

# Circulaire gevelsystemen

Eline Leenknecht, Emiel Debusseré

Studentennummers: 01507890, 01503907

Promotoren: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche, prof. dr. ir.-arch.  
Marijke Steeman

Begeleider: ir.-arch. Jona Van Steenkiste

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van  
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Academiejaar 2019-2020



# Circulaire gevelsystemen

Eline Leenknecht, Emiel Debusseré

Studentennummers: 01507890, 01503907

Promotoren: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche, prof. dr. ir.-arch.  
Marijke Steeman

Begeleider: ir.-arch. Jona Van Steenkiste

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van  
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Academiejaar 2019-2020

So how do we turn  
something  
linear into something  
circular?

[The Circular Economy – Richard Farr / Wordpress]

## **Woord vooraf met toelating tot bruikleen**

In dit voorwoord willen we onze promotoren prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman en prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche en begeleider ir.-arch. Jona Van Steenkiste bedanken. We danken hen voor de feedback en inzichten tijdens het tot stand komen van deze masterproef. De vrijheid waarmee we aan de slag konden heeft bijgedragen tot een aangename werksfeer en heeft ervoor gezorgd dat heel wat verschillende pistes bewandeld werden.

---

De auteurs geven 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 authors give permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use. In all cases of other use, the copyright terms have to be respected, in particular with regard to the obligation to state explicitly the source when quoting results from this master dissertation.

*31/05/2020*

## Abstract

Studenten:

Emiel Debusseré      01503907  
Eline Leenknecht      01507890

Promotoren:

Prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche  
Prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman

Begeleider:

ir.-arch. Jona Van Steenkiste

Academische graad: Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Academiejaar: 2019-2020

---

Hoe evolueert de traditionele bouwsector op vlak van circulariteit met duurzaamheid als tussenstop? Wat schieten duurzame bouwproducten te kort om ook als circulair bestempeld te kunnen worden? Deze vraag wordt gesteld tijdens het onderzoek waarin op zoek gegaan wordt naar de meest circulaire materialen op de bestaande markt. Hiervoor worden enkele onderzoekscriteria opgesteld waarmee bouwmaterialen worden beoordeeld. Zo wordt duidelijk dat het uitsluitend bestuderen van materiaalniveau niet voldoende is. De overstap van duurzaamheid naar circulariteit wordt grotendeels beslist op elementniveau. Bepaalde karakteristieken van bouwmaterialen worden bepaald door de inplanting ervan op een bepaalde positie in een specifiek detail. Onderlinge relaties tussen materialen binnen eenzelfde gevelpakket, beschreven als gelaagdheid, omkeerbaarheid en demonteerbaarheid, zijn van belang in de zoektocht naar een globale circulariteitsscore voor een gevelsysteem.

Het onderzoeksveld strekt zich uit over de gevel van een gebouw. Bijgevolg worden goed scorende materialen, zoals prefabbeton, glaswol, EPS en keramische tegels, samengesteld tot een gevelpakket. Omkeerbare en toegankelijke verbindingen tussen de verschillende lagen van het systeem zorgen voor een demonteerbaar en bijgevolg herbruikbaar geheel. Hergebruik van de materialen hangt sterk af van de levensduur en positionering binnen een bouwdetail. Zowel voor een traditionele funderingsaanzet als dakopstand wordt een meer circulair alternatief opgesteld dat rekening houdt met zoveel mogelijk circulariteitskenmerken. Vaak wordt op de moeilijkheid gebotst een bouwfysisch correcte, waterdichte en toch circulaire bouwknop te ontwikkelen. Gebruik van, vaak niet-omkeerbaar verbonden, bouwfolies is onvermijdbaar. Verder wordt gepoogd een aanzet te geven voor het ontwikkelen van circulaire, innovatieve bouwsystemen.

Trefwoorden: Circulariteit, demonteerbaarheid, gevelsystemen, hergebruik, levensduur

## Extended abstract

### CIRCULAR FAÇADE SYSTEMS

---

Emiel Debusseré, Eline Leenknecht

Supervisors: Marijke Steeman, Nathan Van Den Bossche, Jona Van Steenkiste

*Abstract* – **This study looks at circularity as a follow-up to sustainability. Materials and façade elements are assessed on the basis of research criteria. Interrelationships between materials within the same façade package, described as layering, reversibility and demountability, are important in the search for a global circularity score for a façade system. Reuse of the materials strongly depends on the lifespan and positioning within a building detail. A more circular alternative is used for a traditional foundation start as well as a roof edge. Furthermore, an attempt is made to initiate the development of circular, innovative building systems such as for example circular exterior joinery.**

*Keywords*- **Circularity, demountability, façade systems, reuse, life span**

#### I. INTRODUCTION

The starting point of the study is the necessity of the transition to a circular construction sector. The sustainable character that is now often given to building materials does not appear to be sufficient for a sustainable future. Climate problems are partly caused by the large fraction of construction waste, a downgrade of materials that are not at the end of their lifespan. The intention must be to use materials in one or more projects where they can prove their

usefulness over their entire lifespan. This justifies the introduction of circular building materials and systems that go a step further than the already known sustainable products. Circularity ensures a closed cycle with the lowest possible depreciation in value. In addition, materials with a limited environmental impact are used. Life cycle analyses provide a picture of this impact of a material on the environment during its lifetime. The limited frame included in today's cradle-to-grave analyses is a minor point. Circularity extends this scope and aims to perform cradle-to-cradle analyses. These also take the end-of-life phase into account and aim to reuse a material in an application for which it was originally designed, i.e. without reduction in value.

This reuse of materials creates a changing economy. Business models are being adapted, whereby producers also become service providers. Products are increasingly offered as a service, causing the consumer to pay for the use of a good rather than for its purchase. Building materials remain the property of the manufacturer and are also maintained by them. A major advantage of this way of acting is that the maintenance and ownership of the materials

is at the expense of the person with the most appropriate knowledge.

Cramer's 10R model and the 24 Design Guidelines for Change Oriented Building from OVAM serve as guidelines when designing and building projects. Together with life cycle influencing factors, they form the basis for the analysis of circularity at the material level.

## II. MATERIALS AND METHOD

The subject of this research only covers the façade of a building. This means that in each case the necessary requirements are taken into account in order to guarantee a pleasant and safe indoor climate. This concerns wind and water tightness, thermal and acoustic insulation and fire safety. This checklist of properties is used in a case: the Etrimo residential towers in Zellik. It is analysed where the implemented system in Zellik meets the predetermined guidelines, or even more important where it has its pains.

In addition to this case, other existing façade systems are analysed. An overview of frequently used façade systems in both renovations and new construction projects is drawn up. This includes an ETICS system, (unventilated) stone strips, ventilated exterior plasterwork and standard brickwork with an air cavity. These systems are linked to the 24 Design Guidelines for Change Oriented Building (OVAM) from which positive and negative properties in terms of circularity will again be taken into further research.

In addition to the systems, an overview of existing circular products on the market is drawn up. Again, the feedback is made to the design guidelines for change oriented building. In this way a picture is created of how these materials were adapted to create a more circular character.

After the analyses of the existing systems and products, a first part of the research is carried out on finding a method to measure and quantify the circularity of materials. The final goal is an overall score that indicates how circular a material is. Since the focus lies on façade systems, the materials are divided into three categories: inner cavity, insulation and façade cladding.

In the next part of the survey, the evaluated materials are brought together to form a system, a façade package. In this step, special attention is paid to life cycle influencing factors of the layers. This is mainly expressed in fixing and anchoring methods.

From the analysis of existing materials and façade systems, some pain points were discovered in the circular design of structures. A minimal ecological impact and further re-use of materials depends among other things on the percentage of new raw materials, end-of-life factors such as landfill, incineration or recycling, lifespan, environmental impact... Flexibility is also essential, because not every material can be used in every application. In addition, the possibility of damage during (dis)assembly of a material plays its role. A



weighting factor is applied to each criterion in order to obtain the final score.

### III. RESULTS

On the basis of the above criteria, prefabricated concrete, glass wool insulation and a ceramic hollow tile score best in terms of circularity within their category.

When measuring the circularity of a façade system, the possibility of disassembly is added as the most important aspect. This consists of the type of connection and the accessibility of the connection point. The system that scores best gets label A and is made of precast concrete, glass wool insulation plates that are mechanically fastened and ceramic hollow tiles clamped onto an aluminium batten. Here, too, a critical view is crucial because the underlying structure/battens to which the hollow tiles are attached are not taken into account in the analysis of the package but do cause a greater environmental impact.

Comparison with circularity indicators from existing assessment models shows that this method falls short in terms of project-dependent factors such as the drawing up of material passports and the management of the project site. It is difficult to come up with certain values without having a specific project in mind.

Drawing the best scoring packages leads to some observations. For example, the replacement of a single façade panel is not always possible but depends on the fixing method. However, this is already taken into

account when drawing up the circularity scale per package. The use of double layered insulation also has a positive influence on the durability of a construction. As mentioned earlier, battens play an important role in the dismantlable fixing of façade finishes.

Next, principles such as layering and independence are taken as a starting point in the development of construction details of a circular foundation start and roof edge. In both, mineral wool and demountable façade bricks are used. The choice of sustainable materials with a circular character is the simplest step in the development of the new building detail. The use of adhesive joints to guarantee complete air and water tightness seems rather unavoidable. The biggest obstacle to complete disassembly without damage remains the use of foils and sealants.

Finally, creative use is made of common principles in the construction industry. In a traditional design, the insulation is the supporting structure for the façade finish. A first innovative way of thinking leads to the use of scaffolding material as a self-bearing supporting structure to attach the façade finishing. In other words, the roles are reversed. By means of a spring system, the insulation is clamped between the supporting structure and the façade cladding.

A second innovative idea focuses on the design of circular exterior joinery. A component in the form of a watertight bowl is integrated into the supporting structure. In this bowl, the joinery is

placed and screwed onto a wooden support block. For an application on the ground floor or on a floor with a balcony, a proposal is provided by means of a hinged assisting sill support. For a floor without a balcony, an alternative click system is provided as the sills cannot be walked on. The bowl is filled with insulating material.

#### IV. DISCUSSION

During each phase of the design, notions of circularity were kept in mind. General findings led to the use of materials that are not possible for every application. An example is precast concrete that scores well in terms of circularity. In general, prefabricated structures in the construction sector are seen as positive because of the reduction in man-hours. Towards re-use, this material is not always optimal because of tailor-made fabrication.

Furthermore, in circular designs, wet joints are avoided as much as possible, which means that mechanical fixings often take their place. The formation of thermal bridges due to small local pierces should not be underestimated.

A final point of discussion is the cost price. This is often decisive in a project and is higher in a circular design than in a traditional design. The initially more expensive materials or systems should be put into perspective and considered together with their respective lifespan.

#### V. CONCLUSION

The research carried out can be regarded as a reference work on circularity in the construction sector. The given overview of circular building

materials is currently up to date but is in an evolutionary phase. For further research, use can be made of the principles mentioned above, rather than of the circular materials currently available. Because of the topicality of the subject, this publication can be a steppingstone to further research.

## **Duurzaamheidsreflectie**

Deze masterproef kadert in de strijd naar een meer duurzame bouwwereld. De steeds evoluerende bouwsector staat voor de deur van enkele grote veranderingen op vlak van duurzaamheid en circulariteit. De ontwikkeling spitst zich toe op de behoeftes van de huidige generatie zonder deze van de toekomstige generaties in het gedrang te brengen. Gezien de opdringende en elkaar snel opvolgende evoluties moet deze masterproef telkens in perspectief gezet worden. Tussen het moment van opstellen en het moment van raadplegen van deze masterproef gebeurden ongetwijfeld een aantal veranderingen.

De masterproef kan dienen als naslagwerk met algemene informatie over de transitie van de traditionele naar een meer circulaire bouwsector. Enkele kernbegrippen komen aan bod en zijn cruciaal om het globale idee van een duurzame en vooral circulaire economie op eenvoudige wijze te verwerken. Er wordt zoveel mogelijk nagedacht over het gebruik van materialen en structuren die de ecologische impact minimaliseren. Echter is er naast de duurzaamheidstransitie ook een sociale transitie nodig. Dit vraagt vooral een wijziging in het denkpatroon van personen.

Gezien het actuele thema wordt verondersteld met deze masterproef een aanzet te geven tot verder onderzoek. Telkens wordt aangegeven waar verder onderzoek mogelijk is om op deze manier de duurzaamheid van de masterproef te accentueren.

## **Inhoudsopgave**

Woord vooraf met toelating tot bruikleen.....	2
Abstract.....	3
Extended abstract .....	4
Duurzaamheidsreflectie.....	8
Inhoudsopgave .....	9
Leesgids .....	14
Belangrijke begrippen .....	15
Lijst met figuren .....	16
Lijst met tabellen.....	19
Lijst met afkortingen en symbolen .....	20
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Waarom circulariteit? .....</b>	<b>4</b>
2.1 Circulariteit vs. duurzaamheid.....	4
2.2 Levensduur bouwproducten.....	5
2.3 Levenscyclusanalyse .....	6
2.4 Cradle-to-cradle.....	6
<b>3 Circulaire economie .....</b>	<b>8</b>
3.1 Bouwen als een dienst .....	8
3.2 Circulair businessmodel .....	8
3.3 Circulaire economie in de praktijk: voorbeelden .....	9
<b>4 Wat is circulariteit? .....</b>	<b>12</b>
4.1 Het 10R model van Prof. Dr. J. Cramer.....	12
4.2 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen .....	13
4.3 Levensduurbeïnvloedende factoren .....	17
<b>5 Bouwfysische aspecten en brandveiligheid van de gevel.....</b>	<b>19</b>
5.1 Lucht- en waterdichtheid.....	19
5.2 Thermische isolatie.....	19

5.3	Akoestische isolatie .....	19
5.4	Brandveiligheid (WTCB, 2017) .....	20
5.4.1	Brandpreventie .....	20
5.4.2	Compartimentering en brandweerstand .....	21
5.4.3	Brandoverslag via de gevel .....	21
5.4.3.1	Brandoverslag via het oppervlak van de gevelbekleding .....	21
5.4.3.2	Brandoverslag tussen twee compartimenten .....	22
5.4.3.3	Brandoverslag over het gevelsysteem .....	23
5.4.4	Koninklijk Besluit Basisnormen.....	24
<b>6</b>	<b>Case: Etrimo torens, Zellik.....</b>	<b>26</b>
6.1	Opbouw woontorens.....	26
6.2	Lucht- en waterdichtheid .....	27
6.3	Thermische en akoestische isolatie .....	27
6.4	Brandveiligheid .....	29
6.4.1	Analyse van mogelijkheid op brandoverslag tussen twee compartimenten (inwendig en/of uitwendig) .....	29
<b>7</b>	<b>Analyse van bestaande gevelsystemen .....</b>	<b>32</b>
7.1	Steenstrips niet-geventileerd – Vandersanden .....	32
7.2	Steenstrips geventileerd – StoVentec C .....	34
7.3	Buitenpleister geventileerd – StoVentec R .....	35
7.4	Prefab pleisterelementen – StoEcoshapes .....	37
7.5	Parementmetselwerk met geïsoleerde luchtsponw .....	38
7.6	Buitenpleister – Saint Gobain .....	39
7.7	Algemene bevindingen bestaande gevelsystemen .....	40
7.7.1	Snelheid en eenvoud .....	40
7.7.2	Omkeerbaarheid, hergebruik, demonteerbaarheid.....	40
7.7.3	Gelaagdheid.....	41
<b>8</b>	<b>Circulariteit op materiaalniveau .....</b>	<b>42</b>
8.1	Draagstructuur .....	42
8.1.1	Orbixblokken - Carbstone Innovation .....	42
8.1.2	Masterbloc – Betonagglomeraten Gubbels .....	43
8.1.3	Verbindingssysteem betonelementen - Peikko.....	43
8.1.4	Modulair houten bouwsysteem – Steko.....	44

8.1.5	Houtskeletbouw – WOODinc .....	44
8.2	Isolatiematerialen .....	45
8.2.1	Rotswolisolatie – Rockwool.....	45
8.2.2	Glaswolisolatie – ISOVER .....	45
8.2.3	Glaswolisolatie – Knauf.....	46
8.2.4	Cellenglas – Foamglas .....	46
8.2.5	Isolatiemateriaal op basis van gebruikte jeans – Métisse .....	46
8.2.6	Isolatiemateriaal op basis van cellulose – EverUse.....	47
8.2.7	Grasisolatie – GramiTherm.....	47
8.3	Gevelafwerking .....	47
8.3.1	Facadeclick.....	47
8.3.2	Clickbrick.....	48
8.3.3	Gevelsteen Urbrick .....	49
8.3.4	Gevelsteen Corium – Wienerberger .....	49
8.3.5	LeeBrick.....	50
8.3.6	Houten klikbekleding – Carpentier.....	51
<b>9</b>	<b>Analyse op materiaalniveau.....</b>	<b>52</b>
9.1	Beschrijving van de methode voor het bepalen van een circulaire waarde voor materialen .....	52
9.1.1	Niet-gerecycleerde inhoud (%).....	53
9.1.2	Stort (%).....	53
9.1.3	Verbranding (%).....	53
9.1.4	Niet recycleerbaar (%) .....	53
9.1.5	Beschadigingspotentieel van het (de)montageproces (-) .....	53
9.1.6	Niet flexibel (-).....	54
9.1.7	Omgekeerde levensduur (-).....	55
9.1.8	Schaduwkost (€) .....	55
9.1.9	Kostprijs .....	57
9.1.9.1	Uitvoering (€ per m <sup>2</sup> ).....	57
9.1.9.2	Materiaal (€ per m <sup>2</sup> ).....	58
9.2	Gegevens van de gebruikte materialen .....	58
9.2.1	Binnenspouwblad .....	58
9.2.2	Isolatie.....	59
9.2.3	Gevelbekleding.....	60
9.3	Algemene bevindingen op materiaalniveau .....	63
9.3.1	Harde vs. zachte isolatie.....	63
9.3.2	Kostprijs doorslaggevend.....	63

9.3.3	Prefabbeton.....	64
9.4	Duurzame vs. circulaire materialen .....	64
9.5	Beperkingen bij het meten van de circulariteit.....	65
<b>10</b>	<b>Circulariteit op elementniveau .....</b>	<b>67</b>
10.1	Fundamentele lagen.....	67
10.2	Demonteerbaarheid: typeverbindingen en toegankelijkheid .....	68
10.3	Optimale renovatie-strategie.....	70
10.4	Evoluerende normen.....	70
10.5	Voorbeeld: JuuNoo wand .....	71
<b>11</b>	<b>Analyse op elementniveau.....</b>	<b>73</b>
11.1	Beschrijving van de methode voor het bepalen van een circulaire waarde voor gevelpakketten.....	73
11.2	Circulariteitsschaal .....	73
11.3	Algemene bevindingen op pakketniveau .....	76
11.3.1	Demontabele isolatie vs. demontabele gevelbekleding .....	76
11.3.2	Slechtste materialen zijn niet slechtste pakket .....	77
11.3.3	Isolatie vertegenwoordigt grootste aandeel .....	78
11.4	Vergelijking met bestaande beoordelingsmodellen .....	78
11.4.1	Circulariteitsindicatoren – Alba Concepts.....	79
11.4.2	Circular Footprint CF – Nationaal Duurzaamheid Instituut .....	80
11.4.3	Circulariteitsmeters op projectbasis .....	81
11.4.3.1	GRO – Het Facilitair Bedrijf .....	81
11.4.3.2	Label Circulair Gebouw – WTCB en VCB .....	82
11.4.3.3	Reversible Building Design Protocol – Elma Durmisevic .....	82
11.4.3.4	C-CalC – Cenergie.....	83
<b>12</b>	<b>Circulaire gevelsystemen .....</b>	<b>85</b>
12.1	Gevelsysteem 1: Prefabbeton – Glaswol – Keramische tegel .....	85
12.1.1	Vaststelling 1: Blinde vs. zichtbare bevestiging .....	89
12.1.2	Vaststelling 2: Mogelijkheid tot individuele demontage.....	90
12.2	Gevelsysteem 2: Kalkzandsteen – Steenwol – Clickbrick .....	91
12.2.1	Vaststelling 3: Gebruik van tweelaagse isolatie.....	94
12.3	Gevelsysteem 3: Kalkzandsteen – EPS – Zink staande naad .....	94
12.3.1	Vaststelling 4: Gelijkaardige bevestigingssystemen .....	98

12.3.2	Vaststelling 5: Zelfde materiaal in verschillende vormen .....	99
12.3.3	Vaststelling 6: Gebruik van ondersteunde constructies .....	99
12.4	Mogelijkheid tot toepassen in renovatie .....	99
12.5	Mogelijkheid tot uitbreiding van het isolatiepakket .....	102
<b>13</b>	<b>Circulaire bouwknopen.....</b>	<b>104</b>
13.1	Funderingsaanzet.....	104
13.1.1	Standaard funderingsaanzet met isolerend cellenglas .....	105
13.1.2	Herwerkte funderingsaanzet .....	105
13.2	Aansluiting dakrand.....	109
13.2.1	Standaard dakrand met opstand in cellenbeton .....	109
13.2.2	Herwerkte dakrand met opstand in kalkzandsteen en isolatie .....	111
13.3	Algemene bevindingen op bouwknopenniveau .....	118
13.3.1	Folies en kitten .....	118
13.3.2	Mechanische bevestigingen .....	118
13.3.3	Binnenpleisterwerk.....	118
13.3.4	Circulaire gevelbekleding en het nut van een luchtsponw .....	119
<b>14</b>	<b>Innovatieve denkpistes – aanzet tot verder onderzoek .....</b>	<b>120</b>
14.1	Bevestiging van isolatiemateriaal .....	120
14.1.1	Vermijden van perforatie .....	123
14.1.2	Reduceren van het aantal manuren.....	123
14.1.3	Integratie van nutsleidingen.....	124
14.1.4	Grotere materiaalimpact?.....	124
14.1.5	Fassada Systems .....	125
14.2	Circulair buitenschrijnwerk .....	125
14.2.1	Fase 1: Scheiden van dragende structuur en schrijnwerk .....	126
14.2.2	Fase 2: Toepassing op verdieping zonder balkon .....	129
14.2.3	Fase 3: Integratie van het schrijnwerk in de kom.....	130
14.2.4	Fase 4: Integratie van de kom in de structuur .....	132
	<b>Referentielijst .....</b>	<b>136</b>
	<b>Bijlage A.....</b>	<b>140</b>



## Leesgids

Deze leesgids geeft een kort overzicht welke onderwerpen en/of vragen per hoofdstuk aan bod komen. Het helpt de lezer doelgericht zoeken in het document. Lezers met geringe voorkennis over het onderwerp worden aangeraden de eerste vijf hoofdstukken door te nemen. Hierin wordt algemene info aangereikt die interessant is voor het vervolg van het onderzoek. Personen met enige voorkennis kunnen deze masterproef lezen vanaf hoofdstuk 6.

### **H1:** Inleiding

Samen met deze leesgids kan dit hoofdstuk aanzien worden als wegwijzer in de masterproef.

### **H2:** Waarom circulariteit?

Waarom is een circulaire bouwstrategie nodig?

### **H3:** Circulaire economie

Wat is een circulaire economie en hoe worden businessmodellen hieraan geadapteerd? Hoe spelen overheden hierop in?

### **H4:** Wat is circulariteit?

Wat wordt verstaan onder circulariteit in de bouwwereld?

### **H5:** Bouwfysische aspecten en brandveiligheid van de gevel

Welke eisen worden op de dag van vandaag gesteld op vlak van bouwfysica en brandveiligheid aan de gevel van een gebouw?

### **H6:** Case: Etrimo torens, Zellik

Hoe werden de woontorens in Zellik opgebouwd en aan welke eisen voldoen ze? Hierin wordt de terugkoppeling gemaakt naar H5 waarin de eisen werden opgesomd.

### **H7:** Analyse van bestaande gevelsystemen

Waar schieten hedendaagse gevelsystemen te kort om te kunnen spreken van circulaire gevelpakketten?

Wat zijn de pijnpunten?

### **H8:** Circulariteit op materiaalniveau

Welke circulaire bouwmaterialen zijn vandaag de dag beschikbaar op de markt?

### **H9:** Analyse op materiaalniveau

Hoe scoren de hedendaagse bouwmaterialen op vlak van circulariteit? Welk bouwproduct is tegelijk milieuvriendelijk en leent zich er het best toe om circulair te worden ingezet?

#### **H10:** Circulariteit op elementniveau

Wat als we deze bouwmaterialen willen toepassen op elementniveau? Er wordt extra aandacht besteed aan de verbinding tussen de lagen.

#### **H11:** Analyse op elementniveau

Hoe scoren de hedendaagse gevelsystemen op vlak van circulariteit?

#### **H12:** Circulaire gevelsystemen

Een aantal in H11 geanalyseerde circulaire gevelsystemen komen aan bod en worden visueel voorgesteld.

#### **H13:** Circulaire bouwknopen

Hoe worden verschillende bouwknopen opgebouwd en hoe circulair zijn ze uiteindelijk?

#### **H14:** Innovatieve denkpistes – aanzet tot verder onderzoek

Hoe kan creatief omgesprongen worden met de hedendaagse principes in de bouwsector op vlak van circulariteit?

### **Belangrijke begrippen**

Hieronder worden enkele cruciale begrippen toegelicht. Hiernaar kan steeds teruggegrepen worden tijdens het lezen van de masterproef om elke verwarring te vermijden.

- Materiaal vs. element

Met een materiaal wordt één enkele component van een gevel bedoeld. Dit kan gaan over een dragende structuur, een isolatielaag of een gevelafwerking. Analyse van een gevelafwerking gebeurt op materiaalniveau, maar houdt ook rekening met de nodige extra materialen ter bevestiging. Samenstellen van verschillende materialen leidt tot het ontstaan van een gevelement (bv. gevelsteen + rotswolpaneel + kalkzandsteen). Als synoniem voor gevelement wordt vaak ook gevelpakket of gevelsysteem gebruikt.

## Lijst met figuren

Figuur 1: 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen (OVAM, 2016) .....	14
Figuur 2: Brandoverslag via het oppervlak van de gevelbekleding (WT CB, 2017) .....	22
Figuur 3: Brandoverslag tussen twee compartimenten (WT CB, 2017) .....	23
Figuur 4: Brandoverslag over het gevelsysteem (WT CB, 2017) .....	23
Figuur 5: Definitie ontwikkelde lengte verticaal: $a+b+c+d \geq 1m$ (analoog horizontaal)(WT CB, 2017)	25
Figuur 6: Gevelpanelen Breughelpark Residentie II.....	26
Figuur 7: Opbouw gevelpakket Etrimo .....	28
Figuur 8: Aansluiting gevelschrijnwerk (Solar Decathlon, 2015).....	30
Figuur 9: Minimale ontwikkelde lengte Etrimo toren.....	31
Figuur 10: Vandersanden E-board + strips (Vandersanden, z.d.) .....	33
Figuur 11: StoVentec C (Sto, 2015) .....	34
Figuur 12: Sto-onderconstructie (Sto, 2015) .....	35
Figuur 13: StoVentec R (Sto, 2015) .....	36
Figuur 14: Sto Ecoshapes (Sto, 2016) .....	37
Figuur 15: Parement met geïsoleerde luchtsponw (BBA, 2014).....	38
Figuur 16: Verwijderbare gipspleister (Weber, 2017) .....	39
Figuur 17: Orbixblokken (Orbix, 2018) .....	42
Figuur 18: Verbinding kolom – fundering (Peikko, 2020) .....	43
Figuur 19: Ingestorte kolomschoenen en ankerbouten (Peikko,2020) .....	43
Figuur 20: Modulair houten bouwsysteem (Steko,2015).....	44
Figuur 21: Houtskeletbouw met connectoren (WOODinc, 2018).....	45
Figuur 22: Graswolisolatie (GramiTherm, 2019) .....	47
Figuur 23: Facadeclick (Facadeclick, 2019).....	48
Figuur 24: Clickbrick (Clickbrick, 2019) .....	49
Figuur 25: Corium gevelsysteem (Wienerberger, 2020).....	50
Figuur 26: Verticale snede Corium (Wienerberger, 2020) .....	50
Figuur 27: LeeBrick (LeeBrick, 2015) .....	50
Figuur 28: Houten klikbekleding (Carpentier, 2020).....	51
Figuur 29: Milieuclassificatie (NIBE, 2020) .....	57
Figuur 30: Zes functionele lagen volgens Brand (Brand, 1994) .....	67
Figuur 31: JuuNoo interieurwand (JuuNoo, 2019) .....	71
Figuur 32: Bestaande circulariteitsmeters (Archipelago, 2020).....	78
Figuur 33: Niveaus van bestaande circulariteitsmeters (Archipelago, 2020).....	78

Figuur 34: Circulariteitstool C-CalC .....	84
Figuur 35: Algemeen gehanteerde legende .....	85
Figuur 36: Bevestiging keramische holle tegel met behulp van klemmen (Moeding, 2012) .....	86
Figuur 37: Verticale snede gevelsysteem 1 .....	87
Figuur 38: Horizontale snede gevelsysteem 1 .....	88
Figuur 39: Verankering tegel met pinnen (Halfen, 2012).....	91
Figuur 40: Verticale snede gevelsysteem 2 – Schaal 1/10.....	92
Figuur 41: Horizontale snede gevelsysteem 2 – Schaal 1/10.....	93
Figuur 42: Verticale snede gevelsysteem 3 .....	96
Figuur 43: Horizontale snede gevelsysteem 3 .....	97
Figuur 44: Kliksysteem zink (FinishProfiles, 2019).....	99
Figuur 45: Renovatie Etrimo .....	101
Figuur 46: Kleurenschaal circulariteitsanalyse .....	104
Figuur 47: Standaard funderingsaanzet met isolerend cellenglas – Schaal 1/10.....	105
Figuur 48: Herwerkte funderingsaanzet – Schaal 1/10.....	106
Figuur 49: Circulariteitsanalyse funderingsaanzet – Schaal 1/10 .....	108
Figuur 50: Standaard dakrand met opstand in cellenbeton – Schaal 1/10.....	109
Figuur 51: U-waarde origineel dak.....	110
Figuur 52: Herwerkte dakrand met opstand in cellenbeton – Schaal 1/10.....	112
Figuur 53: Inductie lasapparaat (Rhinobond,2016) .....	114
Figuur 54: Koellichaam (Rhinobond,2016).....	114
Figuur 55: Dakrandprofiel met geklemde folie- Schaal 1/2.....	116
Figuur 56: Circulariteitsanalyse dakrand – Schaal 1/10.....	117
Figuur 57: Horizontale snede veersysteem .....	121
Figuur 58: Verticale snede veersysteem .....	121
Figuur 59: Illustratie verbindingstukken (Layher, 2019) .....	122
Figuur 60: Verduidelijking verbindingstukken .....	122
Figuur 61: Integratie nutsleidingen.....	124
Figuur 62: Circulair buitenschrijnwerk 1 <sup>e</sup> fase .....	127
Figuur 63: Circulair buitenschrijnwerk 2e fase .....	130
Figuur 64: Circulair buitenschrijnwerk 3 <sup>e</sup> fase – onderzijde.....	131
Figuur 65: Circulair buitenschrijnwerk 3 <sup>e</sup> fase - Bovenzijde.....	132
Figuur 66: Circulair buitenschrijnwerk 4 <sup>e</sup> fase - onderzijde .....	133
Figuur 67: Circulair buitenschrijnwerk 4e fase - bovenzijde.....	134

Figuur 68: Circulair buitenschrijnwerk 4<sup>e</sup> fase - alternatieve dorpel ..... 135

## Lijst met tabellen

Tabel 1: U-waarde Etrimogebouw .....	28
Tabel 2: Scores van het beschadigingspotentieel.....	54
Tabel 3: Scores van flexibiliteit.....	54
Tabel 4: Schaduwkost EPS-isolatie.....	56
Tabel 5: Gegevens binnenspouwbladen .....	59
Tabel 6: Gegevens isolatie .....	59
Tabel 7: Gegevens gevelbekleding.....	60
Tabel 8: Analyse circulariteit op materiaalniveau .....	61
Tabel 9: Analyse duurzaamheid materiaalniveau .....	62
Tabel 10: Kostprijs per levensjaar - gevelbekleding.....	64
Tabel 11: Scores van de typeverbindingen .....	68
Tabel 12: Scores van de toegankelijkheid van de verbinding .....	69
Tabel 13: Voorbeeld demonteerbaarheid.....	70
Tabel 14: Vergelijking JuuNoo, hout & metal stud (JuuNoo, 2019) .....	72
Tabel 15: Circulariteitsschaal .....	74
Tabel 16: Analyse circulariteit op elementniveau.....	75
Tabel 17: Demonteerbaarheid gevelsysteem A .....	76
Tabel 18: Demonteerbaarheid gevelsysteem C.....	76
Tabel 19: Circular Footprint isolatiematerialen .....	80
Tabel 20: U-waarde gevelsysteem 1 .....	86
Tabel 21: Beschadigingspotentieel gevelsysteem 1 .....	89
Tabel 22: Demonteerbaarheid gevelsysteem 1 .....	89
Tabel 23: U-waarde gevelsysteem 2.....	92
Tabel 24: Beschadigingspotentieel gevelsysteem 2 .....	93
Tabel 25: Demonteerbaarheid gevelsysteem 2 .....	94
Tabel 26: U-waarde gevelsysteem 3.....	95
Tabel 27: Beschadigingspotentieel gevelsysteem 3 .....	97
Tabel 28: Demonteerbaarheid gevelsysteem 3 .....	98
Tabel 29: Verbeterde U-waarde Etrimo gebouw .....	102
Tabel 30: Demonteerbaarheid standaardpakket dakrand .....	111
Tabel 31: U-waarde herwerkt dak .....	113
Tabel 32: Drukvaste isolatiekorrels (Ecomat, 2018).....	129

## Lijst met afkortingen en symbolen

BCI	Building Circularity Index
CF	Circular Footprint
CPG	Circulariteitsprestatie van Gebouwen
DBFM	Design, Build, Finance, Maintain
EPB	Energieprestatie en Binnenklimaat
EPD	Environmental Product Declaration
EPS	Geëxpandeerd Polystyreen
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
FCRBE	Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe
KB	Koninklijk Besluit
LCA	Levenscyclusanalyse
LCC	Life Cycle Cost
MCI	Material Circularity Index
NIBE	Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
PCI	Product Circularity Index
PIR	Polyisocyanuraat
PUR	Polyurethaan
RVS	Roestvrij staal
SCI	System Circularity Index
VCB	Vlaamse Confederatie Bouw
WTCB	Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
XPS	Geëxtrudeerd polystyreen
$\lambda$ (W/mK)	Warmtegeleidingscoëfficiënt
R (m <sup>2</sup> K/W)	Warmteweerstandcoëfficiënt
U (W/m <sup>2</sup> K)	Warmtedoorgangcoëfficiënt

## 1 Inleiding

Deze inleiding maakt, samen met de hierboven opgestelde leesgids, de lezer wegwijs in deze masterproef. Een summiere en chronologische beschrijving van de inhoud van het document wordt hier neergeschreven. De masterproef bestaat globaal gezien uit twee delen. Een eerste deel, uitgestrekt over de eerste vijf hoofdstukken, geeft algemene informatie over duurzaamheid, circulariteit en het gebruik van ecologisch verantwoorde bouwmaterialen. Daarna volgen argumenten waarom deze materialen niet voldoen aan bepaalde toekomstperspectieven. Dit vormt de overgang naar circulaire bouwmaterialen met bijhorend circulair verdienmodel. In het tweede deel wordt vooreerst een analyse gemaakt van bestaande gevelsystemen. Deze analyse leidt tot het blootleggen van een aantal probleempunten. Vervolgens komen enkele voorstellen aan bod over hoe de circulaire bouwsector kan worden uitgebreid of verbeterd.

Hoofdstuk 2 beschrijft de noodzakelijkheid van de transitie naar een circulaire bouwsector. Het duurzaam karakter die nu vaak aan bouwmaterialen wordt meegegeven blijkt niet voldoende voor een realistisch toekomstperspectief. Opduikende klimaatproblemen worden mede veroorzaakt door de grote fractie bouwafval, een downgrade van materialen die vaak niet ten einde levensduur zijn. Het moet de bedoeling zijn materialen te gebruiken in een toepassing waar ze over hun volledige levensduur kunnen dienen. Groot pluspunt daarenboven is het gebruik van materialen met beperkte milieu-impact. Levenscyclusanalyses geven een beeld over de milieu-impact van een materiaal gedurende hun levensduur. Levenscycluskostenanalyses zetten deze om in een bepaalde kostprijs, milieukost genoemd. Beperking op de vandaag uitgevoerde cradle-to-grave-analyses is vaak het beperkte frame dat wordt meegenomen. Circulariteit breidt deze scope uit en beoogt cradle-to-cradle-analyses uit te voeren. Deze nemen ook de eindelevensduurfase in rekening en streven naar hergebruik van een materiaal in een toepassing waarvoor ze oorspronkelijk ontworpen werden, zonder waardevermindering dus.

Dit hergebruik van materialen zorgt voor een veranderende economie. Hoofdstuk 3 beschrijft hoe businessmodellen worden aangepast. Producten worden steeds meer als een dienst aangeboden. Enkele voorbeelden in hoofdstuk 3 verduidelijken de beschreven aanpassingen.

Hoofdstuk 4 gaat dieper in op circulariteit in de bouwwereld. Het 10R model van Cramer en de 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen van OVAM dienen als leidraad voor al wat volgt in deze masterproef. Samen met levensduurbeïnvloedende factoren vormen ze de basis voor de analyse van de circulariteit op materiaalniveau. Alle verder beschreven bouwmaterialen worden afgetoetst aan deze basisprincipes in verband met circulariteit.

Vervolgens wordt het onderwerp van deze masterproef vernauwd tot de gevel van een gebouw. Specifiek worden in hoofdstuk 5 enkele eisen gesteld waaraan een gevel op verschillende vlakken moet



voldoen om een aangenaam en veilig binnenklimaat te garanderen. Deze checklist van eigenschappen wordt afgetoetst door middel van een case: de Etrimo woontorens in Zellik. Er wordt geanalyseerd waar het uitgevoerde systeem in Zellik voldoet aan de vooropgestelde richtlijnen, dan wel pijnpunten bezit. Deze worden meegenomen in verder onderzoek.

Naast deze case worden ook andere bestaande gevelsystemen geanalyseerd. In hoofdstuk 7 wordt een overzicht opgesteld van vaak toegepaste gevelsystemen in zowel renovaties als nieuwbouwprojecten. Deze systemen worden gekoppeld aan de eerder beschreven 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen waaruit opnieuw positieve en negatieve eigenschappen worden meegenomen naar verder onderzoek.

Hoofdstuk 8 spitst zich toe op bouwmaterialen en geeft een overzicht van reeds aanwezige circulaire producten op de markt. Het spreekt voor zich dat dit aspect van de bouwsector snel verandert en dit hoofdstuk bijgevolg ook snel achterhaald zal zijn. Het dient hier als naslagwerk en basis voor verder onderzoek. Opnieuw wordt de terugkoppeling gemaakt naar de beschreven basisrichtlijnen uit hoofdstuk 4. Zo wordt een beeld geschept hoe deze materialen werden aangepast om een meer circulair karakter te bekomen.

Gebaseerd op alle voorheen beschreven plus- en minpunten worden in hoofdstuk 9 enkele onderzoekscriteria (stort- en verbrandingspercentage, levensduur, schaduwkost...) vooropgesteld waarmee traditionele bouwmaterialen geanalyseerd worden. Met deze criteria wordt een tabel opgesteld waarin een totaalscore wordt berekend voor elk materiaal. De score zet elk materiaal uit ten opzichte van de andere soortgelijke materialen (binnenspouwblad, isolatie of gevelafwerking) en geeft op deze manier weer hoe circulariteitsonvriendelijk een bepaald materiaal is.

Eenzelfde analyse wordt uitgevoerd voor gevelsystemen in hoofdstuk 10 en 11. Hieronder wordt een samensmelting verstaan van verschillende materialen tot één gevelpakket. Bijkomende pakketspecifieke onderzoekscriteria (demonteerbaarheid, beschadigingspotentieel van de gevelbekleding) worden aan de tabel toegevoegd en opnieuw wordt een totaalscore berekend. Deze wijze van onderzoek wordt afgetoetst aan bestaande tools ter berekening van een circulariteitsscore.

Hoofdstuk 12 geeft een visuele voorstelling van enkele goed scorende pakketten. Hierin wordt gebruik gemaakt van de op de markt beschikbare materialen uit hoofdstuk 8. Er volgt een terugkoppeling naar hoe het Etrimo gebouw met de opgedane kennis aangepakt of gerenoveerd kan worden.

Specifiek worden de vermelde circulaire gevelpakketten toegepast in een tweetal bouwknopen in hoofdstuk 13. Er wordt zoveel mogelijk getracht deze bouwknopen op circulaire wijze te ontwerpen. Toch wordt op problemen gebotst waarvoor voorlopig geen oplossing werd gevonden.

Tenslotte beschrijft hoofdstuk 14 innovatieve pistes die bewandeld werden tijdens het onderzoek. Deze systemen pogen de opgemerkte pijnpunten van de bestaande systemen weg te werken op innovatieve wijze. Dit hoofdstuk, waarin de evolutie van het denkproces rond de systemen beschreven wordt, kan een aanleiding zijn tot verder onderzoek.

## 2 Waarom circulariteit?

“There is no planet B.” Onderwerpen die betrekking hebben op het klimaat, het milieu, duurzaamheid... zijn meer dan ooit aanwezig in de maatschappij. De opwarming van de aarde en de klimaatverandering zijn voor ieder gekende begrippen. De klimaatverandering wordt gedefinieerd als de wijziging van het globale klimaat ten gevolge van de verhoogde uitstoot aan broeikasgassen. Een belangrijke oorzaak van deze verhoogde uitstoot aan broeikasgassen is de massale verbranding van fossiele brandstoffen (industrie, transportsector ...) en grootschalige ontbossing. (KNMI, 2016)

Bouw- en woonactiviteiten spelen hierbij een belangrijke rol. Productie en transport van bouwproducten vergen heel wat grondstoffen. Enerzijds is de bouwsector verantwoordelijk voor 50% van het mondiale grondstoffenverbruik, anderzijds is ze verantwoordelijk voor 30 à 40% van het afval. (Tracimat, 2020). Het is noodzakelijk een kritische ingesteldheid te ontwikkelen om na te denken over een andere manier van (ver)bouwen.

### 2.1 Circulariteit vs. duurzaamheid

De wereldbevolking blijft groeien en de welvaart neemt toe. Dit betekent dat de vraag naar bouwproducten steeds groter wordt. Dit resulteert automatisch in het uitputten van 's werelds beschikbare energiebronnen. Duurzaam bouwen, wat zich toespitst op het gebruik van milieuvriendelijke en langdurig bruikbare materialen, volstaat bijgevolg niet meer in haar visie. Te veel niet-hernieuwbare vormen van energie raken uitgeput. Duurzaamheid is een breed begrip dat betrekking heeft op de mensen, de planeet en de economie waarbij het circulair inzetten van materialen nog onbestaand is. Zowel tijdens het bouwen, verbouwen als onderhouden is een doordacht gebruik van materialen een belangrijk aspect. Echter, de volgende stap waarin materialen een nieuw leven krijgen ontbreekt.

Circulair bouwen daarentegen is een andere manier van denken, een andere manier van omgaan met de ruimte en het materiaal. Het belang van de milieukost en de milieu-impact van een gebouw stijgt, waardoor meer aandacht gevestigd wordt op het gebruik van afbreekbare, demonteerbare en recycleerbare materialen. Materialen worden zoveel mogelijk hergebruikt en bouwafval wordt tot een minimum herleid. Bijgevolg is een verschuiving van duurzaam naar circulair bouwen tegenwoordig cruciaal. Circulariteit is met andere woorden een strategie om duurzaamheid te bereiken waarbij voldaan wordt aan alle hedendaagse belangen zonder die van toekomstige generaties in het gedrang te brengen.

Bouwproducten zijn circulair als ze demonteerbaar zijn en wanneer dat vervolgens leidt tot hergebruik en/of recyclage. Heel wat factoren beïnvloeden echter de circulariteit van bouwmaterialen: milieubelasting, levensduurkosten, onderhoudscycli, brandveiligheid, transporteerbaarheid...

Efficiënter en milieubewuster materiaalgebruik is noodzakelijk om duurzaamheid blijvend te optimaliseren. Materialen slim afbreken, stockeren, vervoeren, recupereren en opnieuw assembleren zonder afval en zonder verlies aan kwaliteit staat centraal in een circulaire bouweconomie. Afval is een downgrade van materialen die vaak niet ten einde levenscyclus zijn en moet bijgevolg tot een minimum worden herleid en zelfs worden vermeden. Door het sluiten van materiaalkringlopen wordt de nood aan nieuwe materiaalbronnen vermeden en wordt een meer circulaire economie tot stand gebracht. Reststromen worden aan elkaar gekoppeld, waardoor de output van het ene de input van het andere wordt. Het doel van deze circulariteit is het verlagen van de milieu-impact, het verhogen van de bouwefficiëntie en het verlengen van de levensduur van materialen.

## **2.2 Levensduur bouwproducten**

Het is cruciaal om de levensduur van bouwproducten te kennen om een onderhoudsplanung, een kostencalculatie of een levenscyclusanalyse op te maken. De levensduurkosten van een gebouw (Life Cycle Costs, LCC) zijn de totale kosten van ontwerp, bouw, exploitatie en sloop. Dit totaal aan onderhouds- en gebruikskosten geeft een bijkomende dimensie aan de initiële kost. In bepaalde contracten wordt het onderhoudsaspect meegenomen. Zowel op technisch, functioneel als economisch vlak speelt de levensduur van bouwmaterialen een belangrijke rol. Elk van deze domeinen bezit een andere definitie en een andere kijk op de levensduur. Contradicties tussen deze drie domeinen moeten zoveel mogelijk vermeden worden om een duurzaam gebouw met een algemeen aanvaarde levensduur te creëren.

Als eerste is de technische levensduur de periode waarin een gebouw aan de technische en bouwfysische prestaties voldoet. Een gevelbekleding met buitenbepleistering die begint af te brokkelen is op het einde van de technische levensduur gekomen aangezien de vallende brokstukken de veiligheid van de voorbijgangers in het gedrang brengen. De technische eis van de goede onderlinge aanhechting is niet meer van toepassing.

Als tweede strekt het functionele gebied zich uit over de periode waarin het gebouw voldoet aan de wensen van de gebruiker. Door de steeds veranderende eisen van de maatschappij en de evoluerende doelstellingen wordt de functionele levensduur steeds korter. Dezelfde buitenbepleistering zoals hierboven is op het einde van het functioneel gebied wanneer de gebruiker beslist deze te vervangen, bijvoorbeeld omwille van esthetische redenen.

Het economische gebied gaat tenslotte over de periode waarin de baten van het gebouw groter zijn dan de kosten. Het wordt vaker bekeken als een evenwicht tussen kost en inkomen. Een voorbeeld is een woning met slechte isolatie die hoge energiekosten vraagt. Soms is het voordeliger om de woning te

slopen dan om alle renovatiekosten te doen om het gebouw energiezuiniger en eigentijdser te maken. Op dat moment wordt de economische levensduur overschreden.

### **2.3 Levenscyclusanalyse**

Bij het gebruik van levenscyclusanalyses, een tool om inzicht te verwerven in de milieu-impact van bouwmaterialen, is de voorgenoemde levensduur een belangrijke parameter. De literatuur is rijk aan naslagwerken omtrent gevelrenovatiestrategieën en hun bijhorende milieu-impact, maar toch wordt op de dag van vandaag weinig rekening gehouden met circulaire oplossingen. Echter, vaak worden deze analyses uitgevoerd voor een min of meer gestandaardiseerde levensduur van een gebouw van 60 jaar.

Het analyseren van de milieu-impact van een gebouw valt vaak terug op het bestuderen van de nodige energie tijdens de opbouw- en levensfase van dit gebouw. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen enerzijds de ingebedde en anderzijds de operationele energie. De hoeveelheid operationele energie houdt verband met de nodige energie tijdens de gebruiksfase van het gebouw. Dit beslaat het energieverbruik nodig ter creatie van een aangenaam klimaat binnenin. Het doel van een levenscyclusanalyse is het vinden van een verantwoorde balans tussen enerzijds de operationele en anderzijds de ingebedde energie. Vaak heeft een minimalisering van de operationele energie een vergroting van de ingebedde energie, omwille van de grotere volumes aan materiaal, tot gevolg. (Van Gulck, 2019)

### **2.4 Cradle-to-cradle**

Wanneer tijdens de analyse ook de eindelevensduurenergie in rekening gebracht wordt, wordt ook de energie verband houdende met de verwerking van de bouwmaterialen na hun levensfase meegerekend. Dergelijke levenscyclusanalyse wordt een cradle-to-cradle-analyse genoemd. Het gaat over hoe je een product van de wieg tot zijn “nieuwe wieg” kunt gebruiken. De techniek van het circulair bouwen werd in het leven geroepen met als doel deze laatste energiecategorie te minimaliseren. Het demonteerbaar en herbruikbaar ontwerpen van bouwmaterialen zorgt ervoor dat de productie-energie van dergelijke materialen verspreid wordt over meerdere levensjaren en eventueel meerdere gebouwen en/of toepassingen. Toch is de stap naar de circulaire bouwwereld niet snel gemaakt. Er moet telkens gewaakt worden over de bouwfysische performantie van de ontworpen technieken en systemen. Bovendien beslaat de recyclage doorgaans laagwaardige recyclage waarbij de bouwproducten vaak gebruikt worden als laagwaardig afval. Beton- en steenpuin worden bijvoorbeeld vaak gebruikt als toeslag of opvulling in nieuwe projecten in de wegenbouw. Circulariteit viseert deze laagwaardige recyclage en beoogt demonteerbare materialen te hergebruiken in een functie waarvoor ze oorspronkelijk gecreëerd werden. De ambitie is om de eindelevensduurfase van een materiaal zoveel mogelijk uit te stellen en

omwille van een goed gekozen verbindingwijze samenstellende delen een langere gebruikstermijn te geven.

In het opzicht van voorgenoemde cradle-to-cradle-analyse is het doorgaans correct te stellen dat renoveren steeds een minder negatieve milieu-impact heeft dan het volledig slopen en heropbouwen van een woning. Deze stelling staven gebeurt tweeledig. Enerzijds is het nodige energieverbruik te wijten aan de sloopactiviteit en het transporteren van het bouwafval tot de verwerkingscentrale. Anderzijds is de hoeveelheid nieuw materiaal nodig bij de renovatie slechts een fractie van de benodigde materialen bij nieuwbouw. In dit opzicht is de doelstelling van de Vlaamse Regering, omschreven in het Renovatiepact, te verantwoorden op vlak van milieu. De Vlaamse overheid stelt met haar Renovatiepact een doelstelling waarbij tegen 2050 gestreefd wordt naar een gebouwenpark waarin alle woningen en appartementen even energiezuinig zijn als een energetisch performante nieuwbouwwoning. (Vlaanderen, z.d.) Een eerste belangrijke stap in deze renovatieprocedure is het optimaliseren van de gebouwschil.

Globaal komt het erop neer een strategie te ontwikkelen om alle bouwmaterialen te nuttigen zolang hun kwaliteit voldoende blijft om hun bestemmingsfunctie te vervullen. Het streefdoel is een dynamisch systeem waarbij de materialen vervangen kunnen worden zonder dat daarbij een grote hoeveelheid input-energie vereist is. Ook de steeds veranderende normering vereist een dynamisch ontwerp van gebouwen. (Van Gulck, 2019)

Natuurlijk heeft de keuze voor renovatie boven de sloop en heropbouw ook negatieve gevolgen. Zo speelt de vrijheid van indeling, die beduidend lager ligt bij een renovatie, een belangrijke rol. Velen verkiezen deze vrijheid, en dus een nieuwbouwwoning, boven de milieubewustere renovatie. Een tweede niet onbelangrijk aspect is de kostprijs van de werkzaamheden. Doorgaans speelt deze economische factor de grootste rol in de keuze tussen renovatie of nieuwbouw. (Van Gulck, 2019)

### **3 Circulaire economie**

#### **3.1 Bouwen als een dienst**

De intrede van de circulaire denkwijze leidt onder fabrikanten en aannemers tot het aanbieden van ‘products as a service’. Veel van wat vroeger als product werd aangeboden, wordt nu meer en meer als dienst voorzien. Producenten transformeren zichzelf tot dienstverleners. Je betaalt de fabrikant of beheerder in ruil voor een gebouw dat gedurende de hele levenscyclus onderhouden wordt. Afbreken en/of herbouwen wordt dan als deel van het contract aanzien. Gedurende hun hele levenscyclus blijven de bouwmaterialen eigendom van de producent/dienstverlener. De gebruiker ervan wordt aanzien als tijdelijke huurder en betaalt bijgevolg niet voor het product zelf, maar voor het gebruik ervan gedurende enkele jaren.

Bestaande gebouwen worden meer en meer als materiaalbanken aanzien, omdat ze kostbare voorraden van materialen en grondstoffen vormen. Het recupereren van de gebruikte materialen vermindert de nood aan nieuwe grondstoffen. Herbruikbare componenten moeten geïdentificeerd worden vooraleer de afbraak start. Sloopfirma’s, bijvoorbeeld, zullen in de toekomst minder bruut te werken mogen gaan. Het zal eerder over demonteren gaan dan over afbreken. Selectief slopen wordt een belangrijk aspect. Een sloopopvolgingsplan helpt om een overzicht te krijgen van de “afvalstoffen” die vrijkomen. Via dit nieuw businessmodel wordt het creëren van winst losgekoppeld van het verbruik van grondstoffen. Het gaat veeleer over het gebruik van materialen dan over het verbruik. (Van Boeschoten, 2017)

Een circulaire economie heeft dus een dubbele impact: het verminderen van het aanspreken van nieuwe grondstoffen en bijgevolg het verlagen van de uitstoot van broeikasgassen. Hiervoor wordt de werking van bepaalde bedrijven in de bouwsector herdacht en worden businessmodellen grondig aangepast.

#### **3.2 Circulair businessmodel**

Het ontwikkelen van circulaire bouwsystemen is één zaak, het implementeren ervan is nog iets anders. Vooraleer dergelijke systemen de standaard worden, moeten een aantal zaken gerealiseerd worden. De burger moet warm gemaakt worden voor dergelijke projecten. Het behoort gevoelsmatig niet tot de “comfortzone” van de bouwende of renoverende Vlaming waardoor circulaire systemen niet snel ingeburgerd raken. Het is belangrijk dat materialen die recycleerbaar en herbruikbaar zijn, ook effectief gerecycleerd en hergebruikt worden.

Bouwen in Vlaanderen wordt steeds duurder. Met de momenteel op tafel liggende strenge eisen wat betreft minimaal S- en E-peil is de Vlaming genoodzaakt bij een nieuwbouwwoning te kiezen voor extra zonwering, dikkere beglazing en duurdere isolatiematerialen. Ook voor renovaties gelden steeds strengere eisen. De daardoor stijgende bouwkost werkt ontmoedigend. Bouwen of renoveren brengt een

hoge éénmalige investering met zich mee waardoor een groot kapitaal op korte tijd moet worden uitbesteed. Circulaire businessmodellen die producten als dienst aanbieden omzeilen eenmalige grote investeringen en spreiden deze over verschillende jaren en mogelijks zelfs decennia afhankelijk van de levensduur van het materiaal.

Dergelijke businessmodellen doen reeds hun intrede. Philips Lighting rekent een bepaalde som aan in ruil voor licht in een gebouw. De gebruiker betaalt niet meer eenmalig voor de lampen en armaturen, maar vergoedt Philips naargelang licht in het gebouw wordt verbruikt. Ook Mitsubishi hanteert soortgelijke modellen. Dit bedrijf installeert zo duurzaam en zuinig mogelijke liften en voorziet zelf in het onderhoud ervan in ruil voor een vergoeding naargelang deze lift gebruikt wordt. Beide zijn voorbeelden van hoe de piekuitgave afgezwakt wordt naar een periodieke vergoeding afhankelijk van het verbruik. (Grasso, 2018)

Circulaire businessmodellen hebben tal van voordelen. Het zorgt ervoor dat fabrikanten hun producten zo duurzaam mogelijk produceren. Een grotere levensduur zorgt er immers voor dat materialen over een langere termijn dienst kunnen doen. Een bijkomend voordeel is dat de verantwoordelijkheid van het onderhoud van de bouwproducten bij de producent wordt gelegd. De persoon of firma met de meeste knowhow is op die manier ook bevoegd voor het in stand houden van de kwaliteit van de bouwproducten.

Naast de voorgenoemde voordelen kent deze nieuwe vorm van handel drijven ook enkele nadelen. Vooral het wettelijk kader zorgt voor enkele onduidelijkheden. Zo is het niet geheel duidelijk of circulaire bouwproducten roerend of onroerende goederen zijn. Daarnaast heerst ook wat onduidelijkheid over wie verantwoordelijk is voor de veiligheid en verzekering van bijvoorbeeld een gevel as a service.

### **3.3 Circulaire economie in de praktijk: voorbeelden**

Om de impact van een circulaire economie te maximaliseren is het duidelijk dat enkele grote spelers het voortouw moeten nemen vooraleer de markt daadwerkelijk in een stroomversnelling terecht komt. Zowel op Europees als op Vlaams niveau werden enkele middelen vrijgemaakt voor het onderzoek naar de toepassing van circulaire bouweenheden.

Het FCRBE-project, lopend van 2018 tot en met 2022, met een totaalbudget van 4,33 miljoen euro, waarvan 2,6 miljoen Europese subsidies, beoogt het faciliteren van “the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe” en wordt daarin gesteund door het Interreg North-West Europe programma van de Europese Commissie. Doel van dit orgaan is de positie van Noordwest-Europa te versterken als zijnde een economische sleutelfiguur, een aangename regio om te werken en



leven met ambities op vlak van innovatie en duurzaamheid. Gevolg van deze samenwerking is bijvoorbeeld het ontstaan van Opalis. Dit is een platform waarop een aanbod van circulaire, reeds gebruikte materialen tentoongesteld wordt en waarop aannemers en architecten in contact komen met mogelijke verkooppunten. (FCRBE, z.d.; Opalis, z.d.)

Vlaanderen Circulair is een partnerschap van overheden, bedrijven, middenveld en kenniswereld die samen actie ondernemen aangaande het uitrollen van de circulaire economie in Vlaanderen. Met hun Open Call 2019 gaf deze instelling samen met OVAM de kans aan derden om zich in te schrijven aan de hand van een project omtrent circulair bouwen. Een totaal projectfonds van 4,9 miljoen euro wordt daarna verdeeld onder de betreffende projecten die als experimenteel of demonstratieproject dienen op vlak van circulair ondernemen. (Vlaanderen Circulair, 2019)

Ten einde een omkeer te bekomen in de mindset van zowel bouwheer, architect als aannemer zetten de overheden in samenwerking met verschillende actoren in op bewustmaking en aanmoedigen van initiatieven. Stimuleren gebeurt door middel van premies. Naast voorgenoemde bovenlokale projecten worden ook op kleinere schaal subsidies vrijgemaakt. Een voorbeeld hiervan is het Brussels Hoofdstedelijk Gewest dat een “erkenning circulaire economie” voorziet voor bedrijven die het gebruik van niet-hernieuwbare grondstoffen en de productie van afval beperken of vermijden.

In het buitenland wordt reeds gebruik gemaakt van langetermijncontracten, waarbij niet enkel de kennis tijdens het bouwproces overhandigd wordt. Aannemers nemen deel aan DBFM-contracten. Een DBFM-contract is een recent ontwikkelde contractvorm waarbij alle aspecten van een project aan één enkele private onderneming wordt aanbesteed door de overheid. DBFM staat voor Design (ontwerpen), Build (bouwen), Finance (financiering) en Maintain (onderhoud). (Van Gestel et al, 2018) Het onderhoudsaspect integreert een onderhoudsclausule in het contract, waarbij de uitvoerende partij gedurende een langere periode van meestal 20 à 30 jaar verantwoordelijk is voor eventuele fouten en herstellingen die gebeuren. Dit resulteert in een duurzamere en, op lange termijn, meer economisch verantwoorde ontwikkeling van projecten. De aannemer houdt tijdens de uitvoering rekening met de kwaliteit, wat op zijn beurt resulteert in een langere periode zonder schade en bijhorende herstellingen waarvoor hij zelf verantwoordelijk zou zijn.

De overheid fungeert als opdrachtgever en geeft door middel van outputspecificaties aan wat ze als eindresultaat wensen. Outputspecificaties zijn meetbare resultaten die het afgewerkt project moet bevatten. Het is dan aan de private partijen om een voorstel te doen omtrent de vorm, financiering, uitvoering en onderhoud van het project. (Van Gestel, Buyck, Van Garsse & Paquay, 2018)

Het doel van dit soort contracten is om het economische aspect niet te laten overheersen, in tegenstelling tot de klassieke aanbestedingen. In België is de klassieke openbare aanbesteding populair: wie het project het goedkoopst uitvoert, krijgt het project. Deze aanpak leidt vaak tot kwaliteitsverlies.

DBFM-contracten zorgen voor een cultuuromslag, want in tegenstelling tot een klassieke aanbesteding ontvangt de uitvoerende partij een periodieke (per maand, per trimester etc.) beschikbaarheidsvergoeding. Met de inkomsten uit deze vergoedingen dekt de opdrachtgever zijn onderhoudskosten, lost hij zijn financiering af en probeert hij ook winst te maken voor het bedrijf. (Van Gestel et al., 2018) Dit principe van vergoeden houdt in dat de aannemer enkel een volledige vergoeding ontvangt als de vooropgestelde outputspecificaties blijven gelden. Dat wil zeggen dat eventuele schadegevallen (waarbij de schuld bij de aannemer te leggen is) opgelost worden met hun reeds verkregen vergoedingen en dat hun volgende vergoeding kleiner is.

## 4 Wat is circulariteit?

### 4.1 Het 10R model van Prof. Dr. J. Cramer

Wat betekent circulariteit of circulair bouwen nu eigenlijk precies? Wat houdt het allemaal in en worden deze zaken de dag van vandaag al frequent toegepast? Prof. Dr. Jacqueline Cramer ontwikkelde het 10R-model om de verschillende niveaus van circulariteit aan te duiden. Een aandachtigere kijk op dit model toont aan welk niveau meest impact heeft op de circulaire economie. Om de visie en de denkwijze van het circulair bouwen volledig te volgen, moeten de stappen steeds vanaf 1 richting 10 gevolgd worden, niet omgekeerd. Het 10R model is in principe een gedetailleerde versie van de ladder van Lansink die weergeeft op welke manier afval behandeld moet worden. (Spronken, 2019)

#### 1. Refuse

Is het mogelijk om het gebruik van het materiaal uit te stellen? Is de noodzaak aanwezig om dit materiaal te gebruiken? Refuse gaat zodoende over het weigeren en het voorkomen van onnodige gebruiken. Er wordt nagedacht over bepaalde alternatieven en ook hier speelt bouwen als een dienst, besproken in paragraaf 3.1, een rol.

#### 2. Reduce

Lukt het om minder grondstoffen te gebruiken dan oorspronkelijk gepland? Is het mogelijk om snijafval, zaagafval en in het algemeen bouwafval te reduceren? Er wordt nagedacht over een zuinigere omgang met grondstoffen en een efficiëntere productiemethode die minder afval teweegbrengt.

#### 3. Redesign

Kennis en innovatieve ideeën zijn een cruciale bron om te herontwerpen. Niet alleen innovatie op gebied van kennis, maar ook op sociaal vlak. Ontwerpen samenleggen, denkbeelden delen en samenwerken met verschillende partijen zijn minstens even belangrijk. De manier van organiseren wordt vaker herdacht, er wordt met een nieuwe blik gekeken naar de werkgewoontes en productieprocessen. Daaruit vloeit meestal een alternatief ontwerp met het oog op een lange levensduur, modulaire afmetingen, demonteerbare verbindingen, duurzame materialen, hergebruik of recycling. In de ontwerpfase wordt ook meer en meer rekening gehouden met de reparatie- en onderhoudsmogelijkheden.

#### 4. Re-use

Dit gaat over het hergebruik van materialen. Aanpasbaarheid en flexibiliteit zorgen ervoor dat modulair en demonteerbaar bouwen de toekomst wordt. Het hergebruik van materialen gaat van het terug ophalen van paletten waarop het materiaal is toegekomen tot kleine verpakkingen die hergebruikt mogen worden.

#### 5. Repair

De producteneconomie wordt stilaan een diensteconomie. Repareren is één van de diensten die daar deel van uitmaakt. Er worden voorzieningen getroffen om onderhoud makkelijk uit te voeren of elementen makkelijk te vervangen.

#### 6. Refurbish

Refurbish gaat over het opknappen van een product. Door aan het materiaal of in dit geval het gebouw te werken, wordt een extra toegevoegde waarde verwezenlijkt. Het renoveren van gebouwen leidt tot een verlenging van de levensduur.

#### 7. Remanufacture

Nieuwe producten worden gereviseerd uit onderdelen van of volledige oude producten. Restproducten worden ingezet voor de assemblage van nieuwe materialen. In wat volgt wordt de Orbixblok van Carbstone Innovation besproken, wat hier een voorbeeld van is.

#### 8. Repurpose

Repurpose draait om de herbestemming van materialen. Producten worden hergebruikt met een ander doel. Een voorbeeld is een houten bank die gemaakt wordt uit houtafval waar anders niets meer mee zou gebeuren.

#### 9. Recycle

Het recycleren is de voorlaatste R: de verwerking en het hergebruik van het materiaal. Bij de recyclage blijft de oorspronkelijke kwaliteit van materialen behouden. Er bestaat ook zoets als upcycling, wat het verhogen van de kwaliteit betekent en downcycling, wat het verlagen van de oorspronkelijke kwaliteit inhoudt. Een voorbeeld van upcycling is bouwafval als grondstof voor nieuwe bakstenen zoals de WasteBasedBricks. Wanneer beton vermalen wordt tot gebroken puin en dan als fundatie onder wegen gebruikt wordt, wordt over downcycling gesproken.







#### 10. Recover

De laatste stap omvat de energierugwinning uit materialen, recovering materials. Ideeën zoals storten of verbranden zonder energierugwinning horen niet thuis in de circulaire economie. Een goed voorbeeld is te vinden bij de nieuwe appartementen aan de Nieuwe Dokken in Gent. Het warmtenet bij de Nieuwe Dokken produceert zelf warmte aan de hand van hun afvalwater. Via vacuümtoiletten wordt het zwart water ingezameld. Samen met vermalen keukenafval gaat dit naar een vergister die het omzet in biogas. Dit biogas levert warmte en elektriciteit.

## 4.2 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen

Dynamisch of veranderingsgericht bouwen speelt een belangrijke rol in het verlagen van de milieu-impact en het verlengen van de levensduur van gebouwen. Inspelen op aanpasbaarheid, flexibiliteit en

demontage is essentieel voor het sluiten van materiaalkringlopen. OVAM stelde een document met 24 ontwerprichtlijnen op om veranderingsgericht bouwen op materiaal-, element- en wijkniveau vanaf het eerste ontwerp te introduceren. Elk van deze categorieën wordt gerelateerd aan een interface, een subonderdeel of een compositie. In onderstaande Figuur 1 worden 23 ontwerprichtlijnen opgenomen, de 24<sup>e</sup> is ventilatie.


	 interfaces	 sub-onderdelen	 compositie
 materiaal	<p>1.1.1 omkeerbaarheid</p> <p>1.1.2 eenvoud</p> <p>1.1.3 snelheid</p>	<p>1.2.1 duurzaamheid</p> <p>1.2.2 hergebruik</p> <p>1.2.3 compatibiliteit</p>	<p>1.3.1 gelaagdheid</p> <p>1.3.2 onafhankelijkheid</p> <p>1.3.3 prefabricatie</p>
 element	<p>2.1.1 omkeerbaarheid</p>	<p>2.2.1 demonteerbaarheid</p> <p>2.2.2 herbruikbaarheid</p> <p>2.2.3 uitbreidbaarheid</p>	<p>2.3.1 veranderlijke functieverdeling</p>
 wijk	<p>3.1.1 eenvoud</p> <p>3.1.2 evolutie</p>	<p>3.2.1 hergebruik</p> <p>3.2.2 dimensionering</p> <p>3.2.3 demonteerbaarheid</p>	<p>3.3.1 ruimtelijke structuur</p> <p>3.3.2 polyvalente ruimten</p> <p>3.3.3 diversiteit</p> <p>3.3.4 inbreiding functie-wijziging</p>

Figuur 1: 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen (OVAM, 2016)

In wat volgt wordt elk relevant schaalniveau met de bijhorende principes besproken. Telkens wordt een symbool gekoppeld aan de categorie. Deze komen later terug bij de bespreking van bestaande systemen.

- **MATERIAALNIVEAU**

1. Omkeerbaarheid

 Omkeerbare verbindingen is één van de meest cruciale doelstellingen om in het denkbeeld van circulair bouwen terecht te komen. Het gebruik van bouten en schroeven in plaats van lijmen, mortels, lassen en nagels bepaalt de haalbaarheid om componenten te demonteren zonder schade aan te richten. Deze, meestal niet-continue, verbindingen vereisen extra aandacht inzake lucht- en waterdichtheid. Ook is het van belang in te zien dat dit niet enkel droge verbindingen inhoudt. Een zachte kalkmortel bijvoorbeeld is niet herbruikbaar, maar het is wel mogelijk de gevelstenen te demonteren met minimale schade.

## 2. Eenvoud



Eenvoudige, gestandaardiseerde verbindingstechnieken versnellen het bouwproces. Complexe verbindingen vragen gespecialiseerde aannemers met vakkennis, wat tijdens de afbraak van gebouwen voor een vertraging van het bouwproces zorgt. Vaak gaan daarmee oplopende arbeidskosten gepaard. Ook het gebruik van een extra materiaal in een specifieke bouwknoop zorgt voor minder eenvoud. Er wordt een nieuwe afvalstroom gecreëerd waardoor het scheiden van materialen lastiger wordt.

## 3. Snelheid



Door het aantal verbindingen en het aantal lagen te beperken vermindert de montage- en demontagetijd en wordt gewonnen op bouwsnelheid. Toegankelijkheid van de verbindingen speelt hierbij ook een grote rol. Een voorbeeld specifiek voor gevelsystemen zijn kliksystemen omdat daar geen tijd verloren gaat door droogtijd van de mortelvoeg.

## 4. Duurzaamheid



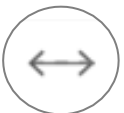
Een duurzame materiaalkeuze wordt gekenmerkt door een lange levensduur en een goede bestandheid tegen slijtage en beschadigingen. Bijkomend krijgen componenten met een lage noodzaak aan onderhoud de voorkeur. Hout is bijvoorbeeld een betere keuze dan keramische tegels omwille van de onuitputbaarheid van de bron.

## 5. Hergebruik



Hergebruik van materialen in een ander gebouw zorgt voor minder bouwafval en vermijdt de ontginning van nieuwe grondstoffen. Het is daarbij niet altijd de bedoeling om dat materiaal te hergebruiken met dezelfde functie. Natuursteen dat als gevelbekleding gebruikt wordt, maar esthetisch bijvoorbeeld niet meer aan de eisen voldoet, kan als plint of bordes hergebruikt worden in een nieuwe toepassing.

## 6. Compatibiliteit



Gestandaardiseerde en compatibele componenten, waar vorm en maat op elkaar afgestemd zijn, leiden tot meer mogelijkheden wanneer een materiaal vervangen moet worden. Gelijkaardige elementen van een andere producent kunnen sneller toegepast worden. Een voorbeeld specifiek voor gevels is het gebruik van regelwerk. Wanneer tijdens een eerste periode vezelcementplaten bevestigd worden, maar deze na een bepaalde tijd niet meer voldoen, is het mogelijk om voor hout of natuursteenplaten te kiezen als alternatief. Het regelwerk is vaak compatibel met verschillende soorten afwerkingen.

## 7. Gelaagdheid volgens levensduur



Lagen met een verschillende functionele en technische levensduur fysisch scheiden van bij het ontwerp resulteert in een efficiënter montage- of demontageproces. Ook onderhoud, herstellingen en vervangingen worden eenvoudiger uitgevoerd. Hierbij is het wel noodzakelijk om de lagen te rangschikken volgens hun levensduur. Een laag met een hoge vervangfrequentie mag in geen geval

ingesloten worden door een materiaal met een lage vervangfrequentie. Hierbij wordt vermeden dat de hele opbouw aangepast hoeft te worden bij een kleine ingreep.



#### 8. Onafhankelijkheid

Het verhogen van de onafhankelijkheid heeft tot doel verwijdering, vervanging of herstelling van componenten te vereenvoudigen zonder andere materialen aan te tasten. Het gaat over de onderlinge verwijdering van materialen zonder de naburige materialen te moeten weghalen met kans op beschadiging. Een bijkomstig voordeel is de gelijktijdigheid van werken of het parallel ontmantelen. Toegepast op gevelsystemen zou dit kunnen gaan over panelen die onafhankelijk uitneembaar zijn, waardoor achterliggende structuren bereikbaar worden.



#### 9. Prefabricatie

Een laatste ontwerprichtlijn op materiaalniveau behandelt prefabricatie. Het monteren van geprefabriceerde elementen verhoogt de bouwsnelheid, vermindert bouwafval en verlaagt de kostprijs. Kwaliteitscontrole is een voordeel bij deze manier van werken. Het prefabriceren van elementen speelt zich af op verschillende niveaus: zowel één enkele laag van een gevel (bijvoorbeeld de gevelbekleding) kan geprefabriceerd worden, maar ook de hele opbouw of het hele pakket (bijvoorbeeld een buitenwand met geïntegreerde isolatielaag) is een mogelijkheid.

- **ELEMENTNIVEAU**



#### 10. Omkeerbaarheid

Aansluitingen tussen elementen moeten omkeerbaar zijn en toelaten dat elementen met een lagere levensduur afzonderlijk gedemonteerd kunnen worden en vervangbaar zijn. Dit principe staat centraal bij het ontwerp van circulaire bouwdetails en de detaillering van bouwknoopen. Wanneer een dakrand als voorbeeld geanalyseerd wordt en de afdekplaat op een circulaire manier te demonteren is, ontstaan mogelijkheden om zowel de gevel als de dakstructuur te ontmantelen.



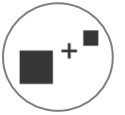
#### 11. Demonteerbaarheid

Dit begrip hangt nauw samen met de omkeerbaarheid van verbindingen. De elementen worden zo geassembleerd dat herstellingen of onderhoudswerken mogelijk blijven gedurende de hele levenscyclus. Demonteerbaarheid op vlak van gevelsystemen bestaat uit een bepaald typeverbinding en de toegankelijkheid tot de achterliggende materialen. Een baksteen met een mortelvoeg zorgt ervoor dat de isolatie niet toegankelijk is op een circulaire manier. Selectieve verwijdering zonder schade staat centraal.



## 12. Herbruikbaarheid

Omkeerbaarheid en demonteerbaarheid van elementen leidt tot hergebruik. Wanneer gebruik gemaakt wordt van een volledige prefab gevel (draagstructuur, isolatie en gevelbekleding) is het potentieel aanwezig tot integraal hergebruik van het element. Deze voordelen worden bekomen wanneer het bouwproject niet als uitgangspunt genomen wordt zodat componenten vervaardigd worden en op verschillende manieren gecombineerd of geassembleerd worden.



## 13. Uitbreidbaarheid van gevelementen

Tijdens het ontwerpproces wordt best rekening gehouden met aanpassingen betreffende leidingen, technische installaties, isolatie enzovoort... Enerzijds is overdimensionering, anderzijds een makkelijk aanpasbaar ontwerp een optie. De eerste keuzemogelijkheid heeft een groter materiaalverbruik tot gevolg, de tweede noodzaakt mogelijks dure ingrepen.



## 14. Veranderlijke functieverdeling

Een veranderlijke functieverdeling spitst zich vooral toe op het interieur en vraagt een goed beredeneerd ontwerp dat op termijn weinig aanzienlijk technische wijzigingen vraagt. Op vlak van een gevelontwerp is dit minder van toepassing.

- **WIJKNIVEAU**

De richtlijnen die aangehaald worden op wijkniveau worden niet besproken omdat ze minder van toepassing zijn in deze masterproef.

In wat verder besproken wordt, wordt gefocust op het ontwerp van circulaire gevels met deze ontwerprichtlijnen indachtig. De steeds terugkerende opvattingen zijn omkeerbaarheid met inbegrip van demontage en duurzaamheid met inbegrip van het hergebruik van materialen. Hiermee samenhangend zijn eenvoud, bouwsnelheid, gelaagdheid en prefabricatie van belang.

### 4.3 Levensduurbeïnvloedende factoren

Vele van voorgaande ontwerprichtlijnen hebben als gemeenschappelijk doel de levensduur van de gebruikte bouwmaterialen te verlengen. Deze is afhankelijk van de gebruiksomstandigheden en van externe factoren zoals materiaaleigenschappen, binnenklimaat, buitenklimaat, functie en gebruik, ontwerp, uitvoering en beheer en onderhoud.

Naast de keuze voor milieubewuste materialen met een lange levensduur is het belangrijk om deze levensduur in acht te nemen tijdens het ontwerp- en bouwproces. Tijdens de ontwerpfase worden enkele principes toegepast om lagen te identificeren. Het onafhankelijkheidsprincipe stelt dat elementen aangepast of weggenomen worden zonder de prestaties van omliggende elementen te beïnvloeden. Het



gaat hierbij om omkeerbare verbindingen die mogelijks ongedaan gemaakt worden zonder dat dit ten koste gaat van de onderdelen die ze verbinden. Het updateprincipe maakt het mogelijk om verbeterde systemen te kiezen die inspelen op de tekortkomingen van een gebouw, zoals een extra dikte van isolatie. Het compatibiliteitsprincipe toont aan dat de gebruikte materialen vervangbaar zijn en te combineren zijn met andere bouwstoffen.

Vervolgens is het documenteren van de gebruikte materiaalelementen, gespecificeerd in het registratieprincipe, belangrijk om het hergebruik van materialen te stimuleren. Gebouwen worden niet langer enkel als verbruiker gezien, maar ook als potentiële nieuwe materiaalbron. Een materiaalpaspoort helpt daarbij als keuze van een bepaald bouwproduct. Ieder materiaal heeft zijn eigen identiteit en zolang dit behouden blijft, wordt het nooit aanzien als afval. Afval is namelijk een materiaal dat in de anonimiteit is terechtgekomen. (Madaster, 2019) Platformen zoals Werflink waar informatie gedeeld wordt over bouwmaterieel en materiaaloverschotten zijn interessant om de administratie van een circulair materiaalbeheer te beperken.

Een steeds terugkerend idee tijdens het circulair bouwen, is het principe van droge verbindingen. Producten die zich vasthechten aan een gebouw, zoals lijmen of kitten worden vermeden. Er wordt steeds gezocht naar een manier om de verbindingen demonteerbaar te maken of van een ontmantelingsproces te voorzien. Daarbij is het essentieel dat bouwproducten op elk moment toegankelijk blijven. Het laatste principe gaat over modulaire en gestandaardiseerde afmetingen. Wanneer gekozen wordt voor modulaire blokelementen, is het makkelijker om deze later te vervangen of om de vrijgekomen plaats her in te richten. (Niël, 2019)

## **5 Bouwfysische aspecten en brandveiligheid van de gevel**

Naast bovenstaande gegevens in verband met een circulair bouwwijze moet een gevelsysteem voldoen aan enkele eisen op bouwfysisch vlak. Deze eisen komen het comfort van de bewoner ten goede en worden hieronder beschreven.

### **5.1 Lucht- en waterdichtheid**

Luchtdichtheid speelt een belangrijke rol in de bouwfase, vooral ter plaatse van de aansluitingsdetails om te vermijden dat exfiltratie of infiltratie van lucht optreedt. Er wordt vermeden dat vochtige warme binnenlucht in contact komt met droge koude buitenlucht zodat condensatie van waterdamp onmogelijk wordt en vocht en schimmel geen kans krijgen om zich te ontwikkelen. Traditioneel wordt een binnenpleisterwerk op het metselwerk aangebracht om de luchtdichtheid van een constructie te verzekeren. Ter plaatse van bouwknopen wordt eerder gebruik gemaakt van luchtdichtingsfolies of -tapes. Vandaag de dag bestaat in België nog geen expliciete luchtdichtingseis in de EPB-regelgeving, wat niet betekent dat een zekere luchtdichtheid bereikt moet worden om aan de eisen te beantwoorden. Wie een passieflabel wil verkrijgen, moet wel voldoen aan een vooropgestelde eis. (WTCB, 2015)

De waterkering voorkomt dat vocht en water in de constructie binnendringt en leidt tot schade. In het idee van circulair bouwen is het mogelijk om bouwvocht, ingebed tijdens constructiefase, tot een minimum te beperken.

### **5.2 Thermische isolatie**

De EPB-wetgeving stelt enkele eisen omtrent de maximale waarden van de warmtedoorgangscoefficienten of U-waarden. In deze masterproef is het belangrijk mee te nemen dat  $U_{\max}$  voor buitenmuren op 0,24 W/m<sup>2</sup>K vastgelegd werd. Voor een passiefwoning moet voldaan worden aan een U-waarde van maximaal 0,15 W/m<sup>2</sup>K.

### **5.3 Akoestische isolatie**

Gevelisolatie is noodzakelijk om omgevingslawaai buiten te houden, maar ook om het omloopgeluid naar andere woningen te vermijden. Er worden eisen gesteld naargelang de ruimte, de drukte en het buitenlawaai van de omgeving. Bij geluidsoverlast is er sprake van een combinatie van luchtgeluid (geluidstrillingen overgedragen door lucht) en contactgeluid (geluidstrillingen in bouw delen). Dit is respectievelijk te reduceren door geluidsabsorberende materialen en trillingsisolatie. Er wordt verwezen naar de Belgische norm NBN S01-400-1 (2008) voor de vastgelegde regels in woongebouwen.

## 5.4 Brandveiligheid (WTCB, 2017)

Naast bovenstaande vereisten is het waarborgen van de brandveiligheid een groot aandachtspunt tijdens het ontwerp en de uitvoering van hoge gebouwen. Onder deze brandveiligheid wordt verstaan dat het gebouw danig ontworpen en geconstrueerd wordt dat het in staat is zichzelf (stabiliteit, sterkte) en de vertoevende inwoners op tijd in veiligheid te brengen. Onderstaande regelgeving en belangrijke aandachtspunten in het ontwerp van een gevel worden in rekening gebracht tijdens het ontwerp van een circulair gevelsysteem. De kennis is gebaseerd op het document “Brandveiligheid van gevels van gebouwen met meerdere verdiepen” van het WTCB.

### 5.4.1 Brandpreventie

Onder impuls van enkele gevelbranden in gebouwen met grote hoogte, en specifiek de Grenfell Tower in Londen, stelde het WTCB in 2017 een document op met als doel het geven van een overzicht van de geldende reglementaire en normatieve context inzake brandveiligheid in België. Naast deze geschetste context worden ook enkele aandachtspunten en constructieve schikkingen voorgesteld die de uitvoerder in staat stellen een brandveilige constructie af te leveren.

Een brandveilig gebouw spitst zich toe op zowel actieve als passieve brandpreventie. Een actieve preventie optimaliseert het proces van detectie, melding en blussen van een beginnende brand alsook het afvoeren van warme, schadelijke rookgassen. Zodoende wordt de kans op overslag verminderd. Passieve brandpreventie heeft betrekking op de ruwbouw en afwerking van een gebouw. Het houdt rekening met de eigenschappen van de gebruikte materialen en indeling in zogenaamde brandcompartimenten.

Te allen tijde moet de dragende functie van constructieve elementen gewaarborgd blijven en dit om te voorzien in voldoende tijd voor gebruikers om zich naar een veilige buitenomgeving te begeven. De materiaaleigenschappen waarover sprake worden objectief vastgelegd in een Europese brandreactieclassificatie bestaande uit 7 hoofd- en 6 nevenklassen. De hoofdklassen krijgen een hoofdletter toegewezen. De nevenklassen starten met een s of d gevolgd door een cijfer.

#### Hoofdklassen:

- A1: Geen enkele invloed bij een volledig ontwikkelde brand
- A2: Beperkte invloed bij een volledig ontwikkelde brand
- B: Geen flash-over bij een beginnende brand
- C: Flash-over 10 minuten na het begin van de brand
- D: Flash-over binnen de 10 minuten na het begin van de brand
- E: Flash-over binnen de 2 minuten na het begin van de brand

- F: Deze categorie wordt niet verder gespecificeerd, maar wordt aanzien als de slechtst mogelijke categorie voor een bouw materiaal

#### Nevenklassen

- De nevenklassen s1, s2, s3 hebben betrekking op de hoeveelheid rookontwikkeling waarbij een hoog nummer duidt op een materiaal met sterkere rookontwikkeling
- De nevenklassen d0, d1, d2 specificeren de materialen op gebied van productie van brandende druppels waarbij een hoog nummer duidt op een grotere hoeveelheid brandende druppels.

### **5.4.2 Compartimentering en brandweerstand**

Om een brand te onderdrukken zodat de verspreiding ervan binnen de perken blijft, wordt gebruik gemaakt van de techniek van brandcompartimentering. Een compartiment wordt omschreven als een zone binnen een gebouw die omringd is door elementen met een voldoende brandweerstand die overslag naar een ander compartiment verhinderen. Afhankelijk van de functie van dergelijke elementen, wordt een verschillende lettercombinatie toegewezen. Deze lettercombinatie wordt telkens gevolgd door een getal dat weergeeft hoeveel minuten het element deze functie feilloos vervult.

- R30: Brandstabiliteit vervuld gedurende 30 minuten
- E60: Vlamdichtheid behouden gedurende 60 minuten
- EI120: Vlamdichtheid en thermische isolatie verzekerd gedurende 120 minuten

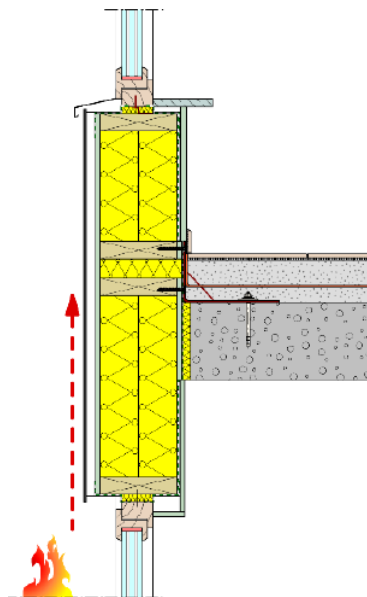
Deze compartimentering moet in acht worden genomen tijdens de ontwerpfase van het gebouw. Vandaar wordt dit ook meegenomen tijdens het tekenen van de details in hoofdstuk 13.

### **5.4.3 Brandoverslag via de gevel**

Gezien deze masterproef zich toespitst op gevelsystemen en als case de Etrimo-gebouwen in Zellik neemt, worden hieronder enkel relevante scenario's omtrent overslag van een brand besproken. De toenemende eisen op vlak van isolatie zorgen ervoor dat de gebruikte pakketten steeds dikker worden. Het toenemend volume aan isolatiemateriaal betekent mogelijks ook een toename aan brandbaar materiaal in de constructie. Dit toont aan dat kennis inzake brandpreventie van groot belang is binnen het ontwerp of de renovatie van goed geïsoleerde gebouwen. In wat volgt worden drie mogelijke wijzen van brandoverslag besproken waarbij een goed ontwerp van de gevel een remmende factor kan zijn.

#### **5.4.3.1 Brandoverslag via het oppervlak van de gevelbekleding**

Een gevelbekleding die niet beschikt over een voldoende brandreactie is een middel voor een evoluerende brand om zich te verplaatsen tussen twee compartimenten.

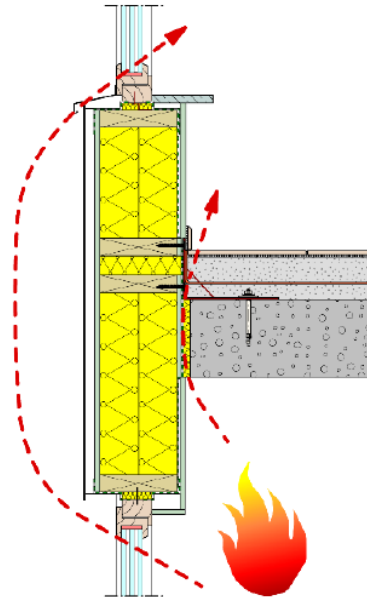


*Figuur 2: Brandoverslag via het oppervlak van de gevelbekleding (WTCB, 2017)*

#### **5.4.3.2 Brandoverslag tussen twee compartimenten**

Een brandoverslag tussen twee compartimenten vindt binnen of buiten plaats. Brandoverslag langs buiten doet zich voor wanneer niet-brandwerende glaspartijen bezwijken en bijgevolg het vuur uit de gevel ontsnapt. Op deze manier zet de brand zich in een bovenliggend verdiep verder wanneer ook daar de glaspartijen het begeven ten gevolge van de hoge temperaturen.

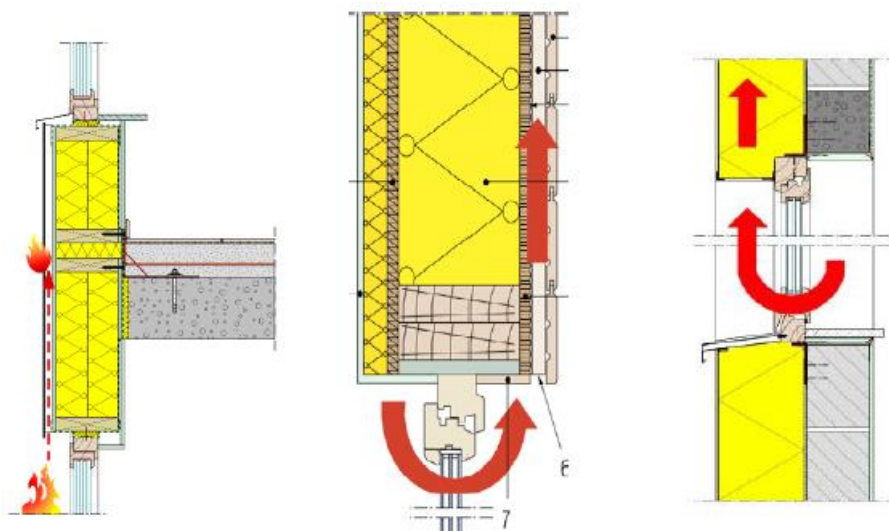
Brandoverslag aan de binnenzijde van een compartiment gebeurt ter plaatse van de aansluiting tussen verdiepingsvloer en gevel. Indien deze verbinding niet voldoende vlamdicht en thermisch isolerend is, is het mogelijk dat de brand zich verderzet in een bovenliggend compartiment.



*Figuur 3: Brandoverslag tussen twee compartimenten (WTCB, 2017)*

### 5.4.3.3 Brandoverslag over het gevelsysteem

Een derde en laatste manier van brandoverslag is deze over het gevelsysteem. Dit is de minst bekende en minst bestudeerde vorm van brandoverslag. Toch moet hierbij vermeld worden dat deze in de toekomst belangrijker wordt. Gezien de steeds strenger wordende eisen inzake energiezuinigheid worden de isolatiepakketten dikker. Dit impliceert dat het buitenschrijnwerk niet van die omvang is om de volledige spouw af te dichten met een mogelijke brandverspreiding naar het hoger gelegen compartiment tot gevolg. Dit effect moet in rekening worden gebracht tijdens het compartimenteren van de woning. Een oplossing voor dit probleem is het voorzien van een brandwerende afdichting tussen het schrijnwerk en binnen- of buitenspouwblad.



*Figuur 4: Brandoverslag over het gevelsysteem (WTCB, 2017)*

#### 5.4.4 Koninklijk Besluit Basisnormen

Het KB Basisnormen van 7 juli 1994 met bijhorende bijlagen vormt een wettelijk kader ter preventie van brand en ontploffing waaraan alle nieuwe gebouwen moeten voldoen. Deze masterproef spitst zich toe op de bepalingen voor middelhoge ( $10\text{m} < \text{hoogte} < 25\text{m}$ ) en hoge ( $\text{hoogte} > 25\text{m}$ ) gebouwen.

Algemeen wordt vastgelegd dat de gevel van deze gebouwen minstens moet beschikken over een één van volgende oplossingen. Een eerste oplossing stelt dat enkel gevelbekledingen worden toegepast met brandklasse B-s3, d1. Deze eis is weliswaar van toepassing op de bouwproducten in hun finale gebruiksvoorwaarden. Dit betekent dat, waar van toepassing, rekening wordt gehouden met onder- of bovenliggende materiaallagen en bevestigingstechnieken. Achterliggende lagen moeten niet in acht genomen worden wanneer ze volledig beschermd zijn door een plaatmateriaal met een toereikend brandbeschermingsniveau  $K_210$ , verwijzend naar de 10 minuten lange bescherming tegen te snelle opwarming, ontvlaming of verkoling. Indien ze niet volledig beschermd worden moeten ze onbrandbaar zijn en dus voldoen aan brandklasse A2-s3,d1.

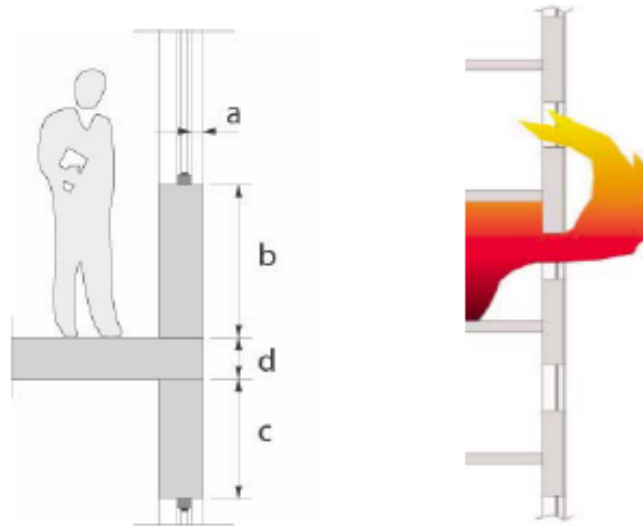
Een tweede oplossing beschrijft de toepassing van branddammen. Deze type-oplossing is afhankelijk van de gevelafwerking. Bij niet-geventileerde gevels wordt het isolatiepakket onderbroken door onbrandbare isolatiestroken en dit op elke bouwlaag voor smeltbare brandbare isolatiematerialen of om de andere bouwlaag voor niet-smeltbare, brandbare isolatiematerialen. Bij geventileerde gevels bestaat de oplossing erin een hulpmiddel te voorzien dat de geventileerde luchtsponw afsluit in geval van brand.

De minimale eisen voor het voorkomen van in- en uitwendige brandoverslag worden ook wettelijk vastgelegd. Om inwendige voorzetting van een brand te voorkomen dient de knoop ter plaatse van het samenkomen van tussenvloer en gevel vlamdicht en thermisch isolerend te werken gedurende 60 minuten (EI60). Hoe deze dan best wordt uitgevoerd is terug te vinden in de publicatie van het WTCB over “Brandveiligheid van gevels van gebouwen met meerdere verdiepingen” uit 2017 zoals hierboven beschreven.

Manieren om de uitwendige voortzettingwijze te verhinderen zijn de volgende:

1. Het installeren van een sprinklerinstallatie in alle langs de gevel gelegen compartimenten
2. Het voorzien van een gevelement voldoende aan de E60-eis ter hoogte van de compartimentsvloer (respectievelijk compartimentswand) in combinatie met een minimale ontwikkelde lengte van 1m in verticale (respectievelijk horizontale) richting (zie Figuur 5)
  - 2.1 Alternatief kan ook voorzien worden in een horizontale uitsteek (E60) van minstens 60cm
3. Het voorzien van een gevel met de E30-eis over de volledige gebouwhoogte
4. Het voorzien van een gevel met de strengere E60-eis telkens om de andere bouwlaag

Voor verdere specificatie omtrent deze mogelijkheden en de berekening van de minimale ontwikkelde lengte wordt verwezen naar bovenvermelde publicatie van het WTCB.



*Figuur 5: Definitie ontwikkelde lengte verticaal:  $a+b+c+d \geq 1m$  (analoog horizontaal)(WTCB, 2017)*



## 6 Case: Etrimo torens, Zellik

De studie omtrent bestaande gevelsystemen start vanuit de Etrimo torens in Zellik. Vooreerst wordt het bestaande gevelsysteem beschreven. Daarna wordt dieper ingegaan op de verschillende eisen met referentie naar voorgaand hoofdstuk 5. In paragraaf 12.4 wordt ingegaan hoe onderstaande eisen verbeterd kunnen worden door het toepassen van een gevelrenovatie.

### 6.1 Opbouw woontorens

De paviljoenen in de naoorlogse woontorens bestaan uit een betonnen skeletstructuur waarbij de ramen nadien tussen de betonnen balken en kolommen geplaatst werden. Deze draagstructuur met bijhorende gewapende betonnen vloerplaat is niet brandbaar, beton bezit immers brandklasse A1. Daarnaast werd geen gebruik gemaakt van gevelisolatie. De gevel werd afgewerkt met een geventileerde en mechanisch bevestigde kwartsiet afwerking. Dit 5 cm dik gesteente is waterdicht, vorstbestendig en onbrandbaar. Zowel de horizontale als verticale voegen werden opgevuld door middel van silicone, waardoor demonteren niet mogelijk is.

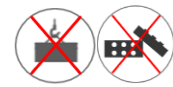


*Figuur 6: Gevelpanelen Breughelpark Residentie II*

Uit de 24 richtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen is te merken dat wat de gevelbekleding betreft weinig doelstellingen gehaald worden. Door het gebruik van een soepele voeg zijn de gevelpanelen niet zonder schade of afval te demonteren. Het hanteren van een kalkmortel zou een meer circulaire oplossing bieden, ook al gaat de mortel bij de sloop van het gebouw dan nog steeds verloren. De gevelpanelen zijn moeilijk los te koppelen van de achterliggende betonstructuur door hun vaste verankering, daardoor is hergebruik erg ingewikkeld. Er werd geen rekening gehouden met omkeerbare

of droge verbindingen. Dit leidt ertoe dat het onmogelijk is om bijvoorbeeld één paneel te vervangen zonder andere elementen te beschadigen. Eenvoud werd wel in acht genomen. De gestandaardiseerde afmetingen van de panelen zorgen voor een snelle en efficiënte werkmethode. De keuze voor kwartsiet was ook doordacht gezien de lange levensduur van het materiaal. Het is goed bestand tegen slijtage en beschadigingen en vergt weinig onderhoud. De gelaagdheid van het gevelsysteem is iets moeilijker te evalueren omdat enkel kwartsiet tegels en een dragende structuur toegepast worden. Van gevelisolatie is hier geen sprake.

In hoofdstuk 12 worden enkele bevestigingsmethoden aangereikt waarmee bovenstaand gevelsysteem geoptimaliseerd kan worden op vlak van circulariteit. Zo kan de gevelbekleding mechanisch worden ingeklemd tussen klemprofielen zoals in gevelsysteem 1 (zie 12.1). De voegen kunnen bijvoorbeeld opgevangen worden door een aluminium voegprofiel dat ook in gevelsysteem 1 zichtbaar is. Ook de profilering van de gevelpanelen kan zorgen voor een visuele dichting van de voeg.



## 6.2 Lucht- en waterdichtheid

Deze kenmerken zijn moeilijk te evalueren aangezien geen specifieke uitvoeringsdetails beschikbaar zijn van het gebouw.

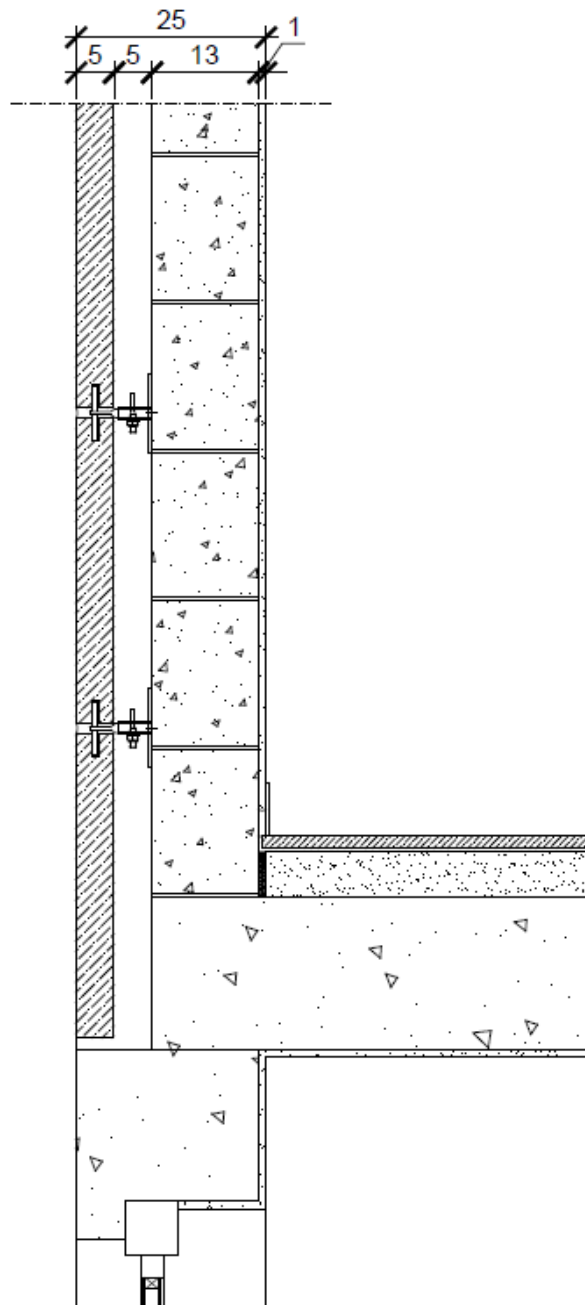
## 6.3 Thermische en akoestische isolatie

Thermische isolatie in de gevel is niet aanwezig. Voor de Agglofor blokken werd de warmtegeleidingscoëfficiënt van betonmetselblokken aangenomen. Zodoende bezit de gevel een U-waarde van  $0,440 \text{ W/m}^2\text{K}$  (zie Tabel 1). Er werd geen rekening gehouden met spouwankers en plaatselijke doorboringen. Dit voldoet niet aan de hedendaagse eis van  $U_{\text{max}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Zelfs al zou spouwisolatie aanwezig zijn, dan nog zijn enkele koudebruggen merkbaar. Enerzijds is er het metalen bevestigingssysteem voor de kwartsiet panelen, weergegeven in Figuur 7. Daarnaast is er ook het stuk van de skeletstructuur dat doorgetrokken wordt naar buiten om, mits het toedienen van een verflaag, als gevelement te worden uitgespeeld. Dit element vormt een rechtstreeks verbinding van de koude buitenomgeving met de skeletstructuur en dus de warmere binnenomgeving.

In paragraaf 12.4 is te zien hoe een gevelrenovatie bovenstaande parameters positief kan beïnvloeden.

Tabel 1: U-waarde Etrimogebouw

	Dikte (m)	Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$ (W/mK)	R-waarde (m <sup>2</sup> K/W)
Pleisterwerk	0,010	0,930	0,108
Agglofor blokken	0,130	1,580	0,082
Luchtspouw	0,050	0,025	2,000
Kwartsiet	0,050	5,100	0,010
<b>TOTALE U-WAARDE (W/m<sup>2</sup>K)</b>	met $\alpha_{int} = 7,7$ en $\alpha_{ext} = 25$ (W/m <sup>2</sup> K)		<b>0,440</b>



Figuur 7: Opbouw gevelpakket Etrimo

Ook de akoestische isolatie wordt geëvalueerd in de mate van het mogelijke. De beperkte vloerdikte in de appartementen en de afwezigheid van een akoestische ontkoppeling zorgt voor de overdracht van contactgeluid tussen onder- en bovenliggende appartementen. Oorspronkelijk werd tapijt aangebracht wat voor een kleine demping zorgt. Het vernieuwen van het tapijt naar een tegelvloer leidt echter tot meer geluidsoverlast. Appartementen die naast elkaar liggen ondervinden minder last omwille van een ontdubbelde binnenmuur met minerale wol in de spouw.

## **6.4 Brandveiligheid**

De in paragraaf 5.4 beschreven kennis omtrent brandpreventie wordt hier gebruikt om de analyse van de woontorens van Etrimo op vlak van brandveiligheid uit te werken. Vanzelfsprekend wordt vooral rekening gehouden met de rol van de gevel in dit verhaal. De brandveiligheid werd reeds geëvalueerd en enkele renovatiescenario's werden reeds beschreven in de masterproef "Solar Decathlon: ontwerpend onderzoek naar renovatiestrategieën van Etrimo woontorens" van E. Cleemput en J. De Pauw (2015). Ook het "Bijzonder Vraagstuk" geschreven door Lieselot Geldof, Laura Temmerman en Kjartan Van den Brande (2015) werd gebruikt tijdens de analyse.

Algemeen kan gesteld worden dat de gevel van de naoorlogse woontorens, beschreven in voorgaande paragraaf 6.1, geen brandbare materialen bezit. Dit betekent dat brandoverslag over het gevelsysteem (5.4.3.3) of via het oppervlak van de gevelbekleding (5.4.3.1) uitgesloten is. Natuurlijk moet ook de uitvoering van bepaalde bouwknopen bekeken worden om de brandveiligheid van de gevel te analyseren. Zo dient opgemerkt te worden dat een brand zich kan verspreiden via de geventileerde luchtspouw achter de gevelbekleding. Op Figuur 7 is te zien hoe deze spouw telkens ter hoogte van een verdiepingvloer wordt onderbroken door een betonnen gevelement dat kan aanzien worden als een verlenging van de skeletstructuur.

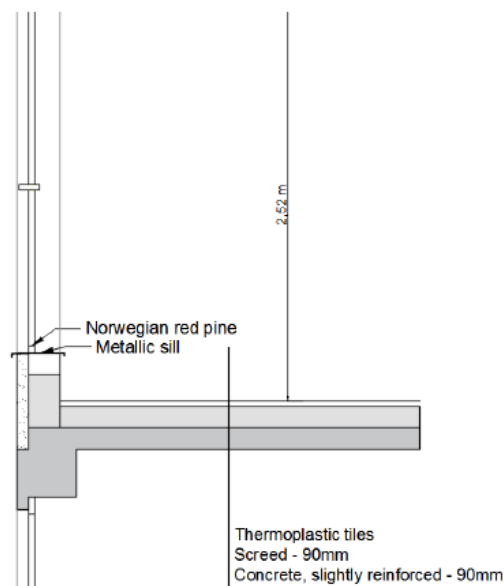
### **6.4.1 Analyse van mogelijkheid op brandoverslag tussen twee compartimenten (inwendig en/of uitwendig)**

Gezien de uitvoering van de aansluiting van de tussenvloer met de buitengevel (zie Figuur 7) is de kans op inwendige brandoverslag quasi onbestaande. De tussenvloer bestaat uit een ter plaatse gestorte gewapende betonnen plaat met een dikte van 9 cm. Daarbovenop ligt een dekvloer van 9 cm, afgewerkt met thermoplastische tegels. Dit pakket van ruim 18 cm biedt voldoende brandweerstand (minstens EI60) om inwendige brandoverslag tegen te gaan. De keuze om de plaat ter plaatse te storten zorgt voor een goede aansluiting tussen de skeletstructuur en de vloerplaat. Er bevinden zich geen holtes tussen de balken van de skeletstructuur en de daarop steunende plaat waarlangs een brand zou kunnen overslaan.

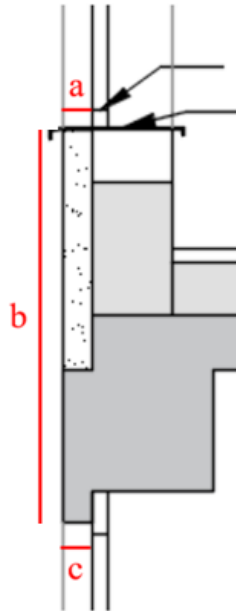
Wat de uitwendige brandoverslag betreft dienen de 4 mogelijke maatregelen, zoals vermeld in paragraaf 5.4.4, nagetrokken te worden. In de paviljoenen is geen sprinklerinstallatie aanwezig (1).

De tweede mogelijkheid (2) is het voorzien van een gevelsysteem voldoende aan de E60-eis ter hoogte van de compartimentsvloer (resp. compartimentswand) in combinatie met een minimale ontwikkelde lengte van 1m in verticale (resp. horizontale) richting. Een 50 mm dikke gevelbekleding in kwartsiet is vlamdicht, net als het verlengstuk van de skeletstructuur dat doorloopt en als gevelcomponent wordt gebruikt. Ook de soepele voeg tussen de verschillende elementen moet beschikken over de nodige brandweerstand EI60. Hiervoor dient deze regelmatig gecontroleerd te worden op eventuele scheuren. De minimale ontwikkelde afstand tussen twee opeenvolgende verdiepingen wordt berekend als de som van afstanden a, b en c zoals weergegeven in Figuur 8. Indien deze optelsom meer dan 1m bedraagt, kan gesteld worden dat de gevel voldoet aan de eisen om uitwendige verticale brandoverslag te voorkomen. Merk op dat afstanden a en b enkel in rekening gebracht mogen worden als de aansluiting tussen de gevel en het schrijnwerk of de dorpel ook brandwerend uitgevoerd wordt. Ter plaatse van de balkons wordt voldaan in het alternatief van een horizontale uitsteek (E60) met een lengte van minstens 60 cm. Hieraan is voldaan.

De analyse voor horizontale brandoverslag gebeurt analoog. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de luchtpouw tussen de betonnen structuur en de kwartsiet gevelbekleding moet worden afgedicht ter hoogte van een verticale compartimentswand.



*Figuur 8: Aansluiting gevelschrijnwerk (Solar Decathlon, 2015)*



*Figuur 9: Minimale ontwikkelde lengte Etrimo toren*

De derde mogelijkheid (3) is het voorzien van een gevel voldoende aan de E30-eis over de volledige gebouwhoogte. Het gevelpakket op zich bezit hiervoor de nodige eigenschappen. Echter, ook het buitenschrijnwerk, wat het grootste deel van de gevel beslaat, moet de nodige eisen bezitten. Tegenwoordig bestaat schrijnwerk dat de vlamdichtheid garandeert gedurende 30 minuten. De vraag is of ook het schrijnwerk in de Etrimo torens daaraan voldoet. Wegens een gebrek aan informatie over eventuele renovaties van het buitenschrijnwerk kan hierop niet geantwoord worden.

De vierde en laatste mogelijke maatregel (4) is het toepassen van een gevel die voldoet aan de E60-eis om de andere bouwlaag. Deze eis wordt, wat het gevelpakket betreft, gehaald over de volledige bouwhoogte. Toch is dit niet voldoende. Ook het buitenschrijnwerk dient om de andere bouwlaag de nodige eigenschappen te bezitten. Dezelfde opmerking als in vorige alinea kan ook hier gemaakt worden.

## **7 Analyse van bestaande gevelsystemen**

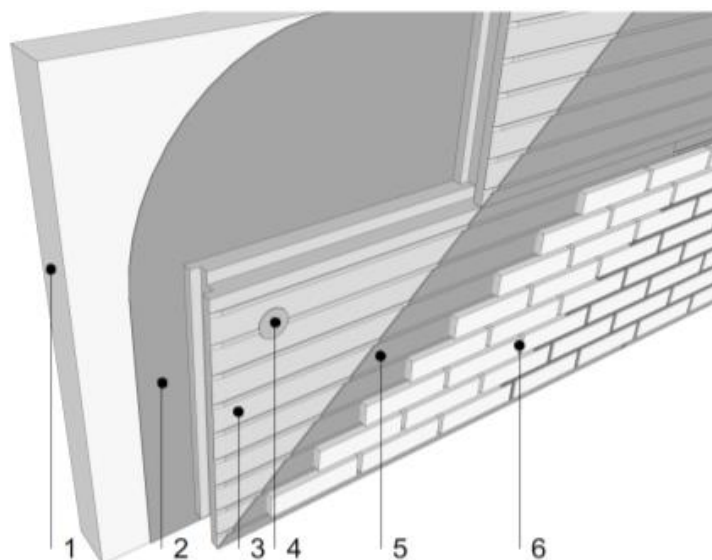
In dit hoofdstuk worden bestaande gevelsystemen bestudeerd en geanalyseerd op basis van de 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen, opgesteld door OVAM en beschreven in paragraaf 4.2. Er wordt gepoogd een opsomming te geven die representatief is voor de hedendaagse uitvoeringen. Telkens wordt een systeem beschreven van een bepaalde fabrikant. Dit doet dienst als model voor gelijkaardige gevelsystemen van andere fabrikanten op de markt.

Analyse van deze systemen in paragraaf 7.7 legt bloot welke pijnpunten hedendaagse gevelpakketten bezitten op vlak van circulariteit. Deze mankementen worden als vertrekpunt gebruikt voor het analyseren van circulaire gevelsystemen in een hoofdstuk 11. Merk op dat hier weinig tot geen rekening wordt gehouden met de achterliggende structuur daar deze pakketten toegepast kunnen worden op tal van dragende constructies.

De systemen krijgen telkens symbolen toegewezen refererend naar paragraaf 4.2. Deze symbolen geven weer waar de pakketten goed (links) en minder goed (rechts) in scoren.

### **7.1 Steenstrips niet-geventileerd – Vandersanden**

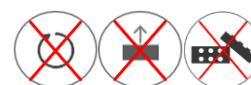
Dit type systeem wordt vaak toegepast omwille van een eenvoudige (weinig lagen) en snelle uitvoering. Het pakket bestaat uit een met pluggen (8st./m<sup>2</sup>) en eventuele bijkomende verlijming bevestigd en thermisch isolerend E-board waarop mortellijm wordt uitgekamd en vervolgens steenstrips worden bevestigd. Het E-board wordt vervaardigd in EPS wat het UV-bestendig maakt. Dit pakket biedt het voordeel met geringe diktes het nodige thermisch comfort te leveren. In vergelijking met een gemetselde parementgevel verbruikt dit systeem minder bakstenen en dus minder grondstoffen. Vanaf een dikte van 204 mm wordt het isolatiepakket tweelaags aangebracht. Onderlinge connectie gebeurt dan geschrinkt en met PU-schuim.



Figuur 10: Vandersanden E-board + strips (Vandersanden, z.d.)

1. Ondergrond
2. Lijmmortel
3. Isolatie: E-board
4. Anker
5. Lijmmortel
6. Baksteenstrip + voegmortel

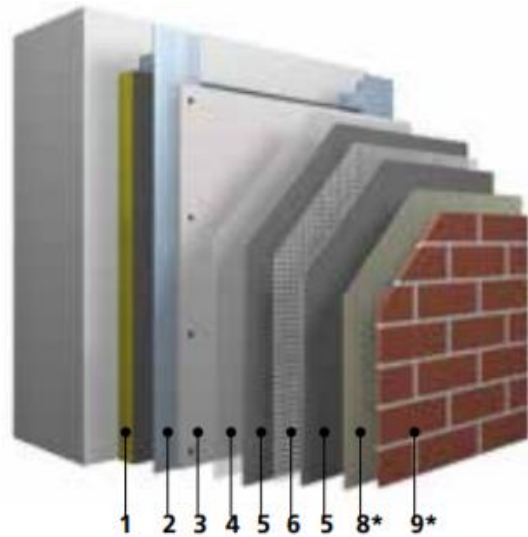
De bevestiging van het isolatiepakket gebeurt mechanisch door middel van pluggen. Deze verbinding is bijgevolg omkeerbaar op zich. Toch kan het systeem niet gedemonteerd worden zonder eerst de steenstrips los te maken om zo tot bij de pluggen te raken die zich onder de lijm bevinden. In tegenstelling tot het gevelpakket StoVentec C (7.2) dienen hier echter enkel plaatselijk enkele strips worden losgemaakt om zo tot bij de pluggen te komen. Vervolgens kan een volledig E-board met daarop de strips losgemaakt worden van de dragende structuur, mits ook de voegen worden afgebroken. Dit pakket op zich kan niet verder worden gedemonteerd zonder het toedienen van schade. Merk op dat wanneer gebruik gemaakt wordt van de extra verlijming ter bevestiging van het E-board op de dragende structuur, het pakket op geen enkele wijze demonteerbaar is. Vanwege het berokkenen van schade aan het isolatiepakket is ook de kans op hergebruik gering. De verschillende lagen in het pakket worden dus als afhankelijk bestempeld.





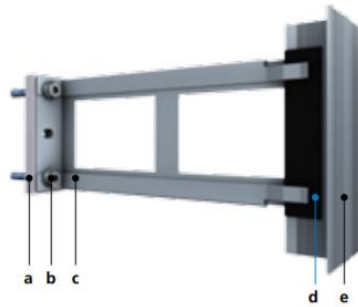
## 7.2 Steenstrips geventileerd – StoVentec C

Dit gevelpakket is een andere manier om steenstrips te gebruiken als afwerking van een gevelpakket. Onderstaand pakket kan dienen als alternatieve oplossing voor het element besproken in paragraaf 7.1. Verschillend in deze oplossing is de geventileerde spouw tussen het isolatiepakket en de pleisterplaat, alsook de gewapende mortellaag die onder de lijm mortel komt.



*Figuur 11: StoVentec C (Sto, 2015)*

1. Isolatie
2. Sto-onderconstructie
3. StoVentec pleisterplaat
4. Grondering
5. Wapeningsmortel
6. Wapeningsweefsel
8. Lijmmortel
9. Afwerking – steenstrips/keramische tegels

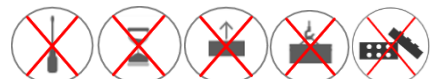


*Figuur 12: Sto-onderconstructie (Sto, 2015)*

- a. Thermisch scheidingselement
- b. Verankering
- c. Sto-wandhouder
- d. Thermisch scheidingselement
- e. Sto-aluminium T-profiel

Wanneer dit systeem geanalyseerd wordt op vlak van demonteerbaarheid valt op dat niet elke laag op zich gedemonteerd kan worden zonder schade te lijden. Wel is een duidelijke splitsing merkbaar tussen het isolatiepakket en de gevelafwerking. Er is sprake van een geventileerde gevel aangezien de Sto-onderconstructie een spouw voorziet tussen de isolatie en de afwerking. Bijkomend zorgt dit aluminium regelwerk voor een koudebrug, weliswaar verminderd door het gebruik van een thermisch scheidingselement.

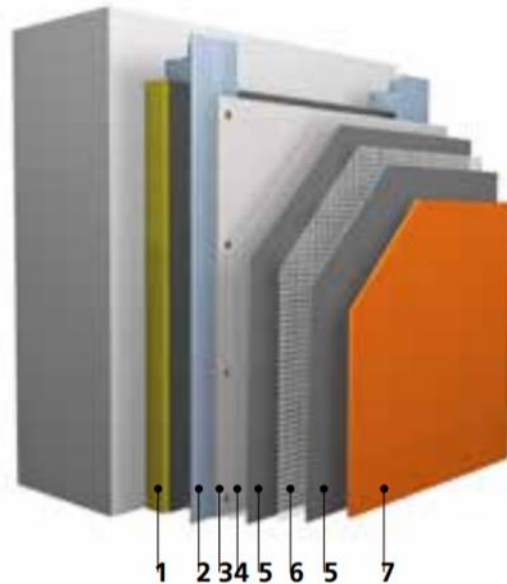
De verbinding tussen de dragende onderconstructie en de gevelafwerking, die door middel van schroeven wordt vastgezet, is omkeerbaar. Toch is het, zoals in het gevelsysteem zonder geventileerde spouw, ook hier in de praktijk moeilijk deze beide delen van elkaar los te maken zonder schade te berokkenen. De schroeven zitten namelijk verborgen onder het geheel van wapeningsmortel dat niet gedemonteerd kan worden. De lagen zijn met andere woorden afhankelijk ten opzichte van elkaar geschikt. Dit voorbeeld maakt duidelijk dat de gelaagdheid van een systeem heel belangrijk is in de analyse met betrekking tot circulariteit. Een circulaire, en dus omkeerbare, bevestiging mag niet ingesloten worden door een niet-demonteerbare of niet-omkeerbare laag.



### 7.3 Buitenpleister geventileerd – StoVentec R

StoVentec R is een variatie op het bovenstaande StoVentec C systeem. De opbouw is gelijklopend tot en met de plaatsing van de wapeningsmortel met ingewerkt wapeningsweefsel. Enkel de afwerkingslaag

verschilt. Dit systeem wordt afgewerkt met een buitenpleister. Ook de analyse aan de hand van de 24 ontwerprichtlijnen verloopt gelijkaardig, op enkele criteria na. Zo is het vanzelfsprekend dat een afwerking met steenstrips eenvoudiger uit te breiden is dan een afwerking met behulp van buitenpleister. Het afdichten van de naden tussen het bestaande en nieuw toegevoegde deel is makkelijker op te vangen door middel van voegwerk. Het uitwerken van naden tussen twee vlakken pleisterwerk is een uitdaging die een zeer nauwkeurige gang van zaken vergt.



*Figuur 13: StoVentec R (Sto, 2015)*

1. Isolatie
2. Sto-onderconstructie
3. StoVentec pleisterplaat
4. Grondering
5. Wapeningsmortel
6. Wapeningsweefsel
7. Eindlaag – buitenpleisterwerk

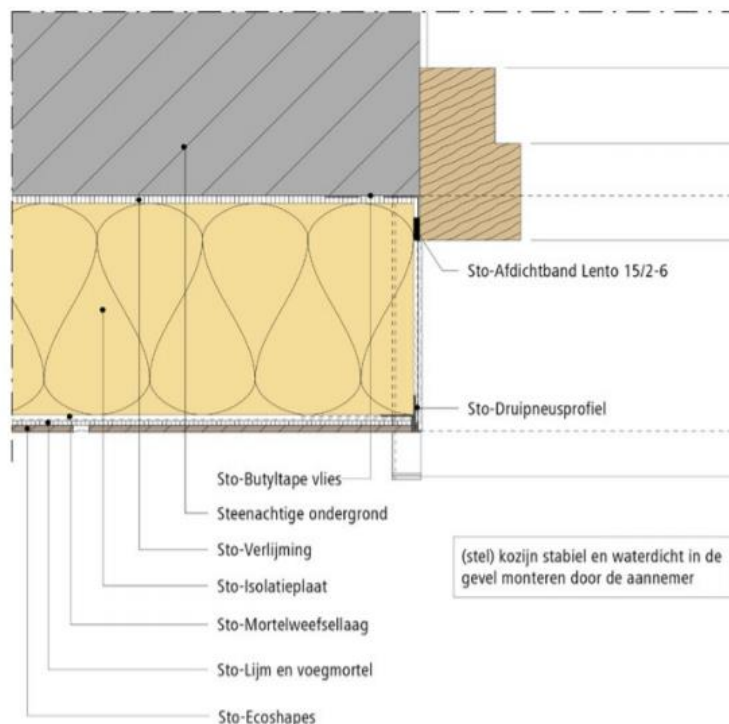
De StoVentec systemen scoren ook heel wat minder goed op vlak van eenvoud en snelheid in vergelijking met de andere beschreven pakketten. Het aanbrengen van een wapeningsmortel met bijhorend wapeningsweefsel is een handeling die enige ervaring vergt. In vergelijking met het systeem in paragraaf 7.1 is het een grotere uitdaging om een effen vlak te creëren om vervolgens de afwerkingslaag op aan te brengen.

Door de vele lagen in de systemen van Sto vergroot de kans op insluiting van een materiaal met een kleine levensduur door een materiaal met een langere levensduur. Telkens dient aandacht besteed te worden aan het ontwerp om dergelijke situaties te voorkomen.



## 7.4 Prefab pleisterelementen – StoEcoshapes

Naast de StoVentec systemen komt Sto ook met een StoEcoshapes systeem op de markt. Ook deze opbouw verschilt niet veel van bovenstaande. Dit keer gebeurt de afwerking door middel van geprefabriceerde pleisterelementen die voor 90% bestaan uit minerale vulstoffen en rechtstreeks op de isolatie worden verlijmd. De steenachtige samenstelling van het basismateriaal geeft het pakket een robuuste look.



Figuur 14: Sto Ecoshapes (Sto, 2016)

Groot voordeel aan dit pakket is de mogelijkheid tot prefabricatie van de elementen. De verlijming van de pleisterelementen op de isolatie kan op voorhand gebeuren wat de snelheid van uitvoeren ten goede komt. Nadien kan de gevel als een puzzel in elkaar worden geschoven en kunnen de naden worden gedicht met een voegmortel.

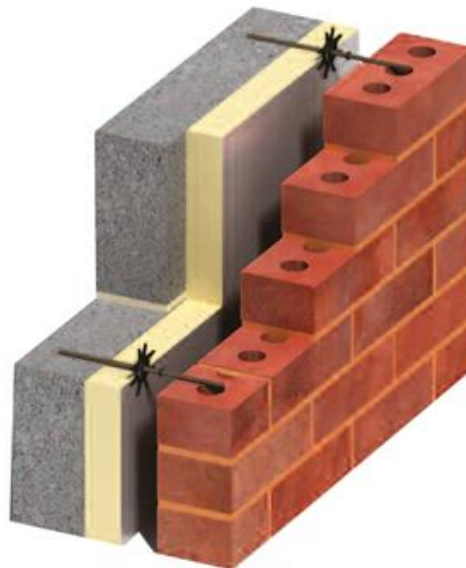
Verder dient te worden opgemerkt dat ook dit systeem niet omkeerbaar of demonteerbaar is en dat de lagen ook hier afhankelijk van elkaar worden gemonteerd. Elke laag wordt namelijk verlijmd op de

onderliggende. De mogelijkheid tot uitbreiden is zoals hierboven vermeld wel mogelijk en eenvoudiger hanteerbaar dan in hiervoor vermelde systemen.



## 7.5 Parementmetselwerk met geïsoleerde luchtspouw

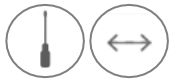
Dit standaardpakket is het meest gekend onder de Vlaming. Vandaar wordt ook dit systeem meegenomen in de analyse van bestaande gevelsystemen. Zowel de gevelafwerking als de dragende structuur bestaat uit gemetselde stenen. Dit kan gaan over volle of holle betonstenen, cellenbetonblokken, bakstenen enz. Hierop wordt een isolatiepakket geplaatst dat goed wordt aangedrukt met behulp van spouwankers voorzien van een rozet. Dit rozet verkleint de kans op een luchtspouw tussen de dragende structuur en de isolatielaag (=kortsluiting van de isolatie) dewelke de isolatiewaarde negatief zou beïnvloeden. Nadien wordt op een afstand van enkele centimeters een gevel opgebouwd uit parementmetselwerk. Ook deze wordt verbonden met het achterliggende via de spouwankers.



*Figuur 15: Parement met geïsoleerde luchtspouw (BBA, 2014)*

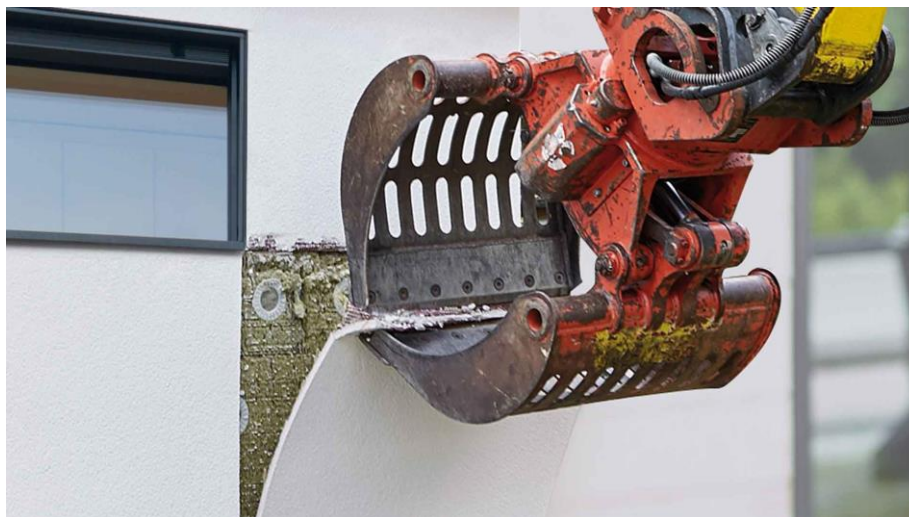
Vanwege het ontbreken van natte verbindingen tussen de verschillende lagen onderling wordt gesteld dat het systeem onafhankelijk werd opgebouwd. Het metselen gebeurt traag waardoor minder goed gescoord wordt op vlak van snelheid. De mate waarin demonteren mogelijk is hangt af van de gebruikte metselmortel. Deze natte verbinding zorgt ervoor dat afbraak van het parementmetselwerk een tijdrovende klus is. De verbinding is niet omkeerbaar. Vermijden van schade is onmogelijk waardoor

heel wat stenen verloren gaan en de gevel slechts gedeeltelijk hergebruikt kan worden. Dezelfde opmerking als in paragraaf 7.3 met betrekking tot uitbreidbaarheid kan ook hier worden gemaakt.



## 7.6 Buitenpleister – Saint Gobain

Saint Gobain bracht een circulair buitenpleistersysteem op de markt. Echter, dit systeem is niet beschikbaar in België omwille van de grote concurrentiespelers. De componenten kunnen bij afbraak gescheiden en gerecycleerd worden. De opbouw bestaat uit minerale wol die mechanisch aan de hand van pluggen in de gevel vastgemaakt wordt. Daarna wordt een laag basispleister (8-12 mm) op de isolatie gespoten om vervolgens een wapeningsnet, een versterkingspleister en een afwerkingslaag te plaatsen. Het systeem bezit brandklasse A1, is dus niet-brandbaar en scoort ook positief op warmteopslagcapaciteit. Het afbreken gebeurt aan de hand van een machine die de pleisterlaag, inclusief wapeningsnet, in kleine stukken verdeelt en losmaakt van de achterliggende minerale wol (Figuur 16). Nadien kan de minerale wol integraal van de muur verwijderd worden door simpelweg de schroeven en bijhorende pluggen los te maken. De gedemonteerde materialen kunnen hierna samengebracht worden voor een nieuw gebruik (Weber, 2017).



*Figuur 16: Verwijderbare gipspleister (Weber, 2017)*

Na de analyse van dit systeem op basis van de 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen van OVAM blijkt dat vooral ingezet wordt op gelaagdheid. Een gipspleister heeft een levensduur van ongeveer 25 jaar en bevindt zich aan de buitenzijde van de minerale wol die beschikt over een levensduur van ongeveer 75 jaar. Het is mogelijk om in de eindelevensduurfase van het pleisterwerk deze te vervangen of een nieuw materiaal aan te brengen zonder de isolatie te beschadigen. Op die manier wordt gewonnen op duurzaamheid doordat het pleisterwerk gescheiden wordt van andere materialen en zo

recycleerbaar is. In tegenstelling tot de minerale wol is integraal hergebruik van de pleisterlaag onmogelijk.

Dergelijk systeem kan ook toegepast worden bij strenger wordende isolatie-eisen. Wanneer tegenwoordig een extra isolatielaag aangebracht wordt, dient de bestaande pleisterlaag als ondergrond daarvoor. De keuze gaat vaak uit naar EPS-platen met bijhorend pleisterwerk. Deze worden verlijmd op de structuur en zijn bijgevolg moeilijk te hergebruiken. Bovenstaand systeem biedt een oplossing om de bestaande pleisterlaag te verwijderen, een bijkomende isolatielaag mechanisch te bevestigen en een nieuwe pleisterlaag aan te brengen.



## 7.7 Algemene bevindingen bestaande gevelsystemen

Bij wijze van samenvatting worden hier enkele bevindingen aangehaald die aan het licht komen na de analyse van vaak toegepaste gevelsystemen. Hieruit worden doelstellingen geformuleerd die in acht genomen worden tijdens het ontwerp van een circulair gevelpakket.

### 7.7.1 Snelheid en eenvoud

De systemen lopen uiteen wat betreft snelheid en eenvoud. Deze twee begrippen zijn nauw met elkaar verbonden. Systemen die snel en eenvoudig op te bouwen zijn voldoen vaak niet aan overige ontwerprichtlijnen. Eenvoud en snelheid komen voor in het gebruik van slechts een paar (2 à 3) lagen die snel en zonder al te veel nodige vakkennis kunnen worden opgebouwd. Op deze manier kan de uitvoeringskost relatief worden beperkt. Echter, gaat men over naar het gebruik van meerdere lagen, dan daalt de snelheid van uitvoeren en stijgt de arbeidskost.

### 7.7.2 Omkeerbaarheid, hergebruik, demonteerbaarheid

Desalniettemin kan door de overgang naar meer lagen een betere demonteerbaarheid bekomen worden. Dit is te zien in de StoVentec systemen waar de isolatie niet meer dient als ondergrond voor de afwerking en dus onafhankelijk van de gevelafwerking werd geplaatst. Weliswaar kan deze onafhankelijkheid slechts ten volle benut worden wanneer alle verbindingen omkeerbaar en toegankelijk zijn. Pas dan kan het pakket laag per laag gedemonteerd en hergebruikt worden.

Omkeerbaarheid, hergebruik en demonteerbaarheid zijn relatief nieuwe begrippen in de bouwsector. Duidelijk is dan ook dat heel wat systemen niet voldoen aan deze eisen van een circulaire bouwstrategie. StoVentec systemen maken dan wel gebruik van een omkeerbare verbinding tussen dragende structuur en gevelafwerking, maar zorgen er door de keuze van afwerking voor dat deze niet toegankelijk zijn

voor demontage. Doelstelling moet zijn omkeerbare verbindingen steeds toegankelijk op te stellen. Dit resulteert automatisch in de demonteerbaarheid van het gevelsysteem, een eerste stap in het mogelijks hergebruik van de componenten.

### **7.7.3 Gelaagdheid**

Doorgaans wordt rekening gehouden met het feit dat materialen met een kleinere levensduur niet ingesloten worden door materialen met een grotere levensduur. Echter, deze eigenschap moet telkens gecombineerd worden met de nodige vereisten omtrent bovenstaande criteria. Het demonteren of aanpassen van een bepaalde laag brengt in de beschreven pakketten doorgaans schade teweeg aan onder- of bovenliggende lagen. Zo kunnen verlijmdes steenstrips niet losgemaakt worden zonder hierbij schade aan te richten aan het E-board en de mortelvoeg.



## 8 Circulariteit op materiaalniveau

In dit onderzoek worden materialen geëvalueerd aan de hand van volgende criteria: levensduur, milieuclassificatie, kostprijs en aspecten van de eindelevensduurfase. Ook de circulaire principes uit de 24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen worden in acht genomen. Deze beoordeling leidt tot een eerste indruk van de beschreven circulaire materialen. Enkele voorbeelden van op de markt aanwezige bouwproducten worden weergegeven. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen materialen die gebruikt worden voor de draagstructuur, de isolatielaag en de gevelafwerking. Ook hier wordt verwezen naar paragraaf 4.2 door middel van figuren. Deze geven weer welke ontwerprichtlijnen al dan niet van toepassing zijn.

Kanttekening bij deze paragraaf is dat de markt van circulaire producten constant wordt uitgebreid. Dit hoofdstuk dient als naslagwerk over wat vandaag onder andere op de markt beschikbaar is. Raadplegen van deze masterproef in de toekomst moet steeds gebeuren met enige zin van realisme.

### 8.1 Draagstructuur

#### 8.1.1 Orbixblokken - Carbstone Innovation

Carbstone Innovation is een bedrijf dat streeft naar een optimaal gebruik van materiaal zonder afval te creëren. Restproducten uit andere industrieën worden verwerkt tot nieuwe waardevolle materialen of grondstoffen. Bouwmaterialen worden ontwikkeld op basis van staalslakpoeder (minerale fractie van rvs) en CO<sub>2</sub>. Dit proces is gebaseerd op carbonatie. Orbixblokken zijn droge stapelblokken die positief scoren op omkeerbaarheid en duurzaamheid. Deze blokken worden vooral toegepast in de industriebouw en niet in woningbouw. (Orbix, 2018)



Figuur 17: Orbixblokken (Orbix, 2018)



### 8.1.2 Masterbloc – Betonagglomeraten Gubbels

De Masterbloc stapelblokken zijn opgebouwd uit zand, grind en cement. Ze worden los op elkaar gestapeld zodat ze nadien nog demonteerbaar en herbruikbaar blijven. Het materiaal bezit op die manier een lange levensduur en een hoge restwaarde. Deze blokken worden niet courant toegepast in de woningbouw en concurreren met de voorgenoemde Orbixblok. (MasterBloc, 2019)

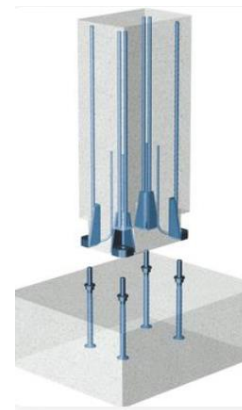


### 8.1.3 Verbindingssysteem betonelementen - Peikko

Peikko biedt een oplossing aan om kolommen op een demonteerbare manier te verbinden. Als eerste bestaat een systeem om kolommen aan het onderliggende te bevestigen aan de hand van vier stelbouten, zonder andere ondersteuning (zie Figuur 18). De afwerking van de voorziene openingen gebeurt met krimprijke mortel, wat de circulariteit van het systeem en het positief karakter van de gebruikte droge boutverbinding tenietdoet. Er kan best gewerkt worden met een kalkmortel die verwijderd kan worden met hoge druk, zo blijven de bouten toegankelijk. Het gebruik van deze boutverbindingen zorgt dat schoren overbodig wordt, wat leidt tot een winst op de snelheid van bouwen. De snelheid voor het produceren van deze kolommen ligt echter lager dan voor een traditionele prefab kolom. Momenteel worden de kolomschoenen (zie Figuur 19) en de ankerbouten ingestort, wat deze onderlinge verbinding onomkeerbaar maakt. (Peikko, 2020)



Figuur 18: Verbinding kolom – fundering (Peikko, 2020)



Figuur 19: Ingestorte kolomschoenen en ankerbouten (Peikko, 2020)



#### 8.1.4 Modulair houten bouwsysteem – Steko

Steko (Figuur 20) is een duurzaam modulair bouwsysteem dat opgebouwd is uit gestandaardiseerde, industrieel geproduceerde massief houten modules. De muren zijn dragend en worden zonder lijm, spijkers of andere bevestigingsmiddelen gemonteerd. De verbinding tussen de componenten onderling gebeurt door vergrendeling met behulp van hardhouten deuvels. Aangezien deze masterproef focust op gevelsystemen is het belangrijk te vermelden dat dit systeem in samenwerking met isolatie als dragende structuur voor de buitengevel gebruikt kan worden. De buitenmuren worden dan meestal gevuld met isolatie uit cellulosevezels of met perlietkorrels. Dit systeem draagt circulaire principes zoals prefabricatie, omkeerbaarheid en hergebruik hoog in het vaandel. (Steko, 2015)



Figuur 20: Modulair houten bouwsysteem (Steko,2015)



#### 8.1.5 Houtskeletbouw – WOODinc

WOODinc (Figuur 21) gaat verder dan de traditionele houtskeletbouw door Japanse tradities toe te passen. Er wordt gekozen voor een paal- en balksysteem in combinatie met gelijmd-gelamelleerd hout. De opbouw laat toe om volledig gedemonteerd en heropgebouwd te worden met dezelfde bouwcomponenten. Dit is mogelijk omdat er geen gebruik gemaakt wordt van nagels of schroeven, maar van carbonstalen connectoren die de balken en kolommen onzichtbaar verankeren. Deze verbindingsankers- en pennen vervangen de traditionele spijker en pen- en gatverbinding. De mogelijkheid bestaat ook om de raamwerken op te vullen met isolatie. (WOODinc, 2018)



Figuur 21: Houtskeletbouw met connectoren (WOODinc, 2018)



## 8.2 Isolatiematerialen

### 8.2.1 Rotswolisolatie – Rockwool

De isolatie van Rockwool is volledig recycleerbaar en bestaat uit ongeveer 50% gerecycleerde materialen. De andere 50% van dit product bestaan uit het natuurlijk vulkanisch basaltgesteente. Rotswol heeft een levensduur van 75 jaar en een lage milieu-impact. Een ander voordeel van dit materiaal is de onbrandbaarheid. Ook biedt Rockwool een retourdienst aan voor resten rotswol, Rockcycle. Wanneer de resten rotswol gescheiden worden van ander bouwafval, haalt Rockcycle deze op. Door de resten rotswol te hergebruiken voor de productie van nieuwe hoogwaardige rotswolproducten, wordt de kringloop gesloten. (Spronken, 2019)



### 8.2.2 Glaswolisolatie – ISOVER

ISOVER-glaswol bestaat tot 75% uit gerecycleerd glasafval. Verder komt dit materiaal tot stand door zand en kalk te mengen. Glaswol is recycleerbaar doordat het afval via een systeem met recyclagezakken terug naar de fabriek gevoerd wordt. Uiteindelijk spreekt ISOVER over cijfers waarbij 1 m<sup>3</sup> grondstof leidt tot 150 m<sup>3</sup> glaswol. Elk product van ISOVER bezit ook een “Environmental Product Declaration” waarin de resultaten van een uitgevoerde LCA weergegeven worden. In dit document staat aangegeven dat een levensduur van 50 jaar verondersteld wordt. (Isover, 2020)



### 8.2.3 Glaswolisolatie – Knauf

De glaswolisolatie van Knauf wordt samengesteld uit gerecycleerde inhoud van externe bronnen. In concreto gaat het over overblijfselen die anders vernietigd worden of naar een stortplaats worden gebracht. Er worden inspanningen geleverd om intern afval beter te verwerken, maar de basisgrondstof is ook al 80% gerecycleerd glas. Dat glas is voornamelijk afkomstig van glas uit glasbakken, maar ook uit vensterglas. Het wordt opnieuw in de productieketen geïntegreerd, waar het gemengd wordt met zand. Ook Knauf beschikt per product over EPD-documenten. (Knauf, 2020) Het nadeel van minerale wol als isolatie blijft de lagere lambda waarde in vergelijking met kunststof isolatiematerialen.



### 8.2.4 Cellenglas – Foamglas

Cellenglas is een synoniem voor foamglas of schuimglas. Het is een onbrandbaar materiaal opgebouwd uit 68% gerecycleerd glas en andere minerale grondstoffen zoals zand, kalk.... Deze anorganische isolatie wordt in een oven gemaakt waarbij CO<sub>2</sub> vrijkomt die luchtbelletjes doet ontstaan. Er wordt ingezet op een duurzame productie waarbij het opwarmen van gesmolten glas minder energie vereist dan het smelten van glas. Elke 10% recyclage komt overeen met een besparing van 3% energie. Ook na afbraak van een gebouw kan het cellenglas nog gebruikt worden als vulmateriaal. (Foamglas, z.d.) Cellenglas is een materiaal dat moeilijker te verwerken is dan minerale wol en een zwakke akoestische isolatie biedt.



### 8.2.5 Isolatiemateriaal op basis van gebruikte jeans – Métisse

Métisse is een flexibel isolatiemateriaal dat gemaakt wordt uit kledingstukken met specifieke thermische, hygroscopische en akoestische eigenschappen. De verwerking van de kleding gebeurt op een plaats niet ver van de fabriek waar de isolatie gemaakt wordt, waardoor transport van de grondstoffen tot een minimum beperkt wordt. 90% van het materiaal bestaat uit gerecycleerde katoenvezels wat akoestisch en thermisch goede eigenschappen bezit. Positief hier is de upcycling van een ander materiaal. (Eurabo, 2020)



## 8.2.6 Isolatiemateriaal op basis van cellulose – EverUse

De isolatieplaten van EverUse zijn flexibele isolatiematten van cellulose afvalstromen van papier en karton. Het isolatiepakket bestaat ook in combinatie met een gipsplaat. De producten worden bij het einde van de levensduur opnieuw gerecycleerd om er nieuwe materialen van te maken. Deze isolatie is niet brandbaar, er komt geen schadelijke rook vrij en er ontwikkelen zich geen brandende druppels. Omwille van de mogelijkheid tot mechanische bevestiging is het systeem te demonteren zonder schade. (EverUse, 2019)



## 8.2.7 Grasisolatie – GramiTherm

Deze biogebaseerde isolatie (Figuur 22) is gemaakt van gras en bijgevolg recycleerbaar. Extracten worden uit cellulosevezels van ruw gras gehaald om daarna in productie te gaan. De isolatie bevat een vrij hoge  $\lambda$ -waarde van 0,040 W/mK en bezit zowel een thermische als akoestische functie. Een extra voordeel is dat de grasisolatie een negatieve CO<sub>2</sub>-voetafdruk heeft: 1 kg GramiTherm absorbeert 1,5 kg CO<sub>2</sub>-equivalent. Deze isolatie wordt vaak toegepast tussen dakspanten, maar ook gebruik aan de binnenkant van buitenmuren is mogelijk. (GramiTherm, 2019)



Figuur 22: Grasisolatie (GramiTherm, 2019)

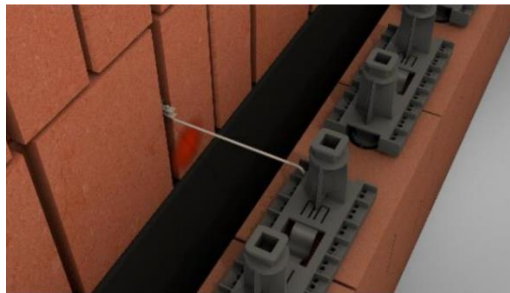


## 8.3 Gevelafwerking

### 8.3.1 Facadeclick

De Facadeclick is een droog bouwsysteem van gevelstenen die in elkaar klikken om zo blokken te vormen. Er wordt geen gebruik gemaakt van niet-circulaire lijmen of mortels, waardoor de stenen recycleerbaar zijn. De gevelstenen worden via een speciaal bevestigingssysteem, zonder boren, maar

met speciale ankerpunten aan de draagstructuur verankerd. Het voordeel van een droog bouwstelsel is dat er geen kans is op uitbloeiingen, aangezien bouwvocht niet aanwezig is. Ook zorgt de Facadeclick ervoor dat de muur tot 2 keer sterker is dan een klassiek opgebouwde muur door het opnemen van trek- en drukkrachten. (zie Figuur 23) De isolatie wordt nadien via gaten in de spouw gespoten, waarbij de volledige ruimte opgevuld wordt. Meestal wordt gebruik gemaakt van geëxpandeerde polystyreenkorrels (EPS) die stilstaande lucht bevatten en goed isoleren. Bij het inblazen van de parels wordt bindmiddel gebruikt om te zorgen dat de parels niet inzakken, krimpen of scheuren. (Facadeclick, 2019) Dit systeem maakt echter wel gebruik van toegevoegde klikprofielen wat de materiaalimpact verhoogt.



Figuur 23: Facadeclick (Facadeclick, 2019)



### 8.3.2 Clickbrick

De Clickbrick (Figuur 24) is een droog bouwstapelsysteem van het merk Wienerberger waarbij geen gebruik gemaakt wordt van metselen of verlijmen. De bakstenen zijn geperforeerde strengpersstenen die zowel aan de onder- als aan de bovenzijde een groef bevatten. In die groef wordt dan een rvs-clip geplaatst om de bakstenen met elkaar te verbinden. Door middel van een roestvrij spouwanker wordt deze aan de achterliggende draagconstructie bevestigd. Op die manier wordt het gebruik van grondstoffen gereduceerd en worden onderhoudsvrije gevels gecreëerd. (Clickbrick, 2019) Echter is het niet mogelijk om met deze stenen een vrijstaande wand te bouwen. De constructie op zich is niet stabiel en heeft nood aan een achterliggende bevestiging.





Figuur 24: Clickbrick (Clickbrick, 2019)



### 8.3.3 Gevelsteen Urbrick

Urbricks zijn gevelstenen van het bedrijf New Horizon die grotendeels bestaan uit grondstoffen die vrijkomen bij de sloop van gebouwen. Door deze recyclage worden onbewerkte grondstoffen vermeden en zo daalt het verbruik van materialen en energie, net zoals de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Ook BC Materials, een bedrijf uit Brussel, gebruikt grondstoffen die vrijkomen bij de sloop van gebouwen voor de productie van gevelstenen in leem. De stenen worden niet op de klassieke manier gebakken in een oven, maar geperst in een vorm. Zij zorgen er ook voor dat de grondstoffen die ze gebruiken zo weinig mogelijk transport vergen. Enerzijds wordt hier ingezet op de upcycling van afval tot bouw materiaal, anderzijds wordt blijvend gewerkt met een niet-demonteerbaar systeem. Deze gevelstenen worden nog steeds met mortel of lijm gemonteerd.



### 8.3.4 Gevelsteen Corium – Wienerberger

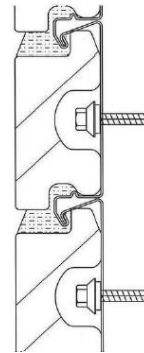
Het Corium gevelsysteem van Wienerberger (zie Figuur 25 en Figuur 26) gaat om een geventileerde gevel op basis van modulaire bakstenen. Op de dragende structuur wordt een stalen of houten regelwerk geschroefd waarop een bekleding wordt aangebracht. De stalen montageplaat kan indien nodig van de buitenste laag losgekoppeld worden, maar brengt een extra materiaalimpact teweeg. De steenstrips zijn speciaal samengesteld om mechanisch op het stalen gedeelte te bevestigen. Deze gebakken strips worden op hun plaats geklemd en de voegen worden opgevuld. Doordat het noodzakelijk is de voegen tussen de stenen op te vullen, wordt het demonteren van de gevel verhinderd. De levensduur van dit systeem wordt op 60 jaar gesteld dankzij de klippen in gegalvaniseerd of roestvrij staal. De gevelstenen op zich



beschikken over een langere levensduur, waardoor de gelaagdheid van dit systeem als niet goed beoordeeld wordt. De brandklasse van Corium is A1.



Figuur 25: Corium gevelsysteem (Wienerberger, 2020)



Figuur 26: Verticale snede Corium (Wienerberger, 2020)



### 8.3.5 LeeBrick

LeeBrick is een prefab bouwsysteem (Figuur 27) waarin gevelstenen toegepast worden zonder gebruik van metsel- en voegmortel. De stenen bezitten een inkeping aan de kopse zijden en worden op dragers bevestigd die aan de hand van metalen schroefverbindingen verankerd worden aan een frame. De steen wordt op vier plaatsen gefixeerd en kan meer naar voor of achteren geplaatst worden afhankelijk van de gemaakte inkepingen. Esthetisch zorgt dit voor een architecturaal reliëf. In geval van demontage zijn de stenen integraal herbruikbaar. (LeeBrick, 2015) Ook deze gevelsteen vergt een achterliggende constructie die zorgt voor een bijkomende materiaalstroom. De keuze voor een frame weegt wel op ten opzichte van het gebruik van mortels of lijmen wanneer de herbruikbaarheid en recyclage in het achterhoofd gehouden wordt.



Figuur 27: LeeBrick (LeeBrick, 2015)



### 8.3.6 Houten klikbekleding – Carpentier

De houten planken worden met behulp van een onzichtbaar bevestigingssysteem met clips op een onderconstructie gemonteerd. Eerst en vooral wordt de onderconstructie in aluminium of hout vastgeschroefd. Daarna wordt de aluminium of kunststof rail die voorzien is van clips bevestigd. Het vastklikken van de uiteindelijke houten gevelbekleding zorgt voor heel wat tijdsbesparing op de werf. De planken kunnen gedemonteerd worden aan de hand van speciale sleutels die onder de plank geschoven worden. Na demontage is het mogelijk de planken en de clips te hergebruiken. Wanneer nieuwe planken aangebracht moeten worden, is het noodzakelijk deze te voorzien van gleuven om het kliksysteem te gebruiken. Dit maakt dat compatibiliteit met materialen van andere fabrikanten klein is. (zie Figuur 28). Dit systeem scoort positief op omkeerbaarheid in vergelijking met de traditionele bevestiging van hout met nagels. Die doorboring zorgt namelijk voor een esthetische beschadiging waardoor het hout na demontage zelden nog hergebruikt wordt als gevelmateriaal, maar eerder als onzichtbaar plaatmateriaal binnenin de constructie.



Figuur 28: Houten klikbekleding (Carpentier, 2020)



## 9 Analyse op materiaalniveau

Dit hoofdstuk beoogt een classificatie van een reeks bouwproducten volgens hun mogelijkheid tot toepassen in een circulair gevelsysteem. Courante bouwmaterialen werden opgenomen ter analyse.

### 9.1 Beschrijving van de methode voor het bepalen van een circulaire waarde voor materialen

Er wordt een tabel opgesteld die als eindwaarde een score voor de circulariteitsonvriendelijkheid van een materiaal weergeeft. Concreet betekent dit dat hoe hoger de waarde is, hoe slechter het materiaal scoort op vlak van circulariteit. De tabel geeft scores weer voor materialen die als binnenspouwblad gebruikt worden, voor isolatiematerialen en voor materialen die als gevelbekleding dienen. Deze Tabel 8 is te vinden op pagina 61. Kleurcodes vergemakkelijken de visuele interpretatie van de waarden.

Om tot een totaalscore te komen worden enkele categorieën vooropgesteld die per materiaal geëvalueerd worden. Hieronder wordt per categorie besproken hoe de waarde bepaald wordt. Heel wat gegevens zijn afkomstig van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE). Daarnaast wordt beschreven hoe de globale waarde uiteindelijk berekend wordt.

Voor de drie types materialen (binnenspouwblad, isolatie, gevelbekleding) wordt een “gemiddeld materiaal” gedefinieerd, waarbij telkens het gemiddelde van de bovenstaande scores genomen wordt. Alle materialen worden vervolgens uitgezet ten opzichte van dit referentiegemiddelde. Zodoende wordt een score verkregen die weergeeft hoe goed/slecht het betreffende materiaal scoort in vergelijking met materialen van hetzelfde type. Om per materiaal tot een totaalscore te komen wordt een wegingsfactor van 1 tot 3 toegekend aan elke categorie. De categorieën die meest belangrijk zijn in de visie van een circulaire bouwstijl krijgen de hoogste wegingsfactor. Hieronder worden de wegingsfactoren van de desbetreffende categorieën opgelijst.

- 1: Niet-gerecycleerde inhoud, stort, verbranding, niet-recycleerbaarheid, kostprijs
- 2: Schaduwkost
- 3: Beschadigingspotentieel (de)montageproces, niet-flexibiliteit, omgekeerde levensduur

De voorlaatste kolom geeft een totaalscore weer die een sommatie bevat van alle gewogen waardes per materiaal. In de laatste kolom wordt opnieuw een procentuele score weergegeven die elk materiaal, met zijn totaalscore, uitzet ten opzichte van de andere gelijksoortige materialen via de totaalscore van het “gemiddeld materiaal”. Merk op dat met deze tabel dus geen absolute scores worden toegekend wat betreft de circulariteitsonvriendelijkheid, enkel een onderlinge relatie tussen de materialen valt af te leiden. Steeds geldt hoe hoger de score, hoe slechter het materiaal scoort.

### **9.1.1 Niet-gerecycleerde inhoud (%)**

NIBE geeft per bouw materiaal een procentuele hergebruikwaarde weer. De hoeveelheid gerecycleerd materiaal dat gebruikt wordt bij de productie wordt weergegeven bij de ‘bron2bron’ factoren. Deze factoren zoeken een verband tussen een LCA-analyse en het cradle-to-cradle principe. Om dit percentage uiteindelijk op een correcte manier te hanteren in de tabel (hoe hoger de waarde, hoe slechter), wordt het aangepast. In de tabel gaat het om de niet-gerecycleerde inhoud: [100% - hergebruikwaarde van NIBE].

### **9.1.2 Stort (%)**

In de afvalfase is het mogelijk dat het materiaal gestort wordt. Hoe meer materiaal gestort wordt, hoe slechter de beoordeling.

### **9.1.3 Verbranding (%)**

Verbranding is een tweede optie tijdens de afvalfase. Hoe hoger het percentage verbranding, hoe minder circulair het materiaal is. Verbranding betekent namelijk dat niets anders met het materiaal aangevangen kan worden. Enkel de vrijgekomen energie kan worden gebruikt voor andere toepassingen.

### **9.1.4 Niet recycleerbaar (%)**

Recycleerbaarheid is ook een belangrijke factor tijdens de afvalfase. NIBE geeft per bouw materiaal een percentage aan dat de recycleerbaarheid begroot. Hier wordt de gegeven waarde opnieuw aangepast [100% - opgegeven waarde] zodat hoe hoger de waarde, hoe kleiner de hoeveelheid materiaal dat recycleerbaar is.

### **9.1.5 Beschadigingspotentieel van het (de)montageproces (-)**

In deze categorie wordt besproken hoe groot de mogelijkheid tot schade is tijdens het monteren en demonteren van de materialen. Er wordt een score opgesteld tussen 0 en 100 die loopt van geen schade tot totale schade waarbij geen enkel hergebruik mogelijk is. In Tabel 2 worden de mogelijke scenario's met hun bijhorende waarde weergegeven. Bij de isolatie wordt uitgegaan van een mechanische bevestiging, het binnenspouwblad wordt samengesteld aan de hand van een mortel- of lijmvoeg. Aangezien deze waarde bij de gevelbekleding sterk afhankelijk is van de verankeringsmethode wordt het beschadigingspotentieel van deze categorie naar het elementniveau verplaatst.

Tabel 2: Scores van het beschadigingspotentieel

Beschadigingspotentieel	Score
Geen schade	0-10
Licht beschadigd zonder reductie van functie	20-40
Licht beschadigd met reductie van functie	50-70
Totale schade: zwaar beschadigd met verlies van functie	80-90
Totale schade: geen enkel hergebruik mogelijk	100

*Voorbeeld:* Bij de materialen voor het binnenspouwblad krijgt kalkzandsteen een score van 30 en prefabbeton 40. Deze behoren beide tot de categorie “licht beschadigd zonder reductie van functie”. Prefabbeton krijgt een slechtere waarde toegewezen omwille van het feit dat de krimpvrije gestorte mortel in elk geval verloren gaat. Het voordeel van de kalkzandsteen is de relatief dunne voeg. Direct hergebruik van kalkzandsteen is mogelijk, maar gebeurt op de dag van vandaag weinig door de hoge energiekost voor het onthechten van de lijm- of metselmortel.

De score bij cellenbeton is 55, terwijl die van baksteen 50 bedraagt. Een baksteen is robuuster dan een cellenbetonblok en bezit ook een groter gewicht. Enerzijds is er door de dikkere voeg minder kans om de steen te beschadigen, anderzijds moet de mortel op een voorzichtige manier verwijderd worden van de steen. Cellenbeton is lichter, waardoor sneller brokstukken zullen afkraken van het bouw materiaal. Het positieve is dan weer de dunne voeg waardoor minder vervuilde resten aan de steen blijven kleven. De schade bij het demonteren van een baksteen zal over het algemeen lager liggen dan bij cellenbetonblokken. Er wordt uitgegaan van een voorzichtige aanpak waardoor beide types stenen enkel lichte beschadigingen oplopen.

### 9.1.6 Niet flexibel (-)

Om materialen te categoriseren volgens flexibiliteit wordt Tabel 3 opgesteld met bewerkingmogelijkheden. Afhankelijk van de hardheid, verwerkingsvoorschriften en technische fiches van een materiaal, wordt een bepaalde techniek gekozen.

Tabel 3: Scores van flexibiliteit

Flexibiliteit	Score
Handmatig snijden	10
Handmatig zagen	20-40
Machinaal knippen	50-70
Machinaal slijpen/zagen	80-90
Onbewerkbaar	100

*Voorbeeld:* Glaswol en steenwol zijn zachtere isolatiematerialen en daarom makkelijker te snijden, of zelfs licht samen te proppen, om kleine ruimtes op te vullen. Deze kregen een waarde van 10. De harde

isolatiematerialen worden telkens handmatig gezaagd (20-40), maar het verschil bevindt zich in de moeilijkheidsgraad en snelheid van uitvoeren. In vergelijking met PUR is EPS makkelijker en sneller te verwerken omwille van de geringe hardheid. EPS krijgt dan ook een waarde van 20, terwijl PUR op 30 begroot wordt. Hetzelfde geldt voor de relatie tussen PIR/PUR en XPS.

### **9.1.7 Omgekeerde levensduur (-)**

Op de website van NIBE wordt de levensduur van het materiaal aangegeven. In de tabel wordt gewerkt met een omgekeerde levensduur, waarbij concreet [100 – de opgegeven levensduur] gebruikt wordt. Dit om opnieuw een hogere waarde toe te kennen aan een materiaal dat slecht scoort in deze categorie. Een hogere omgekeerde levensduur betekent een lagere werkelijke levensduur wat negatiever is. Deze waarden werden vergeleken met het “Rapport: Technische levensduur van gebouwcomponenten” van OVAM (2018).

### **9.1.8 Schaduwkost (€)**

In de rekentabel worden schaduwkosten van een materiaal per functionele eenheid opgenomen om een milieufactor in rekening te brengen. De schaduwkosten of verborgen milieukosten worden bepaald door de kosten van de noodzakelijke maatregelen om een bepaalde emissiedoelstelling te behalen. Deze hypothetische kosten weerspiegelen de uitgaven die de maatschappij zou moeten betalen om het milieudoel te bereiken. De kosten worden hoger naargelang het milieueffect belangrijker gevonden wordt. Ieder milieueffect bevat een weegfactor, uitgedrukt in euro, waardoor de som leidt tot één schaduwprijs per product.

In totaal wordt rekening gehouden met 18 milieueffecten die onderverdeeld worden in 4 categorieën: emissies, uitputting van grondstoffen, landgebruik en hinder. Bij de emissies spelen onder andere klimaatsverandering, de aantasting van de ozonlaag en verzuring een rol. De uitputting van grondstoffen en het landgebruik vergen geen verdere toelichting. Hinder komt dan weer voor op allerlei manieren: stank, geluid, licht... Deze milieueffecten worden in elke fase van het bouwproces (productiefase, constructiefase, gebruiksfase en de sloop- en verwerkingsfase) gekwantificeerd en nadien gesommeerd om tot één getal te komen.

De opwarming van de aarde wordt bijvoorbeeld meegenomen door €0,05 per kg CO<sub>2</sub>-equivalent te rekenen als milieukost. Een hogere kost komt voor bij de aantasting van de ozonlaag: €30 per kg CFC-equivalent. De schaduwkost staat per materiaal aangegeven op NIBE en wordt gebruikt in de rekentabel. In Tabel 4 wordt het voorbeeld van EPS-isolatie geschetst waarbij een totale schaduwkost van €1,14 bekomen wordt.

Tabel 4: Schaduwkost EPS-isolatie

	Milieueffect	Uitstoot	Eenheid	Prijs per eenheid(€)	Schaduwkost (€)
Emissies	Broeikaseffect	15,2	kg CO <sub>2</sub> eq	0,05	(15,2·0,05) = 0,76
	Ozonlaagaantasting	-0,00000001	kg CFC eq	30	-0,0000003
	Humane toxiciteit	1,38	kg 1,4 DB eq	0,09	0,1242
	Aquatische toxiciteit (zoet)	0,0446	kg 1,4 DB eq	0,03	0,001338
	Aquatische toxiciteit (zout)	180	kg 1,4 DB eq	0,0001	0,018
	Terrestrische toxiciteit	0,00517	kg 1,4 DB eq	0,06	0,0003102
	Fotochemische toxiciteit	0,0208	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	2	0,0416
	Verzuring	0,0378	kg SO <sub>2</sub> eq	4	0,1512
	Eutrofiëring	0,00343	kg PO <sub>4</sub> eq	9	0,03087
Uitputting	Abiotische grondstoffen	0,00000055	kg Sb eq	0,16	0,000000088
	Energiedragers	0,0873	kg Sb eq	0,16	0,013968
	Biotische grondstoffen	0	mbp	0,04	0
	Landgebruik	0	PDF m <sup>2</sup> jr	0,2048	0
Hinder	Stank	0	OTV m <sup>3</sup>	2,33E-08	0
	Geluid door wegtransport	0	DALY	321,946	0
	Geluid door productie	0	mbp	0,00000149	0
	Licht	0	mbp	0,024	0
	Kans op calamiteiten	0	mbp	0,024	0
					<b>1,14</b>

Op basis van deze schaduwkost wordt een onderscheid gemaakt tussen zeven milieuklassen. Binnen elke klasse bestaat een eerste voorkeur (a), een tweede voorkeur (b) en een derde voorkeur (c). Het beste product, vanuit milieuvorwaarden bekeken, krijgt steeds milieuklasse 1a. Binnen dezelfde productgroep wordt de milieuklasse gerelateerd aan het referentieproduct met milieuklasse 1a. Aan de hand van de milieukosten wordt de klasse bepaald.

Opnieuw wordt het voorbeeld van EPS-platen gegeven. In de categorie van spouwisolatie zijn biobased EPS-parels de beste keuze met een schaduwkost van €0,85. Dit materiaal krijgt dus milieuklasse 1a toegewezen en wordt als referentie gezien. Uit bovenstaand voorbeeld volgt dat de schaduwkost van EPS-platen €1,14 bedraagt. De milieubelastingsfactor hier bedraagt 1,34 omdat de milieukosten 1,34 keer zo hoog zijn als die van de referentie. Volgens onderstaande tabel is de milieuklasse van EPS-platen dan 1c.

In het algemeen wordt dat:

$$\text{Milieubelastingsfactor} = \frac{\text{Schaduwkost materiaal X}}{\text{Schaduwkost referentiemateriaal (klasse 1a)}}$$

Klasse	Subklasse	Omschrijving	Milieubelastingsfactor
1	a	Beste keuze	1 - 1,1
	b		> 1,1 - 1,32
	c		> 1,32 - 1,56
2	a	Goede keuze	> 1,58 - 1,9
	b		> 1,9 - 2,28
	c		> 2,28 - 2,74
3	a	Aanvaardbare keuze	> 2,74 - 3,28
	b		> 3,28 - 3,94
	c		> 3,94 - 4,73
4	a	Minder goede keuze	> 4,73 - 5,68
	b		> 5,68 - 6,81
	c		> 6,81 - 8,17
5	a	Af te raden keuze	> 8,17 - 9,81
	b		> 9,81 - 11,77
	c		> 11,77 - 14,12
6	a	Slechte keuze	> 14,12 - 16,95
	b		> 16,95 - 20,34
	c		> 20,34 - 24,40
7	a	Onaanvaardbare keuze	> 24,40 - 29,29
	b		> 29,29 - 35,14
	c		> 35,14 - 42,17
>7c		Onaanvaardbare keuze	> 42,17

Figuur 29: Milieuclassificatie (NIBE, 2020)

### 9.1.9 Kostprijs

Ook de kostprijs speelt een belangrijke rol als parameter voor de kans op het toepassen van de materialen. Het spreekt voor zich dat een materiaal dat perfect circulair is maar peperduur, niet altijd de voorkeur zal krijgen op andere materialen. Vaak is het zo dat tijdens het bouwen of renoveren van een woning vooral de plaatsing, of dus de manuren, het grootste deel van de portefeuille opslokken. De kostprijs voor het materiaal op zich en de plaatsing ervan werden samengeteld. Zo wordt een totale kost voor implementatie van het bouw materiaal bekomen. Echter, de bron van de kostprijzen is verschillend en wordt hieronder duidelijk gemaakt.

#### 9.1.9.1 Uitvoering (€ per m<sup>2</sup>)

De kostprijs voor de uitvoering van de werken werd bepaald aan de hand van de handleidingen van “Calculatienormen en richtprijzen” van de Bouwunie, de unie van het kmo-bouwbedrijf. Deze gidsen dateren van 2008 waardoor de kostprijzen van de materialen reeds voorbijgestreefd zijn. Echter, de kostprijs voor de uitvoering werd berekend aan de hand van het vermelde rendement [verwerkingstijd in uur per materiaaleenheid]. Dit werd vermenigvuldigd met de actuele kostprijs per manuur. Deze werd geschat op €25/uur. Dit betekent dat bijvoorbeeld het plaatsen van 1 m<sup>2</sup> steenwolisolatie met een rendement van 0,09u/eenheid een uitvoeringskost kent van  $[0,09u/m^2 \cdot €25/u =] €2,25/m^2$ .



### **9.1.9.2 Materiaal (€ per m<sup>2</sup>)**

De kostprijs van de materialen werd opgevraagd via Renovatiebedrijf Maarten Dutry BVBA dat op hun beurt de nodige onderaannemers of leveranciers contacteerde.

## **9.2 Gegevens van de gebruikte materialen**

Deze paragraaf somt de geanalyseerde bouwmaterialen met hun bijhorende karakteristieken op. De genoteerde gegevens zijn afkomstig van NIBE. Er werd gepoogd alle frequent gebruikte materialen op te nemen in de tabel. Tijdens het tekenen van de details wordt dan, waar mogelijk, een circulaire variant toegepast gebaseerd op de eerder beschreven producten die beschikbaar zijn op de markt. Wegens de beperkte beschikbaarheid van technische gegevens van deze circulaire bouwproducten uit paragraaf 8 konden deze niet worden opgenomen in de tabel.

### **9.2.1 Binnenspouwblad**

Materialen voor het dragende binnenspouwblad worden met elkaar vergeleken zoals het voor een periode van 75 jaar in een rijwoning toegepast zou zijn, inclusief binnenwandafwerking. Aangenomen wordt dat de minimale verticale weerstand van de muur 140 N/ m is. Het uitgangspunt voor de muur is telkens een hoogte van 2,8 m en een breedte van 5,4 m, die teruggerekend wordt naar een functionele eenheid van 1 m<sup>2</sup>.

Wegens het gebrek aan informatie werden voor dit type materialen geen waarden ingevuld in de categorie “niet-gerecycleerde inhoud” in Tabel 8.

Tabel 5: Gegevens binnenspouwbladen

	Belangrijkste grondstof	Massa m (kg)	Massa materiaal (kg)	Massa wapeningsstaal en spuitpleister (kg)	$\lambda$ (W/mK)	Dikte d (m)	Milieu-klasse
<b>Beton</b>	Cement, zand, grind, water	244,60	236,40	3,50+4,70	1,70	0,100	1c
	De binnenzijde is afgewerkt met 3 mm natuurgipsspuitpleister.						
	Belangrijkste grondstof	Massa m (kg)	Massa materiaal (kg)	Massa lijm mortel en natuurgips (kg)	$\lambda$ (W/mK)	Dikte d (m)	Milieu-klasse
<b>Cellenbeton</b>	Cement, zand, kalk, water	124,00	105,00	3,40+15,60	0,230	0,150	3a
	Er wordt uitgegaan van een verlijmde cementmortelvoeg van 2 mm en een natuurgipsspuitpleister van 3 mm. De lijm mortel bestaat uit cement, zand en water.						
<b>Snelbouw baksteen</b>	Klei	115,50	98,00	1,90+15,60	0,430	0,190	1c
	Het dragend binnenspouwblad bestaat uit geperforeerde keramische elementen verlijmd met een mortelvoeg van 2 mm en aan de binnenzijde afgewerkt met 10 mm gips. De elementen zijn verkregen door klei in de oven te bakken.						
<b>Kalkzandsteen</b>	Zand en kalk	180,30	174,0	1,60+4,70	1,000	0,100	2a
	De lijm mortel bestaat uit witte cement, zand en water. De mortelvoeg is 2 mm en de laag natuurgips is 3 mm dik.						

### 9.2.2 Isolatie

Het isolatiemateriaal wordt met elkaar vergeleken zoals het voor een periode van 75 jaar in de spouwmuur van een rijwoning zou toegepast zijn. De materialen worden vergeleken per functionele eenheid van 1 m<sup>2</sup>. Het isolatiepakket heeft een warmteweerstand  $R_d$  van minimaal 4,5 m<sup>2</sup>K/W met  $R_d = \frac{d}{\lambda}$  met  $\lambda$  = warmtegeleidingscoëfficiënt in W/mK en d = benodigde dikte in m. Dit betekent een maximale U-waarde van 0,23W/m<sup>2</sup>K, terwijl de EPB-wetgeving een waarde van 0,24 W/m<sup>2</sup>K vooropstelt.

Tabel 6: Gegevens isolatie

	Belangrijkste grondstof	Massa m (kg)	Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$ (W/mK)	Dikte d (m)	Massadichtheid $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Milieu-klasse
<b>EPS</b>	Aardolie	2,36	0,035	0,160	15	1c
<b>Glaswol</b>	Glasafval	3,94	0,035	0,160	25	2a
<b>PUR/PIR</b>	Aardolie	3,11	0,022	0,100	33	2a
<b>Steenwol</b>	Basalt	7,56	0,035	0,160	48	2b
<b>XPS</b>	Aardolie	4,01	0,027	0,120	33	3b
<b>Cellulair glas</b>	Glasafval	21,28	0,041	0,180	115	4a

### 9.2.3 Gevelbekleding

De gevelbekleding wordt met elkaar vergeleken zoals het voor een periode van 75 jaar in een buitenwand toegepast zou zijn. Er wordt, waar van toepassing, steeds rekening gehouden met een laag regelwerk en bevestigingsmiddelen, waardoor de massa per functionele eenheid van 1m<sup>2</sup> weergegeven wordt.

Tabel 7: Gegevens gevelbekleding

	Belangrijkste grondstof	Massa m (kg)	Massa materiaal (kg)	Massa bevestigingsmiddelen en regelwerk (kg)	Dikte d (m)	Milieu-klasse
<b>Vezelcement-plaat</b>	Kwartzand en cement	12,10	10,70	1,40	0,010	3b
<b>Hout Western Red Cedar</b>	Hout	8,00	7,20	0,80	0,016	1a
	De verzinkte stalen nagels en het regelwerk tellen voor 10% mee per vierkante meter.					
<b>Keramische holle tegel</b>	Klei	44,60	40,00	4,60	0,030	4a
	De bevestigingsmiddelen bestaan uit aluminium klemmen en verzinkt stalen profielen. Er is een bepaalde overlap van tegels voorzien die de klemmen bedekken.					
<b>Gevelsteen</b>	Klei	169,30	133,40	35,90	0,045	1c
<b>Zink-felsgevel</b>	Metaal	11,45	7,25	4,20	-	3c
	Een oppervlaktebehandeling van het zink wordt buiten beschouwing gelaten.					
<b>Natuursteen platen - graniet</b>	Graniet	83,50	81,00	2,50	0,030	5c
	De bevestigingsmiddelen zijn verzinkte stalen nagels.					
<b>Pleisterwerk - crepi</b>	Gips, zand	-	-	0,00	0,010	2a
	De buitenpleister bestaat uit een grond-, wapenings- en afwerkingslaag.					

Tabel 8: Analyse circulariteit op materiaalniveau

WEGINGSFACTOREN		1		1		1		1		3		3		3		2		1			
		Eindelevensduur																			
	Niet-gerecycleerde inhoud (%)	Niet-gerecycleerde inhoud tov gemiddelde (%)	Stort (%)	Stort tov gemiddelde (%)	Verbranding (%)	Verbranding tov gemiddelde (%)	Niet recycleerbaar (%)	Niet recycleerbaar tov gemiddelde (%)	Beschadigings-potentieel (de)montageproces	Beschadigings-potentieel (de)montageproces tov gemiddelde (%)	Niet flexibel	Niet flexibel tov gemiddelde (%)	Omgekeerde levensduur	Omgekeerde levensduur tov gemiddelde (%)	Schaduwkost (Euro)	Schaduwkost tov gemiddelde (%)	Kostprijs (Euro per m²)	Kostprijs tov gemiddelde (%)	GEWOGEN TOTAAL	Circulariteits-onvriendelijkheid tov gemiddelde (%)	
<b>ISOLATIE</b>																					
EPS platen	97	113,89	5,0	10,56	90,0	199,93	95,0	102,87	40	109,09	20	82,76	25	120,00	1,14	51,58	30,00	80,45	1546,42	278%	
Glaswol platen	65	76,32	85,0	179,58	5,0	11,11	90,0	97,46	20	54,55	10	41,38	25	120,00	1,38	62,44	28,75	77,09	1214,22	218%	
PUR/PIR platen	95	111,55	19,0	40,14	75,1	166,83	94,1	101,89	30	81,82	30	124,14	25	120,00	1,58	71,49	32,50	87,15	1628,41	293%	
Steenwolplaten	93	109,20	85,0	179,58	5,0	11,11	90,0	97,46	20	54,55	10	41,38	25	120,00	1,81	81,90	40,00	107,26	1316,18	236%	
XPS platen	97	113,89	5,0	10,56	90,0	199,93	95,0	102,87	30	81,82	35	144,83	25	120,00	3,21	145,25	30,00	80,45	1838,14	330%	
Cellulair glas	64	75,15	85,0	179,58	5,0	11,11	90,0	97,46	80	218,18	40	165,52	0	0,00	4,14	187,33	62,50	167,60	2056,64	370%	
<i>Gemiddeld materiaal</i>	85,17		47,33		45,02		92,35		36,67		24,17		20,83		2,21		37,29		556,58		
<b>GEVELBEKLEDING</b>																					
Vezelcementplaat	100	127,50	5,0	15,79	94,80	236,07	99,9	139,00	Afhankelijk van de bevestigingstechniek (Zie tabel pakketniveau)		85	99,17	75	162,54	2,09	77,99	125,00	83,25	1542,71	200%	
Hout Western Red Cedar	100	127,50	5,0	15,79	94,70	235,82	99,7	138,72		85	99,17	40	86,69	0,54	20,15	106,00	70,60	1186,30	153%		
Keramische holle tegel	39	49,73	1,3	4,11	7,50	18,68	8,9	12,38		90	105,00	25	54,18	3,07	114,55	135,00	89,91	881,45	114%		
Gevelsteen	35	44,63	31,6	99,82	0,00	0,00	31,6	43,97		80	93,33	25	54,18	3,18	118,66	75,00	49,95	918,22	119%		
Zink - felsgevel	77	98,18	5,0	15,79	60,10	149,66	65,1	90,58		70	81,67	58	125,70	2,22	82,84	200,00	133,21	1275,18	165%		
Natuursteen platen - graniet	98	124,95	83,7	264,40	14,00	34,86	97,9	136,22		90	105,00	25	54,18	6,79	253,36	320,00	213,13	1757,81	227%		
Pleisterwerk - crepi	100	127,50	90,0	284,30	10,00	24,90	100,0	139,14		100	116,67	75	162,54	0,87	32,46	90,00	59,94	1538,32	199%		
<i>Gemiddeld materiaal</i>	78,43		31,66		40,16		71,87				85,71		46,14		2,68		150,14		773,19		
<b>BINNENSPOUWBLAD</b>																					
Beton prefab			5,8	33,57	0,0	0,00	5,9	14,21	40	91,43	90	124,14	0	0,00	3,17	85,85	45,00	99,45	965,63	209%	
Cellenbeton			27,6	159,77	2,4	200,00	30,0	72,25	55	125,71	30	41,38	0	0,00	5,92	160,32	47,50	104,97	1358,92	295%	
Baksteen			29,1	168,45	1,5	125,00	30,5	73,45	50	114,29	80	110,34	0	0,00	3,38	91,54	36,00	79,56	1303,42	283%	
Kalkzandsteen			6,6	38,21	0,9	75,00	99,7	240,10	30	68,57	90	124,14	0	0,00	2,30	62,29	52,50	116,02	1172,03	254%	
<i>Gemiddeld materiaal</i>			17,28		1,20		41,53		43,75		72,50		0,00		3,69		45,25		461,39		

Tabel 9: Analyse duurzaamheid materiaalniveau

WEGINGSFACTOREN		1		1		1		1		0		0		3		2		1				
		Eindelevensduur																				
	Niet-gerecycleerde inhoud (%)	Niet-gerecycleerde inhoud tov gemiddelde (%)	Stort (%)	Stort tov gemiddelde (%)	Verbranding (%)	Verbranding tov gemiddelde (%)	Niet recycleerbaar (%)	Niet recycleerbaar tov gemiddelde (%)	Beschadigings-potentieel (de)montageproces	Beschadigings-potentieel (de)montageproces tov gemiddelde (%)	Niet flexibel	Niet flexibel tov gemiddelde (%)	Omgekeerde levensduur	Omgekeerde levensduur tov gemiddelde (%)	Schaduwkost (Euro)	Schaduwkost tov gemiddelde (%)	Kostprijs (Euro per m <sup>2</sup> )	Kostprijs tov gemiddelde (%)	GEWOGEN TOTAAL	Duurzaamheids-onvriendelijkheid tov gemiddelde (%)	Circulariteits-onvriendelijkheid tov gemiddelde (%)	
<b>ISOLATIE</b>																						
EPS platen	97	113,89	5,0	10,56	90,0	199,93	95,0	102,87	40	109,09	20	82,76	25	120,00	1,14	51,58	30,00	80,45	970,87	260%	278%	
Glaswol platen	65	76,32	85,0	179,58	5,0	11,11	90,0	97,46	20	54,55	10	41,38	25	120,00	1,38	62,44	28,75	77,09	926,44	248%	218%	
PUR/PIR platen	95	111,55	19,0	40,14	75,1	166,83	94,1	101,89	30	81,82	30	124,14	25	120,00	1,58	71,49	32,50	87,15	1010,55	270%	293%	
Steenwolplaten	93	109,20	85,0	179,58	5,0	11,11	90,0	97,46	20	54,55	10	41,38	25	120,00	1,81	81,90	40,00	107,26	1028,40	275%	236%	
XPS platen	97	113,89	5,0	10,56	90,0	199,93	95,0	102,87	30	81,82	35	144,83	25	120,00	3,21	145,25	30,00	80,45	1158,20	310%	330%	
Cellulair glas	64	75,15	85,0	179,58	5,0	11,11	90,0	97,46	80	218,18	40	165,52	0	0,00	4,14	187,33	62,50	167,60	905,54	242%	370%	
<i>Gemiddeld materiaal</i>	85,17		47,33		45,02		92,35		36,67		24,17		20,83		2,21		37,29		374,08			
<b>GEVELBEKLEDING</b>																						
Vezelcementplaat	100	127,50	5,0	15,79	94,80	236,07	99,9	139,00	Afhankelijk van de bevestigingstechniek (Zie tabel pakketniveau)		85	99,17	75	162,54	2,09	77,99	125,00	83,25	1245,21	241%	200%	
Hout Western Red Cedar	100	127,50	5,0	15,79	94,70	235,82	99,7	138,72			85	99,17	40	86,69	0,54	20,15	106,00	70,60	888,80	172%	153%	
Keramische holle tegel	39	49,73	1,3	4,11	7,50	18,68	8,9	12,38			90	105,00	25	54,18	3,07	114,55	135,00	89,91	566,45	110%	114%	
Gevelsteen	35	44,63	31,6	99,82	0,00	0,00	31,6	43,97			80	93,33	25	54,18	3,18	118,66	75,00	49,95	638,22	124%	119%	
Zink - felsgevel	77	98,18	5,0	15,79	60,10	149,66	65,1	90,58			70	81,67	58	125,70	2,22	82,84	200,00	133,21	1030,18	200%	165%	
Natuursteen platen - graniet	98	124,95	83,7	264,40	14,00	34,86	97,9	136,22			90	105,00	25	54,18	6,79	253,36	320,00	213,13	1442,81	280%	227%	
Pleisterwerk - crepi	100	127,50	90,0	284,30	10,00	24,90	100,0	139,14			100	116,67	75	162,54	0,87	32,46	90,00	59,94	1188,32	230%	199%	
<i>Gemiddeld materiaal</i>	78,43		31,66		40,16		71,87				85,71		46,14		2,68		150,14		516,05			
<b>BINNENSPOUWBLAD</b>																						
Beton prefab			5,8	33,57	0,0	0,00	5,9	14,21	40	91,43	90	124,14	0	0,00	3,17	85,85	45,00	99,45	318,93	283%	209%	
Cellenbeton			27,6	159,77	2,4	200,00	30,0	72,25	55	125,71	30	41,38	0	0,00	5,92	160,32	47,50	104,97	857,64	761%	295%	
Baksteen			29,1	168,45	1,5	125,00	30,5	73,45	50	114,29	80	110,34	0	0,00	3,38	91,54	36,00	79,56	629,53	559%	283%	
Kalkzandsteen			6,6	38,21	0,9	75,00	99,7	240,10	30	68,57	90	124,14	0	0,00	2,30	62,29	52,50	116,02	593,90	527%	254%	
<i>Gemiddeld materiaal</i>			17,28		1,20		41,53		43,75		72,50		0,00		3,69		45,25		112,64			

### **9.3 Algemene bevindingen op materiaalniveau**

Deze paragraaf analyseert de hierboven opgestelde tabel in grote lijnen. Enkele opvallende vaststellingen komen aan bod met achterliggende betekenis waarom bepaalde materialen beter, dan wel slechter, scoren dan andere.

#### **9.3.1 Harde vs. zachte isolatie**

Er valt duidelijk op te merken dat harde isolatie minder goed scoort dan zachte isolatie. Analyseren van de meest doorwegende kolommen in de tabel maakt meteen duidelijk waarom dit het geval is. Flexibiliteit en beschadigingspotentieel zijn twee criteria die belangrijk zijn in een circulaire economie. Zachte materialen zijn makkelijker in de omgang en hebben minder snijverliezen dan harde materialen. Vanwege hun samenstelling raken ze minder snel beschadigd bij stoten, transport....

Een voorbeeld hierbij is het inbrengen van isolatie tussen verticale stijlen. Zachte materialen bezitten een grotere capaciteit tot samendrukken waardoor het makkelijker is deze tussen de stijlen te proppen. De harde isolatiematerialen moeten veel nauwkeuriger op maat gesneden worden. Zowel het te klein als te groot uitvallen van harde isolatiepanelen zorgt voor moeilijkheden tijdens plaatsing. In het ene geval moeten extra dunne stroken worden weggesneden, terwijl in het andere geval extra isolatie moet worden toegevoegd. Voor het toe te voegen deel wordt vaak teruggerepen naar isolatieschuim dat zich in alle mogelijke kleine openingen wringt, maar geen circulair materiaal is.

#### **9.3.2 Kostprijs doorslaggevend**

De meest voorkomende gevelpakketten in hedendaagse (ver)bouwprojecten bezitten vaak snelbouwstenen, buitenpleisterwerk en/of parementmetselwerk. Eerst en vooral zijn dit de meest traditionele bouwmaterialen. Bovendien wordt bij analyse van Tabel 8 snel duidelijk waarom net deze materialen vaak gekozen worden door bouwheer of -promotor. De materialen scoren goed op kostprijs en dit is dan ook het doorslaggevende criterium.

Wanneer de grote initiële kost van de bouwmaterialen gespreid kan worden over de levensduur ervan is de kost in het begin van de bouwwerken heel wat minder hoog. Onderstaande Tabel 10 toont aan hoe de kost van de gevelmaterialen zich gedraagt ten opzichte van de levensduur. Deze tabel weerspiegelt met andere woorden de kost voor het gebruik van 1 m<sup>2</sup> geveloppervlak voor 1 levensjaar van het product.

Tabel 10: Kostprijs per levensjaar - gevelbekleding

Gevelbekleding	Kostprijs/Levensduur (€/jaar)
Vezelcementplaat	5,00
Zink - felsgevel	4,76
Natuursteen platen - graniet	4,27
Pleisterwerk - crepi	3,60
Keramische holle tegel	1,80
Hout Western Red Cedar	1,77
Gevelsteen	1,00

Het toepassen van een parementmetselwerk blijkt ook hier een goede keuze wat de kostprijs betreft. Deze toepassing bezit namelijk de kleinste absolute kost en een relatief grote levensduur. Hoewel de absolute kost voor het buitenpleisterwerk klein is, wordt hier duidelijk dat door de kleine levensduur ervan verhoudingsgewijs toch een grote som wordt betaald per levensjaar.

### 9.3.3 Prefabbeton

Prefabbeton scoort goed op vlak van circulariteit. Hier moeten echter enkele kanttekeningen bij gemaakt worden. Ten eerste is de bijhorende kostprijs exclusief werkuren ter voorbereiding van de plaatsing en uittekenen van de plannen. Ten tweede wordt wat het hergebruik betreft enkele rekening gehouden met het beschadigingspotentieel tijdens demontage. Hier wordt niet gekeken naar de eenvoud waarmee bepaalde prefab stukken gebruikt kunnen worden in andere projecten. Het spreekt voor zich dat kleine bouwcomponenten eenvoudiger toe te passen zijn in een nieuwe omgeving. De prefab betonnen elementen worden steeds op maat gemaakt, waardoor deze in een nieuw project vaak niet passen.

Aan de andere kant scoort prefabbeton, omwille van zijn omvang en productie op maat, beter op vlak van afwerking. De vlakke, doorlopende oppervlakken maken het makkelijker de constructie luchtdicht af te werken. Zo wordt duidelijk dat het negatief karakter van de aangestorte cementvoeg op vlak van demonteerbaarheid een positieve eigenschap vormt op vlak van luchtdichtheid. Dit illustreert de moeilijkheid omtrent het vinden van circulaire, luchtdichte verbindingen.

## 9.4 Duurzame vs. circulaire materialen

Bovenstaande Tabel 8 bevat heel wat kenmerken in verband met duurzaamheid. In paragraaf 2.1 werd het verschil aangeduid tussen duurzaamheid en circulariteit. Circulaire materialen zijn voorzien op dat stapje meer. Ze zijn vervaardigd met mogelijkheid ingezet te worden in een circulaire economie. Begrippen als “Beschadigingspotentieel van het (de)montageproces” en “Flexibiliteit” kunnen resoluut worden gelinkt aan dit type producten.

In volgende analyse wordt Tabel 8, via de wegingsfactoren, aangepast zodat de circulaire karakteristieken geweerd worden. Concreet krijgen bovenstaande begrippen een wegingsfactor 0. Op deze manier kan een analyse gemaakt worden welke materialen wel degelijk duurzaam zijn, maar niet goed scoren op vlak van circulariteit. Tabel 9 geeft de resultaten van deze aanpassing. De laatste kolom in deze tabel is precies dezelfde als deze in Tabel 8. Met andere woorden zijn daar alle criteria ten volle meegerekend. De voorlaatste kolom geeft het resultaat weer rekening houdende met de wegingsfactoren zoals deze bovenaan staan aangegeven. Grote verschillen tussen deze beide kolommen wijzen dus op een materiaal dat duurzaam, maar niet circulair is. Merk op dat de omgekeerde stelling onbestaande is. Een materiaal kan niet circulair worden genoemd als het niet duurzaam is.

Opvallend is de score voor cellulair glas. Binnen de categorie van de isolatiematerialen scoort dit product goed op vlak van duurzaamheid. Daartegenover staat de slechte score op vlak van circulariteit. Cellulair glas wordt vandaag de dag vaak gebruikt als kimlaag en isolatie onder helling voor platte daken. Duurzaam is dit product zeker, maar toch is deze keuze niet te verantwoorden op vlak van circulariteit. Ook voor steenwol vindt een verrassende vaststelling plaats. Daar het als zacht isolatiemateriaal goed scoort op vlak van circulariteit, scoort het heel wat minder goed als de circulaire karakteristieken niet worden meegerekend in de analyse. Dit in tegenstelling tot zachte glaswolplaten die in beide kolommen steeds tot de beste in het rijtje horen. Vooral het verschil in schaduwkost speelt hierin een belangrijke rol.

## **9.5 Beperkingen bij het meten van de circulariteit**

Bij het meten van de circulariteit in Tabel 8 werden een aantal belangrijke aspecten geëvalueerd om een beeld te scheppen over hoe circulair een materiaal is. Echter is het onmogelijk alle relevante zaken mee te nemen in de criteria omdat deze vaak projectafhankelijk zijn. Zo is het moeilijk om transport toe te voegen aan de tabel. De impact van transport is over het algemeen vrij klein. Meer en meer wordt ook ingezet op efficiënt transport om de last op de stad te verminderen. Ook de informatiedoorstroom of het opstellen van materiaalpaspoorten is een essentieel gegeven in de verdere toekomst of recuperatie van de materialen.

Daarnaast spelen de hoeveelheden van een materiaal een rol om de impact van de verpakkingen te kwantificeren. Een grotere hoeveelheid materiaal vergt relatief gezien minder verpakking, maar mogelijks wel een grotere transportvoorziening. Tegenwoordig bestaan ook bedrijven die ervoor zorgen dat plastic verpakkingsfolie op de werf apart ingezameld wordt. Op die manier wordt de sorteerverplichting nageleefd en blijft de werf proper. De ingezamelde plastics kunnen gerecycleerd worden en gebruikt worden bij de vervaardiging van andere producten. In het idee van circulair bouwen wordt verpakkingsvrij leveren steeds belangrijker.



Verder moet nog steeds met een kritisch oog gekeken worden naar de scores. Bij wijze van voorbeeld is het niet zo dat een glaswolplaat met een relatief goede score in iedere toepassing gebruikt kan worden waarin een slechter scorende XPS plaat normaal gehanteerd wordt. Steeds moeten alle eigenschappen van het materiaal, in dit geval bijvoorbeeld de drukvastheid, meegenomen worden bij het maken van een keuze.

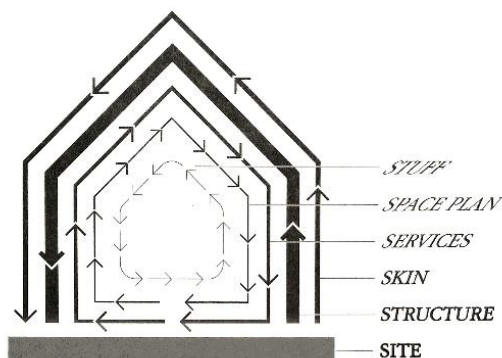
## 10 Circulariteit op elementniveau

Het belangrijkste speelt zich uiteindelijk af op elementniveau waar omkeerbaarheid centraal staat. De overgang van afzonderlijke materialen naar pakketten brengt enkele aandachtspunten met zich mee. Dit hoofdstuk lijst deze aandachtspunten op.

### 10.1 Fundamentele lagen

Een gebouw is opgebouwd uit verschillende lagen en elk van deze lagen heeft een eigen levensduur. Wanneer gebouwd wordt in onafhankelijke lagen, is het mogelijk om bepaalde materialen te vervangen zonder materialen uit een andere laag aan te tasten. Dit betekent ook minder investeringskosten aangezien mutaties plaatsvinden in makkelijk aanpasbare of makkelijk toegankelijke lagen. Bouwen in onafhankelijke lagen betekent niet dat elke laag apart aangebracht moet worden, het betekent dat de mogelijkheid er is om elke laag apart te demonteren. De laag met de kortste levensduur mag niet bepalend zijn bij vervangingen of onderhoud van het hele gebouw.

Stewart Brand stelde in 1994 dat een gebouw uit zes lagen bestaat (zie Figuur 30). De site gaat over de geografische ligging, deze locatie ligt vast en heeft een oneindige levensduur. Vervolgens komt de structuur met een levensduur van 30-300 jaar aan bod. Deze draagstructuur en funderingen zijn op technisch vlak moeilijk aan te passen, ook financieel brengt dit veel kosten met zich mee. Een derde laag is de skin, de gevel van het gebouw, welke een levensduur van 20-60 jaar bezit. Het exterieur van het gebouw evolueert vaak mee met de architecturale trends. De volgende laag zijn de services, deze bevatten de installaties, leidingen, liften, trappen... en hebben een levensduur van 7-15 jaar. Het interieur heeft een levensduur van 3-30 jaar en verandert voornamelijk wanneer de behoefte verandert. De laatste laag heet "Stuff" en deze omvat het meubilair en krijgt geen levensduur mee. Brand wil daarmee illustreren dat dit een zeer variërende laag is. De technische levensduur van een gebouw overstijgt vaak de functionele levensduur, omwille van wisselende eisen en behoeften van gebruikers of bewoners.



Figuur 30: Zes functionele lagen volgens Brand (Brand, 1994)

## 10.2 Demonteerbaarheid: typeverbindingen en toegankelijkheid

Bij het samenstellen van materialen tot pakketten spelen de onderlinge verbindingen een cruciale rol. Zowel de gevelbekleding als de isolatie kan op meerdere manieren vastgemaakt of aangebracht worden op de achterliggende structuur. Er bestaan verschillende soorten verbindingen die van niet-circulair tot circulair gecategoriseerd kunnen worden. De inspiratie voor onderstaand beschreven methode om de demonteerbaarheid te becijferen komt voort uit de losmaakbaarheidsindex van Alba Concepts. (Alba Concepts, 2018)

Demonteerbaarheid drukt zich enerzijds uit in typeverbindingen en anderzijds in de toegankelijkheid van het aansluitpunt. Circulaire bouwmaterialen en -strategieën spelen met deze waarden aan de hand van modulaire standaardverbindingen, prefabsystemen en makkelijk te demonteren/ontmantelen producten. In de rekestabel wordt het gemiddelde genomen van beide waarden. Tabel 11 geeft de scores van de verschillende typeverbindingen weer, terwijl Tabel 12 de toegankelijkheid van de verbindingen toont. De waarde voor demonteerbaarheid wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\text{Demonteerbaarheid} = \frac{\text{Typeverbinding} + \text{Toegankelijkheid verbinding}}{2} \quad (-)$$

Tabel 11: Scores van de typeverbindingen

Typeverbinding		Score
<b>Droge verbinding</b>	Droge verbinding	0
	Klikverbinding	0
	Klittenbandverbinding	0
	Magnetische verbinding	0
<b>Verbinding met toegevoegde elementen</b>	Bout- en moerverbinding	20
	Veerverbinding	20
	Hoekverbinding	20
	Schroefverbinding	20
<b>Directe integrale verbinding</b>	Pin-verbindingen	40
	Spijkerverbinding	40
<b>Zachte chemische verbinding</b>	Kitverbinding	80
<b>Harde chemische verbinding</b>	Lijmverbinding	90
	Cementgebonden verbinding	90
	Chemische ankers	90

Tabel 12: Scores van de toegankelijkheid van de verbinding

Toegankelijkheid verbinding	Score
Toegankelijk	0
Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	20-40
Toegankelijk met extra handelingen met herstelbare schade	50-70
Toegankelijk met extra handelingen met veel schade	80-90
Niet toegankelijk - totale schade aan beide materialen	100

Bij de toegankelijkheid van de verbindingen wordt telkens gerefereerd naar de voorliggende laag. De score bij de gevelbekleding zal steeds 0 zijn, omdat deze altijd toegankelijk blijft. Voor de waarde bij de isolatielaag wordt dan gekeken of de gevelbekleding al dan niet gedemonteerd kan worden om zo de isolatie bloot te leggen. De waarde bij de draagstructuur wordt op gelijkaardige manier bekomen door de losmaakbaarheid van de isolatie te analyseren. Dit duidt het verschil aan met het beschadigingspotentieel uit paragraaf 9.19.1.5 dat de mogelijkheid tot schade bij het (de)monteren binnen een materiaallaag weergeeft. Daar gaat het over de verbindingen in één laag. Bij de isolatielaag is deze waarde dan afhankelijk van het feit of ze al dan niet met tand en groef bevestigd zijn of onderling verlijmd.

In Tabel 12 is ook te zien dat bij “toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken” een bereik tussen 20 en 40 weergegeven wordt. Er wordt een onderscheid gemaakt naargelang de manier van montage het mogelijk maakt één materiaal uit de volledige gevel weg te halen. Indien het systeem zo werd opgebouwd dat elke gevelcomponent op zich gedemonteerd kan worden zonder dat daarvoor extra handelingen nodig zijn, wordt een waarde van 20 toegekend. Wanneer echter een groot deel van de gevelbekleding weggenomen moet worden om dan pas over de mogelijkheid te beschikken dat ene element in het midden te bereiken en te demonteren, dan wordt 30 of 40 toegekend. Met andere woorden gaat dit over de afhankelijkheid tussen de gevelcomponenten onderling. Hier geldt dezelfde filosofie als voorgaand: hoe hoger, hoe slechter. Verdere verduidelijking van dit probleem gebeurt in paragraaf 12.1.2 met enkele constructiedetails.

*Voorbeeld:* De opbouw van een gevel bestaat uit prefabbeton, mechanisch verankerde steenwol en gemetselde gevelstenen (zie Tabel 13). De typeverbinding is doorgaans eenduidig te bepalen. Zowel prefabbeton als gemetselde gevelstenen hebben een cementgebonden verbinding (90). De steenwol is mechanisch verankerd, dit betekent een verbinding met toegevoegde elementen (20). Bij de toegankelijkheid is, zoals eerder vermeld, de gevelsteen steeds toegankelijk (0). De steenwol is niet toegankelijk omwille van de voorliggende gevelstenen die door middel van een mortelvoeg worden vastgemaakt (80). Voor de toegankelijkheid van de draagstructuur wordt enkel naar de eerstvolgende voorliggende laag gekeken. De prefabbeton structuur is benaderbaar aan de hand van extra handelingen

die weinig tot geen schade veroorzaken, het losmaken van de mechanische verbindingen waarmee de isolatielaag werd bevestigd (20). Aan de hand van bovenvermelde formule komt de eindwaarde op 150 neer.

Tabel 13: Voorbeeld demonteerbaarheid

	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
<b>Prefabbeton</b>	90	20	$(90+20)/2 = 55$
<b>Steenwol: mechanisch verankerd</b>	20	80	50
<b>Gevelsteen: gemetseld</b>	90	0	45
<b>TOTAAL</b>			$55+50+45 = 150$

### 10.3 Optimale renovatie-strategie

Eerder werd onderzoek gevoerd naar de optimale renovatie-strategie waarmee een gebouwschil kan worden aangepakt. Dit onderzoek van Van Gulck (2019) concludeert dat de ideale renovatiestrategie een toepassing van buitenisolatie is. Deze categorie wordt opgesplitst in 3 subsystemen. Enerzijds is er de buitenisolatie met luchtspouw en voorhanggevel, anderzijds is er het buitensysteem met luchtspouw en een gevel in parementmetselwerk en een derde optie is het plaatsen van buitenisolatie zonder luchtspouw (vb. ETICS). Dit laatste maakt gebruik van verlijmded isolatiepanelen en kan bijgevolg niet als circulaire renovatie-strategie gezien worden. Desalniettemin wordt dit systeem gebruikt als toets aan de praktijk (financieel, uitvoeringsprocedure...), daar dit toegepast wordt in tal van hedendaagse gevelrenovaties. Samen met wat eerder in paragraaf 2.4 werd gesteld over het voordeel van een renovatie ten opzichte van een nieuwbouw op vlak van milieu dienen de in hoofdstuk 12 gevonden gevelsystemen beoordeeld op hun eventuele toepassing in de renovatie.

### 10.4 Evoluerende normen

Uit onderzoek naar de optimale dikte van het isolatiepakket in een ETICS-systeem wordt een dikte van 47 cm EPS bekomen. Wanneer gebruik gemaakt wordt van een voorhanggevel, wordt een optimale dikte van 36 cm à 40 cm bekomen. Meer isolatie betekent een te grote materiaalimpact, terwijl een kleinere dikte weer te grote energieverliezen met zich meebrengt. Het moge duidelijk zijn dat dit onderzoek van Van Gulck (2019) slechts enkele systemen bestudeert. Toch kunnen deze gevonden waarden dienen als grootteorde voor een optimaal isolatiepakket. Kanttekening bij dit onderzoek is de puur theoretisch bekomen hoeveelheid. In werkelijkheid worden dergelijke pakketten niet op de markt gebracht. Een tweelaags isolatiesysteem gaat wel, maar moet dan opnieuw worden geëvalueerd op basis van bevestigingstechnieken. (Van Gulck, 2019)

De steeds dikker wordende isolatiepakketten zorgen ervoor dat uitdagingen zich voordoen op vlak van bevestigingstechnieken. Elk van de bestaande technieken kent zijn voor- en nadelen. Lijmverbindingen zijn makkelijk aan te brengen en kennen een goede hechting, maar zijn niet circulair en niet in staat gebruikt te worden als enige bevestigingsmethode in combinatie met tweelaagse isolatie. Mechanische pluggen zijn daarvoor wel geschikt, maar zorgen ter plaatse van penetratie van het isolatiepakket voor een koudebrug. De in hoofdstuk 12 bekomen gevelpakketten moeten worden geëvalueerd op basis van hun mogelijkheid tot uitbreiding van het isolatiepakket.

### 10.5 Voorbeeld: JuuNoo wand

Bij wijze van voorbeeld op wat in hoofdstuk 11 voor ogen gehouden wordt, komt hier een voorbeeld van een samengestelde circulaire binnenwand aan bod. Verschillende materialen die geanalyseerd werden in hoofdstuk 9 worden in een volgend hoofdstuk samengevoegd tot een pakket. Meerdere combinaties worden vergeleken om zo te komen tot een optimaal circulair gevelsysteem.

JuuNoo (Figuur 31) is een circulair compartimenteringssysteem voor ruimtes, waarbij aanpassingen van de ruimte niet leiden tot bouwafval. De gegalvaniseerde stalen kaders worden in elkaar geklikt en het systeem laat toe om akoestische of brandwerende isolatie te plaatsen. Ook is het mogelijk om nutsvoorzieningen in de wand te plaatsen. Het is mogelijk om de afwerking nog vrij te kiezen: gipskarton, OSB, multiplex...



*Figuur 31: JuuNoo interieurwand (JuuNoo, 2019)*

In onderstaande tabel wordt de JuuNoo interieurwand, gecombineerd met verschillende afwerkingslagen, vergeleken met enerzijds een houten draagconstructie en anderzijds een metal stud. Telkens wordt voor een aantal categorieën een quotering gegeven. Merk op dat, in tegenstelling tot wat in hoofdstuk 9 wel wordt uitgewerkt, hier niet wordt toegewerkt naar een globale score voor het hele pakket, maar enkel een vergelijking wordt gemaakt op basis van een aantal kenmerken (kolomgewijs).

Structuur <small>Ind. bouwe</small>	Afwerking			Snelheid	Restwaarde	Akoestiek	Sterkte	Brandweerstand
	laag 1	laag2	afwerkingslaag	1 -> 3	(%)	(dB)	1 -> 5	(EI)
JuuNoo	ClickWall	-	Decor	4	90%	43	3	30*
	ClickWall	JuuNoo tapes	Decor	5	98%	43	3	
	ClickWall		2x verf	4	90%	43	3	30*
	OSB	ClickWall	Decor	4	90%	52	5	60*
	Gyproc	-	Banden + 2x verf	3	50%	43	2	30*
	Gyproc	Gyproc	Banden + 2x verf	3	50%	49	3	60
	OSB	Gyproc	Banden + 2x verf	3	75%	51	4	
Hout	Gyproc	-	Banden + 2x verf	1	0%	34	2	30
	Gyproc	Gyproc	Banden + 2x verf	1	0%	34	3	60
	OSB	Gyproc	Banden + 2x verf	1	25%	42	4	
MS75	Gyproc	-	Banden + 2x verf	2	0%	43	1	30
	Gyproc	Gyproc	Banden + 2x verf	2	0%	49	2	60
	OSB	Gyproc	Banden + 2x verf	2	0%	51	3	

\* extrapolatie

Tabel 14: Vergelijking JuuNoo, hout & metal stud (JuuNoo, 2019)

Er valt op te merken dat de bouwsnelheid bij het JuuNoo systeem hoger ligt dan bij de twee alternatieven. De wanden worden in het beste scenario geplaatst om te bekijken hoeveel materiaal hergebruikt kan worden indien de wand verplaatst wordt in hetzelfde gebouw. De restwaarde geeft een percentage aan voor het aantal herbruikbare componenten. Dit percentage is uitgedrukt in het aantal herbruikbare componenten op het geheel, vermenigvuldigd met het volume. Hierbij valt te zien dat een metal stud geen enkele mogelijkheid biedt tot hergebruik. Ook is het duidelijk dat een verlaag een negatieve invloed heeft op de restwaarde van het materiaal. De panelen, de schroeven en de slagpluggen zijn niet altijd recycleerbaar. Vervolgens geeft akoestiek het akoestisch isolerend vermogen weer, uitgedrukt in decibels. De sterkte omvat dan weer een score die de weerstand van het materiaal en de hardheid of schroefbaarheid beschrijft. Als laatste wordt de brandweerstand vergeleken. (JuuNoo, 2019)

## 11 Analyse op elementniveau

Dit luik gaat over tot de combinatie van verschillende materialen om tot een circulair bouw pakket te komen waarbij de materiaalkringloop zoveel mogelijk gesloten is. Alle bovenstaande aandachtspunten indachtig wordt een tabel opgesteld waarin verschillende gevelpakketten met elkaar worden vergeleken, deze is terug te vinden op pagina 75.

### 11.1 Beschrijving van de methode voor het bepalen van een circulaire waarde voor gevelpakketten

Ook hier worden enkele beoordelingscategorieën vooropgesteld. Deze komen overeen met diegene voor de individuele materialen uit Tabel 8 op pagina 61, maar worden vermeerderd met de categorie “Demonteerbaarheid” zoals besproken in paragraaf 10.2 en “Beschadigingspotentieel (de)montageproces” voor de gevelbekledingen zoals vermeld in paragraaf 9.1.5. Tijdens het bepalen van laatst vernoemde waarde wordt Tabel 2 toegepast op de gevelbekleding inclusief specifieke bevestigingsmethode. Opnieuw worden weegfactoren toegekend aan de verschillende criteria waarbij criteria met een rechtstreeks verband met circulariteit een hogere factor krijgen dan andere.

Uit elk van de types materialen (binnenspouwblad, isolatie, gevelbekleding) wordt een materiaal gekozen dat goed scoort in de circulariteitstabel op materiaalniveau. Deze drie materialen worden samengevoegd en door middel van een gekozen bevestigingssysteem met elkaar verbonden. De typeverbinding heeft, zoals reeds vermeld, invloed op de score voor demonteerbaarheid. De waarden voor de andere kolommen worden overgenomen uit de tabel op materiaalniveau. Vervolgens worden de waarden per kolom opgeteld, waarna met deze som een gewogen totaal wordt berekend. Dit totaal dient als eindscore voor het opgesteld gevelpakket.

De laatste kolom van deze tabel geeft een aandeel weer. Dit toont aan in welke mate de laag een invloed uitoefent op de totaalscore van het pakket. Op deze manier wordt een analyse gemaakt aan de hand waarvan duidelijk wordt voor welke laag beter een meer circulaire oplossing gezocht wordt. Het verbeteren van een materiaal met een groot aandeel zal resulteren in een grotere daling van de globale score voor het pakket.

### 11.2 Circulariteitsschaal

Aan ieder gevelpakket wordt een lettercode toegekend als schaal voor de circulariteit. Om deze schaal op te stellen werd gebruik gemaakt van het slechtste pakket (niet per se de combinatie van de slechtst scorende materialen, zie Tabel 16) en het beste pakket, bestaande uit materialen uit de eigen opgestelde tabel. De letters lopen van A voor het beste pakket qua circulariteit tot J voor het slechtste pakket op



basis van de gestelde circulariteitseisen. Er wordt gebruik gemaakt van een exponentiële schaal met als functievoorschrift:

$$y = 3875,19 \cdot 1,067^x$$

Op die manier krijgt ieder gewogen totaal in deze masterproef een label toegekend. In onderstaande Tabel 15 wordt weergegeven welke waardes voor het gewogen totaal tot welke categorie leiden.

*Tabel 15: Circulariteitsschaal*

<b>Gewogen totaal gevelpakket</b>	<b>Lettercode</b>
[3875,19 ; 4135,82[	A
[4135,82 ; 4413,98[	B
[4413,98 ; 4710,85[	C
[4710,85 ; 5027,69[	D
[5027,69 ; 5365,86[	E
[5365,86 ; 5726,72[	F
[5726,72 ; 6111,88[	G
[6111,88 ; 6522,94[	H
[6522,94 ; 6961,65[	I
[6961,65 ; ...[	J

Bij wijze van voorbeeld werd aan Tabel 16 een standaardsysteem of het veelvoudig gehanteerde pakket in België, opgebouwd uit baksteen, mechanisch verankerde PUR-isolatie met tand en groef en een gemetselde gevelsteen, toegevoegd. Aan dit gevelpakket wordt label E toegewezen.

Tabel 16: Analyse circulariteit op elementniveau

WEGINGSFACTOREN	5	2	1	1	1	3	3	3	3	1		
GEVELSYSTEEM	Demonteerbaarheid	Niet- gerecycleerde inhoud tov gemiddelde (%)	Stort tov gemiddelde (%)	Verbranding tov gemiddelde (%)	Niet recycleerbaar tov gemiddelde (%)	Beschadigings- potentieel (de)montageproces tov gemiddelde (%)	Niet flexibel tov gemiddelde (%)	Omgekeerde levensduur tov gemiddelde (%)	Gemiddelde milieufactoor tov gemiddelde (%)	Kostprijs tov gemiddelde (%)	GEWOGEN TOTAAL	Aandeel (%)
<b>Systeem 1</b>												
Prefab beton	55		33,57	0,00	14,21	91,43	124,14	0,00	85,85	99,45	1326,48	34%
Glaswol mechanisch	20	76,32	179,58	11,11	97,46	54,55	41,38	120,00	62,44	77,09	1452,98	37%
Keramische holle tegel geklemd	10	49,73	4,11	18,68	12,38	0,00	105,00	54,18	114,55	89,91	1095,73	28%
TOTAAL	85	126,05	217,26	29,78	124,05	145,97	270,52	174,18	262,85	266,46	3875,19	A
<b>Systeem 2 niet-circulair</b>												
Kalkzandsteen	55		38,21	75,00	240,10	68,57	124,14	0,00	62,29	116,02	1509,32	31%
Steenwol mechanisch	50	109,20	179,58	11,11	97,46	54,55	41,38	120,00	81,90	107,26	1757,27	37%
Gevelsteen gemetseld	45	44,63	99,82	0,00	43,97	80,00	93,33	54,18	118,66	49,95	1546,50	32%
TOTAAL	150	153,82	317,60	86,11	381,52	203,12	258,85	174,18	262,85	273,24	4813,09	D
<b>Systeem 2</b>												
Kalkzandsteen	55		38,21	75,00	240,10	68,57	124,14	0,00	62,29	116,02	1509,32	35%
Steenwol mechanisch	30	109,20	179,58	11,11	97,46	54,55	41,38	120,00	81,90	107,26	1657,27	38%
Clickbrick	10	44,63	99,82	0,00	43,97	10,00	93,33	54,18	118,66	49,95	1161,50	27%
TOTAAL	95	153,82	317,60	86,11	381,52	133,12	258,85	174,18	262,85	273,24	4328,09	B
<b>Systeem 3</b>												
Kalkzandsteen	60		38,21	75,00	240,10	68,57	124,14	0,00	62,29	116,02	1534,32	31%
EPS mechanisch	25	113,89	10,56	199,93	102,87	109,09	82,76	120,00	51,58	80,45	1836,89	37%
Zink	10	98,18	15,79	149,66	90,58	40,00	81,67	125,70	82,84	133,21	1626,21	33%
TOTAAL	95	212,07	64,56	424,59	433,54	217,66	288,56	245,70	196,71	329,68	4997,42	D
<b>EXTRA</b>												
<b>Systeem A</b>												
Prefab beton	55		33,57	0,00	14,21	91,43	124,14	0,00	85,85	99,45	1326,48	27%
EPS mechanisch	50	113,89	10,56	199,93	102,87	109,09	82,76	120,00	51,58	80,45	1961,89	41%
Gevelsteen gemetseld	45	44,63	99,82	0,00	43,97	80,00	93,33	54,18	118,66	49,95	1546,50	32%
TOTAAL	150	158,52	143,96	199,93	161,05	280,52	300,23	174,18	256,09	229,85	4834,88	D
<b>Systeem B</b>												
Prefab beton	55		33,57	0,00	14,21	91,43	124,14	0,00	85,85	99,45	1326,48	30%
EPS mechanisch	30	113,89	10,56	199,93	102,87	109,09	82,76	120,00	51,58	80,45	1861,89	43%
Clickbrick	10	44,63	99,82	0,00	43,97	10,00	93,33	54,18	118,66	49,95	1161,50	27%
TOTAAL	95	158,52	143,96	199,93	161,05	210,52	300,23	174,18	256,09	229,85	4349,88	B
<b>Systeem C</b>												
Prefab beton	85		33,57	0,00	14,21	91,43	124,14	0,00	85,85	99,45	1476,48	32%
EPS verlijmd	65	113,89	10,56	199,93	102,87	109,09	82,76	120,00	51,58	80,45	2036,89	44%
Clickbrick	10	44,63	99,82	0,00	43,97	10,00	93,33	54,18	118,66	49,95	1161,50	25%
TOTAAL	160	158,52	143,96	199,93	161,05	210,52	300,23	174,18	256,09	229,85	4674,88	C
<b>Systeem D</b>												
Prefab beton	85		33,57	0,00	14,21	91,43	124,14	0,00	85,85	99,45	1476,48	29%
EPS verlijmd	85	113,89	10,56	199,93	102,87	109,09	82,76	120,00	51,58	80,45	2136,89	41%
Gevelsteen gemetseld	45	44,63	99,82	0,00	43,97	80,00	93,33	54,18	118,66	49,95	1546,50	30%
TOTAAL	215	158,52	143,96	199,93	161,05	280,52	300,23	174,18	256,09	229,85	5159,88	E
<b>Systeem E</b>												
Cellenbeton verlijmd	90		159,77	200,00	72,25	125,71	41,38	0,00	160,32	104,97	1969,22	33%
Cellulair glas verlijmd	65	75,15	179,58	11,11	97,46	218,18	165,52	0,00	187,33	167,60	2644,14	44%
Natuursteenplaten - graniet	10	124,95	264,40	34,86	136,22	0,00	116,67	54,18	32,46	59,94	1405,25	23%
TOTAAL	165	200,10	603,75	245,97	305,93	343,89	323,57	54,18	380,11	332,51	6018,61	G
<b>Systeem F</b>												
Cellenbeton verlijmd	90		159,77	200,00	72,25	125,71	41,38	0,00	160,32	104,97	1969,22	28%
Cellulair glas verlijmd	90	75,15	179,58	11,11	97,46	218,18	165,52	0,00	187,33	167,60	2769,14	40%
Pleisterwerk - crepi	45	127,50	284,30	24,90	139,14	100,00	116,67	162,54	32,46	59,94	2223,29	32%
TOTAAL	225	202,65	623,65	236,01	308,85	443,89	323,57	162,54	380,11	332,51	6961,65	J
<b>Standaardssysteem</b>												
Baksteen	60		168,45	125,00	73,45	114,29	110,34	0,00	91,54	79,56	1694,96	32%
PUR isolatie mechanisch	50	111,55	40,14	166,83	101,89	81,82	124,14	120,00	71,49	87,15	2061,45	39%
Gevelsteen gemetseld	45	44,63	99,82	0,00	43,97	80,00	93,33	54,18	118,66	49,95	1546,50	29%
TOTAAL	155	156,17	308,41	291,83	219,31	276,10	327,82	174,18	281,69	216,66	5302,92	E

### 11.3 Algemene bevindingen op pakketniveau

Deze paragraaf analyseert bovenstaande tabel en kaart enkele opmerkingen aan.

#### 11.3.1 Demontabele isolatie vs. demontabele gevelbekleding

Het is logisch dat mechanisch bevestigde isolatie beter scoort dan verlijmde isolatie. Ook is het duidelijk dat een demontabele gevelbekleding zoals een Clickbrick meer circulair is dan de traditioneel gemetselde gevelsteen. Wanneer de vraag zich echter stelt of het interessanter is om ofwel demonteerbare isolatie ofwel demonteerbare gevelbekleding te voorzien, wordt teruggegrepen naar Tabel 16 en onderstaande analyse.

Er werden een aantal extra gevelsystemen opgesteld om deze vergelijking te maken. De vergelijking wordt gemaakt tussen systeem A en C, vertrekkende vanuit systeem D (5159,88 – label E) waarin alles op niet-circulaire wijze werd bevestigd. Uit de totaalscores blijkt dat pakket C met een demonteerbare gevelbekleding en verlijmde EPS-isolatie (4674,88 – label C) over het algemeen beter scoort dan pakket A met demonteerbare isolatie en niet-circulaire gevelbekleding (4834,88 – label D). Er dient vermeld te worden dat de scores dichtbij elkaar liggen. Het verschil is te verklaren door de toegankelijkheid die beter scoort in een systeem waar de gevelbekleding weggehaald kan worden dan in een systeem waar dit niet het geval is.

De categorieën die voor deze verschillen zorgen zijn “Demonteerbaarheid” van alle materialen en “Beschadigingspotentieel (de)montageproces” van de gevelbekleding. Het beschadigingspotentieel van traditionele materialen die met natte verbindingen werken, ligt steeds hoger dan het beschadigingspotentieel bij materialen met een circulaire bevestigingstechniek. Als verduidelijking wordt in Tabel 17 en Tabel 18 ingezoomd op de demonteerbaarheid van deze systemen.

Tabel 17: Demonteerbaarheid gevelsysteem A

Systeem A	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
Prefabbeton	90	20	$(90+20)/2 = 55$
EPS mechanisch	20	80	50
Gevelsteen gemetseld	90	0	45
TOTAAL			$(55+50+45) = 150$

Tabel 18: Demonteerbaarheid gevelsysteem C

Systeem C	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
Prefabbeton	90	80	$(90+80)/2 = 85$
EPS verlijmd	90	40	65
Clickbrick	20	0	10
TOTAAL			$(85+65+10) = 160$

In bovenstaande tabellen wordt duidelijk dat de eindwaarde vrij dicht bij elkaar ligt. Toch is een verschil in onderlinge verdeling van de waardes merkbaar. Als enkel de demonteerbaarheid zou bekeken worden van de systemen, blijkt dat systeem A iets beter is dan systeem C. Uiteindelijk is deze veronderstelling niet volledig correct, omdat de andere factoren uit de analysetabel steeds samenhangen met een pakketopstelling.

Er kan geconcludeerd worden dat, wanneer de opbouw van buiten naar binnen toe geanalyseerd wordt, de waardes voor demonteerbaarheid beter van laag naar hoog overgaan dan omgekeerd. Concreet betekent dit dat het bij systeem C mogelijk is om de gevelbekleding schadeloos te demonteren om daarna eventueel andere aanpassingen te doen aan de structuur. Bij systeem A is de isolatie dan misschien mechanisch bevestigd, deze is niet toegankelijk door de niet-circulaire gevelbekleding. Vandaar dat de keuze voor een circulaire gevelbekleding en niet-circulair bevestigd isolatiemateriaal interessanter is dan het omgekeerde.

### **11.3.2 Slechtste materialen zijn niet slechtste pakket**

Tijdens de analyse valt op dat de samenstelling van de slechtst scorende materialen uit de tabel op materiaalniveau niet per se het slechtst scorende pakket vormt. Dit komt omdat op pakketniveau ook enkele parameters beslist worden. De slechtst scorende gevelbekleding is de natuursteenplaat. Dit vooral door de grote milieu-impact en de hoge kostprijs. Echter, toepassing van dit soort panelen resulteert vaak in een mechanische bevestiging waardoor op pakketniveau eerder een gematigde score op vlak van demonteerbaarheid bekomen wordt, eerder dan een slechte. Het omgekeerde geldt voor een pakket met een buitenbepleistering. Dergelijke afwerking scoort beter dan een natuursteenplaat wanneer enkel op materiaalniveau gekeken wordt. Past men dit buitenpleisterwerk toe in een gevelpakket heeft dit ook invloed op de achterliggende lagen. Vanwege de niet-omkeerbare verbinding tussen het pleisterwerk en de ondergrond zijn achterliggende lagen onbereikbaar voor demontage en eventueel hergebruik. Vandaar scoort systeem E (6018,61 – label G), een combinatie van alle slechtst scorende elementen, toch beter dan systeem F (6961,65 – label J) waarbij een afwerking in crepi aangebracht wordt.

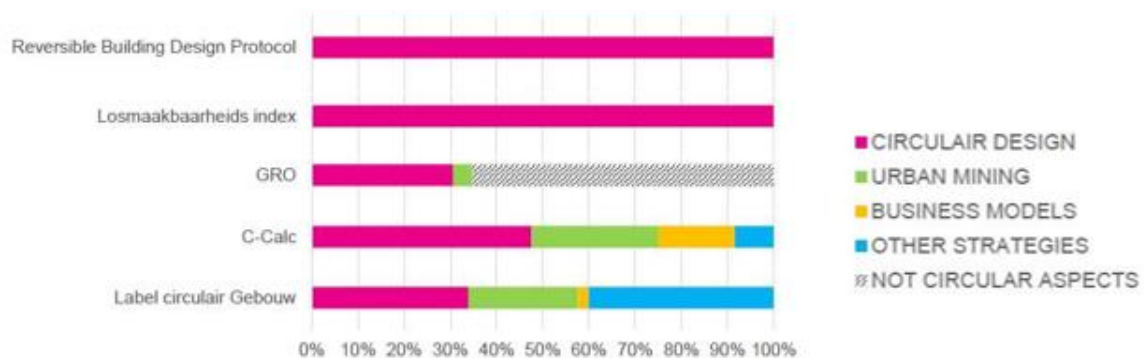
Dit leert dat parameters op pakketniveau ook een doorslaggevende rol kunnen spelen. Het analyseren van materialen op zich geeft geen voldoende indicatie over de circulariteitsvriendelijkheid van een pakket.

### 11.3.3 Isolatie vertegenwoordigt grootste aandeel

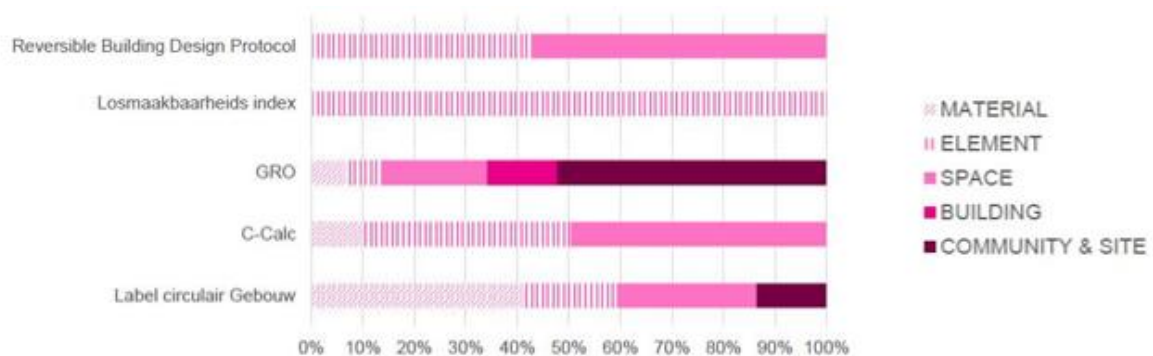
In elk pakket valt op dat de isolatielaag het grootste aandeel heeft in de score voor de circulariteitsonvriendelijkheid. Dit is te wijten aan de hoge “niet-gerecycleerde inhoud” en de doorgaans lage “recycleerbaarheid”. Hieruit kan afgeleid worden dat grote veranderingen voor deze laag in het gevelsysteem resulteren in een significante verandering in de circulariteitscore.

### 11.4 Vergelijking met bestaande beoordelingsmodellen

Tegenwoordig bestaan een aantal beoordelingsmodellen om te bepalen wat het circulariteitsniveau van een gebouw is. In onderstaande paragraaf wordt een vergelijking gemaakt tussen de hierboven beschreven methode om circulariteit te meten en enkele bestaande modellen. In Figuur 32 worden de besproken strategieën weergegeven en telkens wordt aan de hand van een kleur aangeduid waar de nadruk op ligt. Figuur 33 toont aan op welk niveau de circulariteitsmeter inspeelt. Er valt op te merken dat de eigen meetmethode best te vergelijken is met de losmaakbaarheidsindex omwille van het circulaire design en de toepassing op elementniveau. Ook het Reversible Building Design Protocol van Elma Durmisevic speelt vooral in op circulariteit op element- en ruimteniveau.



Figuur 32: Bestaande circulariteitsmeters (Archipelago, 2020)



Figuur 33: Niveaus van bestaande circulariteitsmeters (Archipelago, 2020)

### 11.4.1 Circulariteitsindicatoren – Alba Concepts

Alba Concepts stelde een methode op om uiteindelijk tot een “Building Circularity Index” te komen, een globale circulariteitsscore voor een gebouw. In de methode wordt gesteld dat circulariteit bestaat uit de herkomst en de toepassing van een materiaal. Verder worden materialen omgezet tot producten, tot systemen en ten slotte tot een gebouw. Voor elk van deze onderdelen werd een circulariteitsindex opgemaakt, respectievelijk MCI, PCI, SCI en BCI. (Veberne, 2016)

Als deze methode vergeleken wordt met de methode uit dit document, is duidelijk dat in deze masterproef niet verder gegaan wordt dan de “System Circularity Index” (SCI), hier specifiek toegepast op gevelsystemen. Het principe van Alba Concepts om een materiaal te evalueren op basis van zijn herkomst zit in dit document vervat in de tabel op circulariteitsniveau. De “niet-gerecycleerde inhoud” speelt daar de grootste rol. Hoe lager deze waarde, hoe groter het aandeel gebruikte grondstoffen in het materiaal, hoe beter. Ook de schaduwkost speelt daarin mee omwille van de milieu-impact bij productie of ontginning. Verder wordt in de “Material Circularity Index” (MCI) het afvalscenario in de zin van verbranding, stort en hergebruik meegenomen, wat bij de eigen tabel ook het geval is. Ook wordt een gebruiksfactor in functie van de technische en functionele levensduur toegepast, wat in de opgestelde methode niet het geval is omwille van de projectspecificiteit van deze factor. Enkel de technische levensduur wordt omschreven.

De “Product Circularity Index” (PCI) van Alba Concepts kan het meest vergeleken worden met de waarden opgegeven voor het beschadigingspotentieel en de flexibiliteit. De invloed van de technische, en fysische eigenschappen worden becijferd om een impact op de totaalscore te verkrijgen. Verder speelt een “losmaakbaarheidsindex” er een rol. Deze omvat onder andere ook de demonteerbaarheid zoals meegenomen in eigen methode: opgebouwd uit een typeverbinding en de toegankelijkheid van de verbinding. In de methode van Alba Concepts wordt deze nog verder uitgebreid door doorkruisingen en vorminsluitingen toe te voegen. In de geanalyseerde pakketten komen doorkruisingen niet voor, waardoor deze factor niet meegenomen wordt. Vorminsluiting komt in de eigen methode terug onder de vorm van afhankelijkheid, vervat in het “beschadigingspotentieel van het (de)montageproces”.

In hun beoordelingsmodel wordt de SCI bekomen door een gewichtsvariabele toe te kennen per product op basis van de levensduur van een bepaalde schil. De waarden werden gebaseerd op de theorie van Stewart Brand. In de opgestelde meetmethode in deze masterproef wordt de levensduur ook meegenomen als evaluatiecriterium en wordt er aan ieder criterium een weegfactor toegekend.

Het grootste verschil tussen beide beoordelingsmethodes bevindt zich in het aantal variabelen om tot een totaalscore te komen. In het eigen opgestelde model bestaat de score bij de gevelsystemen uit exact dezelfde waarden als deze op materiaalniveau met toevoeging van demonteerbaarheid van een systeem

op zich en het beschadigingspotentieel van de gevelafwerking. Er kan besloten worden dat de geëvalueerde criteria min of meer dezelfde zijn (uitgezonderd het feit dat de milieu-impact in de methode van Alba Concepts ontbreekt), doch verloopt de berekening om tot een totaalscore te komen op een andere manier.

#### 11.4.2 Circular Footprint CF – Nationaal Duurzaamheid Instituut

De Circular Footprint (CF) bestaat uit twee grote onderdelen: de herkomst (nieuw of gerecycleerd) en het gebruik op het einde van de levensduur (afval of recyclage) van een materiaal. Circulariteit op materiaalniveau staat centraal.

$$CF = 100\% - \frac{\%Nieuw + \%Afval}{2}$$

Om een vergelijking te maken met de eigen opgestelde methode worden de isolatiematerialen op bovenstaande manier geëvalueerd in Tabel 19. Het percentage “Nieuw” komt overeen met de niet-gerecycleerde inhoud, terwijl het percentage “Afval” overeenkomt met de niet-recycleerbaarheid. (W/EAdviseurs, z.d.)

Tabel 19: Circular Footprint isolatiematerialen

	Nieuw = Niet-gerecycleerde inhoud (%)	Afval = Niet-recycleerbaarheid (%)	CF	Circulariteitsonvriendelijkheid t.o.v. gemiddelde (%)
EPS	97	95	4,0	278%
Glaswol	65	90	22,5	218%
PUR/PIR	95	94,1	5,5	293%
Steenwol	93	90	8,5	236%
XPS	97	95	4,0	330%
Cellulair glas	64	90	23,0	370%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat beide scores niet volledig stroken met elkaar. Cellulair glas komt positief uit de circular footprint methode, maar scoort slecht bij de eigen opgestelde score. Dit heeft vooral te maken met het feit dat milieu-impact van de materialen niet meegenomen wordt. Ook het gebruik van het materiaal tijdens de levensduurfase en de bevestiging ervan wordt niet in acht genomen. Om tot een meer correcte waarde te komen zou het circular footprint model uitgebreid kunnen worden met een LCA-analyse om op die manier de milieu-impact te kwantificeren.

### 11.4.3 Circulariteitsmeters op projectbasis

#### 11.4.3.1 GRO – Het Facilitair Bedrijf

GRO is een duurzaamheidsmeter die een holistisch ambitieniveau wil implementeren op vlak van duurzaamheid. Er zijn drie hoofdcategorieën aanwezig: people, planet en profit. Deze bevatten elk een aantal criteria die beoordeeld worden aan de hand van een prestatieniveau: uitstekend/beter/goed. Het verschil met de eigen methode is dat hier geen wegingsfactoren gehanteerd worden. Op die manier is het mogelijk enkel even relevante criteria mee te nemen in de beoordeling. Een belangrijk aandachtspunt is ook het niet-alomvattend vertrekpunt van de eigen methode bij de analyse op materiaalniveau. Daar wordt de som van een aantal categorieën genomen om tot een totaalscore te komen. Tijdens de analyse op elementniveau komt demonteerbaarheid er als belangrijkste factor bij.

Aangezien in de eigen circulariteitsmeter enkel ingegaan wordt op de beoordeling van gevelsystemen, zijn weinig criteria dezelfde. In GRO wordt in het onderdeel “planet” het behoud van de grondstoffen opgenomen, wat in de eigen methode geprojecteerd wordt als recyclagepercentage. Van de gebruikte materialen kan een paspoort opgemaakt worden en eventueel bijkomend een sloopinventaris om het hergebruik te kwantificeren. Ook “materiaalkeuze” is een criterium, terwijl dit in de eigen methode eerder een geanalyseerde categorie vormt dan een criterium. Er wordt gequoteerd op milieuvriendelijkheid van het materiaal waarbij deze geen schadelijk effect op de menselijke gezondheid mag bezitten.

Verder stelt GRO “circulair en toekomstgericht ontwerpen” op als graadmeter. Daarin zit de flexibiliteit, aanpasbaarheid en demontagemogelijkheid van een gebouw vervat. Aan de hand van een aantal gedetailleerde projectspecifieke vragen wordt het prestatieniveau bekomen.

Ook hier wordt vermeld dat de eisen niet onafhankelijk te bekijken zijn. Net zoals in de eigen tool kan een hoge score voor één eis een andere negatief beïnvloeden. Een lage waarde voor de recyclage leidt tot hoge waarden bij stort en/of verbranding.

In tegenstelling tot de eigen methode wordt in GRO gewerkt met bepaalde drempels om een goed/beter/uitstekend label toegewezen te krijgen. De eigenhandige tool maakt gebruik van een fictief referentiemateriaal, gebaseerd op het gemiddelde van de ingevulde waardes. Het nadeel hierbij is dat de getallen op zich wijzigen bij het toevoegen of verwijderen van een specifiek materiaal. Het voordeel is dat de volgorde van de geëvalueerde materialen wel steeds dezelfde blijft.

Het grootste verschil tussen deze tool en de eigen methode is het feit dat GRO op gebouw- en zelfs wijkniveau werkt. In de eigen methode worden materialen op zichzelf beoordeeld en ten slotte samengesteld tot een pakket. (GRO, 2020)



### 11.4.3.2 Label Circulair Gebouw – WTCB en VCB

De opbouw van het meetsysteem bestaat uit een kwalitatief en een kwantitatief gedeelte. Op het kwalitatief gedeelte wordt niet verder ingegaan, aangezien het projectafhankelijk is. GRO werd als onderlegger gebruikt bij het opstellen van deze meetmethode. Op dit ogenblik is het document vooral een leidraad naar hoe circulair gebouwd kan worden. Net zoals in de eigen meetmethode worden aspecten als gezondheid en energie buiten beschouwing gelaten, omdat die thuishoren in een bredere duurzaamheidsbeoordeling.

In de kwantitatieve beoordeling worden 4 thema's meegenomen die betrekking hebben op de totale circulariteitsscore:

- Veranderingsgericht ontwerp

In de eigen methode wordt dit vertaald naar de flexibiliteit en het beschadigingspotentieel van een materiaal om in te schatten op welke manier hergebruik toegelaten wordt. Ook de demonteerbaarheid op pakketniveau wordt in dit thema tot uiting gebracht.

- Milieu-impact

De milieu-impact op materiaalniveau wordt weergegeven door middel van de schaduwkost.

- Urban mining

In dit thema wordt onderzocht welke materialen hergebruikt worden of hoeveel gerecycleerde materialen ingezet worden in een project. Dit komt best overeen met de niet-gerecycleerde inhoud en het stort- en verbrandingspercentage uit de eigen methode. Ook materiaalpaspoorten en sloopinventarissen komen in dit thema voor, wat bij de eigen methode niet het geval is.

- Transitie

Dit thema wordt in de eigen meetmethode niet meegenomen aangezien het projectafhankelijk is.

De totaalscore van de kwantitatieve meting wordt omgezet naar een score op 60 punten. De vier hoofdthema's tellen mee voor respectievelijk 20,10,20 en 10 punten. Dit valt in brede zin te vergelijken met de weegfactoren van de eigen methode.

De recyclage uit eigen methode komt ter sprake in de kwalitatieve beoordeling, net zoals de levensduur daar onrechtstreeks tot uiting komt. (Vergauwen, 2020)

### 11.4.3.3 Reversible Building Design Protocol – Elma Durmisevic

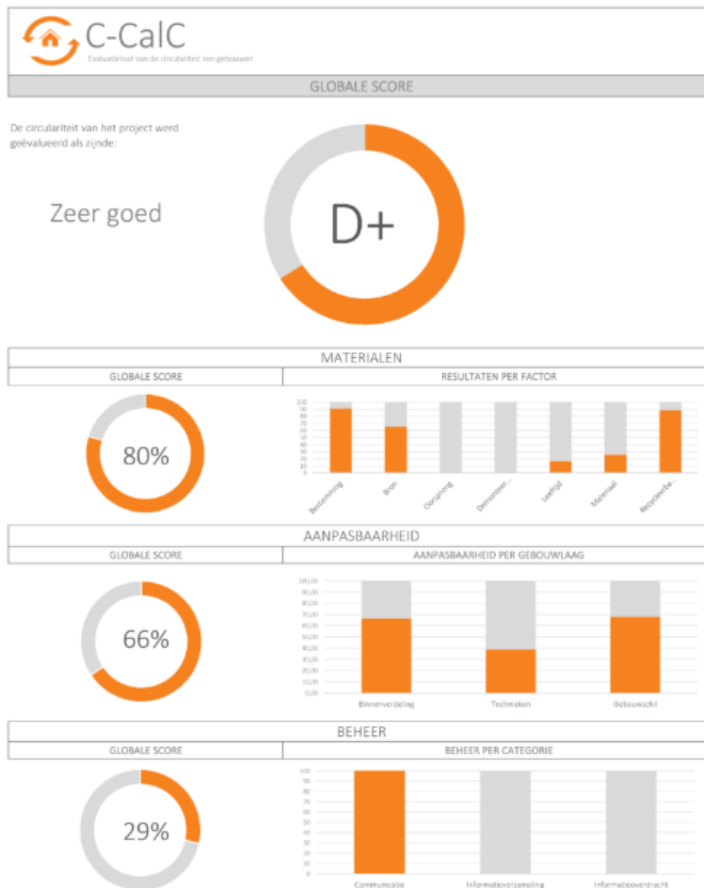
Dit protocol werd opgesteld met als hoofdzaak het aansporen tot een omkeerbaar ontwerp van gebouwen zodat deze eenvoudig gedemonteerd kunnen worden. Wanneer zoveel mogelijk van de beschreven richtlijnen geïmplementeerd worden, heeft dit een hoog transformatie- en hergebruikpotentieel als

gevolg. Het document stelt zich op als raadgever met te volgen richtlijnen inzake circulariteit, eerder dan als circulariteitsmeter. Dit vormt dan ook meteen het grootste verschil met de eigen meetmethode. Samen met ontwerpprincipes worden een aantal criteria geïntegreerd voor het ontwerp van transformeerbare gebouwen. Deze worden opgesplitst in omkeerbare ruimtes, technische omkeerbaarheid en het scheiden van elementen.

Het protocol focust zich volledig op elementniveau en ruimtelijke dimensie. Het scheiden van elementen staat centraal, waaruit afgeleid wordt dat “demonteerbaarheid” de meest cruciale factor is. Ook de aanpasbaarheid en flexibiliteit zijn essentieel, maar dit gaat verder dan enkel het materiaalniveau zoals in de eigen meetmethode. Het interieur speelt hier ook een grote rol in de multi-inzetbaarheid van een ruimte. Ook de afhankelijkheid van materialen, in de eigen methode gekwantificeerd in het “beschadigingspotentieel bij (de)monteren” is een vaak terugkerend onderdeel. Er kan gesteld worden dat de essentie van dit document de manier van verbinden is. Onrechtstreeks geeft dit ook iets weer op vlak van stort en verbranding. Schaduwkosten en kostprijs worden niet vermeld in het document. (Durmisevic, 2019)

#### **11.4.3.4 C-CalC – Cenergie**

C-CalC is een tool om de circulariteit van gebouwen te evalueren aan de hand van meerdere criteria. Uiteindelijk leidt dit tot een label van A tot en met H per gebouw. De criteria zijn: materialen die de site binnenkomen en verlaten, aanpasbaarheid en flexibiliteit van het gebouw en project- en gegevensbeheer. (Cenergie, 2019) Meteen is duidelijk dat laatstgenoemde factor niet meegenomen wordt in de eigen methode. Het aandeel “materialen” neemt in deze tool maar 1/3 in beslag, terwijl dat bij de eigen tabel het belangrijkste aspect is. Een sloopinventaris helpt de waarden te concretiseren, maar een dieper uitgevoerde analyse en vergelijking is moeilijk omwille van de weinige informatie over concrete waarden. In Figuur 34 wordt een voorbeeld weergegeven van de uiteindelijke fiche.



Figuur 34: Circulariteitstool C-CalC

## 12 Circulaire gevelsystemen

Dit hoofdstuk beschrijft en visualiseert de in hoofdstuk 11 geanalyseerde gevelpakketten. De geëvalueerde gevelpakketten met hun methode van opbouw en analyse van demonteerbaarheid komen aan bod. Aan de hand van de visuele voorstelling van de gevelsystemen worden opvallende vaststellingen besproken. Verschillende vaststellingen zijn van toepassing op meerdere pakketten, maar komen slechts één keer aan bod. De keuze wordt gemaakt om de vaststellingen gaandeweg te bespreken. Op die manier kan meteen teruggegrepen worden naar constructietekeningen voor de nodige verduidelijking. Ook de mogelijkheid tot het gebruik van de pakketten in renovatietoepassingen wordt onderzocht. Daarnaast wordt gekeken of het opgestelde systeem het toelaat bepaalde lagen uit te breiden. Tijdens het tekenen van de details werd onderstaande legende gehanteerd.

### Legende:

	Zachte isolatie		Betonmetselwerk
	Hout, multiplex		Ter plaatse gestort beton
	Natuursteen		Gevelmetselwerk
	Cellenbeton		Grind
	Vaste isolatie XPS, gespoten PUR		Snelbouwstenen
	Zand / Zandcement		Staal
	Prefabbeton		Thermisch verzinkt staal / aluminium / inox
			Folies (EPDM, PE, DPC, luchtdichtingsfolie PA)

*Figuur 35: Algemeen gehanteerde legende*

### 12.1 Gevelsysteem 1: Prefabbeton – Glaswol – Keramische tegel

Onderstaande oplijsting geeft de opbouw van systeem 1 met label A en totaalscore 3875,19 schematisch weer. Figuur 37 en Figuur 38 geven respectievelijk een verticale en horizontale doorsnede weer. De afmetingen van de dragende structuur en het isolatiepakket zijn niet bindend. Naarmate de isolerende laag dikker wordt, wordt gekozen voor langere en stevigere tegel dragers. Het spreekt voor zich dat dit niet eindeloos uitgebreid kan worden. Hoe groter het isolatiepakket, hoe groter de sectie van de dragende profielen van het regelwerk.

- Binnenspouw:
  - Materiaal: Prefabbeton
  - Bevestiging: Harde chemische cementgebonden verbinding
- Isolatie:
  - Materiaal: Halfharde glaswolplaten
  - Bevestiging: Mechanisch met behulp van plug en schroef

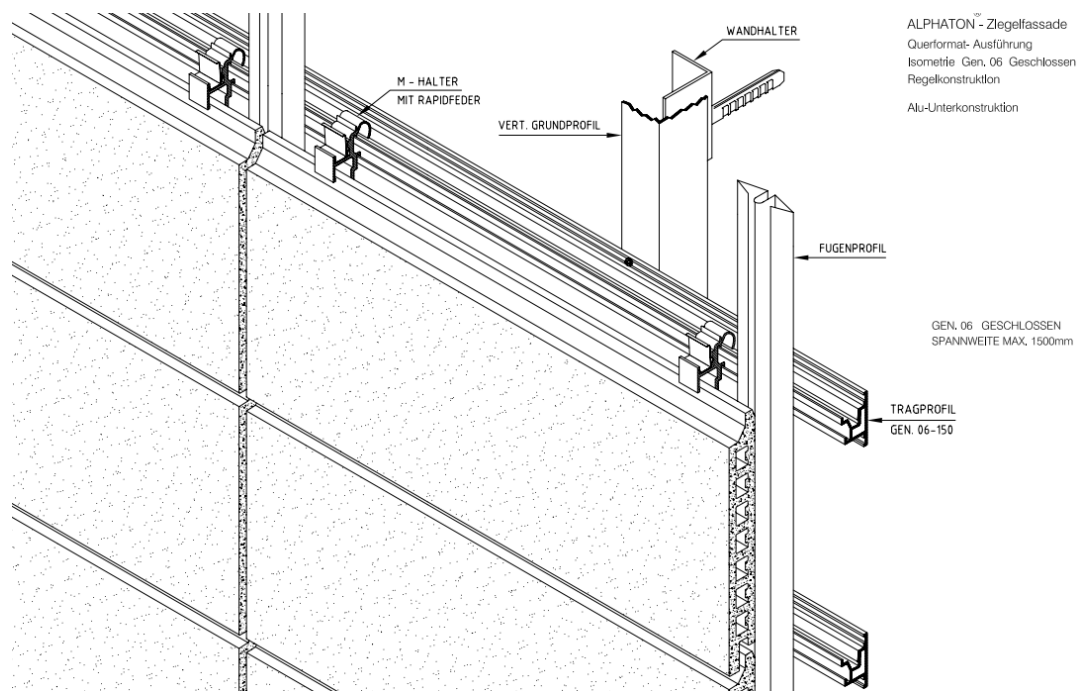
- Afwerking:
  - Materiaal: Keramische holle tegel
  - Bevestiging: Mechanisch met behulp van klemmen en regelwerk in aluminium

In Tabel 20 wordt de U-waarde weergegeven met abstractie van spouwankers, regelwerk en plaatselijke doorboringen.

Tabel 20: U-waarde gevelsysteem 1

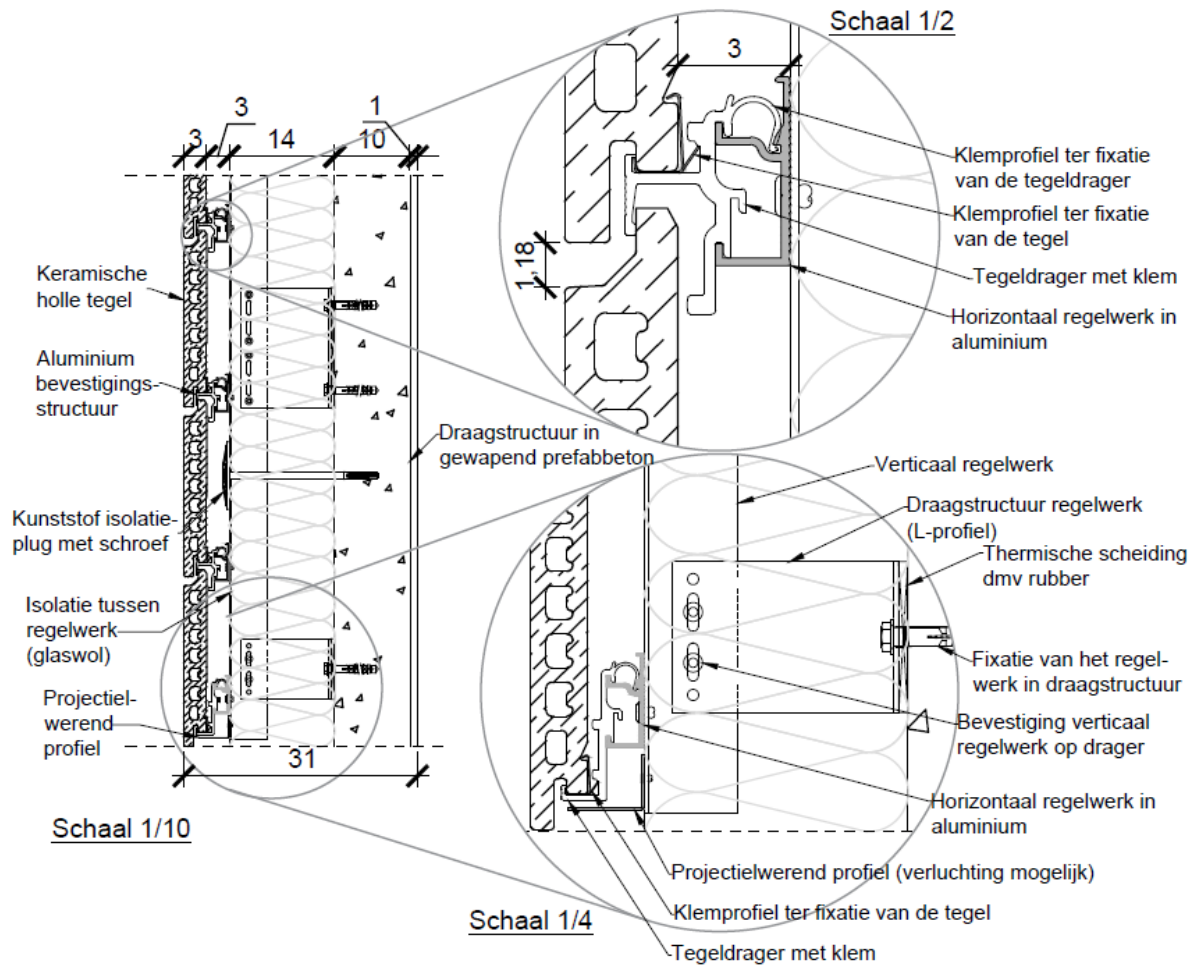
	Dikte (m)	Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$ (W/mK)	R-waarde (m <sup>2</sup> K/W)
Pleisterwerk	0,010	0,930	0,011
Prefabbeton	0,100	1,700	0,059
Glaswolisolatie: mechanisch	0,140	0,035	4,000
Sterk geventileerde luchtspouw	0,030	/	/
Keramische holle tegel	0,030	/	/
<b>TOTALE U-WAARDE (W/m<sup>2</sup>K)</b>	met $\alpha_{int} = 7,7$ en $\alpha_{ext} = 25$ (W/m <sup>2</sup> K)		<b>0,236</b>

Bij wijze van verduidelijking van de verbinding wordt hieronder een 3D-beeld weergegeven van de inklemmingswijze. Het is duidelijk zichtbaar dat de tegels elk afzonderlijk kunnen losgemaakt worden. Dit omdat bovenaan een zekere ruimte wordt gelaten tussen de tegel en de drager van bovenliggende tegel. Door de tegel bovenaan naar achter te kantelen kan deze met de onderkant uit het regelwerk gehaald worden. Daarna kan ook de bovenkant eruit worden gehaald.

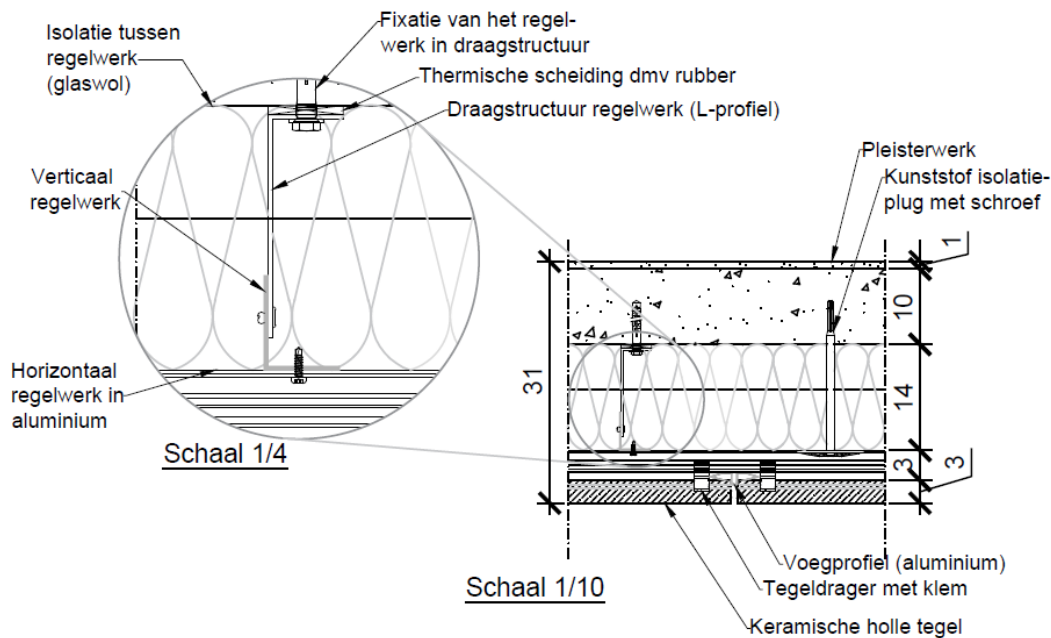


Figuur 36: Bevestiging keramische holle tegel met behulp van klemmen (Moeding, 2012)

- METHODE VAN OPBOUW



Figuur 37: Verticale snede gevelsysteem 1



Figuur 38: Horizontale snede gevelsysteem 1

Na het plaatsen van de dragende structuur in gewapend prefabbeton worden de draagprofielen in aluminium geplaatst. Deze L-profielen worden mechanisch bevestigd (betonschroeven, keilbouten...) en worden aan de hand van een rubber thermisch geïsoleerd van de achterliggende constructie. Er bestaan ook systemen waarbij de draagstructuur van het regelwerk met behulp van een chemische verankering in de dragende structuur van het gebouw wordt gefixeerd. Deze methode is niet circulair te noemen en komt hier bijgevolg niet aan bod. Op de L-dragers wordt het verticaal regelwerk geschroefd. Een verticale stand hiervan is noodzakelijk, waardoor beroep wordt gedaan op een waterpas. Afhankelijk van de lengte van dit regelwerk worden deze op 2 of meer plaatsen vastgemaakt aan de L-dragers. Merk op dat rekening gehouden dient worden met uitzettingen ten gevolge van temperatuurschommelingen. De verticale regels worden in het midden van hun lengte vastgezet, de andere bevestigingen gebeuren in schuifgaten die kleine dilataties toelaten. Deze zijn duidelijk te zien in Figuur 37. Vervolgens wordt tussen dit regelwerk de isolatie geplaatst. De halfharde glaswolpanelen hebben als voordeel dat ze licht samendrukbaar zijn, waardoor ze makkelijk tussen de stijlen worden geplaatst zonder verzagen. Een volgende stap is het plaatsen van een waterdicht membraan om daarna het horizontaal regelwerk te plaatsen. De tussenafstand van het regelwerk is hierbij afhankelijk van de grootte van het afwerkingspaneel. Na het plaatsen van de tegeldragers met klem kunnen de tegels elk afzonderlijk in de constructie worden gehangen. Om speling te vermijden bezitten de tegeldragers een klemprofiel dat de tegels vastklemt in de drager. Op deze manier gaan de panelen niet aan het trillen, zelfs bij hevige wind.

- **ANALYSE BESCHADIGINGSPOTENTIEEL GEVELBEKLEDING**

Het beschadigingspotentieel is sterk afhankelijk van de gebruikte bevestigingswijze. Circulaire gevelpakketten streven naar een demontage zonder schadeleed. Echter, vaak speelt het esthetisch karakter van de verbinding ook een rol waardoor af en toe gekozen wordt voor blinde bevestigingstypes die soms minder circulair zijn.

Tabel 21: Beschadigingspotentieel gevelsysteem 1

Beschadigingspotentieel	Score
<b>Geen schade</b>	<b>0-10</b>
Licht beschadigd zonder reductie van functie	20-40
Licht beschadigd met reductie van functie	50-70
<b>Totale schade: zwaar beschadigd met verlies van functie</b>	<b>80-90</b>
<b>Totale schade: geen enkel hergebruik mogelijk</b>	<b>100</b>

Bovenstaand systeem waarbij de keramische tegel ingeklemd wordt, voldoet aan de eisen van een circulaire verbinding en krijgt waarde 0 voor beschadigingspotentieel.

- **ANALYSE VAN DE DEMONTEERBAARHEID**

De geprefabriceerde betonnen elementen worden door middel van stelblokjes op de juiste plaats en het juiste niveau gepositioneerd. Daarna worden de voegen aangestort met een cementgebonden materiaal. Zowel de keramische tegel als de glaswol isolatieplaten zijn mechanisch verbonden door middel van toegevoegde elementen (aluminium klemprofiel en kunststof isolatieplug) en eenvoudig los te maken van de structuur na het verrichten van extra handelingen die geen schade veroorzaken. Aangezien zowel bij de tegel als bij de isolatie telkens 1 paneel afzonderlijk losgemaakt kan worden, wordt voor beide achterliggende lagen een toegankelijkheidsscore toegekend van 20. Dit pakket krijgt bijgevolg een demonteerbaarheidsscore van 85.

Tabel 22: Demonteerbaarheid gevelsysteem 1

	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
<b>Prefabbeton</b>	90	20	$(90+20)/2 = 55$
<b>Glaswol: mechanisch verankerd met plug en schroef</b>	20	20	20
<b>Keramische tegel: geklemd</b>	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			$55+20+10 = 85$

### 12.1.1 Vaststelling 1: Blinde vs. zichtbare bevestiging

Ter vergelijking wordt hetzelfde pakket opnieuw bestudeerd waarbij enkel de bevestiging van de gevelafwerking verschilt. Hier worden de keramische tegels zichtbaar bevestigd. Dit met behulp van

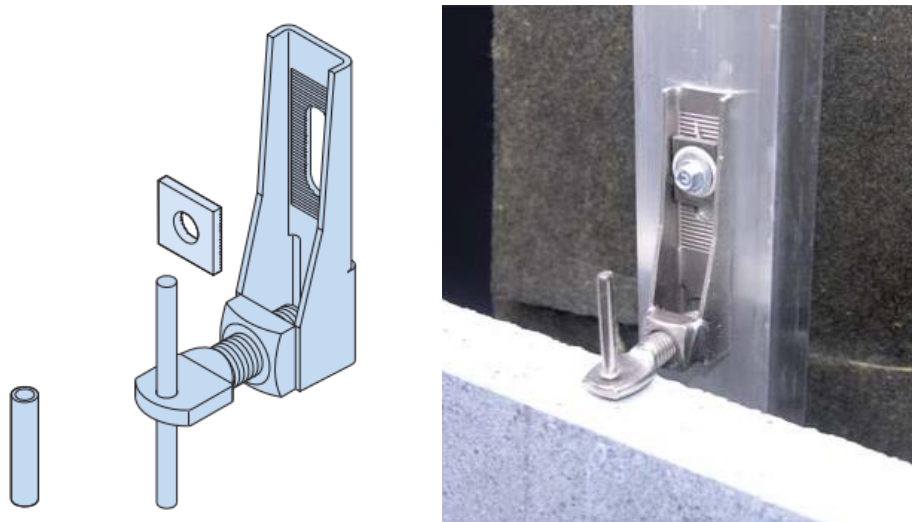


schroeven die doorheen voorgeboorde gaten in de tegel worden geschroefd. Deze techniek zorgt er aan de ene kant voor dat het uitzicht van de gevel veranderd. De bevestiging is steeds zichtbaar, ook al bestaan vandaag reeds heel wat technieken om de bevestigingsmiddelen dezelfde kleur te geven als de tegels. De schroeven waarmee de keramische tegels worden bevestigd, komen opnieuw in een regelwerk terecht. Dit kan opnieuw gaan om een regelwerk uit aluminium, maar ook hout of een combinatie van de beide materialen zijn een optie. Aluminium regelwerk wordt doorgaans gecombineerd met de nodige thermische onderbrekingen om het regelwerk thermisch af te zonderen van de dragende structuur en zo koudebruggen te voorkomen. Dit is ook zichtbaar in paragraaf 7.2.

Aan de andere kant zorgt de zichtbare bevestigingstechniek voor een afslanking van de omvang van het regelwerk. Het volume aan bevestigingsmiddelen (schroeven met eventueel rozet) bij het zichtbaar bevestigen weegt niet op tegen het volume van de extra klemmen bij het blind bevestigen. De afweging dient dus steeds gemaakt te worden tussen enerzijds een esthetisch egaal oppervlak met onzichtbare bevestiging en een grote milieu-impact wegens het groot volume aan bevestigingsmateriaal en anderzijds een zichtbare bevestiging met een kleinere materiaalimpact.

### **12.1.2 Vaststelling 2: Mogelijkheid tot individuele demontage**

In bovenstaande verbindingen (geklemd en geschroefd) is het steeds mogelijk één enkel paneel uit de gevel te halen. Echter, er bestaan ook bevestigingsmethodes waarbij dit niet het geval is. Vooral blinde bevestigingstechnieken kampen met dit probleem. Een vaak terugkerende bevestigingstechniek voor keramische tegels is deze waarbij de tegel zowel in zijn bovenste als onderste zijde over een pin wordt geschoven. De opbouw van de gevel start onderaan en eindigt bovenaan. Het demonteren gebeurt andersom. Snel wordt duidelijk dat één enkel gevelpaneel niet zomaar kan worden losgemaakt zonder alle bovenliggende te demonteren. Onderstaande Figuur 39 verduidelijkt deze opstelling. Helemaal links onderaan is een fixatiehuls afgebeeld. Deze komt in het voorgeboorde gat terecht en zorgt ervoor dat de speling tussen de pin en het gat in de tegel minimaal is. Afhankelijk of deze huls vervaardigd is in metaal of rubber laat deze kleine dilataties toe.



*Figuur 39: Verankering tegel met pinnen (Halfen, 2012)*

Dit is de reden waarom voor gevelafwerkingen gekozen werd de score voor het beschadigingspotentieel enkel op pakketniveau te implementeren, daar deze afhankelijk is van de gebruikte bevestigingstechniek. Er wordt een minder goede score toegekend aan systemen waarbij geen individuele panelen gedemonteerd kunnen worden.

## **12.2 Gevelsysteem 2: Kalkzandsteen – Steenwol – Clickbrick**

In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op een gevelsysteem dat opgebouwd wordt uit kalkzandsteen, steenwol en Clickbricks. De aanpassing van de gevelbekleding naar een circulair materiaal zorgt voor een betere score dan bij het gebruik van een klassiek gemetselde gevelsteen. De opbouw van dit pakket scoort minder goed dan vorig pakket en krijgt label B. Vooral op vlak van eindelevensduurfase zijn verschillen te merken. Hieronder wordt de opbouw weergegeven samen met de bevestigingsmethode. De U-waarde van dit systeem wordt in Tabel 23 getoond en voldoet aan de eis opgelegd in de EPB-wetgeving. Er werd geen rekening gehouden met spouwankers en plaatselijke doorboringen. Het Clickbrick systeem levert geen bijdrage aan de thermische isolatiewaarde van het pakket aangezien de luchtspouw aanzien wordt als goed geventileerd door de open stootvoegen van de façade

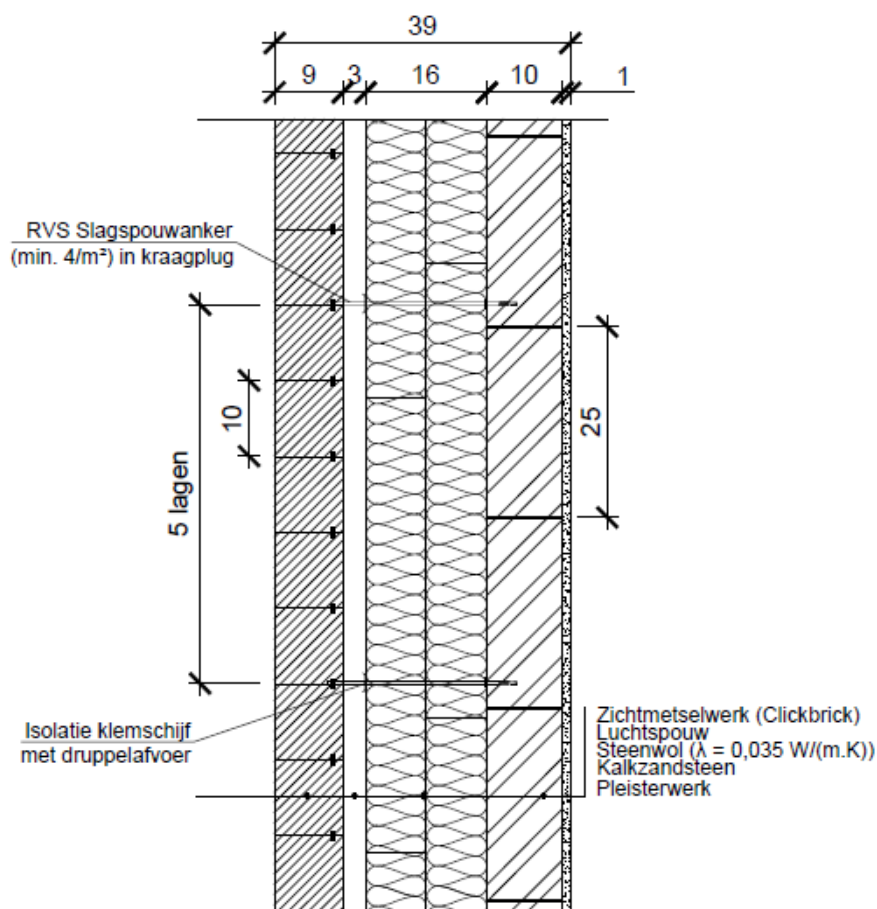
- Binnenspouw:
  - Materiaal: Kalkzandsteen
  - Bevestiging: Lijmverbinding
- Isolatie:
  - Materiaal: Halfharde steenwolplaten
  - Bevestiging: Mechanisch met behulp van plug en schroef

- Afwerking:
  - Materiaal: Clickbrick
  - Bevestiging: Verbinding met toegevoegde elementen (klikstelsel)

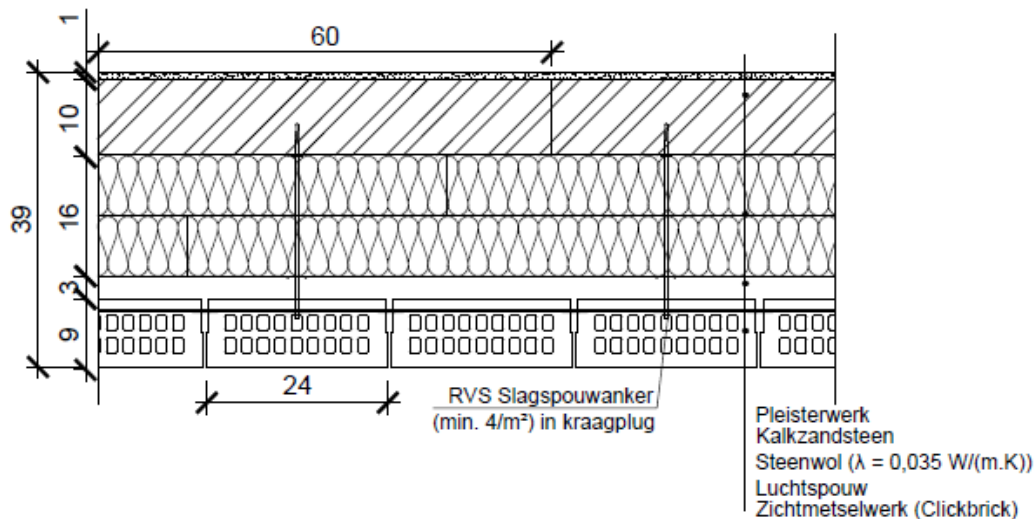
Tabel 23: U-waarde gevelsysteem 2

	Dikte (m)	Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$ (W/mK)	R-waarde (m <sup>2</sup> K/W)
Pleisterwerk	0,010	0,930	0,011
Kalkzandsteen: verlijmd	0,100	1,000	0,100
Steenwolisolatie: mechanisch	0,160	0,035	4,571
Sterk geventileerde luchtspouw	0,030	/	/
Gevelsteen: Clickbrick	0,090	/	/
<b>TOTALE U-WAARDE (W/m<sup>2</sup>K)</b>	met $\alpha_{int} = 7,7$ en $\alpha_{ext} = 25$ (W/m <sup>2</sup> K)		<b>0,206</b>

- METHODE VAN OPBOUW



Figuur 40: Verticale snede gevelsysteem 2 – Schaal 1/10



Figuur 41: Horizontale snede gevelsysteem 2 – Schaal 1/10

- **ANALYSE BESCHADIGINGSPOTENTIEEL GEVELBEKLEDING**

De waarde voor het beschadigingspotentieel van de Clickbrick (10) ligt in de zone “geen schade” (zie Tabel 24) omdat de stenen los te koppelen zijn aangezien gebruik gemaakt wordt van droge verbindingen met toegevoegde elementen. In vergelijking met een snelbouwsteen met een score van 80 brengt dit een grote verbetering met zich mee. Er wordt echter wel vermeld dat de eerste laag stenen in een specie gezet wordt en dus niet omkeerbaar is. Ook ter plaatse van dakranden en openingen worden de laatste lagen verlijmd. Vandaar wordt een score 10 gegeven en geen 0.

Tabel 24: Beschadigingspotentieel gevelsysteem 2

Beschadigingspotentieel	Score
<b>Geen schade</b>	0-10
Licht beschadigd zonder reductie van functie	20-40
Licht beschadigd met reductie van functie	50-70
Totale schade: zwaar beschadigd met verlies van functie	80-90
Totale schade: geen enkel hergebruik mogelijk	100

- **ANALYSE VAN DE DEMONTEERBAARHEID**

De keuze voor een circulaire gevelafwerking waarbij Clickbrick stenen gedemonteerd en hergebruikt kunnen worden zorgt logischerwijs voor een verbetering van de score. Hierbij wordt echter wel vermeld dat gebruik wordt gemaakt van klikprofielen in kunststof wat de materiaalimpact van het systeem verhoogt. In Tabel 25 wordt de demonteerbaarheid van het pakket weergegeven. In paragraaf 8.3.2 wordt vermeld welke ontwerprichtlijnen van toepassing zijn op een Clickbrick.

Tabel 25: Demonteerbaarheid gevelsysteem 2

	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
Kalkzandsteen	90	20	$(90+20)/2 = 55$
Zachte isolatieplaten: mechanisch	20	40	30
Gevelsteen: Clickbrick	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			$55+30+10 = 95$

### 12.2.1 Vaststelling 3: Gebruik van tweelaagse isolatie

Onderbrekingen in de thermische isolatie van een gevel doen kieren en spleten ontstaan die koudebruggen vormen. De naden tussen isolatieplaten zijn het zwakke punt voor een luchtstroom. Het geschrapt plaatsen van een tweelaagse isolatie vangt dit mankement op. Nadeel hierbij is dat het een duurdere oplossing vormt. Zowel de materiaalkosten als de kosten voor de manuren nemen toe. Een voordeel is dan weer dat oude isolatieplaten die weliswaar nog voldoen aan bepaalde eisen hergebruikt kunnen worden. De kans dat de doorboring van de eerste laag zich op exact dezelfde plaats bevindt als die van de tweede is vrij klein wanneer de isolatie gedemonteerd en nadien terug opgebouwd wordt.

### 12.3 Gevelsysteem 3: Kalkzandsteen – EPS – Zink staande naad

Onderstaande oplijsting geeft de opbouw van het pakket met label D en totaalscore 4997,42 schematisch weer. Figuur 42 en Figuur 43 geven respectievelijk een verticale en horizontale doorsnede weer.

- Binnenspouw:
  - Materiaal: Kalkzandsteen
  - Bevestiging: Lijmverbinding
- Isolatie:
  - Materiaal: Harde EPS-platen
  - Bevestiging: Mechanisch met behulp van plug en schroef en tand- en groefverbinding
- Afwerking:
  - Materiaal: Zink
  - Bevestiging: Geplooid over mechanisch bevestigde klangen op houten regelwerk

De U-waarde wordt bepaald in Tabel 26. Er werd geen rekening gehouden met spouwankers, het houten regelwerk en plaatselijke doorboringen.

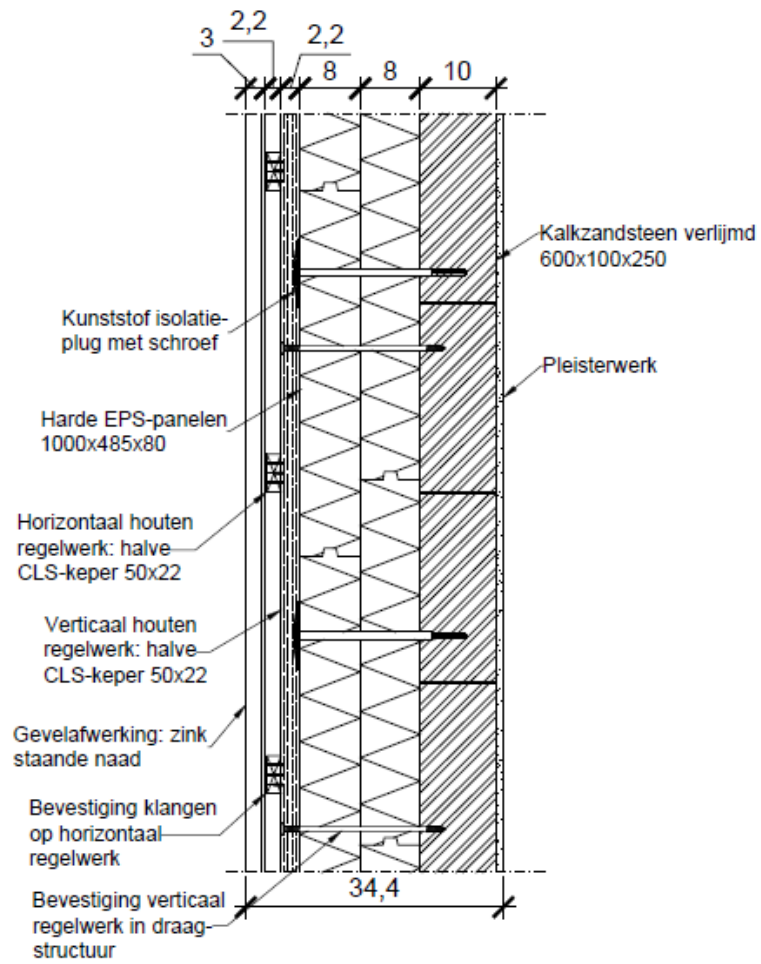
Tabel 26: U-waarde gevelsysteem 3

	Dikte (m)	Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$ (W/mK)	R-waarde (m <sup>2</sup> K/W)
Pleisterwerk	0,010	0,930	0,011
Kalkzandsteen: verlijmd	0,100	1,000	0,100
EPS-isolatie	0,160	0,035	4,571
Sterk geventileerde luchtspouw	0,044	/	/
Zink	0,0008	/	/
<b>TOTALE U-WAARDE (W/m<sup>2</sup>K)</b>	met $\alpha_{int} = 7,7$ en $\alpha_{ext} = 25$ (W/m <sup>2</sup> K)		<b>0,206</b>

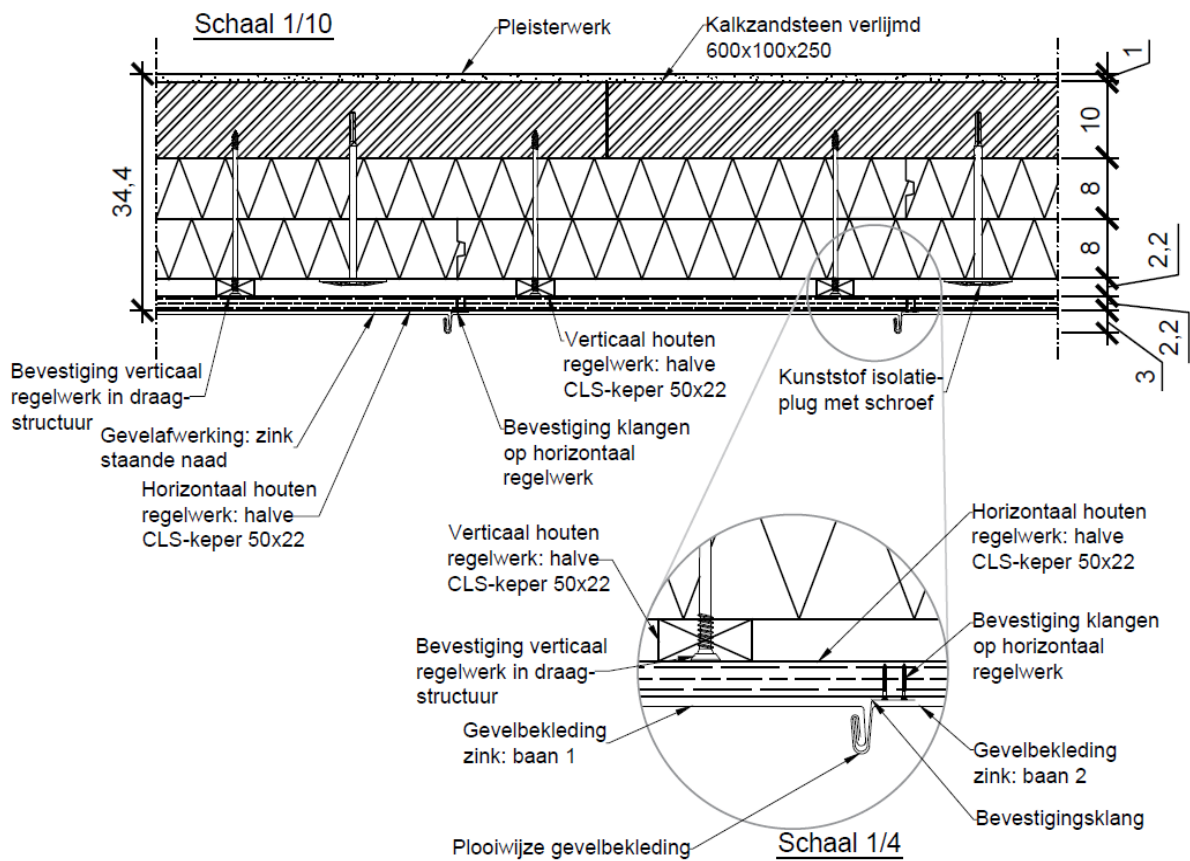
- METHODE VAN OPBOUW

Op de dragende structuur uit kalkzandsteen wordt de isolatie bevestigd door middel van pluggen. Merk op dat hier tweelaagse isolatie gebruikt wordt. Hiervoor bestaan verschillende bevestigingstechnieken. Er bestaan pluggen die beide panelen rechtstreeks mechanisch kunnen bevestigen in de dragende structuur. Daarnaast kan ook geopteerd worden om het eerste isolatiepakket mechanisch te bevestigen en er dan een volgende isolatielaag op te verlijmen. Voordeel van deze laatste techniek is dat de perforatie door de isolatiepluggen niet volledig tot het koud oppervlak loopt. Anderzijds is de verlijmde verbinding niet circulair en kunnen de panelen niet meer van elkaar gescheiden worden. Ook demontage van het volledige pakket ten opzichte van de dragende structuur is niet mogelijk door het insluiten van de mechanische verbinding.

Op de isolatie wordt een dubbel houten regelwerk aangebracht. Aangezien geopteerd wordt om een verticale oriëntatie van de gevelbekleding toe te passen (verticale zink staande naad), dient de daaropvolgende laag een horizontaal regelwerk te zijn. Om vervolgens de constructie te behoeden van stilstaand water achter de zinken gevel, wordt een verticaal lattenwerk toegevoegd tussen het horizontaal regelwerk en de isolatie. Deze zorgt voor een geventileerde spouw wat corrosie van het afwerkingsmateriaal verhindert. Het regelwerk wordt steeds waterpas gezet door middel van afstandsschroeven, L-profielen met schuifgaten, kaleerblokjes... Daarna kunnen de zinken gevelbanen gemonteerd worden waarbij telkens twee naast elkaar liggende banen geplooid worden over tussenliggende bevestigingsklanten. Deze laatste worden in het horizontaal regelwerk geschroefd.



Figuur 42: Verticale snede gevelsysteem 3



Figuur 43: Horizontale snede gevelsysteem 3

• **ANALYSE BESCHADIGINGSPOTENTIEEL GEVELBEKLEDING**

Bovenstaand beschreven bevestigingssysteem krijgt een score van 40 wat betreft het beschadigingspotentieel van de gevelbekleding. (De)monteren van de zinken felsgevel brengt wat risico met zich mee. De gevelbekleding is 0,8 mm dik wat snel zorgt voor blijvende schade. Ook krassen blijven goed zichtbaar. Toch is het mogelijk de bekleding te demonteren zonder reductie van functie. Echter, de gemaakte plooiën blijven zichtbaar in het materiaal. Het kan dus slechts hergebruikt worden op plaatsen waar eenzelfde baanbreedte gehanteerd wordt.

Tabel 27: Beschadigingspotentieel gevelsysteem 3

Beschadigingspotentieel	Score
Geen schade	0-10
<b>Licht beschadigd zonder reductie van functie</b>	<b>20-40</b>
Licht beschadigd met reductie van functie	50-70
Totale schade: zwaar beschadigd met verlies van functie	80-90
Totale schade: geen enkel hergebruik mogelijk	100

Daarboven wordt vermeld dat deze afwerking in metaal niet met elk materiaal in contact gebracht mag worden. Zo moet rechtstreeks contact met vers beton, kalk, bitumen, mortel ... vermeden worden.



Ook contact met andere aanwezige metalen is niet altijd toegelaten. Hiervoor wordt gekeken naar het elektrolytisch potentieel. Zink bevindt zich ongeveer halfweg de spanningsreeks der metalen. Dit betekent dat de helft van de metalen edeler is dan zink. Hoe edeler een metaal, hoe moeilijker het geoxideerd wordt. Met andere woorden mag zink niet in contact komen met meer edele metalen als goud, zilver, koper, lood en ijzer. Indien dit wel het geval is kan het zink, mits aanwezigheid van een elektrolyt (vb. regen), oxideren. (VMZINC, 2020)

- **ANALYSE VAN DE DEMONTEERBAARHEID**

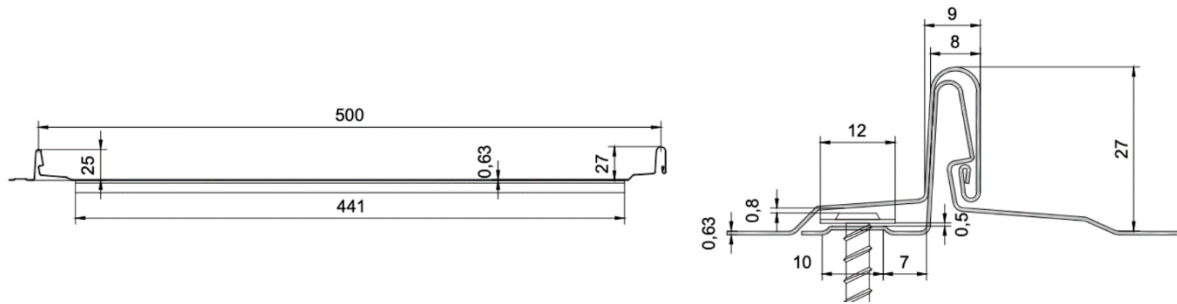
De kalkzandstenen worden verlijmd met een voeg van 2 mm. Deze cementgebonden lijmvoeg kan niet aanzien worden als circulair en krijgt bijgevolg een score 90. Zowel de zinken felsgevel als de harde EPS-platen zijn mechanisch verbonden door middel van toegevoegde elementen (bevestigingsklanten en kunststof isolatieplug) en eenvoudig los te maken van de structuur na het verrichten van extra handelingen die geen schade veroorzaken. Aangezien het zowel bij de gevelbekleding (in elkaar geplooid) als bij de isolatie (tand en groef) moeilijk is één paneel afzonderlijk los te maken, wordt voor beide achterliggende lagen een toegankelijkheidsscore toegekend van 30. Dit pakket krijgt bijgevolg een demonteerbaarheidsscore van 95.

Tabel 28: Demonteerbaarheid gevelsysteem 3

	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
<b>Kalkzandsteen</b>	90	30	$(90+30)/2 = 60$
<b>EPS-isolatie</b>	20	30	25
<b>Zink</b>	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			$60+25+10 = 95$

### 12.3.1 Vaststelling 4: Gelijkaardige bevestigingssystemen

FinishProfiles stelt een gelijkaardig systeem ter beschikking. Alle platen worden in het atelier reeds geplooid. Door de voorgevormde naden hoeven de platen niet meer ter plaatse worden geplooid, maar worden ze simpelweg over het voorgaande profiel geklikt. Dit resulteert in een snellere werking, maar wordt gefabriceerd in slechts 3 verschillende werkende breedtes van één zinkvlak. De bevestiging op de achterliggende structuur gebeurt blind door middel van schroeven. Onderstaande Figuur 44 maakt duidelijk dat elk profiel aan één kant voorzien is van een bevestigingsmogelijkheid. Vervolgens wordt een volgend profiel hier overheen geklikt. Rechts wordt het klikken geïllustreerd. Daar is te zien hoe de linkerkant van het ene element samen past met de rechterkant van het volgende. (FinishProfiles, 2019)



Figuur 44: Kliksysteem zink (FinishProfiles, 2019)

### 12.3.2 Vaststelling 5: Zelfde materiaal in verschillende vormen

In de analysetabel op materiaalniveau wordt duidelijk welke materialen goed scoren op vlak van duurzaamheid en circulariteit. De overstap naar de tabel op pakketniveau vergt een keuze van bepaalde bevestigingstechnieken. In paragraaf 12.3 en 12.4 worden in totaal drie bevestigingsmethodes beschreven waarmee zink gehanteerd kan worden als gevelbekleding. Enerzijds werd reeds een felsgevel besproken, anderzijds gaat het in volgende paragraaf over een mozaïekstructuur met geprefabriceerde zinkpanelen. Beide systemen bezitten zowel voor- als nadelen.

Zo kan met een felsgevel makkelijker op maat gewerkt worden. De zinkpanelen bezitten daarentegen een standaard vorm en zijn moeilijk in alle hoeken en kanten te hanteren. Gelinkt hieraan is de snelheid van uitvoeren. Het spreekt voor zich dat het monteren van de prefab panelen sneller gaat dan het toepassen van een felsgevel waarvan de banen op maat geknipt en geplooid worden. Verschillende factoren spelen mee in de keuze van de bevestiging, want ook het uitzicht voor beide gevels is verschillend.

### 12.3.3 Vaststelling 6: Gebruik van ondersteunde constructies

De opbouw van circulaire gevels zorgt vaak voor een achterliggende ondersteunende constructie waaraan gevelbekledingen bevestigd worden. Het regelwerk wordt meestal in aluminium of hout voorzien en mechanisch bevestigd. De keuze voor een bepaalde techniek is soms onlosmakelijk verbonden met de keuze van een bepaalde regelstructuur. Er moet ingezien worden dat dit een bijkomende materialenstroom en dus op termijn afvalstroom creëert. Nochtans zal deze opbouw vaak interessant zijn om tot een demonteerbaar geheel te komen en zo hergebruik van materialen te stimuleren.

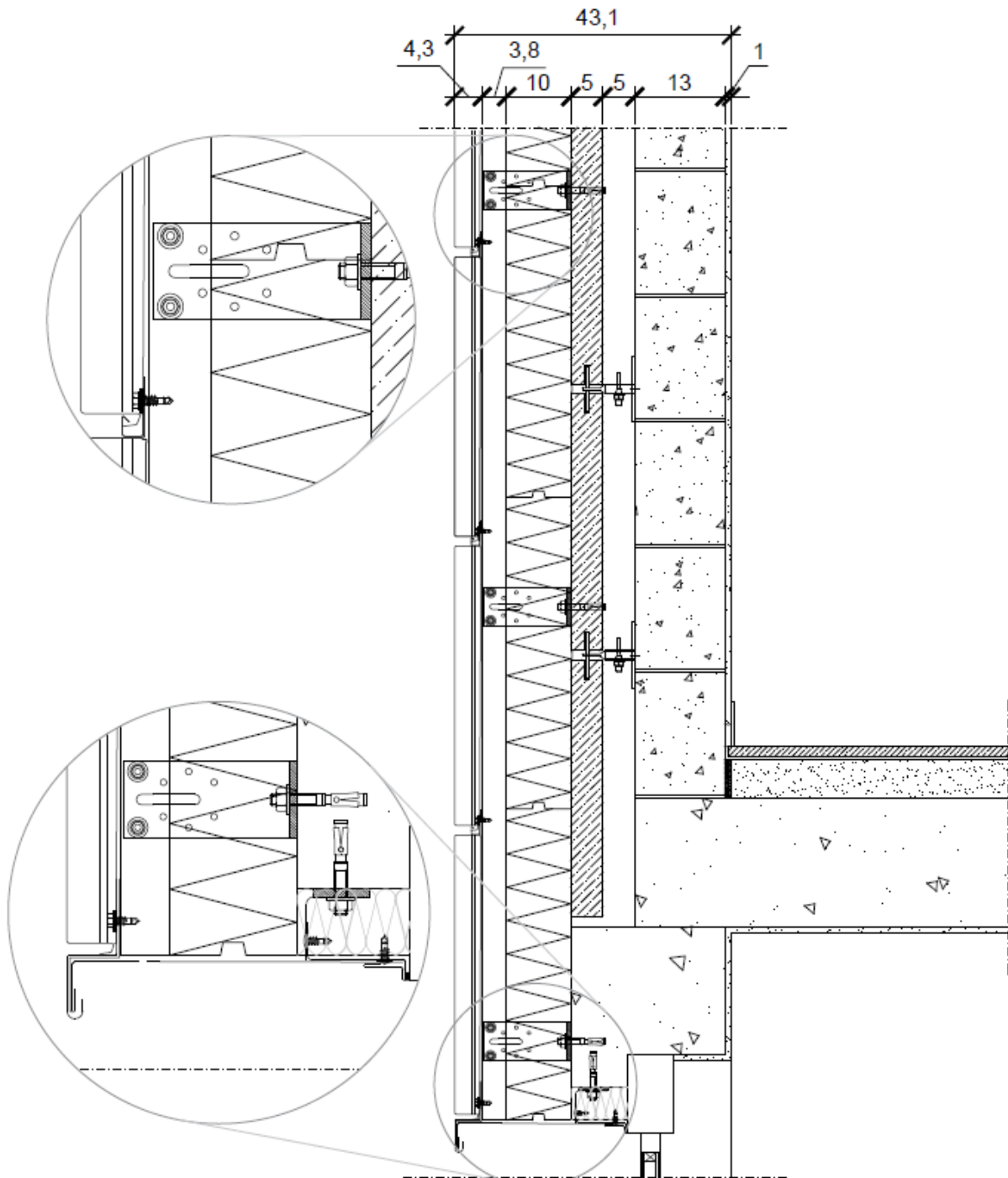
## 12.4 Mogelijkheid tot toepassen in renovatie

Concreet staat de bouw voor twee belangrijke uitdagingen wat betreft de aanpak van het gebouwenlandschap in Vlaanderen. Enerzijds wordt gekeken hoe nieuwe gebouwen klaar gemaakt

worden voor de toekomst, anderzijds is het belangrijk te analyseren hoe omgegaan wordt met het bestaande patrimonium. Hierin zijn renovatietoepassingen van groot belang.

Algemeen zal een systeem met een regelwerk nagenoeg altijd gebruikt kunnen worden in renovatietoepassingen. Afhankelijk van het gewicht van de nieuwe gevelbekleding kan deze eventueel zelfs worden aangebracht op de bestaande gevelafwerking. Stabiliteitstechnisch dient dit natuurlijk goed uitgewerkt te worden. Uitgaande van de veronderstelling dat de bestaande gevelafwerking met bijhorende bevestiging over voldoende capaciteit beschikt om zowel het regelwerk als de afwerking van de nieuwe bekleding te dragen wordt hieronder het gevelpakket van de Etrimo-torens op dergelijke wijze uitgebreid bij wijze van voorbeeld. Gezien het vlak karakter van de kwartsietpanelen biedt de bestaande toestand een gunstig perspectief om op deze manier te werk te gaan. Voldoende aandacht dient uit te gaan naar de detaillering van de binnenhoeken ter plaatse van de balkons.

Het gevelpakket wordt uitgebreid met een nieuwe, lichte gevelbekleding. Zoals in voorgaande paragraaf 12.3 dieper werd uitgewerkt, wordt ook hier gebruik gemaakt van een zinken gevelafwerking. Een variant op de felsgevel is het gebruik van zinkpanelen die op een T-vormige aluminium draagstructuur worden bevestigd.



Figuur 45: Renovatie Etrimo

Na renoveren van de gevel op bovenstaande wijze wordt de U-waarde van het systeem beïnvloed. Onderstaande Tabel 29 geeft weer dat deze nu voldoet aan de vooropgestelde waarde voor  $U_{\max} = 0,24\text{W/m}^2\text{K}$ . De luchtpouw achter de kwartsietpanelen wordt volledig ingesloten en heeft dus een goed isolerend karakter. Eventuele gaten in de soepele voegen wordt door de isolatie afgedicht.

Tabel 29: Verbeterde U-waarde Etrimo gebouw

	Dikte (m)	Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$ (W/mK)	R-waarde (m <sup>2</sup> K/W)
Pleisterwerk	0,010	0,930	0,108
Agglofor blokken	0,130	1,580	0,082
Luchtspouw	0,050	0,025	2,000
Kwartsiet	0,050	5,100	0,010
EPS-isolatie	0,100	0,035	2,857
Sterk geventileerde luchtspouw	0,038	/	/
Zink	0,0008	/	/
<b>TOTALE U-WAARDE (W/m<sup>2</sup>K)</b>	met $\alpha_{int} = 7,7$ en $\alpha_{ext} = 25$ (W/m <sup>2</sup> K)		<b>0,195</b>

De lucht- en waterdichtheid zijn afhankelijk van de gedetailleerde aansluitingen van schrijnwerk. Dit wordt hier niet verder uitgewerkt.

Op bovenstaande details is te zien dat waar vóór de renovatie een perfecte afdichting bekomen werd van de luchtspouw, deze hier opnieuw open is over de volledige hoogte van het gebouw. Dit beïnvloedt de evaluatie op vlak van brandveiligheid op een negatieve manier. De luchtspouw moet bij het compartimenteren volledig worden afgedicht in geval van brand.

Er moet bestudeerd worden of het volstaat de EPS-panelen plaatselijk te onderbreken. Ter hoogte van compartimenteringsvloeren (verticale compartimentering) zal dit inderdaad volstaan. Echter, in horizontale richting, ter hoogte van compartimenteringswanden, doet zich een bijkomend probleem voor. Indien de soepele voegen tussen de kwartsietpanelen bezwijken onder de hoge temperaturen opent de oorspronkelijke luchtspouw. Op deze manier is het verticaal onderbreken van de EPS-panelen niet voldoende. Het is dan ook veiliger ter hoogte van een compartimenteringswand ook de oorspronkelijke luchtspouw te dichten. Andere mogelijke oplossingen om de brandveiligheid te garanderen zijn de volgende:

1. Het installeren van een sprinklerinstallatie in alle langs de gevel gelegen compartimenten
2. Het uitbreiden van de balkons (thermisch onderbroken) over de volledige lengte van het gebouw om op dergelijke manier te zorgen dat overal een uitsteek (E60) van minstens 60 cm bekomen wordt

## 12.5 Mogelijkheid tot uitbreiding van het isolatiepakket

De normen die gesteld worden, worden steeds strenger. Op die manier is een woning van 10 jaar oud sterk verouderd op vlak van EPB-eisen. De levensduur van heel wat materialen in een gevel overstijgen deze periode waardoor gevelsystemen te maken krijgen met wijzigingen bij het uitbreiden naar een dikker isolatiepakket.

De mogelijkheid tot uitbreiding is sterk afhankelijk van de bevestigingstechniek waarmee zowel de gevelbekleding als de isolatie verbonden wordt met het geheel. Vanzelfsprekend dienen deze verbindingen omkeerbaar te zijn. Integraal hergebruik van de gevelelementen zonder schade is een groot pluspunt. Dit moge dienen ter verduidelijking waarom de verandering naar circulaire gevelsystemen broodnodig is.

Nog beter is wanneer de gevelbekleding gedemonteerd kan worden als modules in plaats van als individuele elementen. Een modulaire opbouw versnelt fasen als monteren en demonteren in het bouwproces. Op die manier wordt ook de kost van de verandering naar een groter isolatiepakket geminimaliseerd en is de drempel om dergelijke werken uit te voeren niet zo groot. In paragraaf 14.1 wordt een modulair systeem uitgedacht waarbij de opbouw van een gevelpakket gelinkt is aan de bevestiging van de isolatielaag ongeacht de dikte ervan.

Anderzijds evolueren naast de EPB-eisen ook de technieken voor fabricatie van isolatiematerialen. De kans bestaat dat isolatiepakketten niet steeds dikker worden, maar eerder veranderen van vorm of techniek. Een voorbeeld hiervan is vacuüm-isolatie die niet geperforeerd mag worden. Ook hier wordt rekening mee gehouden in de ontwikkeling van innovatieve ideeën in paragraaf 14.1.

### 13 Circulaire bouwknopen

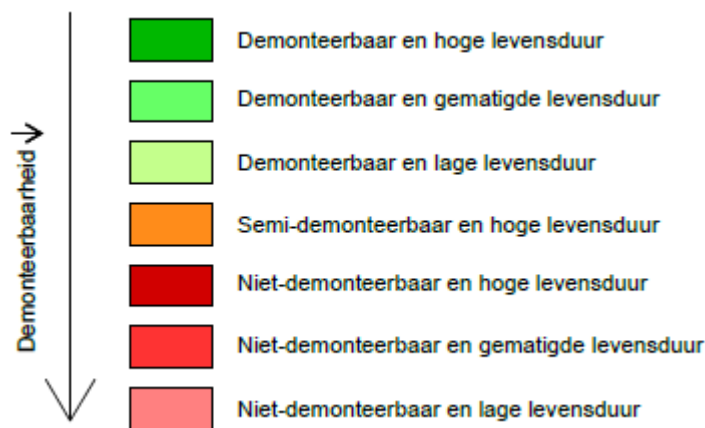
In dit hoofdstuk komen enkele van de in hoofdstuk 12 geanalyseerde pakketten aan bod in bouwknopen waarin de aansluiting van de gevel belangrijk is voor het uitvoeren van een bouwfysisch performant geheel.

Op het einde van elke paragraaf wordt een circulariteitsanalyse van het herwerkte detail weergegeven. Concreet betekent dit een ingekleurd detail waarbij de demonteerbaarheid en levensduur in één oogopslag duidelijk worden.

Een goede demonteerbaarheid zonder al te veel schade (geen gebruik van lijmen of natte verbindingen) wordt met een groene kleur aangeduid. Een matige demonteerbaarheid, zoals het gebruik van kalkmortel, krijgt een oranje kleur. Een materiaal met een demonteerbaarheid die niet als circulair kan omschreven worden krijgen een rode kleur.

Verder wordt de levensduur van het materiaal aangeduid. Hoe donkerder de kleur is, hoe hoger de levensduur. Een licht ingekleurd materiaal bezit daarentegen een lage levensduur.

Idealiter hebben de materialen aan de binnenzijde van de constructie een donkerdere kleur dan aan de buitenzijde. Op die manier wordt rekening gehouden met de correcte gelaagdheid en worden geen materialen ingesloten. Ook is het belangrijk dat deze materialen de grootst mogelijke demonteerbaarheid bezitten en bijgevolg groen gekleurd worden.



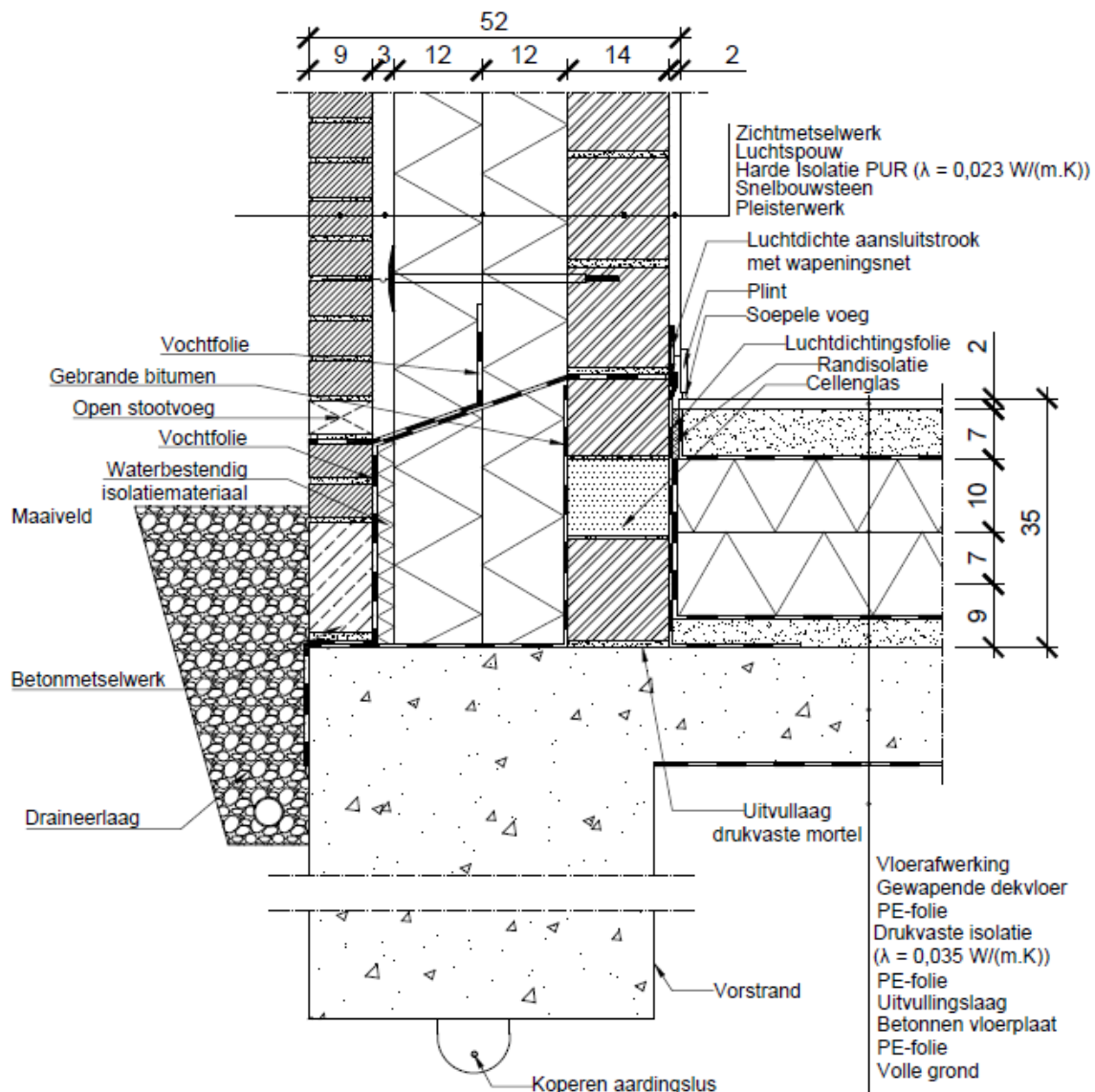
Figuur 46: Kleurenschaal circulariteitsanalyse

#### 13.1 Funderingsaanzet

Deze paragraaf gaat in op hoe de aansluiting van een opgaande gevel met de fundering op een meer circulaire manier kan gebeuren. Vooreerst wordt een traditionele opbouw beschreven.

### 13.1.1 Standaard funderingsaanzet met isolerend cellenglas

Figuur 47 geeft de opbouw van een standaard funderingsaanzet weer, gebaseerd op de bouwdetails die de Stad Gent ter beschikking stelt. (Passiefhuis Platform, z.d.) Een terugkoppeling gebeurt in volgende paragraaf, waar dit detail vergeleken wordt met de herwerkte vorm.



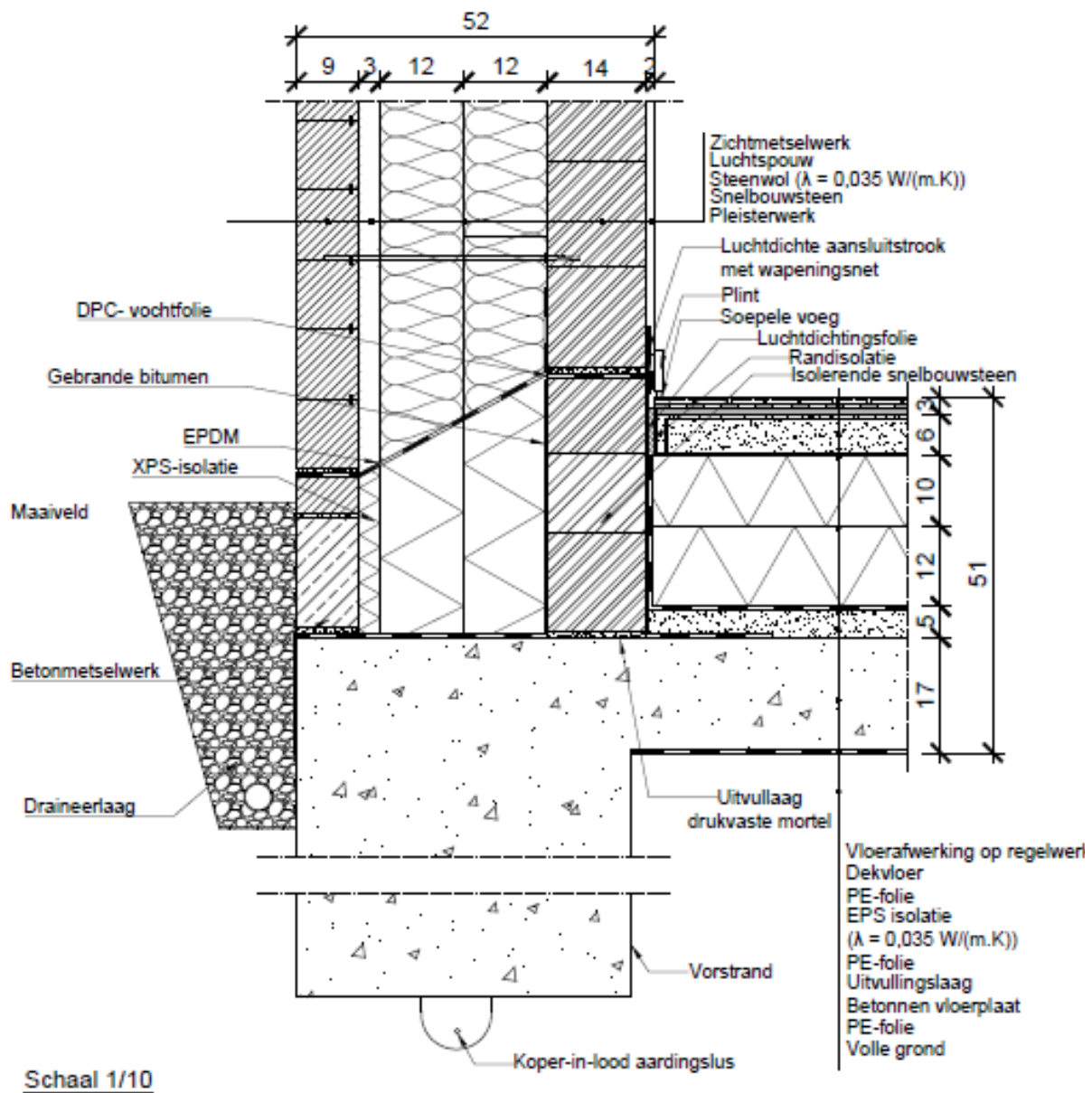
Figuur 47: Standaard funderingsaanzet met isolerend cellenglas – Schaal 1/10

### 13.1.2 Herwerkte funderingsaanzet

Een fundering bestaat doorgaans uit beton. Een eerste manier om duurzamer om te gaan met de fundering is het gebruik van beton gewonnen uit reeds bestaand beton. Uit de sloop van oude gebouwen kan betonpuin gehaald worden om te verwerken tot een nieuw product en te besparen op nieuw grondstoffengebruik. Verder wordt nagedacht of het interessant is een verplaatsbare fundering te ontwerpen. Vaak zal de fundering van een specifieke plaats immers niet voldoen aan de eisen van een



nieuwe locatie, wat hergebruik moeilijk maakt. Demonteerbaarheid van specifieke verbindingen daarentegen leidt tot hergebruik of recyclage van materialen op zich.



Figuur 48: Herwerkte funderingsaanzet – Schaal 1/10

Als eerste wordt een aardingslus voorzien in lood met een koperen kern, deze is beter bestand tegen corrosie dan wanneer deze enkel uit koper bestaat. Op die manier kan de levensduur verlengd worden. Verder wordt er in dit detail gekozen om het binnenspouwblad uit baksteen op te bouwen, ook al scoort dit materiaal niet goed op circulariteit. Mensen kiezen meestal voor baksteen omwille van de kostprijs en vergeten daarbij vaak dat dit product op vlak van duurzaamheid minder goed scoort. Tegenwoordig kan wel gebruik gemaakt worden van bakstenen uit verwerkt afval. Deze worden nog steeds op een niet-demonteerbare manier verbonden. In de toekomst moet gewerkt worden zodat het mogelijk is om ook

het binnenspouwblad op een demonteerbare manier te verbinden aan de hand van klikverbindingen zoals bij gevelstenen al gebeurt. Dit wordt ook gesuggereerd in het bouwdetail.

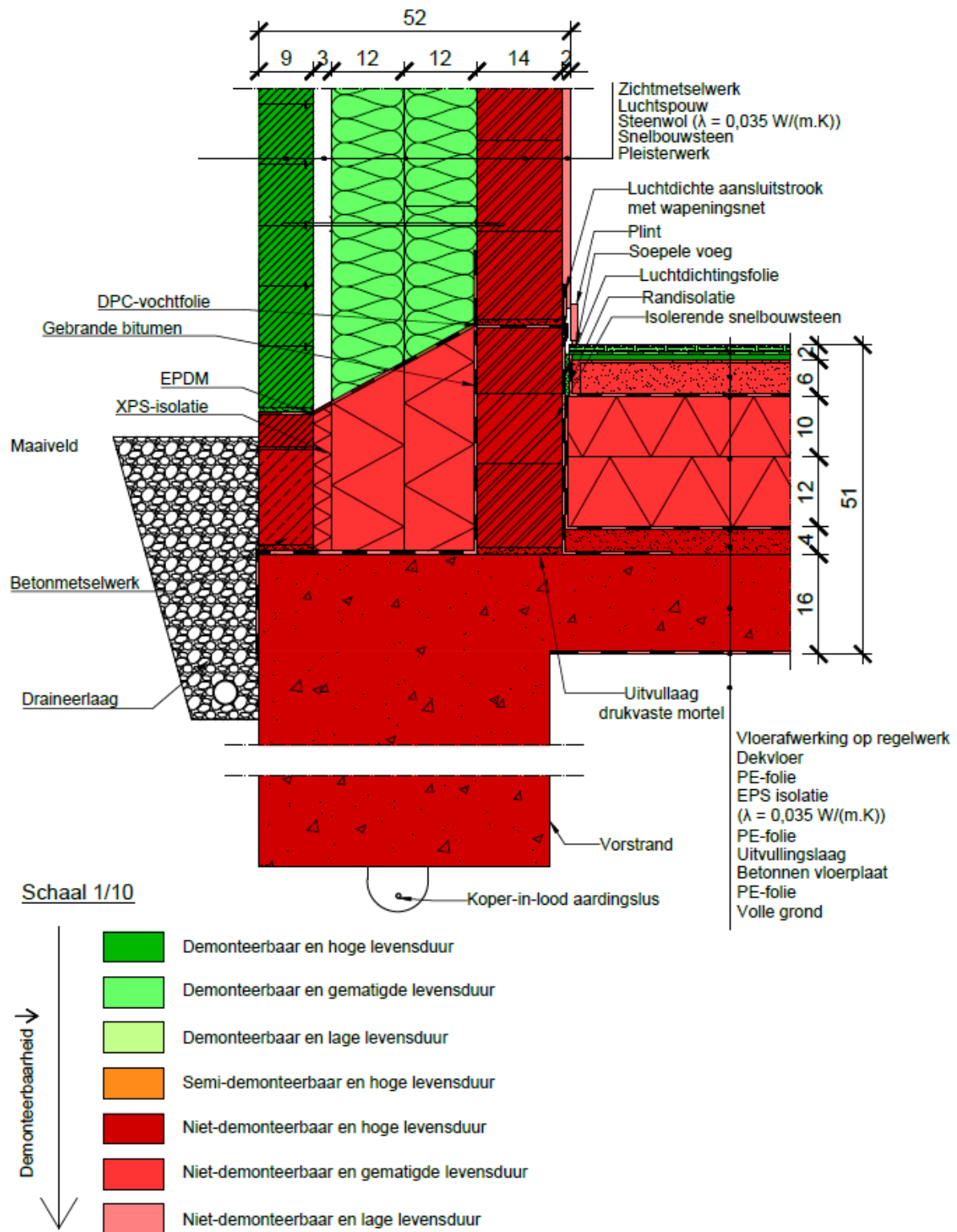
In het standaarddetail wordt gebruik gemaakt van cellenglas als isolerende steen in de bouwknoop. Als alternatief wordt voorgesteld om daar een snelbouwsteen te gebruiken waarbij de perforaties gevuld zijn met minerale wol. Zo wordt een extra materialenstroom vermeden. Dit kan in principe ook toegepast worden bij het detail van de dakopstand.

Als waterbestendige isolatie wordt voor XPS gekozen. Er wordt gewerkt met tweelaagse isolatie omwille van de talrijke voordelen. De vochtfolies worden nog steeds verlijmd om volledige waterdichtheid te garanderen.

De EPDM-folie komt iets lager te liggen, in de eerste lintvoeg van de gevel, om over zo weinig mogelijk stenen schade te hebben. Nadat deze folie geplaatst is, worden halfstijve glaswolplaten daarboven geplaatst. Als gevelafwerking wordt in het detail opnieuw met Clickbricks gewerkt. Dit is de reden waarom geen extra stootvoeg voorzien wordt boven de vochtfolie tussen de stenen. Alle voegen zijn vrij van vulling en zorgen er zo voor dat het buitenspouwblad gelijkmatig droogt.

Verder kan tijdens het plaatsen van de dekvloer een rooster met tussenschotten gebruikt worden om scheuren te vermijden. Het rooster neemt de functie van een wapeningsnet over en zorgt ervoor dat de spanningen gelijkmatig verdeeld worden en de levensduur van de vloer verlengd wordt. Als vloerafwerking kan bijvoorbeeld een houten klikvloer geplaatst worden die demontabel is.

In Figuur 49 wordt de circulariteitsanalyse op basis van kleuren voor de herwerkte funderingsaanzet weergegeven. De EPS-vloerisolatie is op zich als materiaal demonteerbaar, omdat deze losligt en niet verlijmd wordt. De bovenliggende lagen zijn daarentegen niet demonteerbaar waardoor de isolatie niet toegankelijk is, vandaar de keuze voor de rode kleur.



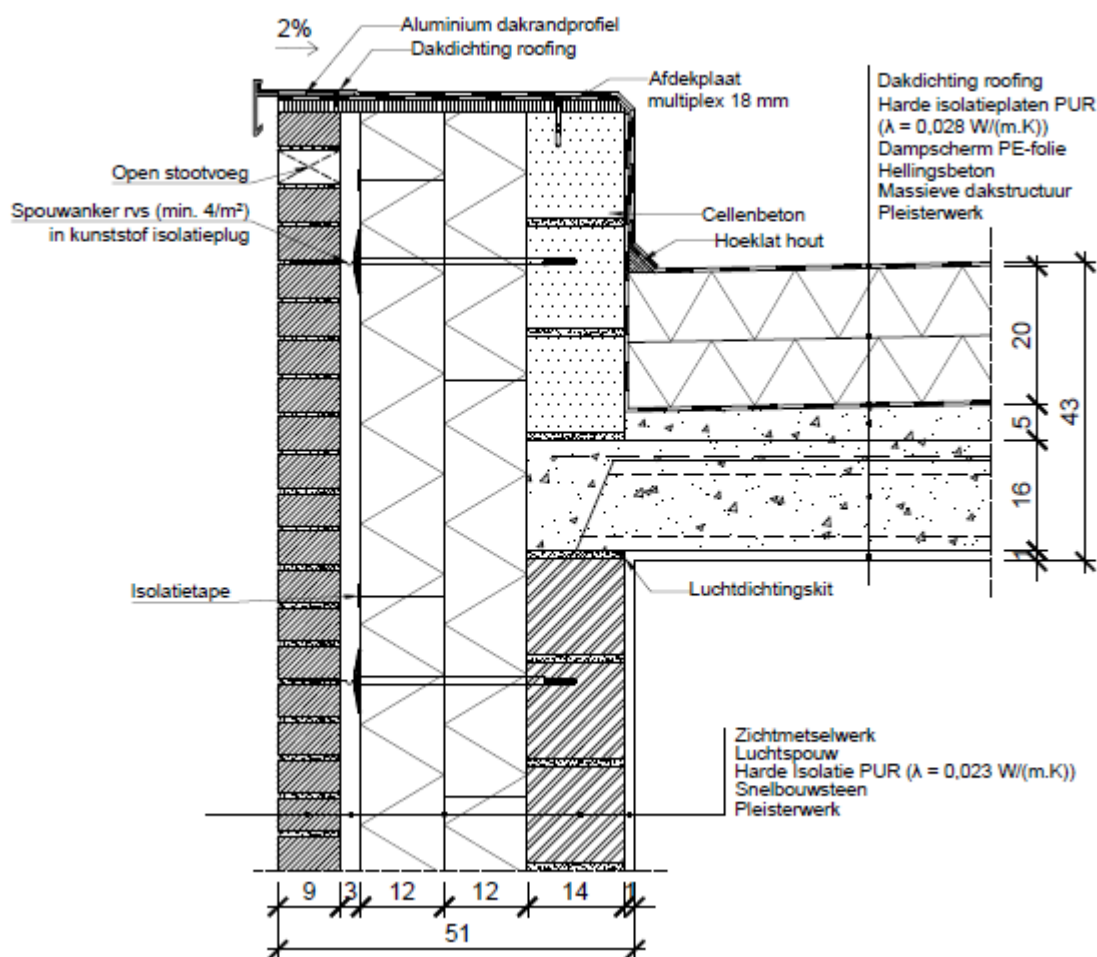
Figuur 49: Circulariteitsanalyse funderingsaanzet – Schaal 1/10

## 13.2 Aansluiting dakrand

Deze paragraaf gaat in op hoe de aansluiting van de gevel met de dakrand op een circulaire manier kan gebeuren. Vooreerst wordt een traditionele opbouw beschreven. Daarna wordt ingegaan op hoe dit meer circulair uitgevoerd kan worden.

### 13.2.1 Standaard dakrand met opstand in cellenbeton

Een dakrand vormt het verlengde van de spouwmuur ter plaatse van de aansluiting met het dak. Deze aansluiting vormt bijgevolg een moeilijkheid op vlak van water- en luchtdichtheid. Onderstaande Figuur 50 geeft weer hoe deze aansluiting doorgaans gebeurt.



Figuur 50: Standaard dakrand met opstand in cellenbeton – Schaal 1/10

#### • UITVOERING SPOUWMUUR

De spouwmuurisolatie wordt geschrinkt in twee lagen geplaatst en de buitenste laag wordt meestal in de naden met tape afgedicht. De ondergrond waarop een luchtdichtheidsfolie wordt gekleefd moet in elk geval droog en stofvrij zijn. Traditioneel gebeurt de verbinding tussen binnen- en buitenspouwblad met behulp van rvs-spouwankers die aflopend naar buiten geplaatst worden om het water weg te leiden

van de binnenmuur. Deze ankers overbruggen de spouwafstand van minstens 30 mm breed. De gevelstenen bevatten aangebrachte open stootvoegen die maximum 1 cm breed zijn en het eventueel binnengedrongen water afvoeren. Deze worden niet als ventilatieopeningen beschouwd omdat ze kleiner blijven dan 500 mm<sup>2</sup>/m. Om de levensduur van de spouwisolatie te verlengen worden soms stootvoegroosters aangebracht om lucht door te laten, maar ongedierte tegen te houden. Doorgaans worden deze uitgevoerd in rvs.

- **UITVOERING DAK**

Het massief dak bestaat uit betonnen welfsels met bijhorende druklaag die op de dragende binnenmuren komen te liggen. Daarop wordt een laag hellingsbeton aangebracht waarna een zelfklevend dampscherm wordt aangebracht. Dit dampscherm zorgt ervoor dat geen waterdamp van binnenuit in de isolatie terecht komt. Op dit dampscherm worden harde isolatieplaten verlijmd. Afwerken gebeurt met een dampopen dakdichting. Deze wordt opnieuw verlijmd, zowel onderling tussen de verschillende stroken als op de isolatiepanelen.

Aan de binnenzijde wordt het pleisterwerk op de betonnen welfsels en de bepleisterde muur luchtdicht verbonden door middel van een luchtdichtingskit. Schade ten gevolge van condensatievocht wordt vermeden doordat warmteverliezen via luchtlekken verhinderd worden. Door een verschil in zettingen kunnen scheuren ontstaan in die hoekaansluiting. Er wordt een soepele voeg gecreëerd om deze scheur tegen te gaan. Concreet wordt de wand en het plafond gepleisterd, terwijl er bij één van de vlakken gestopt wordt op een voegbreedte van het andere. De voeg wordt opgekit met een soepel materiaal.

*Figuur 51: U-waarde origineel dak*

	Dikte (m)	Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$ (W/mK)	R-waarde (m <sup>2</sup> K/W)
Dakdichting roofing	0,002	0,200	0,010
PUR-isolatie	0,200	0,028	7,143
Dampscherm PE-folie	0,002	0,170	0,012
Beton	0,210	1,700	0,124
Pleisterwerk	0,010	0,930	0,021
<b>TOTALE U-WAARDE (W/m<sup>2</sup>K)</b>	met $\alpha_{\text{int}} = 7,7$ en $\alpha_{\text{ext}} = 25$ (W/m <sup>2</sup> K)		<b>0,134</b>

- **VERBINDING SPOUWMUUR – DAK: DAKRAND**

De wand en het dak komen samen in de dakopstand. Platte daken bezitten steeds een dakopstand die minstens 150 mm boven de dakafdichting uitsteekt. De spouwmuroverbrugging kan volgens Technische Voorlichting TV244 uitgevoerd worden in waterbestendige multiplex, OSB of vezelcementplaten. Nadat de dakdichting in bovenstaand detail op de afdekplaat verlijmd of gelast

wordt, wordt het dakrandprofiel in de afdekplaat bevestigd met schroeven. De druipneus bevindt zich best minstens 10 mm van het geveloppervlak. Een tweede afdichting komt boven op het dakrandprofiel. Door het verkleven of lassen van de folies (dampscherm en dakafdichting) worden deze ter plaatse van de dakopstand met elkaar verbonden en wordt de waterdichtheid van de constructie gewaarborgd. Hier wordt al meteen duidelijk dat dit voor een niet-demonteerbare verbinding zorgt. Een positieve zaak in bovenstaand detail is de hoeklat die ervoor zorgt dat de folie geen hoek van 90° hoeft te maken.

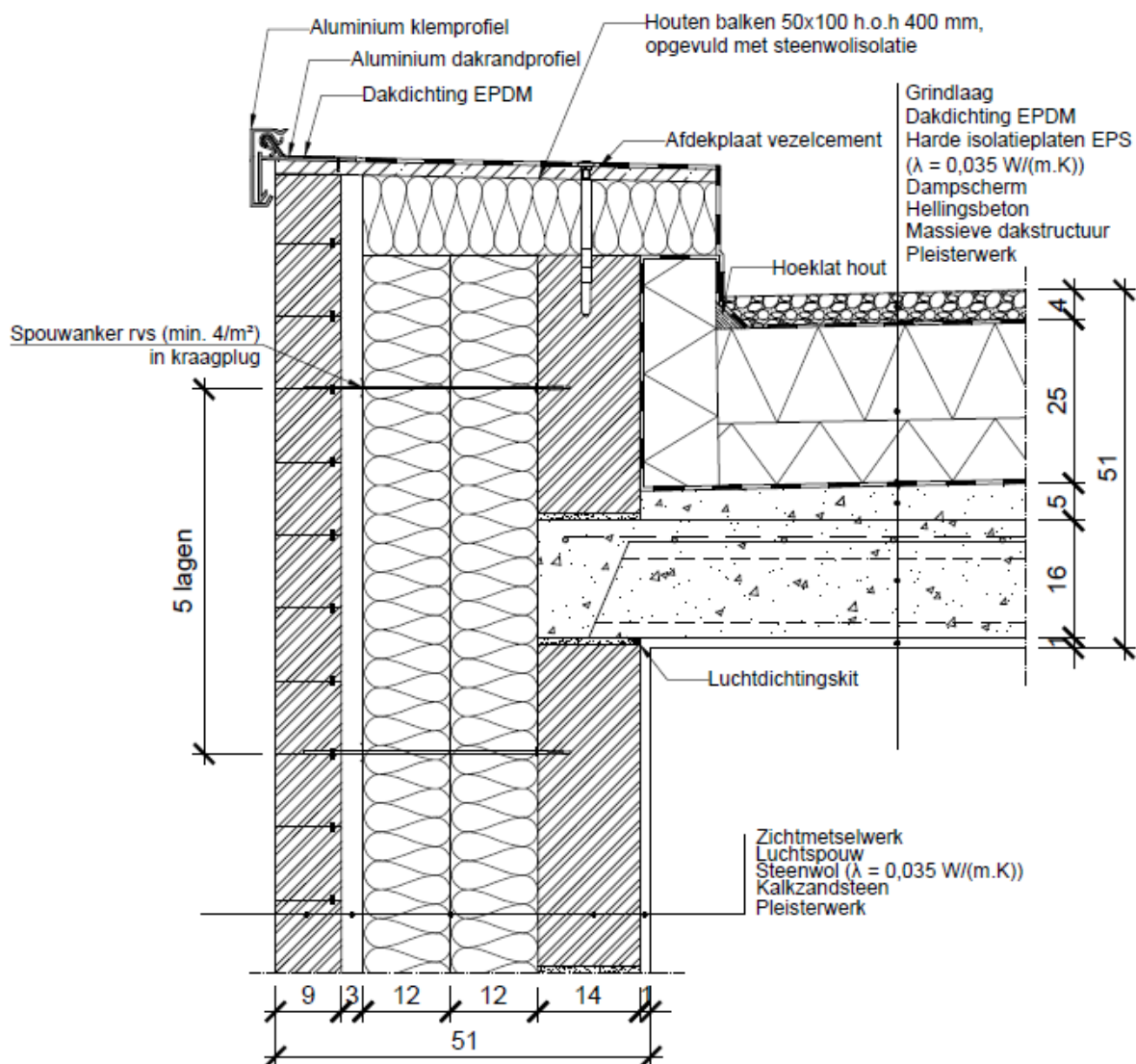
Als de 24 ontwerprichtlijnen van OVAM op deze bouwknop toegepast worden, valt op dat weinig rekening gehouden wordt met de principes. Omkeerbaarheid is niet toe te passen omwille van het gebruik van harde chemische verbindingen. Dit is ook te merken in de verkregen score van 150 op vlak van demonteerbaarheid (zie Tabel 30). Aangezien de gevelbekleding niet demonteerbaar is, vormt dat een probleem voor het wegnemen van de isolatie die een kortere levensduur bezit. Er werd met andere woorden geen rekening gehouden met een correcte gelaagdheid van het gevelpakket. Verder is het moeilijk om bepaalde onderdelen zoals de dakbedekking te hergebruiken door de verontreiniging met isolatieresten, lijm of andere materialen. In wat volgt worden alternatieve voorstellen gedaan om tot een meer circulair detail te komen.

Tabel 30: Demonteerbaarheid standaardpakket dakrand

	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
<b>Snelbouwstenen: gemetseld</b>			
<b>Cellenbeton: verlijmd</b>	90	20	$(90+20)/2 = 55$
<b>Harde isolatieplaten: mechanisch</b>	20	80	50
<b>Gevelsteen: gemetseld</b>	90	0	45
<b>TOTAAL</b>			$55+50+45 = 150$

### 13.2.2 Herwerkte dakrand met opstand in kalkzandsteen en isolatie

Bovenstaande paragraaf legt heel wat pijnpunten bloot in verband met het uitvoeren van een dakrand. Onderstaand detail maakt gebruik van pakket 2 (paragraaf 12.2) om de gevel op een meer circulaire manier op te bouwen.



Figuur 52: Herwerkte dakrand met opstand in cellenbeton – Schaal 1/10

### • UITVOERING SPOUWMUUR

De beschrijving van het circulair gevelpakket gebeurt in paragraaf 12.2. Daar wordt ook de analyse gemaakt op vlak van demonteerbaarheid. Ten opzichte van het standaarddetail wordt de opbouw van de spouwmuur aangepast door Clickbricks toe te passen in combinatie met zachte steenwolisolatie die mechanisch verankerd wordt. De Clickbrick scoort beter op vlak van demonteerbaarheid (“typeverbinding”) omdat het hierbij gaat om een verbinding met toegevoegde elementen die demonteerbaar is. De verbindingsclips tussen de Clickbrick-stenen onderling worden ook gebruikt om de spouwankers vast te zetten in de bakstenen. Standaard worden 46 clips per vierkante meter voorzien. De clips om de stenen onderling te verbinden worden ter plaatse van een stootvoeg voorzien, terwijl de clips voor de spouwankers midden in de baksteen vastgezet worden ter hoogte van een lintvoeg (Clickbrick, 2020). Ook hier worden minimaal 4 spouwankers per m<sup>2</sup> geplaatst. Door deze

verbindingstechniek wordt het gemakkelijker de achterliggende isolatie te bereiken. Er wordt gekozen voor zachte isolatie omdat deze volgens de reketabel op pagina 61 beter scoort op vlak van circulariteit dan harde isolatieplaten. In paragraaf 12.2 is te zien dat dit de score van demonteerbaarheid van het nieuwe gevelpakket op 95 brengt wat veel verschilt met de voorgaande score van 150. Hoe hoger, hoe slechter, is nog steeds de geldende regel.

- **UITVOERING DAKISOLATIE**

Als dakisolatie wordt voor EPS geopteerd omwille van de meest positieve score op vlak van circulariteit in Tabel 8 bij de harde isolatieplaten. Het voordeel van deze platen is dat ze op het einde van de levenscyclus hergebruikt of gerecycleerd kunnen worden. Er kan met andere woorden gebruik gemaakt worden van een gerecycleerde EPS-plaat. Indien dit niet het geval is, worden de platen verbrand met energieherwinning en niet gestort. EPS heeft een lambda-waarde van 0,035 W/mK wat betekent dat een voldoende dik isolatiepakket nodig is om de maximale U-waarde niet te overschrijden (zie Tabel 31). Deze isolatie hoeft niet noodzakelijk voorzien te zijn van een cacheerlaag omdat ze goed bestand is tegen vocht. De aanwezigheid van een cacheerlaag (wat bij resolschuimplaten met een betere  $\lambda$  van 0,020 W/mK noodzakelijk is) zorgt voor een extra materiaalstroom die gescheiden moet worden en het recyclageproces bemoeilijkt. Evenwel wordt soms een cacheerlaag toegepast omdat deze voor een brandvertragende werking van het isolatiemateriaal zorgt. Een bijkomend voordeel is dat deze platen zich lenen tot het gebruik van geballaste of mechanisch bevestigde dakbedekkingen.

Tabel 31: U-waarde herwerkt dak

	Dikte (m)	Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$ (W/mK)	R-waarde (m <sup>2</sup> K/W)
EPDM-dakbedekking	0,002	0,170	0,012
EPS-isolatie	0,250	0,035	7,143
Dampscherm PE-folie	0,002	0,170	0,012
Beton	0,210	1,700	0,124
Pleisterwerk	0,010	0,930	0,021
<b>TOTALE U-WAARDE (W/m<sup>2</sup>K)</b>	met $\alpha_{int} = 7,7$ en $\alpha_{ext} = 25$ (W/m <sup>2</sup> K)		<b>0,134</b>

- **UITVOERING DAKBEDEKKING**

Zoals reeds eerder beschreven worden zowel het dampscherm als de dakafdichting traditioneel verkleefd of gelast ter plaatse van het verticaal deel van de dakopstand wat hergebruik onmogelijk maakt. Meer circulair is het systeem waarbij de dakafdichting losligt en met behulp van ballast onder de vorm van grind gefixeerd wordt. Het grind zorgt bijkomend voor een bescherming van de dakbedekking die zo minder blootgesteld wordt aan wind- en temperatuurschommelingen. Dit brengt een verlenging van de



levensduur met zich mee. Echter, ter plaatse van de verticale opstand is deze methode van ballasten niet bruikbaar.

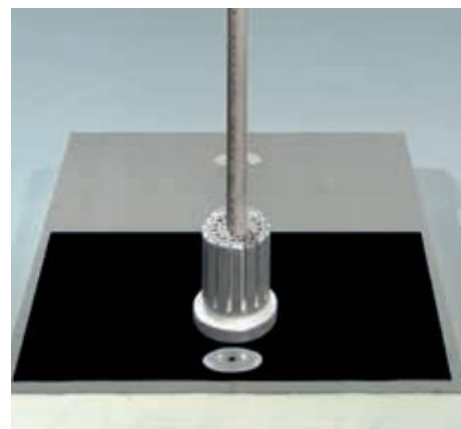
Naast deze methode van ballasten kan ook gebruik gemaakt worden van de inductiemethode. De keuze voor een EPDM-dakdichting primeert omwille van de levensduur van 50 jaar die groter is dan deze van roofing die slechts 25 à 30 jaar meegaat. Het voordeel is ook dat EPDM een zo goed als naadloos oppervlak beslaat. Het komt voor in grotere oppervlakken, terwijl roofing in banen of stroken geplaatst wordt. De naden zijn vaak de meest kwetsbare plaatsen voor waterlekken.

Bij de elektromagnetische inductielas wordt het EPDM-membraan en de isolatie aan de hand van een bevestigingssysteem met metalen drukverdeelplaatjes vastgezet aan de dakconstructie. Een elektromagnetisch lasapparaat (Figuur 53) wordt geactiveerd boven een speciaal drukverdeelplaatje dat vastgeschroefd is in de isolatie. Tussen dit plaatje en het lasapparaat bevindt zich de EPDM-dakafdichting. Zo wordt de onderkant van de dakbedekking thermisch gelast (=gesmolten) aan het plaatje. Het verwarmen duurt amper vijf seconden waarna een magnetisch koellichaam (Figuur 54) op het gelaste plaatje wordt gedrukt om een sterke verbinding te realiseren. Het is belangrijk dat gebruik gemaakt wordt van een isolatiemateriaal dat tijdens inductielassen niet smelt. Indien dit wel het geval is (bijvoorbeeld bij XPS en EPS), kan een scheidingslaag in de vorm van een beschermplaatje gehanteerd worden voor het isoleren van de warmte.

De bevestigingspunten worden gelijkmatig over het dakoppervlak gespreid, waardoor de windkracht gelijkmatig geabsorbeerd wordt. Deze techniek maakt mogelijk dat de dakbedekking niet geperforeerd wordt, wat zorgt dat water geen kans maakt binnen te dringen. (Rhinobond, 2016)



*Figuur 53: Inductie lasapparaat (Rhinobond,2016)*



*Figuur 54: Koellichaam (Rhinobond,2016)*

Dit systeem maakt mogelijk om de dakbedekking te demonteren zonder schade aan te richten. Dakbanen zijn immers goed te recyclen tot een gelijkwaardig product. Door het plaatsen van het inductieapparaat op een uitgevoerde verbinding, is de aansluiting opnieuw omkeerbaar. De drukverdeelplaatjes kunnen

niet hergebruikt worden na het losmaken aangezien hier restanten van de dakafdichting aan vastkleven. (RoyalEPDM, z.d.)

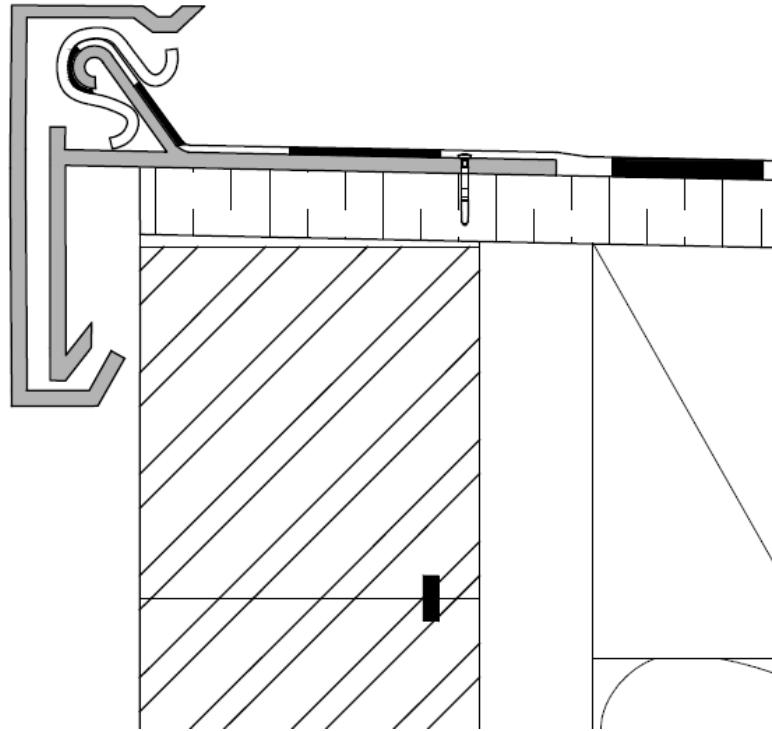
Deze technieken zijn toepasbaar in het dakvlak, maar worden niet courant toegepast voor de dakopstanden. In ieder geval wordt de dakdichting doorgetrokken tot de dakopstand en moet daar dus een andere techniek worden gehanteerd.

- **VERBINDING SPOUWMUUR – DAK: DAKRAND**

De dakopstand wordt net zoals de dragende muur uitgevoerd in kalkzandsteen. Het gebruik van een kalkmortel is mogelijk waardoor een meer circulaire opbouw bekomen wordt. Dit heeft ook tot gevolg dat geen nieuw materiaal gehanteerd wordt en een bijkomende afvalstroom vermeden wordt. Deze volledige opbouw wordt ingepakt door mechanisch bevestigde isolatie. De isolatie die horizontaal geplaatst wordt op de dakrand bevindt zich tussen houten balken met een hart-op-hartafstand van 400 mm. De afmetingen van de balken worden zo gekozen dat de R-waarde van deze heterogene constructie minimaal 2 m<sup>2</sup>K/W bedraagt.

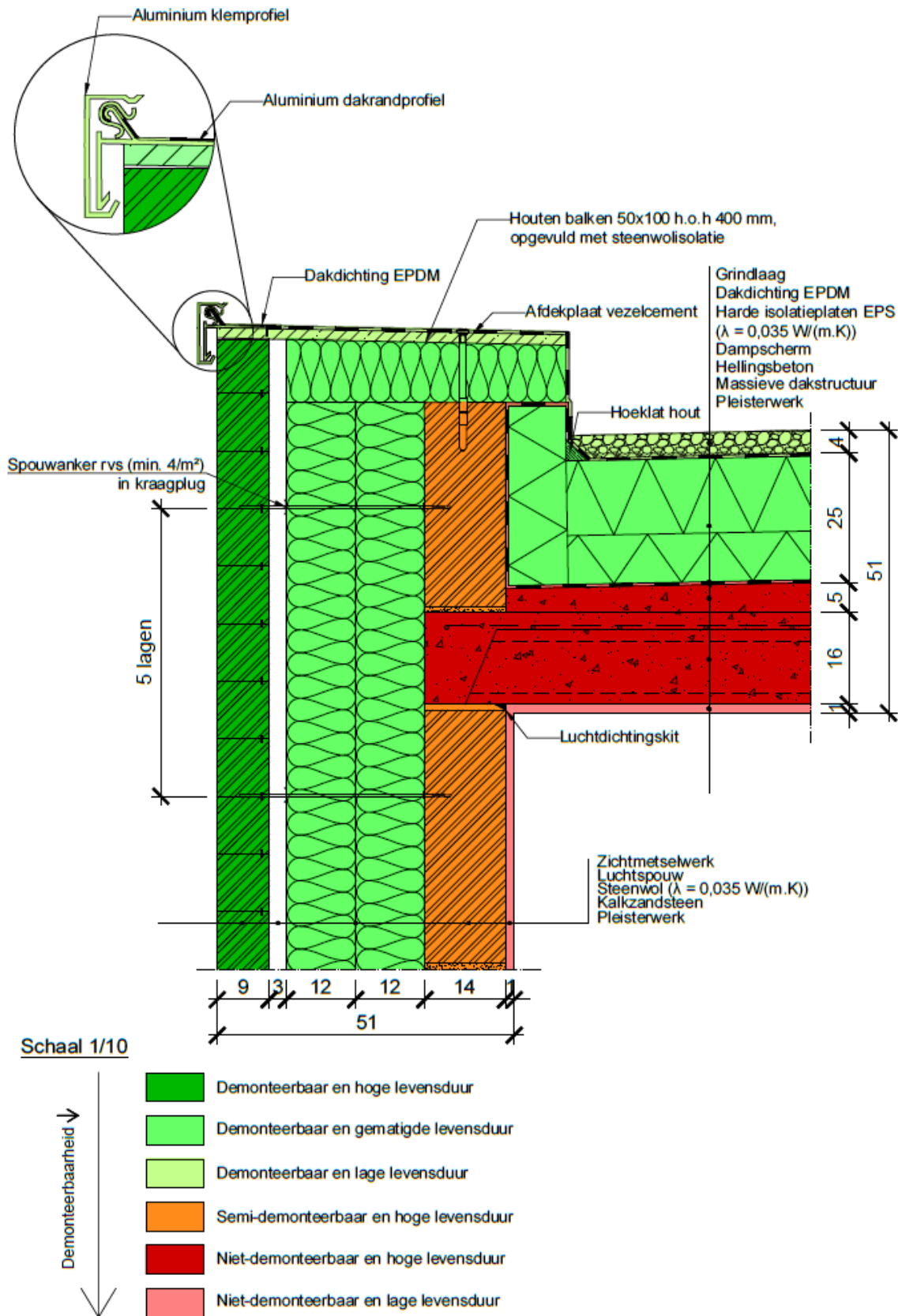
In het herwerkte detail in Figuur 52 wordt de afdekplaat onder een lichte helling geplaatst naar het dakvlak toe om stilstaand water te vermijden. Er wordt gekozen voor een waterbestendige afdekplaat in vezelcement omdat deze een langere levensduur bezit dan multiplex. Door de geschroefde verbinding kan deze nadien gedemonteerd worden.

Boven op het afdekprofiel wordt de dakafdichting gefixeerd. Deze folie wordt geklemd in het aluminium dakrandprofiel en is zo demonteerbaar. Het dakrandprofiel bestaat uit drie elementen: het draagprofiel, een kunststof clip om de dakbedekking te klemmen en een klikplaat die erover geklemd wordt. Deze laatste plaat is de uiteindelijke zichtbare sierplaat. (zie Figuur 55) Indien dit kliksysteem niet in staat is voldoende kracht op te nemen om de folie correct in te klemmen kan op de dakrand gebruik gemaakt worden van enkele plaatselijke lasverbindingen van de dakafdichting op de afdekplaat door middel van de inductiemethode.



*Figuur 55: Dakrandprofiel met geklemde folie- Schaal 1/2*

In Figuur 56 wordt de circulariteitsanalyse op basis van kleuren voor de herwerkte dakrand weergegeven.



Figuur 56: Circulariteitsanalyse dakrand – Schaal 1/10

### **13.3 Algemene bevindingen op bouwknopenniveau**

Na het tekenen van bovenstaande bouwknopen werden enkele zaken opgemerkt. Deze worden hieronder beschreven.

#### **13.3.1 Folies en kitten**

Een eerste moeilijkheid bij het ontwerpen van circulaire bouwdetails is de bereikbaarheid van de folies en kitten. Het is noodzakelijk om duurzame materialen te gebruiken die demonteerbaarheid toelaten om de folies toegankelijk te maken. Folies en kitten hebben namelijk meestal een kortere levensduur dan de materialen eromheen. De levensduur bevindt zich vaak tussen de 15 en 40 jaar. Als het lukt de folies met zo weinig mogelijk schade te bereiken, is al een eerste stap gezet in het proces.

Een tweede te zetten stap is de demonteerbaarheid of het hergebruik van folies en kitten zelf. Op deze moeilijkheid werd meerdere keren gestoot tijdens het ontwerpen van bouwdetails omdat de lucht- en waterdichtheid gegarandeerd moet blijven. Het gevolg van deze onomkeerbare, natte verbinding (verlijming) is de beschadiging van de onderliggende laag, wat het op zijn beurt moeilijk maakt dat materiaal te hergebruiken. Er bestaan wel al een aantal meer duurzame materialen die een betere milieu-impact hebben, maar nog steeds niet-demonteerbaar vastgemaakt worden. Zo worden klevende PE-schuimbanden bijvoorbeeld ingezet om kieren en spleten te dichten rondom ramen als vervanging voor gespoten PU-schuim.

Opstijgend vocht moet te allen tijde vermeden worden waardoor het onmogelijk is om deze folies bijvoorbeeld zomaar achterwege te laten of bevestigingsmethodes te voorzien die onvoldoende waterdicht zijn.

#### **13.3.2 Mechanische bevestigingen**

Het reduceren of vermijden van klevende folies of materialen met een natte verbinding leidt vaak tot het gebruik van mechanische bevestigingen. Mechanische bevestigingen zijn vaak demonteerbaar, omkeerbaar en circulair. Echter, een aandachtspunt zijn de koudebruggen via aangepaste bevestigingsmiddelen. Het effect van de koudebruggen mag niet onderschat worden en is nog veel belangrijker bij dikker wordende isolatiepakketten.

#### **13.3.3 Binnenpleisterwerk**

Het pleisterwerk wordt aan de binnenzijde van het binnenspouwblad aangebracht en draagt bij tot de luchtdichtheid van de constructie. Pleisterwerk is niet demonteerbaar op een schadeloze manier en wordt niet als circulair aanschouwd. De overgangszones tussen verschillende materialen vergen extra aandacht. Vaak wordt een soepele voeg aangebracht als luchtdichtingskit. Het pleisterwerk bezit ook

een kleinere levensduur, maar hier vormt dat op zich geen probleem op vlak van gelaagdheid. Het binnenpleisterwerk blijft steeds toegankelijk en wordt niet ingesloten door lagen met een langere levensduur.

#### **13.3.4 Circulaire gevelbekleding en het nut van een luchtsouw**

Vandaag bestaan al heel wat circulaire gevelbekledingen die opgebouwd zijn uit duurzame grondstoffen en een demonteerbare bevestigingstechniek bezitten. Echter wordt bij de bouwknopen wel nog vaak gebruik gemaakt van mortel- of lijmverbindingen om stevigheid van de constructie te garanderen. Als voorbeeld wordt de kimlaag bij Clickbricks aangehaald. Deze wordt uitgevoerd om de gevel waterpas te plaatsen en niet los van de grond te zien. Ook is het belang van een ventilatiesouw niet te onderschatten. Veel materialen zijn slecht bestand tegen vocht en een spouw zorgt ervoor dat alles kan uitdrogen wat de levensduur van de materialen ten goede komt. Deze laatste zorgt natuurlijk wel voor een dikker bouw pakket.

## 14 Innovatieve denkpijstes – aanzet tot verder onderzoek

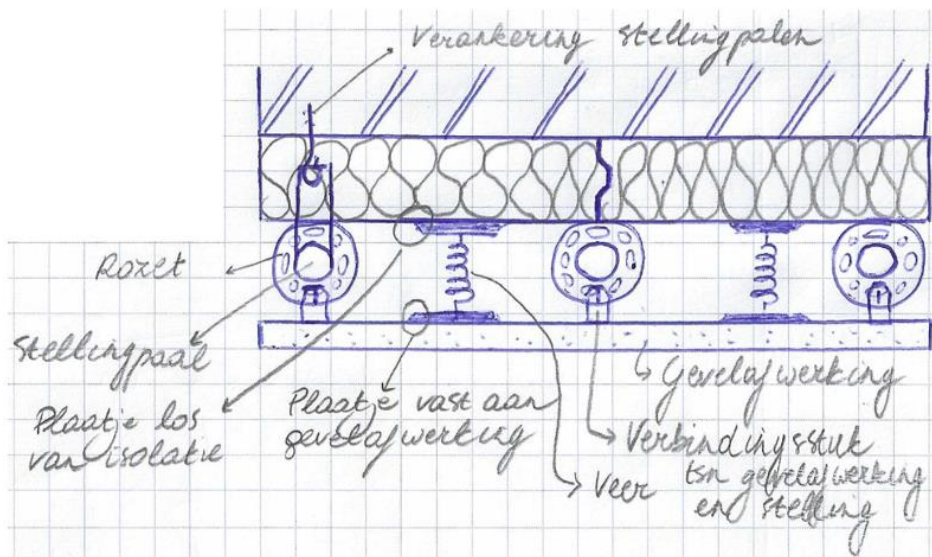
Dit hoofdstuk rijkt enkele denkpijstes aan die verder dienen te worden uitgewerkt. Er wordt creatief nagedacht over enkele pijnpunten in de bouwsector op vlak van circulariteit. Dit hoofdstuk kan dienen als aanzet voor verder onderzoek.

### 14.1 Bevestiging van isolatiemateriaal

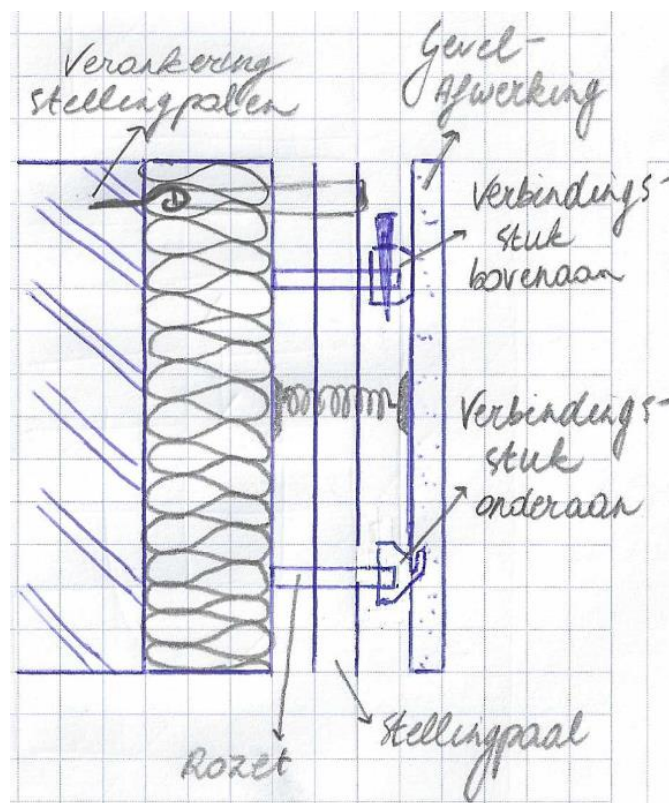
Vertrekkende van de toenemende uitdagingen op vlak van bevestigingstechnieken voor dikke isolatiepakketten werd nagedacht over een vernieuwend idee. Tegenwoordig wordt vaak uitgegaan van een systeem waarbij elke laag op de onderliggende wordt bevestigd. Het houten regelwerk van een voorhanggevel wordt bijvoorbeeld op de onderliggende isolatie bevestigd door middel van schroeven in de dragende structuur. De vraag rijst of dit in de toekomst wel de meest efficiënte manier van bevestiging blijft. De steeds moeilijker wordende uitdagingen in verband met het bevestigen van de groter wordende isolatiepakketten vergen misschien een andere kijk op de zaak. Wat als de rollen worden omgedraaid? Wat als de gevelafwerking de ondersteunende component wordt voor de isolatie?

Het groter en zelfdragend dimensioneren van het regelwerk ter bevestiging van de gevelafwerking kan ervoor zorgen dat vanuit de gevel, bijvoorbeeld door middel van veren, voldoende kracht wordt gezet op de isolatie zodat mechanische (pluggen, schroeven...) of verlijmde bevestiging niet meer nodig is. De fixatie van de isolatiepanelen gebeurt met andere woorden enkel door het vergroten van de wrijving tussen de achterliggende constructie en de panelen zelf, dit door een horizontaal uitgevoerde kracht afkomstig van de veren. De buitenste isolatiepanelen bevatten een aluminiumcachering en worden in de naden dicht getapet. Onderstaande primitieve schetsen verduidelijken de beschreven denkpijste. Hierbij wordt een kanttekening gemaakt dat geen relaxatie van de veer mag optreden wat de werking van het systeem negatief zou beïnvloeden.

Bij concrete uitwerking van het regelwerk kan gedacht worden aan steigermateriaal. Steigers zijn danig ontworpen om snel en efficiënt te worden opgebouwd. Traditionele steigers bestaan uit 2 naast elkaar opgestelde frames met daartussen plaatmateriaal waarop gebruikers kunnen lopen. Bij een voldoende bevestiging van het frame in de achterliggende dragende structuur komt de stabiliteit niet in het gedrang. Stabiliteitsberekeningen moeten uitwijzen of het frame effectief in dezelfde mate gedimensioneerd dient te zijn als een werkelijke steiger. Tenslotte is het enkel de gevelbekleding die hierop wordt aangebracht en kan eventueel een verminderde omvang van het steigerwerk ook voldoende zijn. De steigerbuizen, hier dienstdoende als framework, worden op traditionele wijze verankerd in de dragende structuur en hebben op dat punt nood aan plaatselijke aanvulling van het isolatiepakket. Een zacht isolatiemateriaal kan in de holte gepropt worden. Het gebruik van verhardende schuimen wordt vermeden wegens het niet-omkeerbaar karakter ervan.



Figuur 57: Horizontale snede veersysteem



Figuur 58: Verticale snede veersysteem

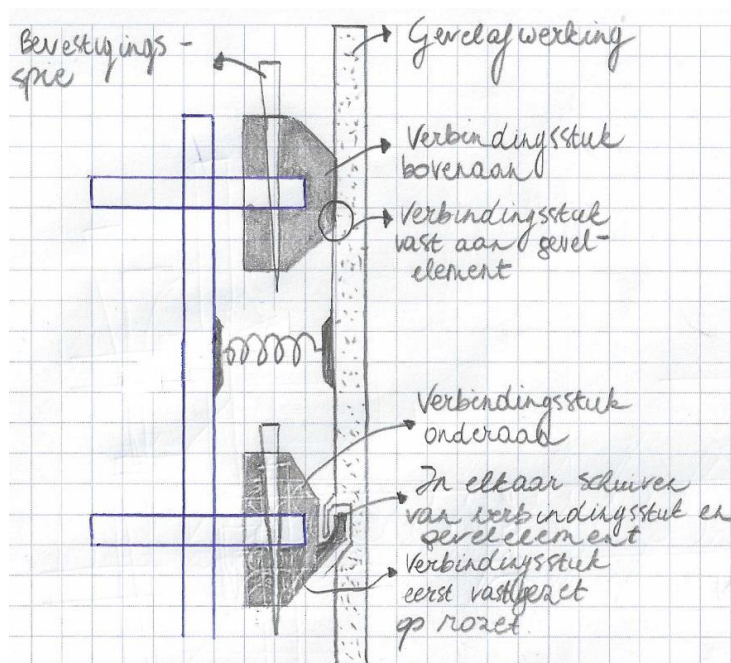
De verbindingsstukken zijn te vergelijken met de bevestigingskoppen op steigerbuizen, te zien op onderstaande Figuur 59.





Figuur 59: Illustratie verbindingstukken (Layher, 2019)

Zoals op bovenstaande figuren te zien is, wordt vanuit de gevelafwerking druk gezet op de isolatie door middel van een veersysteem. Dit systeem heeft een dubbele werking. Enerzijds zorgt het ervoor dat de isolatie nauw aansluit tegen de achterliggende dragende structuur. Anderzijds klemt het ook het gevelpaneel in het onderste verbindingstuk. Volgende alinea verduidelijkt dit laatste.



Figuur 60: Verduidelijking verbindingstukken

Vanuit praktisch perspectief dienen de verbindingstukken bovenaan te verschillen van deze onderaan. Het is namelijk zo dat de verbindingsspie onderaan niet kan worden vastgemaakt indien het gaat om een gevelpaneel met een hoogte van bijvoorbeeld twee meter. Bijgevolg wordt vóór het aanbrengen van de

gevelpanelen telkens eerst het onderste verbindingsstuk, dat door middel van een haak ruimte biedt om het gevelpaneel te ondersteunen, op de rozet bevestigd. Het verbindingsstuk is onderaan met andere woorden niet vastgekoppeld aan het gevelpaneel. Na het in de haak schuiven onderaan wordt het gevelpaneel met het daaraan vastgekoppelde bovenste verbindingsstuk over de rozet geschoven. Bovenaan kunnen de spieën eenvoudig worden aangespannen met behulp van een hamer. De veren zorgen ervoor dat het paneel ook onderaan in de haak wordt vastgeklemd waardoor het paneel niet gaat trillen ten gevolge van windstoten.

#### **14.1.1 Vermijden van perforatie**

Deze uitwerking kan een oplossing bieden voor isolatiepakketten die niet geperforeerd mogen worden. Dit geldt voor vacuüm-isolatiepanelen. Deze panelen werden oorspronkelijk gebruikt voor het isoleren van koelkasten en diepvrieskasten. In 2013 introduceerde Kingspan Insulation hun Optim-R-systeem voor sterk geïsoleerde toepassingen in de bouw met minimale diktes (Kingspan, 2020). Vaak gebeurt de bevestiging van dergelijke panelen door middel van verlijming in combinatie met opvulpanelen die wel mechanisch bevestigd kunnen worden. Met bovenvermeld systeem kan het aantal panelen voor mechanische bevestiging verminderd worden. Pluspunt aan deze innovatieve manier van werken is het vermijden van de vele penetraties van het isolatieoppervlak. De hierboven beschreven werkwijze waarbij de stellingpalen, dienstdoend als framework, traditioneel gefixeerd worden bezit mogelijks minder koudebruggen dan de vele die aanwezig zijn bij het verankeren van een standaard aluminium regelwerk zoals in voorgaande hoofdstukken dikwijls aan bod kwam. Echter, omwille van de standaard vorm van deze vacuüm-isolatiepanelen dient wel nog gebruik gemaakt worden van plaatselijke opvullingen. Ook waar het regelsysteem bevestigd wordt op de dragende structuur, en het isolatiepakket dus geperforeerd wordt, moet plaatselijk een opvulling voorzien worden. (Kingspan, 2016)

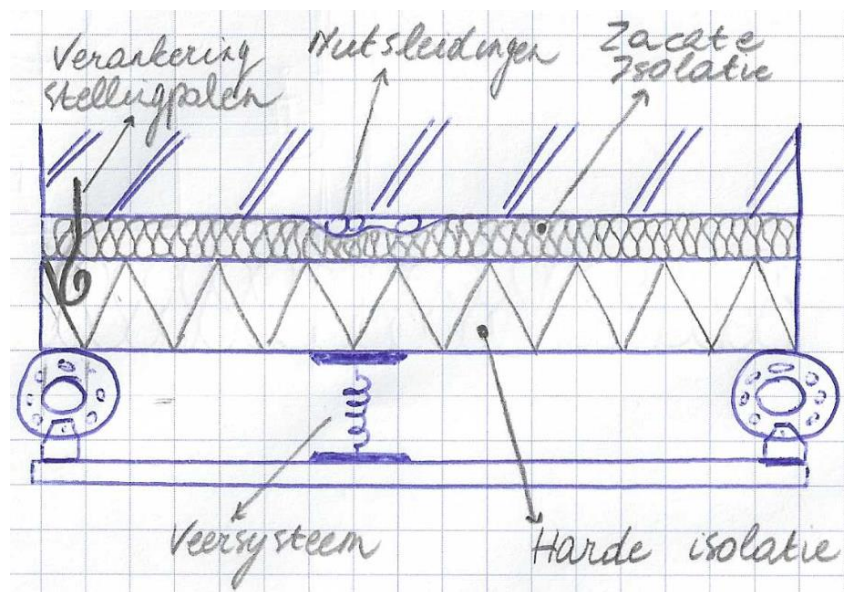
#### **14.1.2 Reduceren van het aantal manuren**

Deze innovatieve manier van bevestiging biedt ook mogelijkheden tot het reduceren van de kost voor manuren. Zoals reeds eerder beschreven in deze masterproef is tijdens een gevelrenovatie vooral het aantal gewerkte uren een grote bron van financiële lasten. Een eenvoudige en snelle bouwwijze via een makkelijk in elkaar schuivend buitenframe ter bevestiging van de gevelafwerking én het isolatiepakket kan een eerste stap zijn in het reduceren van deze personeelskosten. Een tweede aspect is de mogelijkheid tot produceren van dikkere isolatiepakketten. Vandaag wordt dikwijls geopteerd om tweelaagse isolatie aan te brengen omdat de beschikbare bevestigingstechnieken niet toelaten dikke isolatiepanelen op een voldoende wijze te bevestigen. Druk vanuit het gevelframe kan dit pijnpunt verhelpen. Indien van buitenaf voldoende druk gecreëerd kan worden is het mogelijk om zonder extra

bevestigingstechnieken een dik isolatiepakket op zijn plaats te houden. Dit verkleint de nodige installatietijd en drukt de uitvoeringskosten.

### 14.1.3 Integratie van nutsleidingen

Deze bovenvermelde manier van bevestigen kan ook voordelen bieden op vlak van integratie van nutsleidingen, weliswaar met geringe grootte. Wanneer in plaats van uitsluitend voor harde isolatiepanelen geopteerd wordt voor de combinatie van een hard paneel aan de buitenkant met een zacht paneel aan de binnenkant kan via de externe druk een insluiting plaatsvinden van nutsleidingen die zich via het gevelvlak een weg banen doorheen het gebouw. De stijfheid van het harde isolatiepaneel zorgt voor een goede drukverdeling en bijgevolg ook voor een nauwe aansluiting van de zachte isolatie met de dragende constructie op plaatsen waar geen nutsleidingen lopen. Daar waar zich leidingen bevinden wordt de zachte isolatie plaatselijk ingedrukt.



Figuur 61: Integratie nutsleidingen

### 14.1.4 Grotere materiaalimpact?

Studies moeten uitwijzen of deze bouwmethode een vergroting van de materiaalimpact met zich meebrengt. Dit gaat gepaard met de nodige stabiliteitsberekeningen. Aan de ene kant bestaat de kans dat het regelwerk een meer robuuste uitwerking krijgt om zich te kunnen wapenen tegen de extra horizontale krachten die erop worden uitgeoefend afkomstig van de veren. Aan de andere kant helpen deze veren ook in het afdragen van de windbelasting. Dit hangt nauw samen met de dimensionering van de gevelafwerking. Meer veren betekent dat de gevelpanelen op meer plaatsen ondersteund worden en dat ze met andere woorden een kleinere stijfheid moeten bezitten. Dit kan dan weer resulteren in een vermindering van de materiaalimpact.

Bij wijze van voorbeeld van de specifieke profilering voor het onderliggend regelwerk ter reductie van de nodige materiaalsectie kan verwezen worden naar MiniTec. Deze fabrikant ontwikkelde een volledig modulair systeem waarmee zonder veel vakkennis structuren op poten gezet kunnen worden. De eenvoudige onderlinge aansluiting is een pluspunt en zorgt voor een snelle implementatie. (MiniTec, z.d.)

#### **14.1.5 Fassada Systems**

Soortgelijke denkwijze als hierboven vond plaats bij Fassada Systems tijdens de ontwikkeling van hun systemen voor aluminium en stalen gordijngevels. Er werd nagedacht over een werkwijze waarbij de gevel zonder gebruik van veel bevestigingsmiddelen van binnen in het gebouw opgezet kan worden. Op deze manier worden heel wat kosten bespaard in verband met grote hulptoepassingen als kranen bijvoorbeeld. In vergelijking met bovenstaand systeem met steigerbuizen werd de materiaalimpact beperkt door het gebruik van geprofileerde aluminium of stalen kaders die eenvoudig in elkaar klikken. Ook de glaspartijen kunnen van binnenuit worden geïntegreerd.

Verskil met bovenstaand uitgewerkt systeem is het concept van gordijngevels. Dit betekent dat de gevel quasi volledig bestaat uit glaspartijen. De eenvoudig te installeren kaders blijven dus zichtbaar en zitten niet verborgen achter de gevelbekleding. (Fassada Systems, 2018)

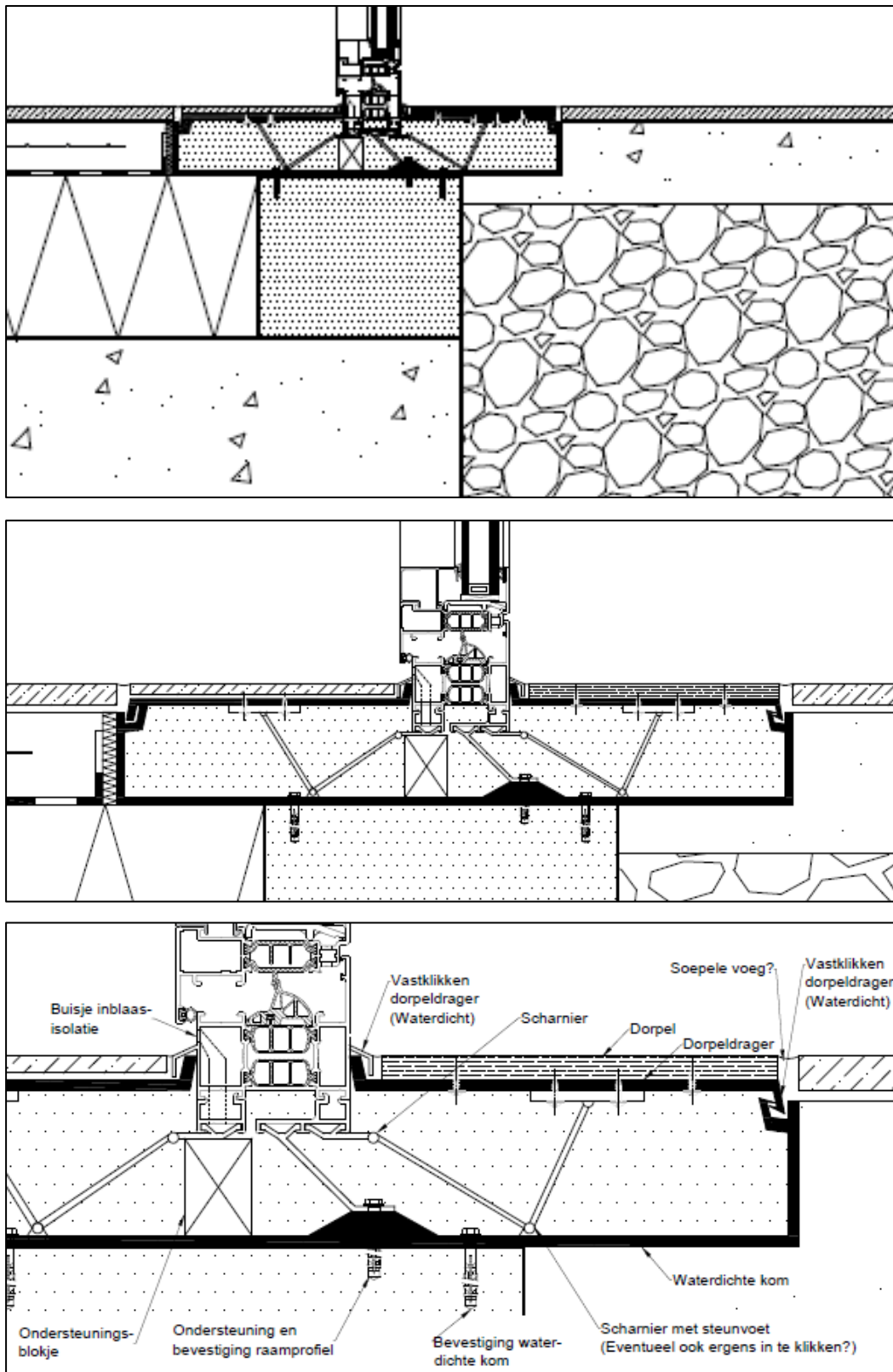
#### **14.2 Circulair buitenschrijnwerk**

Een voorbeeld van circulariteit op elementniveau, tevens een groot probleem bij tal van gevelrenovaties, is het gebrek aan circulair buitenschrijnwerk op de markt. Tijdens een totale gevelrenovatie moeten zowel gevelbekleding als balkons plaats ruimen voor nieuwe componenten en krijgen de inwoners van het gebouw de kans om, weliswaar privaat, hun buitenschrijnwerk te vervangen. Enkel gaan in op dit aanbod en eindigen de werken met vernieuwd schrijnwerk dat volgens de regels van de kunst werd ingewerkt in de nieuw aan te gieten balkons. Echter, sommigen beslissen pas na de werken over te gaan tot het vervangen van het schrijnwerk door eventuele schadegevallen eigen aan de afbraakwerken. Uitbreken van dergelijk schrijnwerk gaat steeds gepaard met het berokkenen van schade aan zowel de binnenvloer als het balkon. Met andere woorden wordt deze bouwknoop niet als circulair aanschouwd. Vooral de te bekomen wind- en waterdichtheid vormen hier een significante beperking. Onderstaande schetsen pogen een oplossing aan te reiken. Het ontwikkelen van dit systeem gebeurde in meerdere fases. Deze komen hieronder aan bod om op deze manier de evolutie duidelijk te maken.

### **14.2.1 Fase 1: Scheiden van dragende structuur en schrijnwerk**

Het idee bestaat erin het schrijnwerk te bevestigen op de dragende structuur door middel van een tussenstuk uit metaal of kunststof. De voorkeur gaat uit naar een uitwerking in metaal, aangezien dit de mogelijkheid schept gebruik te maken van waterdichte lasnaden. Het tussenstuk in de vorm van een waterdichte kom wordt langs elke kant van het schrijnwerk op de dragende structuur bevestigd. Dit kan via schroeven indien de ondergrond effen is. Indien dit niet het geval is, kan de kom in een mortellaag gezet worden. Op deze manier kan de kom waterpas geplaatst worden, maar wordt wel voorzien in een niet-omkeerbare verbinding. Indien nodig kan een rubber onderaan de kom bevestigd worden. Dit kan zorgen voor een extra waterdichting. Door de schroeven wordt deze namelijk stevig op de ondergrond gedrukt.

Vervolgens wordt het schrijnwerk op deze kom geplaatst en vastgeschroefd op houten ondersteuningsblokjes of door middel van bevestigingsbeugels uit metaal. Vervangen van het schrijnwerk staat dus los van het vervangen van de waterdichte kom. Ervan uitgaand dat deze kom een lange levensduur heeft, kan deze steeds blijven zitten bij vervanging van het schrijnwerk.



Figuur 62: Circulair buitenschrijnwerk 1<sup>e</sup> fase

In een eerste fase werd nagedacht over de aansluiting van dit circulair systeem ter plaatse van het gelijkvloers of een balkon. Dit impliceert dat zowel de dorpel aan de binnenkant als die aan de buitenkant bewandeld kunnen worden. De nodige ondersteuning is steeds aangeraden.

Na het plaatsen van het schrijnwerk worden de dorpel dragers door middel van kliksystemen onder in het raamprofiel geklikt. Dit geheel met 3 scharnieren draagt later de dorpel en zorgt voor de nodige lucht- en waterdichtheid ter plaatse van de aansluiting met de kom en het raamprofiel. Het eerste scharnier bevindt zich dicht tegen het raamprofiel. Dit zorgt ervoor dat wanneer de andere scharnieren 180° gestrekt zijn, de dorpel drager verticaal langs het raam geplaatst kan worden voor een eenvoudige (de)montage. Het tweede scharnier bezit een voetstuk waarmee het stabiel op de onderkant van de kom kan steunen. Dit zorgt voor ondersteuning van de drager wanneer een last wordt uitgevoerd op de dorpel. Het laatste scharnier bevindt zich net onder het stuk waarop de dorpel gemonteerd kan worden. Hierdoor kan deze gekanteld worden. Met behulp van alle andere scharnieren is het zo mogelijk het raam op eenvoudige wijze te demonteren zonder schade te moeten aanbrengen aan omringende elementen.

De dorpel met dorpel drager staat los van de rest van de omliggende structuur. De drager klikt vast in de kom en onder het raamprofiel. Hier wordt ook de nodige waterdichting voorzien. De holte onder de dorpel kan geïnjecteerd worden met inblaasisolatie. Op die manier kan, mits gebruik van drukvaste producten (Tabel 32), extra drukweerstand gecreëerd worden ten opzichte van grote lasten op de dorpel. Ter plaatse van het injecteren moet een eventueel niet-circulaire dichting toegepast worden. Het injecteren kan ook geschieden via het raamprofiel. Dit via een intern buisje dat uitmondt in de bevestigingskom.

Wanneer gekozen wordt voor een houten dorpel kan deze onzichtbaar op de dorpel drager geschroefd worden. Deze verbinding is omkeerbaar waardoor de dorpel indien nodig eenvoudig kan vervangen worden.



Tabel 32: Drukvaste isolatiekorrels (Ecomat, 2018)

	DRUKVAST			
product	FERMACELL	PAPLANUM	BIOFIBCHAP	FERMACELL
grondstof	kalksteen	lemige klei	hennep+olie	honingraat
				
korrel	0-4mm	0-4mm	6mm	1-4mm
gewicht	3,7kg/m <sup>2</sup> /cm	7.2kg/m <sup>2</sup> /cm	7kg/m <sup>2</sup> /cm	15kg/m <sup>2</sup> /cm
λ waarde	0.09W/mK	0.124W/mK	0.06W/mK	0.14W/mK
verbruik	10liter/m <sup>2</sup> /cm	10liter/m <sup>2</sup> /cm	7kg/m <sup>2</sup> /cm	10liter/m <sup>2</sup> /cm
min dikte	10mm	20mm	20mm	30mm
max dikte	100mm	80mm	200mm	60mm
brand	A1	A1	B2	A1
prijs	2.79€/m <sup>2</sup> /cm	3.40€/m <sup>2</sup> /cm	3.64€/m <sup>2</sup> /cm	2.34€/m <sup>2</sup> /cm
info	egaliserend licht isolerend licht onbrandbaar	egaliserend drainerend thermische akoestische massa onbrandbaar	egaliserend isolierend (niet in badkamers)	verzwarende korrel in kartonnen honingraat- elementen

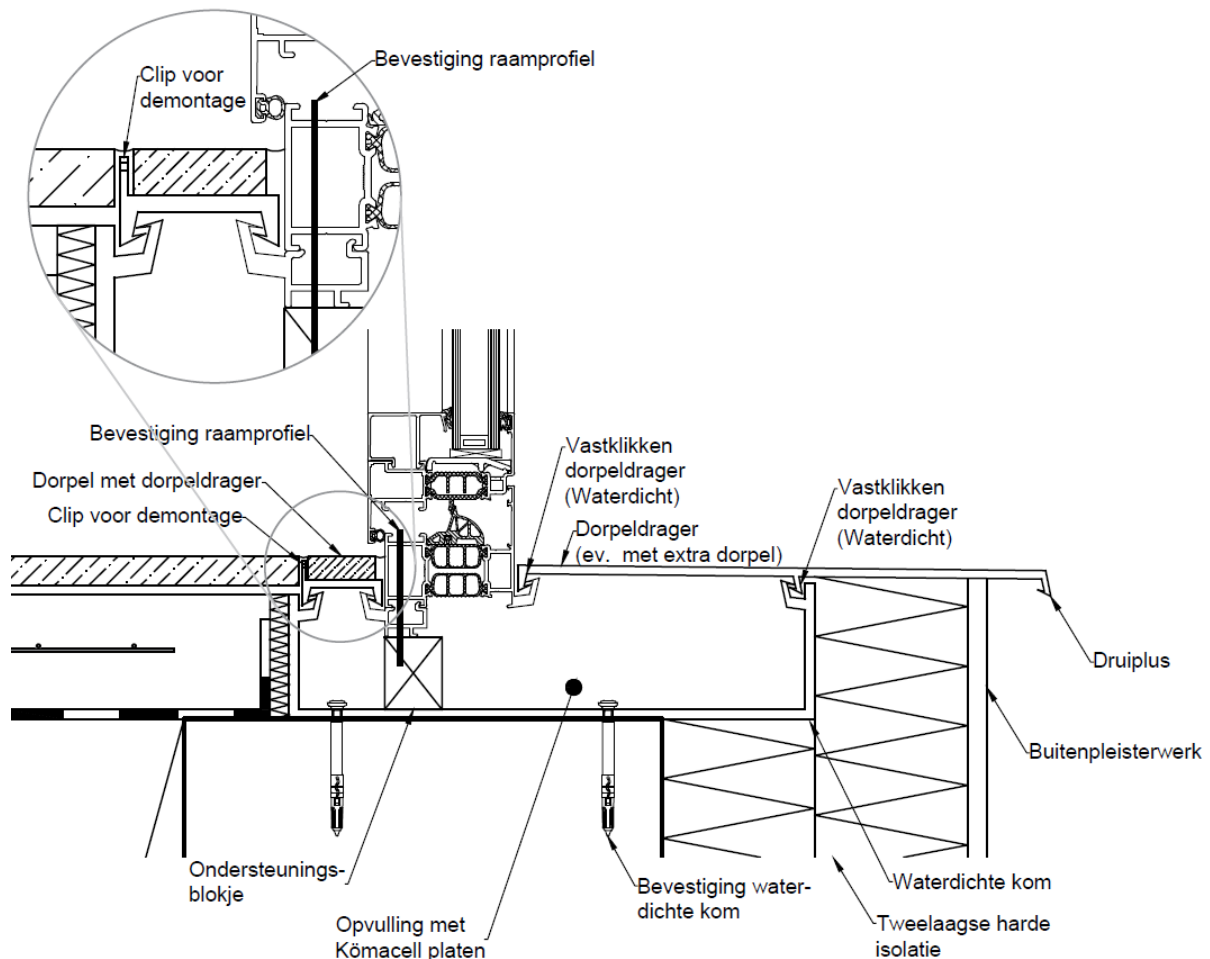
#### 14.2.2 Fase 2: Toepassing op verdieping zonder balkon

Een tweede denkfase gaat verder in op de toepassing van bovenvermeld systeem op een verdieping zonder balkon. Dit betekent dat de dorpel aan de buitenzijde niet betreden kan worden, waardoor enkele bovenstaande maatregelen ter ondersteuning van de dorpel wegvallen. De dorpel aan de binnenzijde wordt beperkt in afmetingen om zodoende de kans tot betreding te verminderen. Deze dorpel bestaat uit een dorpeldrager die op het raamprofiel en de waterdichte kom geklikt wordt en op deze plaatsen ook de nodige lucht- en waterdichtheid voorziet. De drager wordt plaatselijk voorzien van een clip waarmee de dorpel opnieuw gedemonteerd kan worden. Ook de dorpel aan de buitenzijde wordt vastgeklikt op het raamprofiel. Verder vindt deze steun op de waterdichte kom die tot halfweg in de isolatie wordt ingewerkt. Dit om koudebruggen zoveel mogelijk te vermijden. De kom wordt opgevuld met drukkaste en goed isolerende Kömacell platen die de dorpel voorzien van de nodige ondersteuning voor het opnemen van occasionele belasting. De dorpeldragers zoals beschreven in fase 1 worden dus achterwege gelaten. Vanzelfsprekend wordt een druipneus voorzien.

Een tweede mogelijkheid met betrekking tot de waterdichting is het voorzien van een drainage via de waterdichte kom. Wanneer geopteerd wordt de verbinding tussen de dorpel(drager) en de kom niet waterdicht te maken kan een drainagekanaal voorzien worden in de kom dat uitmondt in de eventueel aanwezige luchtpouw in de gevel. Op deze manier kan alle infiltrerend regenwater op gepaste manier



verwijderd worden zonder daarbij de binnenkant van het gebouw te bereiken. Verdere uitwerking hiervan gebeurde in fase 3.



*Figuur 63: Circulair buitenschrijnwerk 2e fase*

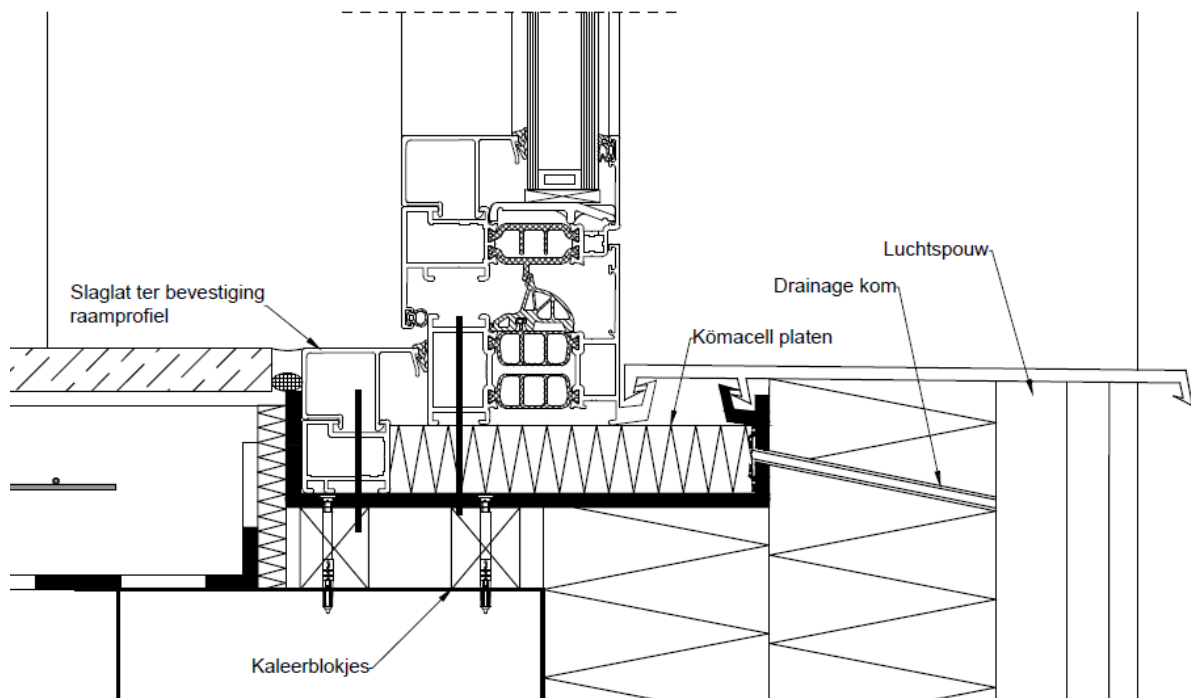
### 14.2.3 Fase 3: Integratie van het schrijnwerk in de kom

In een derde fase binnen de ontwikkeling van dit systeem werd nagedacht hoe het schrijnwerk geïntegreerd kon worden in de kom. In alle tot nu toe gemaakte schetsen is de buitenafmeting van het schrijnwerk steeds groter dan de binnenafmeting van de kom. Dit betekent dat het raamkader enkel via een bepaalde shuffle-techniek in de kom geplaatst kan worden. Deze techniek brengt het raamkader schuin in de kom en voert vervolgens een draaibeweging uit om het kader op zijn plaats te zetten. Het spreekt voor zich dat hiervoor voldoende spelingsruimte nodig is.

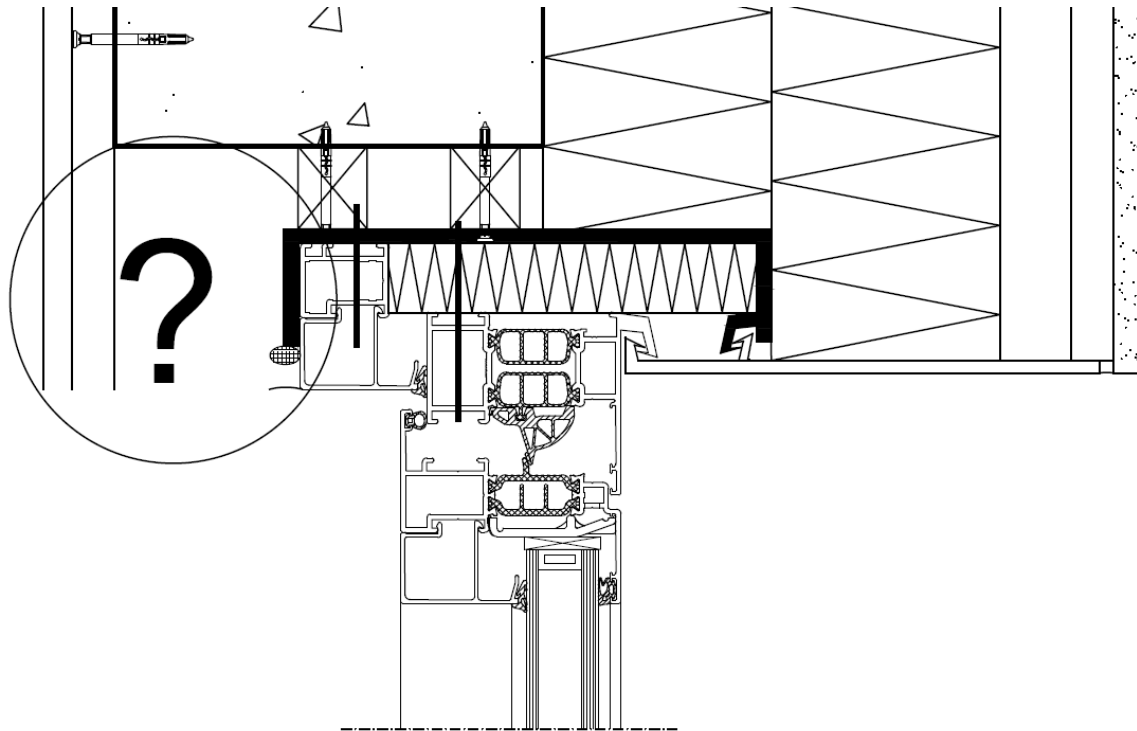
In deze derde fase wordt dit inbrengen vergemakkelijkt door het reduceren van de binnenste opstaande kant van de kom aan de bovenzijde van het raam. Zowel onderaan als bovenaan wordt gebruik gemaakt van een soort slaglat om het raamprofiel op zijn plaats vast te klemmen. Opnieuw wordt alles ondersteund door Kömacell platen. Om oneffenheden van de ruwbouwstructuur te nivelleren wordt onder de kom 20 mm speling voorzien, opgevuld met kaleerblokjes. Zo wordt min of meer het principe

van een stelkader, vaak gebruikt in Nederland, toegepast. Voordeel van dit systeem is dat de kom meegeleverd en geïnstalleerd kan worden in ruwbouwfase. Het bestellen van het schrijnwerk kan in vroege fase geschieden. Met behulp van de kaleerblokjes dient de plaatsing van de kom dan afgestemd te worden op de bestelde maten van het raamkader.

Om infiltrerend water uit de kom te leiden werd een drainagekanaal voorzien dat uitmondt in de luchtspouw achter de gevelbekleding. Dit kanaal wordt op de binnenzijde van de kom verkleefd zodat geen water tussen het buisje en de isolatie kan stromen. Voor de zekerheid kan plaatselijk een waterbestendige isolatie voorzien worden. De samenstelling van de kom met de buisjes die de isolatielaag perforeren kan eenvoudig geprefabriceerd worden. Op de werf dient dan enkel de aansluiting tussen deze en de nog te plaatsen isolatie verzorgd te worden. Vanzelfsprekend is dit enkel van toepassing bij geventileerde systemen. Dit kan niet toegepast worden in een ETICS systeem. Daar deze systemen ook niet circulair zijn, wordt dit hier niet als probleem aanzien.



*Figuur 64: Circulair buitenschrijnwerk 3<sup>e</sup> fase – onderzijde*



*Figuur 65: Circulair buitenschrijnwerk 3<sup>e</sup> fase - Bovenzijde*

De inwerking in de wand bovenaan vormt in deze fase nog een probleem. De kom zit daar niet in het verlengde van de binnenkant van de dragende structuur, waardoor niet rechtstreeks met een gipskartonplaat en pleisterwerk op de zijkant van de kom gewerkt kan worden. Tegenwoordig wordt vaak gebruik gemaakt van raamkaders die reeds voorzien zijn van dagkanten en dorpel. Roundal ontwikkelde dergelijke dagkantsystemen die eenvoudig geïmplementeerd kunnen worden. Dit kan eventueel een oplossing bieden om de afwerking bovenaan te bewerkstelligen.

Ook de demontage van de buitenste dorpel is voorlopig onduidelijk. Samen met de aansluiting tussen de bovenzijde van het raamkader en de geventileerde luchtspouw wordt dit verder uitgewerkt in fase 4.

#### **14.2.4 Fase 4: Integratie van de kom in de structuur**

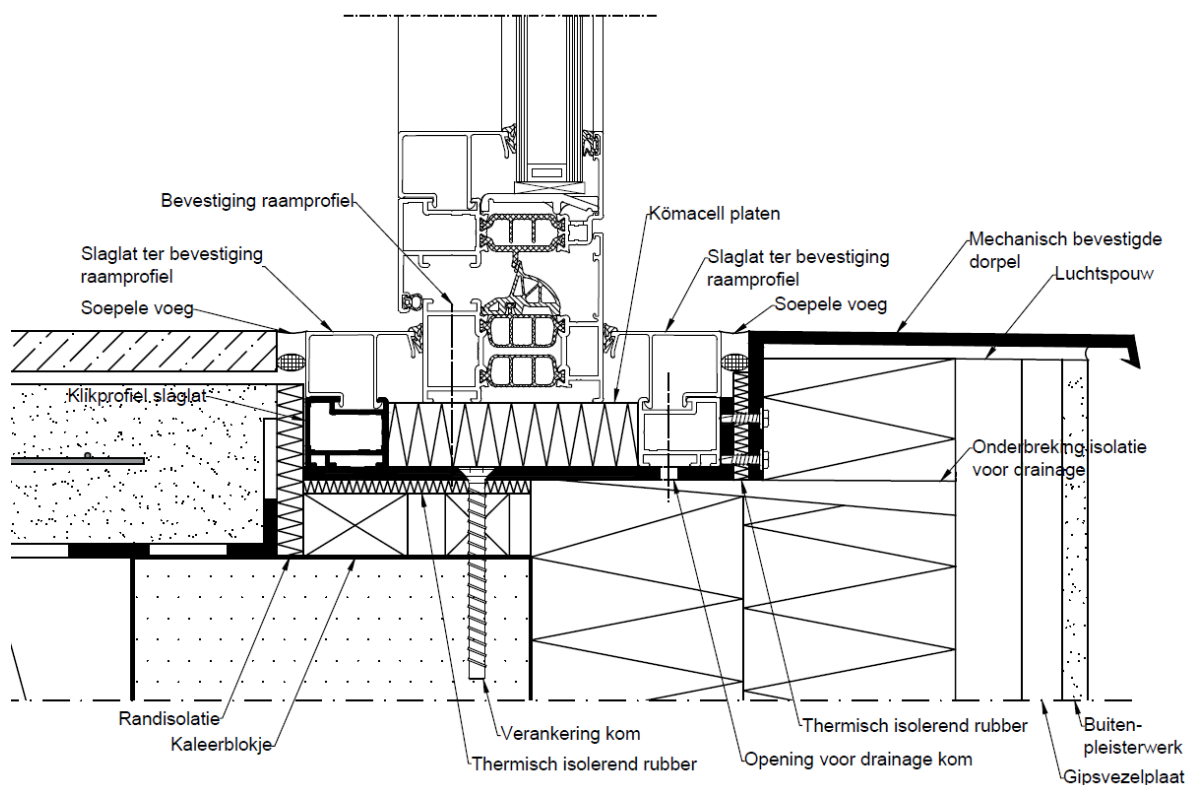
Deze vierde en laatste fase gaat in op hoe de kom in de dragende structuur geïntegreerd kan worden. Onder andere de aansluiting van de binnenaafwerking met het ingebouwde raamprofiel aan de bovenkant wordt uitgewerkt. Het geheel wordt ook voorzien van een rubber om de metalen kom thermisch te isoleren van de omliggende structuur, op deze manier worden koudebruggen vermeden. Het geeft ook de kans aan omringende materialen om uit te zetten als gevolg van temperatuurschommelingen.

In vergelijking met de vorige fase wordt de rechtopstaande zijde aan de binnenkant van de aluminium kom volledig verwijderd. Deze is overbodig wegens de aanwezigheid van het klikprofiel waarop de slaglat vastgeklikt wordt. Op deze manier vergemakkelijkt de montage vanaf de binnenzijde zonder

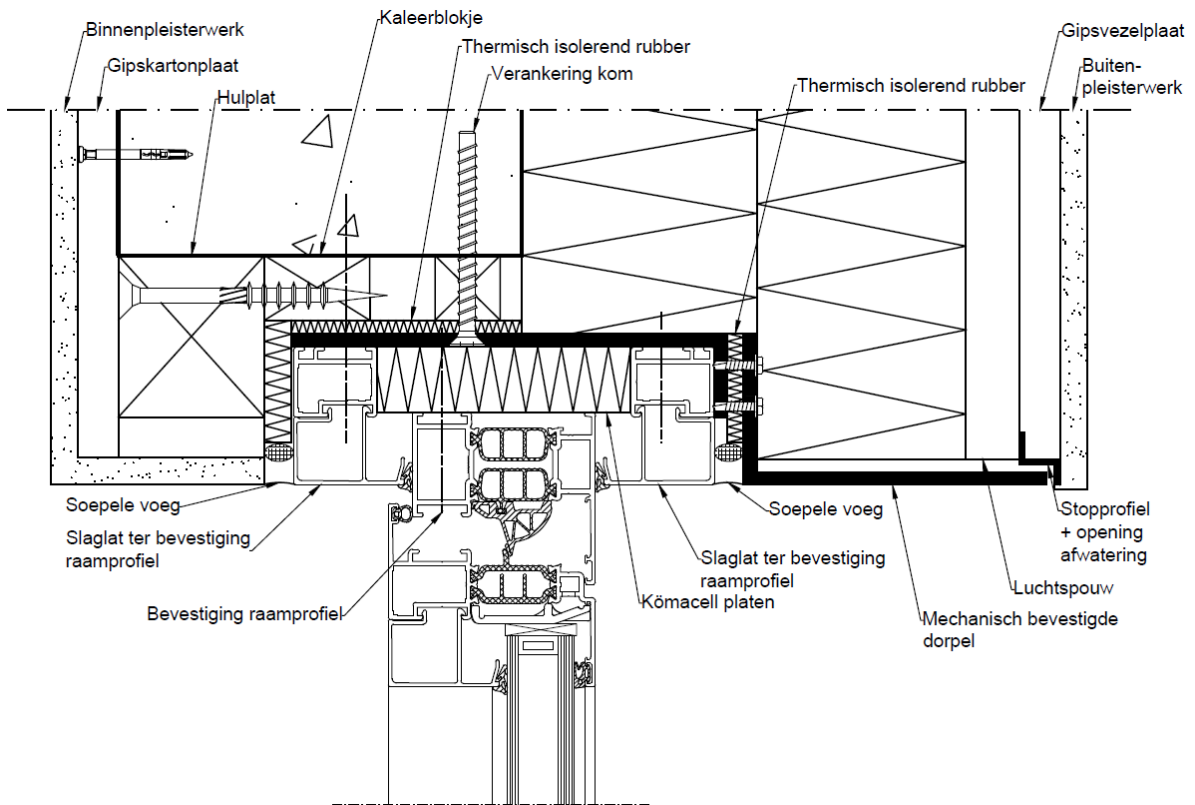
gebruik van de shuffle-techniek. Gelijkaardig als aan de binnenzijde wordt ook aan de buitenzijde een slaglat geplaatst. Daarnaast wordt de dorpel, die hier één geheel vormt met de dorpeldrager, op de buitenkant van de kom geschroefd. Op deze manier staat het vervangen van het schrijnwerk los van de demontage van de dorpel.

Aan de bovenzijde wordt een houten lat voorzien waartegen de gipskartonplaat geschroefd kan worden. Op deze manier kan ook de binnenafwerking plaatsvinden. Merk op dat dit vaak op niet-circulaire manier gebeurt door middel van pleisterwerk. De houten lat wordt niet volledig tegen de slaglat geplaatst. De soepele voeg, die eenvoudig weggesneden kan worden, zorgt ervoor dat voldoende plaats voorzien wordt om de slaglat manueel te demonteren.

Ook de drainage werd aangepast ten opzichte van fase 3. Bovenaan wordt aan het raamkader een lichte helling naar buiten toe meegegeven. Bijgevolg kan het regenwater dat zich in de spouw bevindt via de opening tussen raamkader en gevelafwerking afgevoerd worden. Het buitenpleisterwerk wordt doorgetrokken tot onder dit kader door middel van een stopprofiel om zo afdruppelen van regenwater mogelijk te maken. Onderaan wordt de isolatie ter plaatse van de kom weggelaten. De opening voor drainage wordt hier aan de onderkant voorzien. De keuze voor waterbestendige isolatie is hier een must. Eventueel kan gekozen worden om toch extra isolatie onder de dorpel te voorzien die dan mechanisch op de kom kan worden bevestigd.

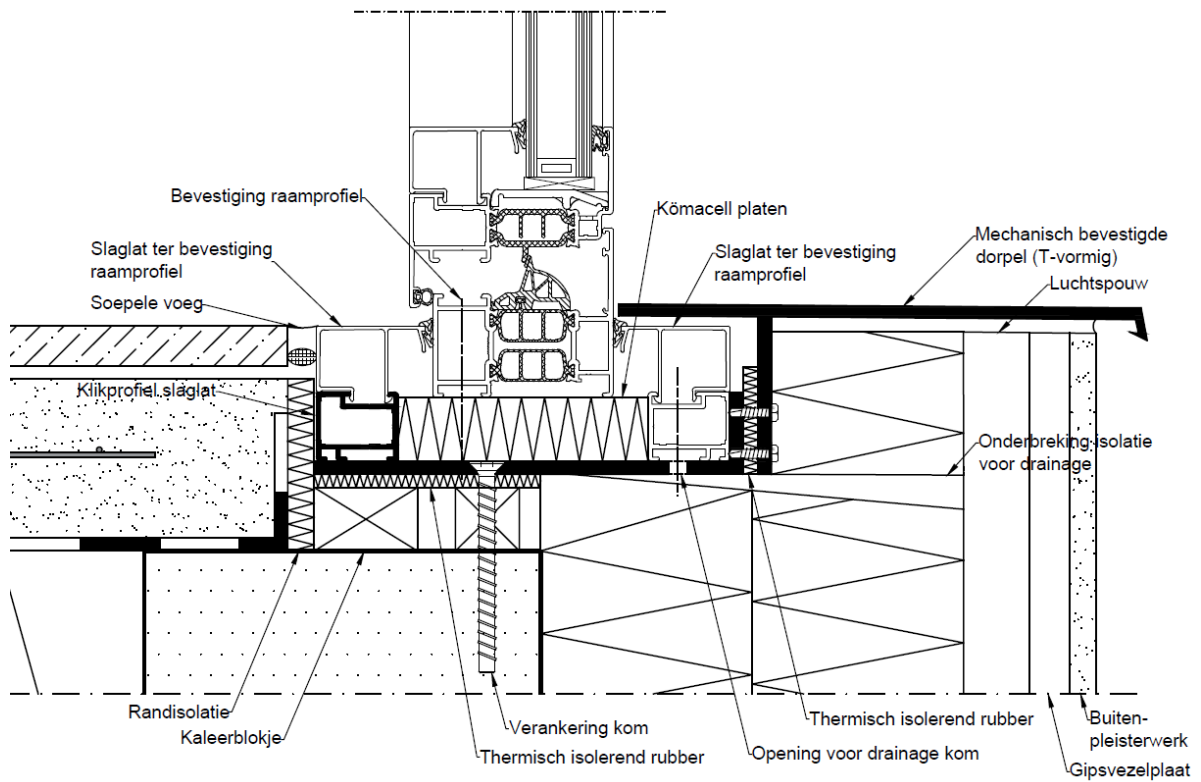


*Figuur 66: Circulair buitenschrijnwerk 4<sup>e</sup> fase - onderzijde*



Figuur 67: Circulair buitenschrijnwerk 4e fase - bovenzijde

Omwille van esthetische redenen kan men ook opteren om een T-vormige dorpel te nemen (zie Figuur 68). Zo is de slaglat niet meer zichtbaar. Merk wel op dat voor demontage van het schrijnwerk nu ook demontage van de dorpel vereist is. Deze dorpel beschermt de slaglat ook door demontage van vreemden te verhinderen.



*Figuur 68: Circulair buitenschrijnwerk 4<sup>e</sup> fase - alternatieve dorpel*

## Referentielijst

- Alba Concepts. (2018). *Building Circularity Index*. Geraadpleegd op 15 maart 2020 van [albaconcepts.nl](http://albaconcepts.nl)
- Archipelago. (2020). *Circular Design Strategies*.
- BBA. (2014). *Ancon cavity wall ties*.
- Bouwunie. (2008). *Calculatienormen en richtprijzen voor de woningbouw – ruwbouwwerken*.
- Carpentier (2020). *Quickclip*. Geraadpleegd op 6 maart 2020 van <https://carpentier.be/nl/smart-solutions/slimme-systemen/quickclip>
- Cenergie. (2019). *C-CalC*. Geraadpleegd op 15 mei 2020 van <https://www.c-calc.be/>
- Cleemput E., De Pauw J. (2015). *Solar Decathlon: ontwerpend onderzoek naar renovatiestrategieën van Etrimo woontorens*.
- Clickbrick. (2019). Geraadpleegd op 4 maart 2020 van [wienerberger.nl](http://wienerberger.nl)
- Durmisevic, E. (2019). *Reversible Building Design*. Geraadpleegd op 27 mei 2020 van <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strategies.pdf>
- Ecomat. (2018). *Egalisatie-isolatiekorrels*. Geraadpleegd op 28 april 2020 van <https://ecomat.be/bestandenbank/EM-TF-BT-korrelsvlokken-18.pdf>
- Eurabo. (2020). *Métisse katoenisolatie*. Geraadpleegd op 13 maart 2020 van <https://www.eurabo.be/nl/producten/metisse-katoenisolatie>
- EverUse (2019). *EverUse circulaire isolatie*. Geraadpleegd op 26 maart 2020 van [everuse.com](http://everuse.com)
- Facadeclick. (2019). Geraadpleegd op 4 maart 2020 van [www.facadeclick.be/](http://www.facadeclick.be/)
- FCRBE. (z.d.). *Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe*. Geraadpleegd op 23 november 2019 van <https://www.nalleweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/>
- FinishProfiles. (2019). *Finish Klik Felswand*. Geraadpleegd op 27 maart 2020 van <https://www.finish-profiles.nl/zakelijk/product/wand-en-dakprofielen/wandplaten/finish-klik-felswand/>
- Foamglas. (z.d.). *Hoogwaardige thermische isolatiesystemen voor de hele bouwschil*. Pittsburgh Corning Europe N.V.
- Geldof, L., Temmerman, L., Van den Brande, K. (2015). *Bijzonder vraagstuk – Solar Decathlon*.
- GramiTherm. (2019). *The grass, a new bio based value chain*. Geraadpleegd op 27 maart 2020 van [gramitherm.ch](http://gramitherm.ch)

- Grasso, D. (2018). *4 circulaire businessmodellen in de praktijk*. Geraadpleegd op 24 november 2019 van <https://www.kampc.be/artikel/2018/11/28/4-circulaire-businessmodellen-in-de-praktijk>
- GRO.(2020). *Op weg naar toekomstgerichte bouwprojecten*. Brussel: Facilitair Bedrijf.
- Halfen Natuursteenankers. (2012). *Halfen natuursteenankers: technische documentatie*.
- Isover. (2020). *Milieuvriendelijke en gezonde isolatie*. Geraadpleegd op 20 februari 2020 van <https://www.isover.be/nl/milieuvriendelijke-en-gezonde-isolatie>
- JuuNoo. (2019). *JuuNoo: deel ruimtes slim in*. Geraadpleegd op 25 november 2019 van <https://juunoo.com/wp-content/uploads/2019/06/2019-06-20-JuuNoo-Technische-documentatie-1.pdf>
- Kingspan (2020). *Optim-R*. Geraadpleegd op 2 april 2020 van <https://www.kingspan.com/blx/nl-be>
- Knauf. (2020). *Recyclage*. Geraadpleegd op 10 maart 2020 van [knauf.be](http://knauf.be)
- KNMI. (2016). *Broeikasewfect*. Geraadpleegd op 28 februari 2020 van <https://www.ensie.nl/knmi/broeikasewfect>
- Layher. (2019). *Layher allround steigersysteem*.
- LeeBo. (2015). *LeeBrick*. Geraadpleegd op 27 maart 2020 van [leebo.nl/product/leebrick/](http://leebo.nl/product/leebrick/)
- Madaster. (2019). *Madaster Platform*. Geraadpleegd op 30 oktober 2019 van [Madaster.com](http://Madaster.com)
- MasterBloc. (2019). *Over MasterBloc*. Geraadpleegd op 6 maart 2020 van [Masterbloc.be](http://Masterbloc.be)
- MiniTec. (z.d.). *Aluminum profiles*. Geraadpleegd op 19 mei 2020 van <https://www.minitec.de/en/products/profile-system/profiles>
- Moeding. (2012). *ALPHATON® GEN. 06 HORIZONTAL FORMAT*. Geraadpleegd op 27 april 2020 van <https://www.moeding.de/download-and-order-portal/?lang=en>
- NIBE. (2020). *Milieuclassificaties*. Geraadpleegd op 4 maart 2020 van <https://www.nibe.info/nl/members#element-106>
- Niël, E. M. M. G., & Damen, Gorter en van Rooy (Rotterdam). (1991). *Levensduurcatalogus van bouwdelen en bouwmaterialen: empirische gegevens*. Rotterdam: Damen Gorter van Rooy
- Opalis.(z.d.). *Over Opalis*. Geraadpleegd op 25 november 2019 van <https://opalis.eu/nl/over>
- Orbix. (2018). *Orbixblokken*. Geraadpleegd op 6 maart 2020 van [Orbix.be/nl/materialen/orbixblokken](http://Orbix.be/nl/materialen/orbixblokken).
- OVAM (2016). *24 Ontwerprichtlijnen voor Veranderingsgericht Bouwen*. Geraadpleegd via <https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/24-Ontwerprichtlijnen-veranderingsgerbouwen.pdf>
- OVAM. (2018). *Rapport: Technische levensduur van gebouwcomponenten*.



- Passiefhuis Platform. (z.d.). *Bouwdetails*. Geraadpleegd op 13 april 2020 via <http://www.bouwdetails.be/>
- Peikko Group (2020). *Verankeringsystemen voor prefab betonkolommen*. Geraadpleegd op 7 maart 2020 van <https://www.peikko.nl/producten/verankeringsystemen-voor-prefab-betonkolommen/overzicht/>
- Rhinobond. (2016). *Elektromagnetisch inductielassen*.
- Royal EPDM. (z.d.). *Royal Roofing Materials*.
- SBR. (2014). *Levensduur van bouwproducten*.
- Spronken, H. (2019). *Rockwool: van nature circulair! Whitepaper*.
- Steko. (2015). *Building blocks for your ideas*. Geraadpleegd op 25 maart 2020 van [stekosouthamerica.com](http://stekosouthamerica.com)
- Sto. (2015). *StoVentec: Onbeperkte ontwerpvrijheid met de geventileerde gevelisolatiesystemen van Sto*.
- Sto. (2016). *Sto-Ecoshapes: Nieuwe mogelijkheden voor individueel design*.
- Van Boeschoten, R. (2017). *Product as a service: het verdienmodel voor de circulaire economie*. Geraadpleegd van <https://retailtrends.nl/item/47976/-product-as-a-service-het-verdienmodel-voor-de-circulaire-economie>
- Vandersanden. (z.d.). *E-board: Gevelisolatiesysteem voor renovatie, nieuwbouw en projectbouw*.
- Van Gestel, K., Buyck, J., Van Garsse, S., & Paquay, E. (2018). Handboek DBFM(pp. 180).
- Van Gulck, L. (2019). *De milieu-impact van dynamische gevelrenovatiestrategieën*.
- Veberne, J. (2016). *Circulariteitsindicatoren voor gebouwen*. Nederland, Zwolle: Merlijn Media.
- Vergauwen, A. (2020). *Circulair Gebouw: Leidraad meetsysteem*.
- Vlaanderen Circulair. (2019). *Alles over Vlaanderen Circulair*. Geraadpleegd op 25 oktober 2020 van <https://vlaanderen-circulair.be/nl/over-ons>
- Vlaanderen. (z.d.). *Renovatiepact*. Geraadpleegd op 25 oktober 2020 van <https://www.energiesparen.be/renovatiepact>
- VMZINC. (2020). *Compatibiliteit van VMZINC*. Geraadpleegd op 29 april 2020 van <https://www.vmzinc.be/nl/onze-mogelijkheden/aanbevelingen/compatibiliteit-van-vmzinc-.html>
- WE/Adviseurs. (z.d.). *Circulaire tools en meetmodellen*. Geraadpleegd op 15 mei 2020 van <https://www.w-e.nl/tag/cpg/>

Weber. (2017). *Weber.therm circle*. Geraadpleegd op 1 mei 2020 van <https://www.de.weber/circle#>

Wienerberger (2020). *Corium*. Geraadpleegd op 6 maart 2020 van <https://www.wienerberger.co.uk/products/facades/corium-brick-cladding-systems.html>

WOODinc. (2018). *WOODinc tilt houtskeletbouw naar een hoger niveau*. Geraadpleegd op 25 maart 2020 van [woodinc.be](http://woodinc.be)

WTCB. (2017). *Brandveiligheid van gevels van gebouwen met meerdere verdiepen*.

WTCB. (2017). *Innovation paper: Circulair bouwen*.

WTCB. (2015). *TV 255: Luchtdichtheid van gebouwen*. Brussel, België: Jan Venstermans.

## Bijlage A

<b>Systeem 1</b>	<b>Typeverbinding</b>	<b>Toegankelijkheid</b>	<b>Demonteerbaarheid</b>
Prefabbeton	90	20	55
Glaswol mechanisch	20	20	20
Keramische holle tegel - geklemd	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			<b>85</b>

<b>Systeem 2 niet-circulair</b>	<b>Typeverbinding</b>	<b>Toegankelijkheid</b>	<b>Demonteerbaarheid</b>
Kalkzandsteen	90	20	55
Steenwol mechanisch	20	80	50
Gevelsteen gemetseld	90	0	45
<b>TOTAAL</b>			<b>150</b>

<b>Systeem 2</b>	<b>Typeverbinding</b>	<b>Toegankelijkheid</b>	<b>Demonteerbaarheid</b>
Kalkzandsteen	90	20	55
Steenwol mechanisch	20	40	30
Clickbrick	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			<b>95</b>

<b>Systeem 3</b>	<b>Typeverbinding</b>	<b>Toegankelijkheid</b>	<b>Demonteerbaarheid</b>
Kalkzandsteen	90	30	60
EPS platen mechanisch	20	30	25
Zink	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			<b>95</b>

<b>Systeem A</b>	<b>Typeverbinding</b>	<b>Toegankelijkheid</b>	<b>Demonteerbaarheid</b>
Prefabbeton	90	20	55
EPS mechanisch	20	80	50
Gevelsteen gemetseld	90	0	45
<b>TOTAAL</b>			<b>150</b>

<b>Systeem B</b>	<b>Typeverbinding</b>	<b>Toegankelijkheid</b>	<b>Demonteerbaarheid</b>
Prefabbeton	90	20	55
EPS mechanisch	20	40	30
Clickbrick	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			<b>95</b>

<b>Systeem C</b>	<b>Typeverbinding</b>	<b>Toegankelijkheid</b>	<b>Demonteerbaarheid</b>
Prefabbeton	90	80	85
EPS verlijmd	90	40	65
Clickbrick	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			<b>160</b>

Systeem D	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
Prefabbeton	90	80	85
EPS verlijmd	90	80	85
Gevelsteen gemetseld	90	0	45
<b>TOTAAL</b>			<b>215</b>

Systeem E	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
Cellenbeton verlijmd	90	90	90
Cellulair glas verlijmd	90	40	65
Natuursteenplaten - graniet	20	0	10
<b>TOTAAL</b>			<b>165</b>

Systeem F	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
Cellenbeton verlijmd	90	90	90
Cellulair glas verlijmd	90	90	90
Pleisterwerk - crepi	90	0	45
<b>TOTAAL</b>			<b>225</b>

Standaardstelsel	Typeverbinding	Toegankelijkheid	Demonteerbaarheid
Baksteen	90	30	60
PUR mechanisch	20	80	50
Gevelsteen gemetseld	90	0	45
<b>TOTAAL</b>			<b>155</b>



# Circulaire gevelsystemen

Eline Leenknecht, Emiel Debusseré

Studentennummers: 01507890, 01503907

Promotoren: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche, prof. dr. ir.-arch.  
Marijke Steeman

Begeleider: ir.-arch. Jona Van Steenkiste

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van  
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Academiejaar 2019-2020