cementitious materials; Industry guidelines recommend at least 28 days cure before painting or coating the substrates (see SSPC, 2010 Painting Manual, Chapter 3.1. Concrete Surface Preparation)

This product is neither tested nor represented as suitable for medical or pharmaceutical uses.

HEALTH AND ENVIRONMENTAL INFORMATION

To support Customers in their product safety needs, *Dow Corning* has an extensive Product Stewardship organization and a team of Product Safety and Regulatory Compliance (PS&RC) specialists available in each area.

For further information, please see our website, dowcorning.com or consult your local *Dow Corning* representative.

**LIMITED WARRANTY
INFORMATION – PLEASE
READ CAREFULLY**

The information contained herein is offered in good faith and is believed to be accurate. However, because conditions and methods of use of our products are beyond our control, this information should not be used in substitution for customer's tests to ensure that our products are safe, effective, and fully satisfactory for the intended end use. Suggestions of use shall not be taken as inducements to infringe any patent.

Dow Corning's sole warranty is that our products will meet the sales specifications in effect at the time of shipment.

Your exclusive remedy for breach of such warranty is limited to refund of purchase price or replacement of any product shown to be other than as warranted.

**TO THE FULLEST EXTENT
PERMITTED BY APPLICABLE
LAW, DOW CORNING
SPECIFICALLY DISCLAIMS
ANY OTHER EXPRESS OR
IMPLIED WARRANTY OF
FITNESS FOR A PARTICULAR
PURPOSE OR
MERCHANTABILITY.**

**DOW CORNING DISCLAIMS
LIABILITY FOR ANY
INCIDENTAL OR
CONSEQUENTIAL DAMAGES.**

Dow Corning offers a project-specific 10-Year Limited Air Barrier Warranty when *Dow Corning* DefendAir 200 is applied in accordance with Dow Corning's published application guidelines. Contact your local Dow Corning representative for details or to apply for a project-specific warranty.

Under this Limited Warranty, for a period of ten years from the date of purchase, Dow Corning will be responsible for the cost of replacement coating for any areas in which *Dow Corning* DefendAir 200 fails to perform to specifications.

Dow Corning's warranty is subject to certain restrictions and does not cover faults attributable to workmanship or the appearance of the coating.

NOTE: *Dow Corning* DefendAir 200 is NOT for use on single-family residential dwellings.

We help you invent the future.™

dowcorning.com

Polyurethaanschuim



Technical Data Sheet

Vullen & isoleren Genius Gun

Revisie datum: 19/09/2012

Pagina 1 van 2

Technische gegevens:

Basis	Polyurethaan
Consistentie	Stabiel schuim, thixotroop
Uithardingssysteem	Polymerisatie door vocht
Huidvorming (20°C en 60% R.V.)	10 min.
Droogtijd (20°C en 60% R.V.)	Stofvrij na 20 à 25 min.
Uithardingstijd (20°C en 60% R.V.)	1,5 uur voor streng van 30mm
Schuimopbrengst (FEICA OCF TM 1003)	600 ml geeft 20 l schuim
Krimp	Geen
Postexpansie	Geen
Celstructuur	Ca. 70 à 80% gesloten cellen
Dichtheid	Ca. 25 kg/m³
Temperatuursbestendigheid	-40°C tot +90°C (uitgehard)
Kleur	Champagne
Brandklasse (DIN4102 Teil 1)	B3
Waterabsorptie	1% volume
Isolatiefactor (DIN 52612)	33 mW/m.K
Druksterkte (DIN 53421)	Ca. 3 N/cm²
Buigsterkte (DIN 53423)	Ca. 7 N/cm²
Schuifsterkte (DIN 53427)	Ca. 17 N/cm²



- Uitstekende montage-eigenschappen

Product:

Dit is een 1-komponent, zelfexpanderend, gebruiksklaar polyurethaan-schuim. Door het handige Genius Gun systeem ligt de bus perfect in de hand en kan men veel makkelijker doseren. Het slangetje is ook afsluitbaar zodat schuim na enkele weken nog te gebruiken is.

Eigenschappen:

- Hoge vormstabiliteit (geen krimp of postexpansie)
- Groot vullend vermogen
- Uitstekende hechting op alle materialen (geen PE, PP en PTFE)
- Hoge isolatiewaarde, thermisch en akoestisch

Toepassingen:

Montage van ramen en deuren
Opvullen van holle ruimten
Afdichten van alle openingen in dakconstructies
Aanbrengen van een akoestisch scherm
Aanbrengen van een geluidsdempende laag
Optimaliseren van isolatie in koeltechniek

Leveringsvorm:

Aerosolbus van 600mL (netto)

Opmerking: Deze fiche vervangt alle voorgaande. De richtlijnen in deze documentatie zijn het resultaat van onze proeven en ervaring en worden te goeder trouw gegeven. Daar wij geen controle hebben over de toepassingsmodaliteiten kunnen wij niet verantwoordelijk gesteld worden voor de bekomen resultaten en voor eventuele schade voortvloeiend uit een verkeerd of niet-aangepast gebruik. Daar het ontwerp, de hoedanigheid van de ondergrond en de verwerkingsomstandigheden buiten onze beoordeling vallen, kan geen aansprakelijkheid op grond van deze publicatie worden aanvaard. Het is dan ook aangeraden om altijd voorafgaand een test uit te voeren eigen aan de specifieke plaatselijke omstandigheden. Soudal behoudt zich het recht voor de producten aan te passen zonder voorafgaandelijke berichtgeving.

Soudal NV
Tel.: +32(0) 14-42.42.31

Everdongenlaan 18-20
Fax: +32(0) 14-42.65.14

2300 Turnhout, Belgium
www.soudal.com



Technical Data Sheet

Vullen & isoleren Genius Gun

Revisie datum: 19/09/2012

Pagina 2 van 2

Houdbaarheid:

- 12 maanden in ongeopende verpakking op een droge en koele plaats.
- Altijd rechtop stockeren.

Verwerking:

Schud de bus krachtig gedurende 30 seconden of minstens 20 keer heen en weer schudden. Klepje openen en slangetje recht plooiën.

Bevochtig de vet- en stofvrije ondergrond.

Bus omkeren en pistoolgreep inknijpen.

Voor niet klassieke ondergronden wordt het aangeraden op de ondergrond eerst een hechtingstest uit te voeren.

Vul de voeg of holte voor 30 à 40 % daar het schuim nog verder uitzet tijdens het doorharden.

Schud regelmatig gedurende het gebruik. Indien er in verschillende lagen wordt gewerkt dient tussen de lagen bevochtigd te worden.

Na gebruik, onmiddellijk slangetje afsluiten met dopje uit de afsluitklep en het slangetje terug in houder klikken. Afsluitklep terug sluiten.

Product blijft aldus nog min. 6 weken bruikbaar.

Niet uitgehard schuim kan verwijderd worden met cleaner of aceton. Uitgehard schuim is enkel mechanisch te verwijderen.

Applicatietemperatuur: tussen +5°C en +30°C.

Veiligheidsaanbevelingen:

De gebruikelijke arbeidshygiëne in acht nemen

Draag handschoenen en veiligheidsbril

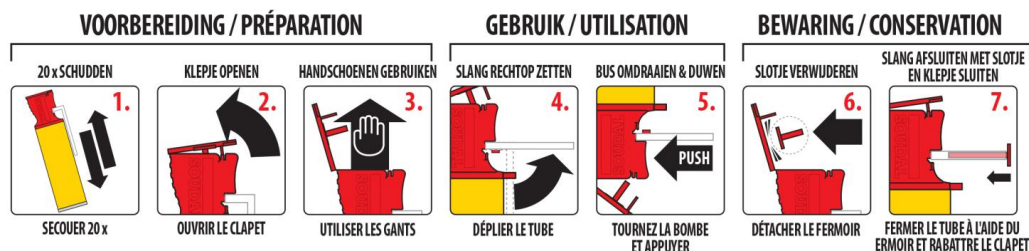
Uitgehard schuim mechanisch verwijderen, nooit wegbranden.

Raadpleeg de verpakking voor meer informatie..

Opmerkingen:

Het licht bevochtigen van de ondergrond in holle ruimten optimaliseert de goede hechting en de opbrengst.

Voor het vullen van grote volumes: het schuim in lagen aanbrengen en tussen elke laag opnieuw bevochtigen



Opmerking: Deze fiche vervangt alle voorgaande. De richtlijnen in deze documentatie zijn het resultaat van onze proeven en ervaring en worden te goeder trouw gegeven. Daar wij geen controle hebben over de toepassingsmodaliteiten kunnen wij niet verantwoordelijk gesteld worden voor de bekomen resultaten en voor eventuele schade voortvloeiend uit een verkeerd of niet-aangepast gebruik. Daar het ontwerp, de hoedanigheid van de ondergrond en de werkomstandigheden buiten onze beoordeling vallen, kan geen aansprakelijkheid op grond van deze publicatie worden aanvaard. Het is dan ook aangeraden om altijd voorafgaand een test uit te voeren eigen aan de specifieke plaatselijke omstandigheden. Soudal behoudt zich het recht voor de producten aan te passen zonder voorafgaandelijke berichtgeving.

Soudal NV
Tel.: +32(0) 14-42.42.31

Everdongenlaan 18-20
Fax: +32(0) 14-42.65.14

2300 Turnhout, Belgium
www.soudal.com

Zwelband

PRODUCT DATA SHEET

Nitto

685C Series SOFT EPT FOAM SEALER

GENERAL DESCRIPTION

A black expanded closed cell EPDM synthetic rubber mixture designed for a variety of high performance gasketing and insulation applications.

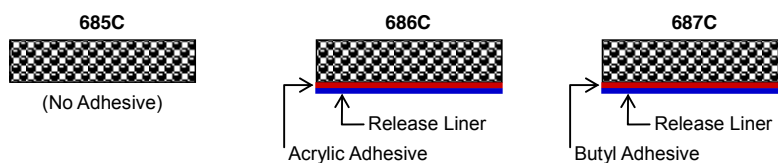


Closed Cells

FEATURES

- Low density and softness
- Available in roll or sheet form
- Two types of PSA backing available to facilitate attachment of the part
- Excellent resistance to ultraviolet light

PRODUCT CONSTRUCTION



APPLICATION

- Softness allows for easy compression to effectively seal gaps
- Closed-cell structure seals against water, air, dust and noise leakage
- Sheet stock is available in thicknesses ranging from 3 to 30 mm
- Can be die-cut for applications such as gasketing around HVAC modules, pass-through seals, interior trim seals, component weatherstripping, etc.

PROPERTIES

BASE POLYMER	EPDM
COLOR	Black
DENSITY (ASTM D1056)	100 – 160 kg/m ³ (6.2 – 10.0 lb/ft ³)
COMPRESSION DEFLECTION (@ 50%)	32 – 50 kPa (4.6 – 7.3 psi)
COMPRESSION SET (ASTM D1056)	25% max
TENSILE (ASTM D412)	100 kPa Min (14.5 psi Min)
ELONGATION (ASTM D412)	250% Min
SERVICE TEMPERATURE (JIS-K-6767)	-55°C to 121°C (-67°F to 250°F)
FLAMMABILITY (FMVSS 302)	< 25 mm/min (< 1 in/min)

For more information on this product, contact our Novi, MI office at 248-449-2300.

© Nitto Denko Automotive

Document Code: 685C_Series (11.07.13)

Luchtdichte coating

H

HEVADEX BVBA

PRODUCTINFORMATIEBLAD

www.blowerproofliquid.com
RAADPLEGEN VOOR REFERENTIES





**WATERGEDRAGEN POLYMEERPASTA DIE DROOGT TOT EEN FLEXIBELE LUCHTDICHTE COATING;
AANBRENGEN MET VERFBORSTEL.**






PRODUCTOMSCHRIJVING

BLOWERPROOF LIQUID BRUSH is een watergedragen polymeer pasta, die geapliceerd wordt met een geschikte verfborstel (platte verfborstel, geschikt voor watergedragen coatings), en droogt tot een luchtdichte en dampremmende flexibele coating met goede hechting op diverse ondergronden. Dit product kan zowel horizontaal als verticaal worden geapliceerd.

TOEPASSINGEN

- » Buisdoorvoeren
- » Dagkanten ramen
- » Vloer/wand en wand/plafond aansluitingen
- » Wand-wand aansluitingen
- » Volledige wanden
- » Verticale en horizontale voegen
- » Wand/dak aansluitingen
- » Aansluitingen gordijngevel

UITVOERING/APPLICATIE

ALVORENS DE UITVOERING TE STARTEN:

- » Verwijder stof en losliggende delen; verwijder zoutuitslagen en andere oppervlaktevervuilingen die de hechting kunnen aantasten. Verwijder staand water.
- » Behandel oneffenheden, en vul voegen en openingen > 5mm in de ondergrond met polyurethaan schuim of een snelzettend cementgebaseerd product.
- » Niet appliceren bij T < 5°C.
- » Applicatie op vochtige ondergrond stelt geen problemen (geen stilstaand water - handdroog).

UITVOERING

- » BLOWERPROOF LIQUID BRUSH is klaar voor gebruik, niet verdunnen met water of solventen. Kort mengen vooraf aan applicatie.
- » Aanbrengen met platte verfborstel, geschikt voor watergedragen producten.
- » Totaal indicatief verbruik: 0,8 à 1 kg/m². Steeds in twee lagen aanbrengen, de tweede laag nadat de eerste laag is uitgedroogd.
- » Vermijd tijdens de drogingsfase contact met enige vorm van water, andere vloeistoffen of bouwchemische producten.
- » Reinigen materiaal: onmiddellijk na gebruik, met water.
- » Wacht tot na volledige droging (indicatief 24-48uur) alvorens een volgend afwerkingsmateriaal aan te brengen op het gedroogde membraan, zoals pleister. Droogtijden kunnen sterk variëren afhankelijk van de ondergrond en lokale omstandigheden.
- » Voor grotere projecten verwijzen we naar de technische fiche van BLOWERPROOF LIQUID, de verspreidbare versie van dit product die met een airless verfspuittoestel wordt aangebracht.

En gedetailleerde applicatiegids is beschikbaar op aanvraag.

Pag. 1/3

Hevadex bvba – info@hevadex.be – T +32 (0)9 348 31 00 – F +32 (0)9 270 33 44 – Alfons Braeckmanlaan 237A, 9040 Sint-Amandsberg (Gent), Belgium



PRODUCTINFORMATIEBLAD

www.blowerproofliquid.com



BLOWERPROOF

LIQUID BRUSH



PRODUCTKARAKTERISTIEKEN

Testrapporten beschikbaar op aanvraag

PRODUCTKARAKTERISTIEKEN OP BASIS VAN ONAFHANKELIJKE TESTRAPPORTEN

Deze tabel bevat gemiddelde waarden op basis van onafhankelijke testrapporten. Waarden die bekomen zijn na veroudering van het testmateriaal, zijn aangeduid met de letter "v".

TESTINSTITUUT	TEST	NORM	WAARDE
wtcb.be	Dampdiffusieweerstand s-factor	EN ISO 12572 (2001)	$\mu = 35967$
wtcb.be	Aanhechting op rode baksteen Porotherm (droog)	ISO4624 (2002)	1,9 N/mm ² (v)
wtcb.be	Aanhechting op Rode baksteen Porotherm (vochtig)	ISO4624 (2002)	2,5 N/mm ² (v)
wtcb.be	Aanhechting op betonsteen (droog)	ISO4624 (2002)	2,7 N/mm ² (v)
wtcb.be	Aanhechting op betonsteen (vochtig)	ISO4624 (2002)	2,5 N/mm ² (v)
wtcb.be	Aanhechting op cellen-beton(Ytong) (droog)	ISO4624 (2002)	0,44 N/mm ² (v); 100% breuk in de ondergrond.
wtcb.be	Aanhechting op cellen-beton(Ytong) (vochtig)	ISO4624 (2002)	0,44 N/mm ² (v); 100% breuk in de ondergrond.
wtcb.be	Aanhechting op PVC raamprofiel – (zendow)	ISO4624 (2002)	1,5 N/mm ² (v)
wtcb.be	Aanhechting op PVC raamprofiel – (glad)	ISO4624 (2002)	0,83 N/mm ² (v)
wtcb.be	Aanhechting op aluminium raamprofiel	ISO4624 (2002)	2,5 N/mm ² (v)
wtcb.be	Aanhechting op EPDM (tridex)	ISO4624 (2002)	1,5 N/mm ² (v)
wtcb.be	Aanhechting op roofing	ISO4624 (2002)	0,4 N/mm ² (v); 100% breuk in de ondergrond.
wtcb.be	Aanhechting van pleister (knauf MP75) op Blowerproof Liquid Brush	ISO4624 (2002)	0,81 N/mm ² (v); >30% breuk in de pleister
wtcb.be	Rek	NBN EN 12311-1 (1999)	120% 42 N/50mm ² trekweerstand
UNIVERSITEIT GENT (BELGIË)	Luchtdichtheid vloer/wand na zetting	NBN EN 12114:2000 (zetting volgens eurocode 7)	0,05 M ³ /H.M (50BAR) (V)
wamingtonfiregent	Vlampropagatie	EN ISO 11925-2	<150 mm
wamingtonfiregent	Brandreactie	EN ISO 11925-2	NO
VIT	VOC, TVOC, kankerverwekkende stoffen, ammoniak, formaldehyde	EN ISO 16000-9/6 EN 717-1 EN ISO 16000-28	

ANDERE TESTRAPPORTEN

BCB	Luchtdichtheid van vloer/wand aansluitingen
BCB	Luchtdichtheid dagkanten ramen/raamaansluitingen
BCB	Luchtdichtheid buisdoorvoeren
BCB	Luchtdichtheid volledige wanden, met verankerde isolatieplaten
Luchtdichtheidsverslagen (Blowerdoor) van gerealiseerde projecten	

Pag. 2/3



PRODUCTINFORMATIEBLAD

www.blowerproofliquid.com
RAADPLEGEN VOOR REFERENTIES





VERPAKKING

Emmer 5kg – pallet : 60 x 5 kg

VEILIGHEID

Raadpleeg het veiligheidsdata blad van dit product alvorens het toe te passen. De gebruikelijke arbeidshygiëne in acht nemen.

ANDERE PRODUCTKARAKTERISTIEKEN

- » Verbruik: 0,8 à 1 kg/m² (indicatief; afhankelijk van laagdikte, substraatrelief).
- » Dichtheid : +/- 1,15 kg/liter
- » Beschikbare kleuren:
 - Blauw (droogt tot een zwarte coating)
 - Wit (droogt tot een witte coating)
- » Droogtijd: 0,5 à 24 uur (afhankelijk van omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid, laagdikte);
- » Opslag: 5 – 20 °C; beschut, droog en uit direct zonlicht; bewaring: 12 maanden vanaf productiedatum, originele ongeopende verpakking.

DATUM OPMAAK VAN DEZE VERSIE: 25/10/2015

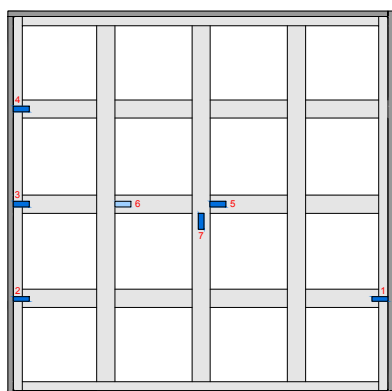
De algemene verkoopvoorwaarden zijn van toepassing. Dit document heeft geen enkele contractuele waarde. Deze fiche annuleert en vervangt de vorige uitgave. De gegevens op deze fiche hebben tot doel u in te lichten en raad te geven, ze zijn gebaseerd op proeven uitgevoerd met oog op objectiviteit. Wijzigingen aan deze fiche t.g.v. de technische evolutie kunnen op ieder tijdstip aangebracht worden. Gelieve u te vergewissen van de geldigheid van de fiche in uw bezit. De bovenstaande informatie is gebaseerd op onze huidige kennis. HEVADEX bvba is niet verantwoordelijk voor het gebruik van de producten indien die niet overeenstemmen met de aanbevelingen en gebruiksaanwijzingen. De aanbevelingen en gebruiksaanwijzingen zoals hierboven beschreven zijn slechts indicatief en houden geen absolute regels in aangezien bepaalde elementen aan onze controle kunnen ontsnappen. Gelieve HEVADEX bvba te raadplegen. Zij zullen u adviseren over uw specifieke toepassing.

Pag. 3/3

Hevadex bvba – info@hevadex.be – T +32 (0)9 348 31 00 – F +32 (0)9 270 33 44 – Alfons Braeckmanlaan 237A, 9040 Sint-Amandsberg (Gent), Belgium

Bijlage 2: Resultaten watertesten

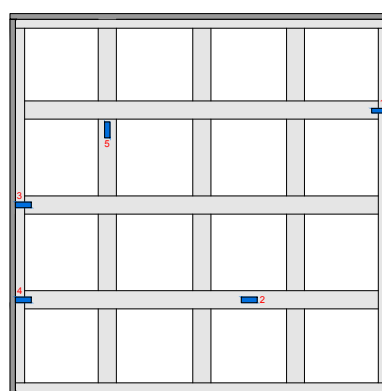
OSB Tape A



OSB Tape A Meting 1 0°

13/01/2016
temp.: 15,8°C
RV: 53,7%

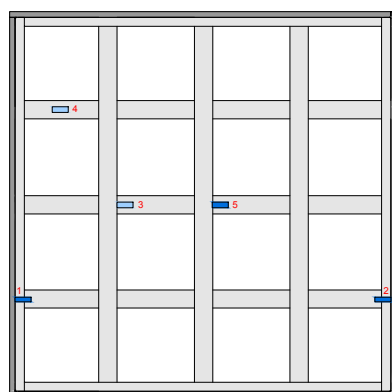
1. 0 Pa zijkant 3 min
2. 0 Pa zijkant 7 min
3. 0 Pa zijkant 9 min
4. 0 Pa zijkant 14 min
5. 50 Pa kruispunt 4 min lek
6. 50 Pa kruispunt 4 min
7. 100 Pa kruispunt 3 min lek



OSB Tape A Meting 1a 90°

12/01/2016
temp.: 17,6°C
RV: 50%

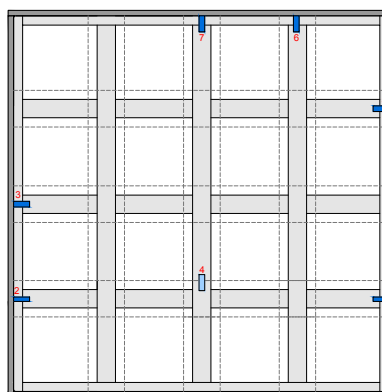
1. 0 Pa zijkant 10 min
2. 0 Pa voeg 15 min lek
3. 50 Pa zijkant 2 min
4. 50 Pa zijkant 2 min
5. 100 Pa kruispunt 3 min lek



OSB Tape A Meting 5 na 200 cycli 1000 Pa

23/02/2016
temp.: 16,9°C
RV: 43,4%

1. 0 Pa zijkant 5 min 30
2. 0 Pa zijkant 8 min 45
3. 0 Pa kruispunt 14 min
4. 50 Pa voeg 2 min
5. 100 Pa kruispunt 0 min
5. 100 Pa lek 2 min

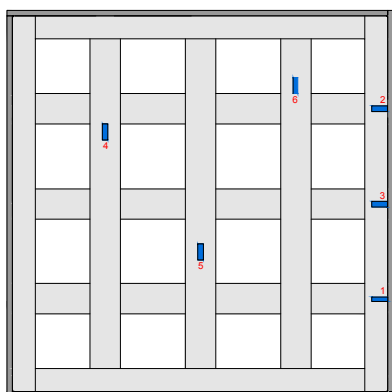


OSB Tape A Meting 6 voegen bedekt

29/02/2016
temp.: 16,5°C
RV: 33,8%

1. 0 Pa zijkant 15 min
2. 200 Pa zijkant 0 min
3. 200 Pa zijkant 0 min
4. 200 Pa kruispunt 4 min
5. 300 Pa zijkant 0 min
- 6 en 7 450 Pa bovenkant 3 min

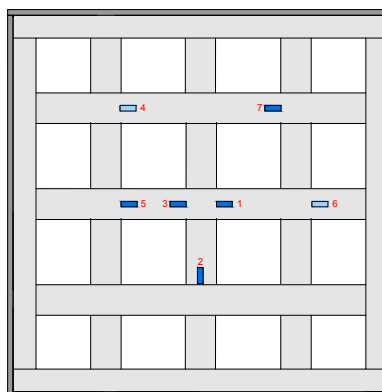
OSB Tape B



OSB Tape B Meting 1 0°

11/03/2016
temp.: 13,5°C
RV: 48,6%

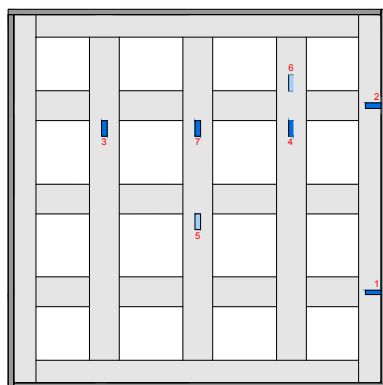
1. 0 Pa zijkant 5 min
2. 0 Pa zijkant 8 min
3. 100 Pa zijkant 1 min
4. 250 Pa kruispunt 2 min lek
5. 250 Pa voeg 3 min lek
6. 250 Pa kruispunt 3 min 10 lek



OSB Tape B Meting 1a 90°

14/03/2016
temp.: 11,9°C
RV: 45,6%

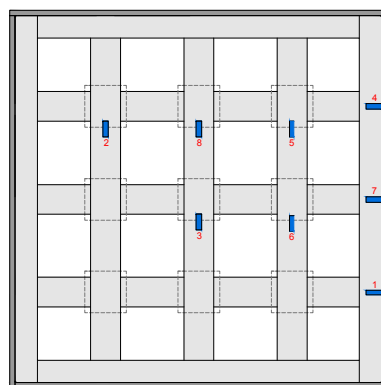
1. 0 Pa kruispunt 11 min 45 lek
2. 50 Pa kruispunt 1 min lek
3. 50 Pa kruispunt 2 min lek
4. 50 Pa kruispunt 3 min 45
5. 50 Pa kruispunt 4 min lek
6. 100 Pa kruispunt 0 min 45
7. 100 Pa kruispunt 2 min lek



OSB Tape B Meting 5 na 200 cycli 1000 Pa

21/03/2016
temp.: 15,2°C
RV: 51,8%

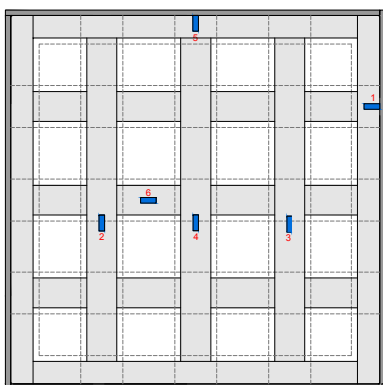
1. 100 Pa zijkant 3 min 45
2. 150 Pa zijkant 1 min 30
3. 300 Pa kruispunt 1 min lek
4. 300 Pa kruispunt 1 min 30 lek
5. 300 Pa kruispunt 2 min
6. 300 Pa kruispunt 4 min
7. 450 Pa kruispunt 0 min 30 lek



OSB Tape B Meting 6 kruispunten bedekt

23/03/2016
temp.: 13,2°C
RV: 61,8%

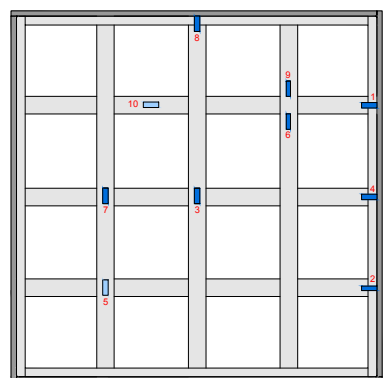
1. 150 Pa zijkant 4 min
2. 200 Pa kruispunt 0 min 30 lek
3. 200 Pa kruispunt 1 min 30 lek
4. 200 Pa zijkant 2 min
5. 250 Pa kruispunt 3 min lek
6. 250 Pa kruispunt 4 min lek
7. 250 Pa zijkant 4 min 30
8. 450 Pa kruispunt 2 min 45 lek



OSB Tape B Meting 7 voegen en zijkanten bedekt

1. 200 Pa zijkant 1 min 45
2. 250 Pa kruispunt 2 min lek
3. 450 Pa kruispunt 2 min 30 lek
4. 450 Pa kruispunt 4 min lek
5. 750 Pa bovenkant 3 min lek
6. 900 Pa voeg 3 min lek

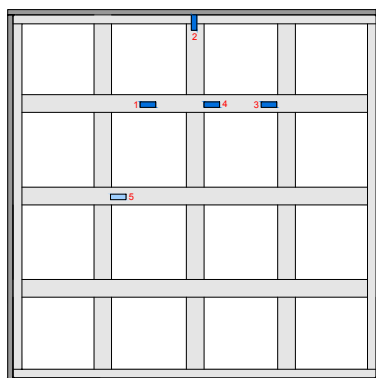
OSB Tape C



OSB Tape C Meting 1 na 200 cycli 1000 Pa 0°

04/04/2016
temp.: 20,5°C
RV: 52%

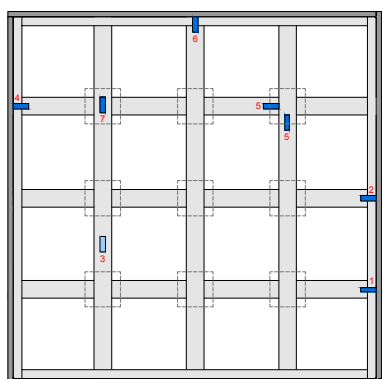
1. 0 Pa zijkant 6 min 20
2. 0 Pa zijkant 6 min 20
3. 0 Pa kruispunt 11 min 30 lek
4. 0 Pa zijkant 12 min
5. 150 Pa kruispunt 1 min 30
6. 150 Pa kruispunt 1 min lek
7. 150 Pa kruispunt 4 min lek
8. 200 Pa bovenkant 2 min
9. 200 Pa kruispunt 2 min lek
10. 200 Pa voeg 3 min



OSB Tape C Meting 2 na 200 cycli 1000 Pa 90°

04/04/2016
temp.: 20,9°C
RV: 49,1%

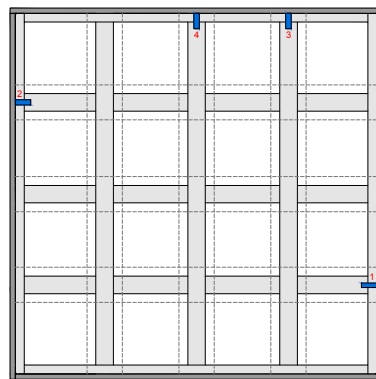
1. 0 Pa voeg 3 min lek
2. 0 Pa bovenkant 3 min 30
3. 0 Pa kruispunt 6 min 30 lek
4. 0 Pa kruispunt 6 min 45 lek
5. 100 Pa kruispunt 1 min 30



OSB Tape C Meting 3 kruispunten bedekt

05/04/2016
temp.: 18°C
RV: 54,2%

1. 200 Pa zijkant 0 min 30
2. 200 Pa zijkant 2 min
3. 250 Pa voeg 4 min 30
4. 300 Pa zijkant 1 min 30
5. 300 Pa kruispunt 3 min lek
6. 300 Pa bovenkant 4 min 30
7. 450 Pa kruispunt 2 min 30 lek



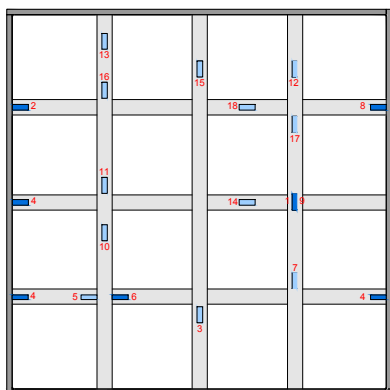
OSB Tape C Meting 4 voegen bedekt

11/04/2016
temp.: 17,7°C
RV: 52,7%

1. 150 Pa zijkant 1 min 30
2. 150 Pa zijkant 2 min 45
3. 300 Pa bovenkant 4 min
4. 450 Pa bovenkant 2 min 30

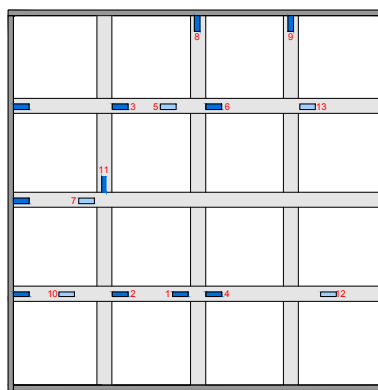
bij 600 Pa nog geen lekken

OSB Silicone Strip



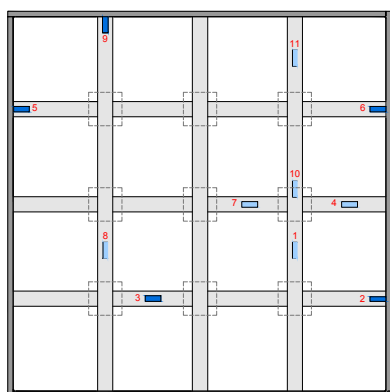
OSB Silicone Strip
Meting 1 na 200
cycli 1000 Pa 0°

05/04/2016
temp.: 18,1°C
RV: 53,9%
1. 0 Pa kruispunt 0 min 30
2. 0 Pa zijkant 2 min
3. 0 Pa voeg 8 min 45
4. 100 Pa zijkant 0 min 45
5. 100 Pa kruispunt 5 min
6. 150 Pa kruispunt 0 min 30 lek
7. 150 Pa kruispunt 3 min 30
8. 150 Pa zijkant 4 min 30
9. 200 Pa kruispunt 3 min 30 lek
10. 250 Pa voeg 3 min
11. 450 Pa kruispunt 0 min 30
12. 450 Pa voeg 3 min 45
13. 450 Pa bovenkant 4 min
14. 600 Pa voeg 0 min 30
15. 600 Pa voeg 0 min 30
16. 600 Pa kruispunt 0 min 45
17. 600 Pa kruispunt 1 min
18. 600 Pa voeg 4 min



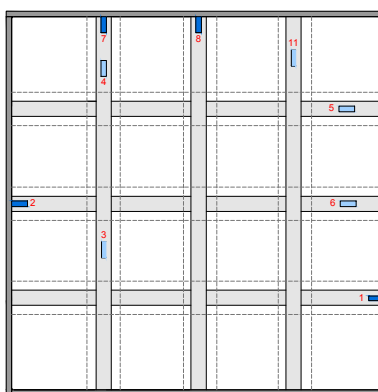
OSB Silicone Strip
Meting 2 na 200
cycli 1000 Pa 90°

05/04/2016
temp.: 18°C
RV: 54,2%
1. 0 Pa kruispunt 1 min lek
2. 0 Pa kruispunt 2 min lek
3. 0 Pa kruispunt 6 min 30 lek
4. 0 Pa kruispunt 12 min lek
5. 100 Pa voeg 4 min 30
6. 150 Pa kruispunt 0 min lek
7. 250 Pa kruispunt 3 min
8. 250 Pa bovenkant 4 min 30
9. 250 Pa bovenkant 4 min 30
10. 300 Pa voeg 1 min 30
11. 300 Pa kruispunt 1 min 30 lek
12. 450 Pa voeg 1 min
13. 600 Pa kruispunt 0 min



OSB Silicone Strip
Meting 3
kruispunten bedekt

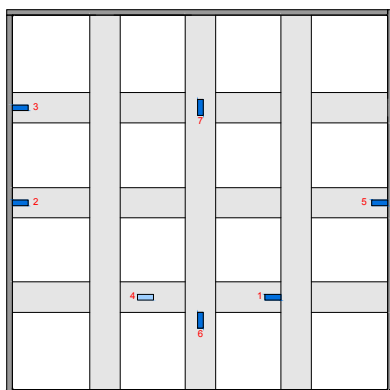
11/04/2016
temp.: 16,5°C
RV: 55,1%
1. 50 Pa voeg 0 min 45
2. 50 Pa zijkant 3 min 45
3. 150 Pa voeg 1 min 45 lek
4. 200 Pa voeg 0 min 30
5. 200 Pa zijkant 1 min
6. 250 Pa zijkant 0 min 30
7. 250 Pa voeg 2 min 45
8. 250 Pa voeg 4 min 45
9. 300 Pa bovenkant 3 min 30
10. 600 Pa door OSB 1 min 45
11. 600 Pa door OSB 4 min 45



OSB Silicone Strip
Meting 4 voegen
bedekt

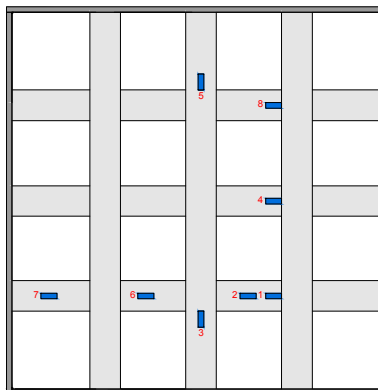
14/04/2016
temp.: 17,8°C
RV: 53,6%
1. 0 Pa zijkant 11 min
2. 100 Pa zijkant 3 min
3. 250 Pa door OSB 4 min
4. 300 Pa door OSB 3 min
5. 300 Pa door OSB 4 min
6. 300 Pa door OSB 5 min
7. 600 Pa bovenkant 3 min
8. 600 Pa bovenkant 4 min

OSB Coating



OSB Coating
Meting 1 na 200
cycli 1000 Pa 0°

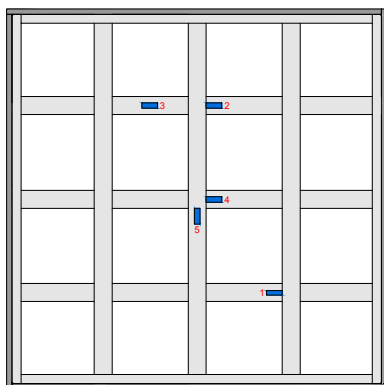
25/04/2016
temp.: 15,6°C
RV: 54,7%
1. 50 Pa kruispunt 4 min lek
2. 150 Pa zijkant 0 min 30
3. 150 Pa zijkant 3 min
4. 250 Pa voeg 0 min 30
5. 250 Pa zijkant 0 min 30
6. 250 Pa kruispunt 2 min lek
7. 450 Pa kruispunt 3 min lek



OSB Coating
Meting 2 alles
bedekt

27/04/2016
temp.: 20°C
RV: 41,9%
1. 100 Pa kruispunt 2 min lek
2. 100 Pa voeg 2 min lek
3. 150 Pa kruispunt 3 min lek
4. 250 Pa kruispunt 0 min 30 lek
5. 250 Pa kruispunt 5 min lek
6. 300 Pa voeg 3 min lek
7. 450 Pa voeg 3 min lek
7. 450 Pa kruispunt 3 min 30 lek

HOUTVEZELPLAAT Tape A

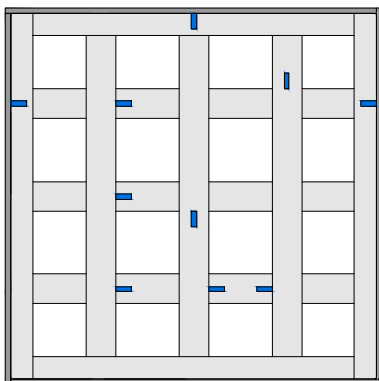


HOUTVEZEL
Tape A
Meting 1 0°

10/02/2016
temp.: 16,8°C
RV: 44,8%

1. 0 Pa kruispunt 0 min lek
2. 0 Pa kruispunt 1 min lek
3. 0 Pa voeg 1 min lek
4. 0 Pa kruispunt 1 min lek
5. 0 Pa kruispunt 1 min lek

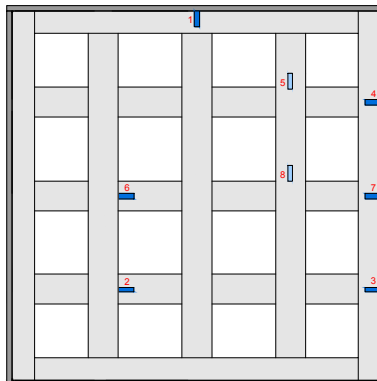
HOUTVEZELPLAAT Tape B



HOUTVEZEL
Tape B
Meting 1 0°

29/02/2016
temp.: 17,1°C
RV: 33,2%

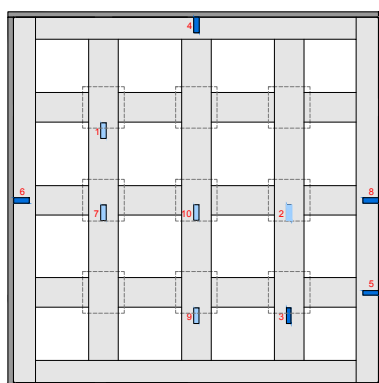
- 0 Pa alles in eerste minuut



HOUTVEZEL
Tape B
Meting 5 na 200
cycli 1000 Pa

11/03/2016
temp.: 12,6°C

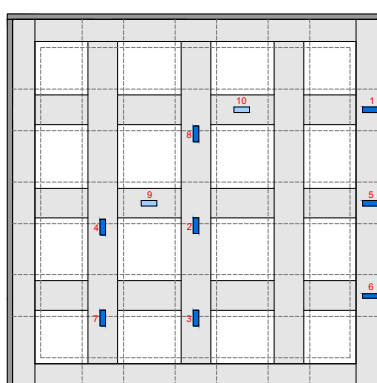
1. 100 Pa bovenkant 0 min 30
2. 100 Pa kruispunt 1 min lek
3. 100 Pa zijkant 1 min 45
4. 100 Pa zijkant 1 min 45
5. 100 Pa kruispunt 2 min
6. 100 Pa kruispunt 2 min 30 lek
7. 100 Pa zijkant 3 min
8. 100 Pa kruispunt 3 min 30
9. 100 Pa kruispunt 3 min 35
10. 100 Pa kruispunt 3 min 45



HOUTVEZEL
Tape B
Meting 6
kruispunten bedekt

15/03/2016
temp.: 14,4°C
RV: 45,1%

1. 0 Pa kruispunt 10 min
2. 0 Pa kruispunt 12 min
3. 50 Pa kruispunt 4 min lek
4. 100 Pa bovenkant 1 min lek
5. 100 Pa zijkant 1 min 30
6. 100 Pa zijkant 1 min 30
7. 100 Pa kruispunt 2 min
8. 100 Pa zijkant 2 min 45
9. 100 Pa kruispunt 4 min
10. 100 Pa kruispunt 4 min 30

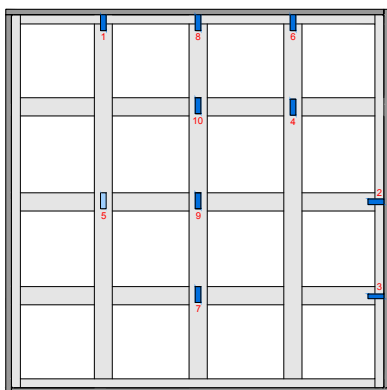


HOUTVEZEL
Tape B
Meting 7 voegen
en zijkanten
bedekt

23/03/2016
temp.: 14,3°C
RV: 61,7%

1. 100 Pa zijkant 4 min
2. 100 Pa kruispunt 5 min lek
3. 250 Pa kruispunt 0 min lek
4. 250 Pa kruispunt 2 min lek
5. 250 Pa zijkant 5 min
6. 250 Pa zijkant 5 min
7. 300 Pa kruispunt 3 min 30 lek
8. 300 Pa kruispunt 5 min lek
9. 600 Pa voeg 1 min
10. 600 Pa voeg 4 min

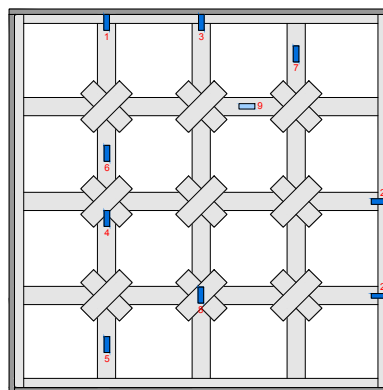
HOUTVEZELPLAAT Tape C



**HOUTVEZEL
Tape C**
Meting 1 na 200
cycli 1000 Pa 0°

19/04/2016
temp.: 16°C
RV: 51,7%

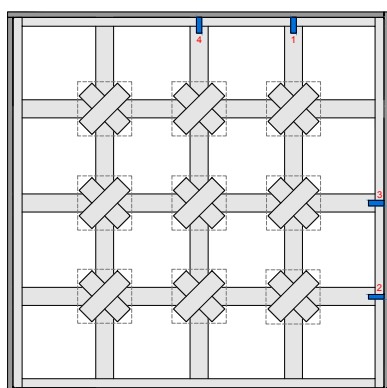
1. 0 Pa bovenkant 11 min
2. 100 Pa zijkant 2 min
3. 100 Pa zijkant 4 min
4. 150 Pa kruispunt 0 min lek
5. 150 Pa kruispunt 1 min lek
6. 150 Pa bovenkant 3 min
7. 250 Pa kruispunt 3 min 30 lek
8. 300 Pa bovenkant 1 min
9. 450 Pa kruispunt 0 min lek
10. 450 Pa kruispunt 0 min 30 lek



**HOUTVEZEL
Tape C**
Meting 2 extra
kruisen

25/04/2016
temp.: 17°C
RV: 54,7%

1. 150 Pa bovenkant 0 min
2. 200 Pa zijkant 1 min
3. 450 Pa bovenkant 3 min
4. 750 Pa kruispunt 0 min 30 lek
5. 750 Pa voeg 2 min lek
6. 900 Pa voeg 0 min 30 lek
7. 900 Pa voeg 0 min 30 lek
8. 900 Pa kruispunt 0 min 30 lek
9. 900 Pa voeg 1 min

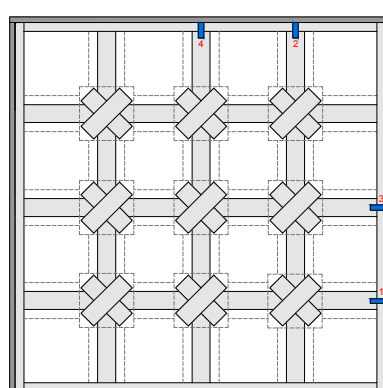


**HOUTVEZEL
Tape C**
Meting 3
kruispunten bedekt

26/04/2016
temp.: 17,5°C
RV: 43,9%

1. 150 Pa bovenkant 2 min
2. 150 Pa zijkant 3 min
3. 200 Pa zijkant 1 min 30
4. 250 Pa bovenkant 4 min

bij 900 Pa nog geen lekken aan
voegen of kruispunten



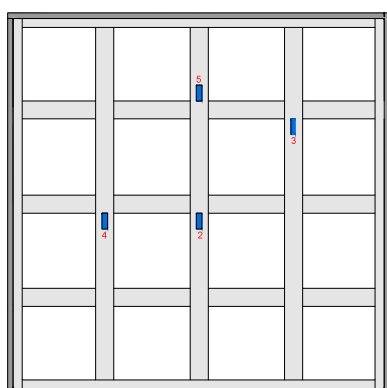
**HOUTVEZEL
Tape C**
Meting 4 voegen
bedekt

27/04/2016
temp.: 20,2°C
RV: 39%

1. 150 Pa zijkant 1 min 30
2. 200 Pa bovenkant 5 min
3. 250 Pa zijkant 3 min
4. 900 Pa bovenkant 1 min

bij 900 Pa nog geen lekken aan
voegen of kruispunten

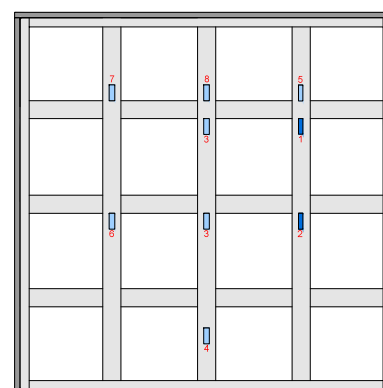
BETON Tape A



BETON Tape A
Meting 1 0°

25/02/2016
temp.: 16,4°C
RV: 36,45%

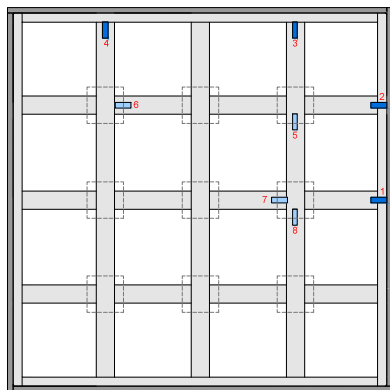
1. 0 Pa kruispunt 1 min lek
2. 0 Pa kruispunt 1 min 30 lek
3. 0 Pa kruispunt 2 min lek
4. 0 Pa kruispunt 5 min 45 lek
5. 0 Pa kruispunt 7 min lek



BETON Tape A
Meting 5 na 200
cycli 1000 Pa

14/03/2016
temp.: 13°C
RV: 43,6%

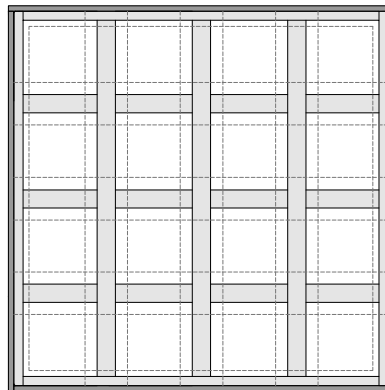
1. 0 Pa kruispunt 2 min lek
2. 0 Pa kruispunt 4 min 30 lek
3. 0 Pa kruispunt 5 min
4. 0 Pa voeg 11 min
5. 0 Pa kruispunt 11 min 30
6. 0 Pa kruispunt 13 min
7. 0 Pa kruispunt 14 min 30
8. 0 Pa kruispunt 15 min



BETON Tape A Meting 6 kruispunten bedekt

16/03/2016
temp.: 14,6°C
RV: 44,5%

- 1, 50 Pa zijkant 1 min 30
- 2, 50 Pa zijkant 1 min 40
- 3, 150 Pa bovenkant 5 min
- 4, 250 Pa bovenkant 4 min
- 5, 450 Pa kruispunt 2 min
- 6, 600 Pa kruispunt 1 min
- 7, 600 Pa kruispunt 2 min
- 8, 600 Pa kruispunt 5 min

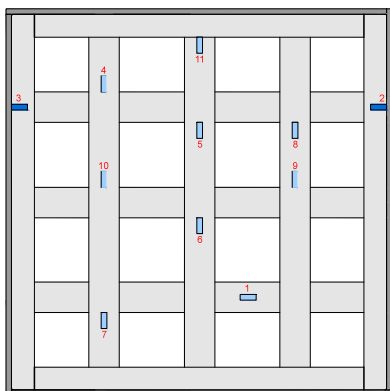


BETON Tape A Meting 7 voegen en zijkanten bedekt

23/03/2016
temp.: 14°C
RV: 63%

Nog geen lekken bij 900 Pa

BETON Tape B

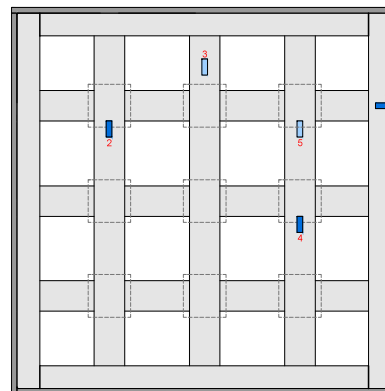


BETON Tape B Meting 1 na 200 cycli 1000 Pa 0°

12/04/2016
temp.: 15,6°C
RV: 60,3%

- 1, 0 Pa barst in beton 1 min 30
- 2, 0 Pa zijkant 8 min
- 3, 0 Pa zijkant 14 min 30
- 4, 50 Pa kruispunt 2 min 30
- 5, 50 Pa kruispunt 4 min 30
- 6, 150 Pa kruispunt 2 min 30
- 7, 150 Pa kruispunt 2 min 30
- 8, 150 Pa kruispunt 4 min 30
- 9, 250 Pa kruispunt 2 min 30
- 10, 250 Pa kruispunt 3 min 30
- 11, 300 Pa bovenkant 0 min 30

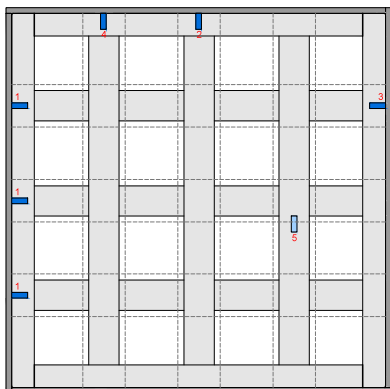
bij 600 Pa nog geen lekken
enkel vochtplekken vergroten



BETON Tape B Meting 2 kruispunten bedekt

15/04/2016
temp.: 17,2°C
RV: 57,4%

- 1, 150 Pa zijkant 3 min
- 2, 250 Pa kruispunt 3 min lek
- 3, 250 Pa voeg 3 min
- 4, 600 Pa kruispunt 2 min lek
- 5, 600 Pa kruispunt 3 min

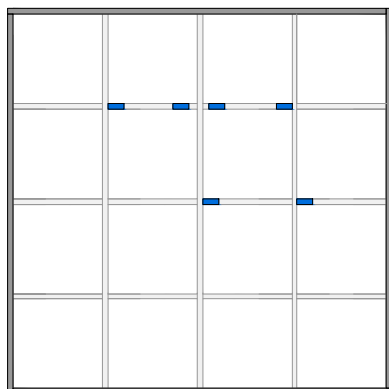


BETON Tape B Meting 3 voegen bedekt

19/04/2016
temp.: 15,7°C
RV: 57,7%

- 1, 150 Pa zijkant 3 min
- 2, 200 Pa bovenkant 2 min
- 3, 250 Pa zijkant 2 min
- 4, 900 Pa bovenkant 1 min
- 5, 900 Pa kruispunt 2 min

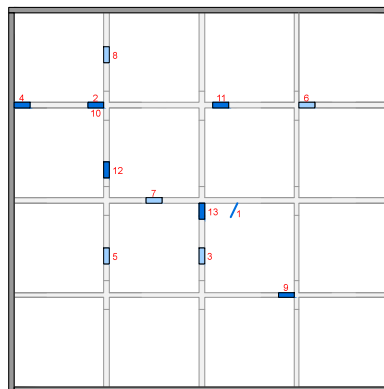
BETON PUR



BETON PUR Meting 1

3/05/2016
temp.: 20°C
RV: 38,3%

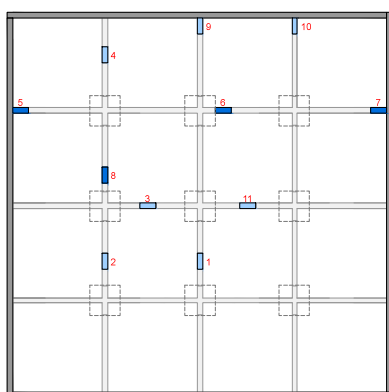
0 Pa alles in eerste minuut



BETON PUR Meting 2 nieuwe PUR

9/05/2016
temp.: 26,4°C
RV: 43,1%

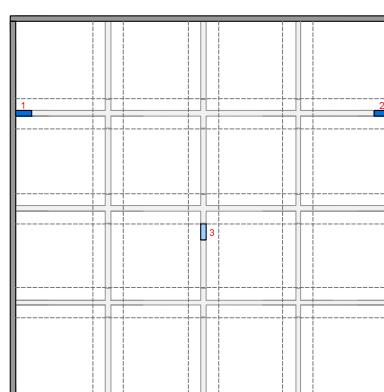
- 1, 0 Pa barst 0 min
- 2, 0 Pa kruispunt 0 min 30
- 3, 0 Pa voeg 2 min 30
- 4, 0 Pa zijkant 4 min 30
- 5, 0 Pa voeg 5 min
- 6, 0 Pa kruispunt 7 min
- 7, 0 Pa voeg 8 min 30
- 8, 0 Pa voeg 10 min 30
- 9, 50 Pa kruispunt 0 min 30 lek
- 10, 50 Pa kruispunt 1 min 30 lek
- 11, 50 Pa voeg 2 min 30 lek
- 12, 100 Pa voeg 1 min lek



BETON PUR Meting 3 kruispunten bedekt

11/05/2016
temp.: 26°C
RV: 52,5%

- 1, 0 Pa voeg 3 min
- 2, 0 Pa voeg 5 min 30
- 3, 0 Pa voeg 6 min 30
- 4, 0 Pa voeg 9 min 30
- 5, 0 Pa zijkant 10 min
- 6, 50 Pa voeg 1 min lek
- 7, 50 Pa zijkant 2 min
- 8, 150 Pa voeg 0 min 30 lek
- 9, 200 Pa bovenkant 2 min
- 10, 200 Pa voeg 2 min 30
- 11, 200 Pa voeg 2 min 30



BETON PUR Meting 4 voegen bedekt

13/05/2016
temp.: 26,4°C
RV: 44,1%

- 1, 50 Pa zijkant 1 min 30
- 2, 50 Pa zijkant 4 min
- 3, 450 Pa kruispunt 3 min

bij 600 Pa nog geen lekken