

2016•2017
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Onderzoek naar mogelijkheden om de milieu-impact van Vlaamse woningen te verlagen

Promotor :
dr. ir. Elke KNAPEN
Arch. Elke MEEK

Thomas Grauwen , Bernd Jans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2016•2017

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Onderzoek naar mogelijkheden om de milieu-impact van
Vlaamse woningen te verlagen

Promotor :
dr. ir. Elke KNAPEN
Arch. Elke MEEUX

Thomas Grauwen , Bernd Jans

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: bouwkunde*

Woord vooraf

Deze masterproef is het sluitstuk van onze masteropleiding Industriële Ingenieurswetenschappen Bouwkunde. De keuze voor het onderwerp 'Onderzoek naar mogelijkheden om de milieu-impact van Vlaamse woningen te verlagen' was voor ons beiden snel gemaakt. Tijdens de opleiding groeide onze interesse voor het thema 'milieu' en we hopen dan ook met dit onderzoek een bijdrage te leveren aan een groener morgen.

Een goede masterproef schrijven doe je uiteraard niet zonder een goede begeleiding. We willen onze twee promotoren dr. ir. Elke Knapen en arch. Elke Meex dan ook in het bijzonder danken om steeds weer voor ons klaar te staan en ons te begeleiden doorheen dit onderzoek.

Ook onze ouders verdienen een welgemeende dank-je-wel voor de mogelijkheden en steun die we van hen kregen om onze studies te doorlopen.

Het is een hele opgave om een masterproef schrijven. We willen daarom tot slot elkaar bedanken voor de vele leervolle en leuke werkuren die we samen in de bibliotheek van de universiteit hebben beleefd.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	i
Lijst van tabellen	vii
Lijst van figuren	ix
Verklarende woordenlijst/symbolenlijst	xi
Abstract	xiii
Abstract in English	xv
1 Inleiding	17
1.1 Situering	17
1.2 Probleemstelling/onderzoeksvraag	17
1.3 Doelstellingen	18
1.4 Materiaal en methode	19
2 Literatuurstudie	21
2.1 Duurzaamheid	21
2.1.1 Algemene duurzaamheid	21
2.1.2 Duurzaamheid in de bouwsector	21
2.2 Milieu-impact van materialen en gebouwen	22
2.2.1 Levenscyclusanalyse	22
2.2.2 Milieulabels en milieuverklaringen	24
2.2.3 Technische normering en reglementering	26
2.3 Stand van zaken België	26
2.3.1 Achtergrond	26
2.3.2 Methodologie	27
2.4 Stand van zaken Nederland	34
2.4.1 Achtergrond	34
2.4.2 Methodologie	34
2.5 Synthese MMG-elementendatabank vs. NIBE-milieuclassificatie	39
3 Onderzoek naar mogelijke alternatieve gebouwelementen met een lagere milieu-impact	41
3.1 Methodologie	41
3.1.1 Bestaande elementopbouw en het alternatief met een lagere milieu-impact	41
3.1.2 Praktische haalbaarheid van deze alternatieven: literatuuronderzoek en interviews	44
3.2 Massieve structuur	46
3.2.1 Vloeren op volle grond	46
3.2.2 Verdiepingsvloeren	50

3.2.3	Platte daken	52
3.2.4	Hellende daken	57
3.2.5	Buitenwanden	60
3.2.6	Dragende binnenwanden	64
3.2.7	Niet-dragende binnenwanden	66
3.3	Betonstructuur	67
3.3.1	Vloeren op volle grond	67
3.3.2	Verdiepingsvloeren	70
3.3.3	Platte daken	72
3.3.4	Hellende daken	75
3.3.5	Buitenwanden	75
3.3.6	Dragende binnenwanden	76
3.3.7	Niet-dragende binnenwanden	77
3.4	Houtskeletstructuur	78
3.4.1	Vloeren op volle grond	78
3.4.2	Verdiepingsvloeren	80
3.4.3	Platte daken	83
3.4.4	Hellende daken	85
3.4.5	Buitenwanden	87
3.4.6	Dragende binnenwanden	90
3.4.7	Niet-dragende binnenwanden	91
3.5	Staalstructuur	92
3.5.1	Niet-dragende binnenwanden	92
4	Besluit	95
4.1	Massieve structuur	95
4.2	Betonstructuur	96
4.3	Houtskeletstructuur	97
4.4	Staalstructuur	98
4.5	Algemeen besluit	98
	Literatuurlijst	99
	Bijlagen	105
	Bijlage A: MMG milieuprofiel van gebouwelementen	105
	Bijlage B: Profilering	108
	Architect massief- en betonbouw	108
	Architect massief- en houtskeletbouw	109
	Ingenieur massief-, beton- en staalbouw	110
	Aannemer massief- en betonbouw	111

Aannemer houtskeletbouw.....	112
Dakwerker massief- en betonbouw	113

Lijst van tabellen

Tabel 1. Milieu-indicatoren volgens de CEN en CEN+ impactcategorie met inbegrip van de eenheden voor de individuele milieuscores [4]	31
Tabel 2. Overzicht van de gedetailleerde samenstelling van variant 'DBiW4_kalkzandsteen' [27]	32
Tabel 3. Milieueffectcategorieën met hun eenheid [29]	36
Tabel 4. Vergelijking MMG-elementendatabank met NIBE-classificatiesysteem	39
Tabel 5. Massieve structuur – vloeren op volle grond: Gespoten PUR – Geëxpandeerde kurk	49
Tabel 6. Massieve structuur – verdiepingsvloeren: Voorgespannen welfsels – Potten en balken	51
Tabel 7. Massieve structuur – platte daken: Conventionele opbouw – Alternatieve opbouw	56
Tabel 8. Massieve structuur – hellende daken: Spanten – FJI	58
Tabel 9. Massieve structuur – hellende daken: Rotswol – Cellulose	59
Tabel 10. Massieve structuur – buitenwanden: Baksteen; geperforeerd – Leemsteenmetselwerk	62
Tabel 11. Massieve structuur – buitenwanden: Rotswolisolatie – PUR-isolatie	63
Tabel 12. Massieve structuur – niet-dragende binnenwanden: Snelbouwsteen – Gipsblok	67
Tabel 13. Betonstructuur – vloeren op volle grond: XPS – Geëxpandeerde kurk	69
Tabel 14. Betonstructuur – verdiepingsvloeren: Breedplaatvloer – Potten en balken	72
Tabel 15. Betonstructuur – platte daken: Voorgespannen welfsels – Cellenbetonplaat	74
Tabel 16. Betonstructuur – niet-dragende binnenwanden: Betonwand – Gipsblok	78
Tabel 17. Houtskeletstructuur – verdiepingsvloeren: Cementchape – Droge dekvloer	82
Tabel 18. Houtskeletstructuur – verdiepingsvloeren: OSB plaat – Spaanplaat	82
Tabel 19. Houtskeletstructuur – platte daken: Conventionele opbouw – Alternatieve opbouw	85
Tabel 20. Houtskeletstructuur – buitenwanden: Houtskelet – FJI's	89
Tabel 21. Houtskeletstructuur – buitenwanden: Rotswol – Cellulose	90
Tabel 22. Vergelijking tussen conventionele met alternatieve materialen voor massieve structuur	95
Tabel 23. Vergelijking tussen conventionele met alternatieve materialen voor betonstructuur	96
Tabel 24. Vergelijking tussen conventionele met alternatieve materialen voor houtskeletstructuur	97
Tabel 25. Vergelijking tussen conventionele met alternatieve materialen voor staalstructuur	98

Lijst van figuren

Figuur 1. Mobius loop [20].....	25
Figuur 2. Overzicht van de beschouwde levenscyclusfasen en systeemgrenzen binnen de Europese norm EN 15976:2011 [4].....	28
Figuur 3. Geaggregeerd milieu-profiel (opgesplitst in CEN en CEN+) van variant 'DBiW4_kalkzandsteen' per levenscyclusfase, uitgedrukt in monetaire eenheden [27].....	32
Figuur 4. Geaggregeerd milieu-profiel (opgesplitst in CEN en CEN+) van variant 'DBiW4_kalkzandsteen' per milieu-indicator, uitgedrukt in monetaire eenheden [27]	33
Figuur 5. Geaggregeerd milieu-profiel (opgesplitst in CEN en CEN+) van variant 'DBiW4_kalkzandsteen' per levenscyclusfase en per individuele milieu-indicator, uitgedrukt in monetaire eenheden [27]	33
Figuur 6. NIBE - milieuklasse indeling [29]	37
Figuur 7. Kalkzandsteenblokken gelijmd - Milieu-informatie deel 1 [29].....	38
Figuur 8. Kalkzandsteenblokken gelijmd - Milieu-informatie deel 2 [29].....	38
Figuur 9. Kalkzandsteenblokken gelijmd - Milieu-informatie deel 3 [29].....	39
Figuur 10. Milieuprofiel van Vloer1_ PUR05 [31]	42
Figuur 11. Milieuprofielen van vloer op volle grond met bijhorende milieukost [31]	43
Figuur 12. Milieuprofielen van vloeren op volle grond: Vloer1, Vloer2, Vloer4, Vloer8 en Vloer10 [31]	43
Figuur 13. Milieuprofielen van vloeren op volle grond: Vloer1, Vloer2, Vloer4, Vloer8 en Vloer10 [31]	47
Figuur 14. Milieuprofielen van verdiepingsvloeren: VV1, VV4 en VV12 [43]	50
Figuur 15. Milieuprofielen van platte daken: PD1, PD2, PD5, PD6, PD8, PD11 en PD13 [46].....	53
Figuur 16. Detaildoorsnede van opbouw PD5 [46]	53
Figuur 17. detaildoorsnede van opbouw PD13 [46]	54
Figuur 18. Milieuprofielen van hellende daken: HD2, HD3, HD4, HD5 en HD8 [51].....	57
Figuur 19. Ringbalk rondom dak, doorheen raam.....	60
Figuur 20. Milieuprofielen van buitenwanden: BW9, BW11, BW12, BW14, BW16 en BW18 [57].....	61
Figuur 21. Milieuprofielen van dragende binnenwanden: DBiW1, DBiW5 en DBiW7 [27].....	64
Figuur 22. Milieuprofielen van niet-dragende binnenwanden: NDBiW5 en NDBiW8 [64].....	66
Figuur 23. Milieuprofielen van vloeren op volle grond: Vloer1, Vloer3 en Vloer8 [31]	68
Figuur 24. Milieuprofielen van verdiepingsvloeren: VV1, VV4 en VV12 [43]	70
Figuur 25. Milieuprofielen van platte daken: PD2, PD5, PD9 en PD10 [46]	73
Figuur 26. Milieuprofielen van buitenwanden: BW25 [57]	76
Figuur 27. Milieuprofielen van dragende binnenwanden: DBiW7 [27]	76
Figuur 28. Milieuprofielen van niet-dragende binnenwanden: NDBiW1, NDBiW6 en NDBiW8 [64]	77
Figuur 29. Milieuprofielen van vloeren op volle grond: Vloer1, Vloer3 en Vloer8 [31]	79
Figuur 30. Milieuprofielen van verdiepingsvloeren: VV10 en VV14 [43].....	81

Figuur 31. Milieuprofielen van platte daken: PD11 en PD12 [46].....	83
Figuur 32. Milieuprofiel van hellende daken: HD3, HD4 en HD5 [51]	86
Figuur 33. Milieuprofielen van buitenwanden: BW1, BW2, BW3 en BW8 [57]	88
Figuur 34. Milieuprofielen van dragende binnenwanden: DBiW3 [27]	91
Figuur 35. Milieuprofielen van niet-dragende binnenwanden: NDBiW1 [64].....	91
Figuur 36. Milieuprofielen van niet-dragende binnenwanden: DBiW3 [64].....	92
Figuur 37. MMG milieuprofiel van gebouwelementen deel 1 [31], [57], [27]	105
Figuur 38. MMG milieuprofiel van gebouwelementen deel 2 [64], [43], [46]	106
Figuur 39. MMG milieuprofiel van gebouwelementen deel 3 [51], [75], [76], [77]	107

Verklarende woordenlijst/symbolenlijst

Aggregeren	Het op één plaats verzamelen van content uit meerdere bronnen
ATG	Agrément technique - Technische Goedkeuring
BENOR	Belgische Norm
BPR	Europese Bouwproductenrichtlijn
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CE-markering	Conformité Européenne – Conform essentiële eisen van de Europese wetgeving omtrent gezondheid, veiligheid en bescherming van het milieu
CEN	Comité Européen de Normalisation
CEN+	Bijkomende maatregelen op CEN
DALY	Disability-Adjusted Life Years
EN	Europese geharmoniseerde normen
EOL	End Of Life
EPD	Energie Prestatie Data / Environmental product declaration
ETA	Europese technische goedkeuringen
FJI	Finnjoist
FSC	Forest Stewardship Council: Een keurmerk voor hout dat betekent dat het hout op een duurzame wijze uit het bos is geogst, zonder schade aan het bos toe te brengen.
GPR	Gemeentelijke Praktijk Richtlijn
GWW	Grond-, Weg- en Waterbouw
INIES	De Franse nationale referentiedatabase van milieu- en gezondheidsverklaringen voor producten, apparatuur en diensten voor het evalueren van de werkprestaties
ISO-normen	Internationale Organisatie voor Standaardisatie
KB	Koninklijk besluit
LCA	Levenscyclusanalyse – Life Cycle Analysis
LCC	Levenscycluskostenanalyse – Life Cycle Cost Analysis
LCI	Levenscyclus Inventarisatie – Life Cycle Inventory
LCIA	Levenscyclus Impactanalyse – Life Cycle Impact Assessment
MMG	Milieugerelateerde Materiaalprestaties van Gebouwelementen
MRPI	Milieu-relevante Productinformatie

NIBE	Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie
NMD	Nationale Milieu Database
OSB	Oriented Strand Board
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
PIR	Polyisocyanuraat
PUR	Polyurethaan
TWIN	Nederlandse milieubeoordelingsmethode
VROM	Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Abstract

Duurzaam bouwen is niet meer weg te denken uit de hedendaagse maatschappij. Met de milieu-impact van bouwmaterialen wordt bij het ontwerp van een gebouw echter zelden rekening gehouden. Architecten, ingenieurs en aannemers werken vaak met conventionele materialen zonder stil te staan bij alternatieve materialen die mogelijk even geschikt zijn en een lagere milieu-impact hebben. Deze masterproef stelt als doel de opbouw van vloeren op volle grond, tussenvloeren, platte en hellende daken en binnen- en buitenwanden bij tweeëntwintig bestaande ééngezinswoningen te analyseren en hiervoor alternatieve materialen te zoeken die de milieu-impact van de woning kunnen verlagen. De evaluatie van de milieu-impact gebeurt op basis van de MMG-milieuprofielen databank en het NIBE-milieuclassificatiesysteem. De praktische haalbaarheid van deze alternatieven wordt bestudeerd rekening houdend met kostprijs, draagvermogen en thermische isolatie. Vervolgens worden de resultaten afgetoetst bij architecten, ingenieurs en aannemers door middel van interviews.

Deze masterproef besluit dat de Vlaamse bouwwereld openstaat voor alternatieve materialen, met een betere milieu-impact, onder voorwaarde dat deze economisch en qua dikte vergelijkbaar zijn met de conventionele materialen. Dit geldt voornamelijk voor een alternatieve opbouw in de platte daken, alternatieve isolatiematerialen in hellende daken en buitenwanden en alternatieve materialen in niet-dragende binnenwanden. Tot slot ontbreekt er in de praktijk soms kennis over een aantal alternatieven.

Abstract in English

The society of today is impossible to imagine without the concept of sustainable building. Nevertheless the environmental impact of construction materials is rarely taken into account during the design of a building. Architects, engineers and contractors frequently work with conventional materials without even considering alternative materials, which quite often are as appropriate as conventional materials and have a smaller environmental impact.

This master thesis research analyses and examines the composition of floors on solid ground, intermediate floors, flat roofs, pitched roofs, and the inner and outer walls of twenty-two existing one-family houses. At the same time it tries to find alternative materials for those construction parts which would lower the environmental impact of those particular houses. The analysis of the environmental impact is based on the MMG environmental profiles database and the NIBE environmental classification system. The practical feasibility of these alternative materials will be examined, taking into account the cost, the load capacity and the thermal insulation properties. Subsequently these results will be reviewed by architects, engineers and contractors by means of interviews.

This master thesis concludes that the Flemish construction industry is open to alternative materials with a better environmental impact, provided that these materials are comparable to conventional materials in terms of economical and thickness aspects. Finally, the industry, lacks knowledge about certain alternatives.

1 Inleiding

1.1 Situering

Duurzaamheid is een alomtegenwoordig begrip. Opwarming van de aarde, bodemverontreiniging, gezondheid van de fauna en flora ... zijn enkele deelaspecten van duurzaamheid die frequent in de media komen. Het is een breed begrip met als doel een leefbare wereld achter te laten aan de toekomstige generaties. Dit kan zowel over industrie, landbouw, energie, transport en dergelijke gaan, alsook over bouwen en wonen. De voorbije jaren had men binnen het kader van duurzaam bouwen voornamelijk aandacht voor het verbeteren van de energieprestatie van een gebouw tijdens de gebruiksfase. Stilaan groeit ook het besef dat daarnaast ook aandacht besteed moet worden aan de milieu-impact van de gebruikte materialen in een gebouw. Hierbij is het belangrijk om de hele levenscyclus van een gebouw te beschouwen, waarbij niet enkel de bouwfase, maar ook de oorsprong van de materialen, gebruik, afbraak, recyclage en dergelijke in rekening gebracht worden. Zo komt het begrip levenscyclusanalyse (LCA) centraal te staan in het berekenen van milieu-impactscores van bouwmaterialen en gebouwen. In deze masterscriptie vertrekt men van casestudies met eerder "standaard" materiaalkeuzes. Daarna volgde er een onderzoek naar realistische alternatieven waarbij de milieu-impact van deze materialen centraal staat en de praktische haalbaarheid en toepasbaarheid ervan onderzocht wordt.

1.2 Probleemstelling/onderzoeksvraag

De milieu-impact van materialen in een gebouw wordt steeds belangrijker. In Nederland, is men al verplicht om een milieuprestatieberekening van gebouwen uit te voeren bij het aanvragen van een omgevingsvergunning [1]. Het is zeer waarschijnlijk dat in België in de nabije toekomst ook een milieuprestatieberekening zal worden ingevoerd voor gebouwen. Hierbij is het belangrijk dat architecten, die verantwoordelijk zijn voor het ontwerpen van de woningen, reeds vanaf een vroeg ontwerpstadium feedback krijgen over de te verwachten milieuprestatie van hun ontwerp. Momenteel vallen architecten en aannemers immers vaak terug op dezelfde standaardmaterialen omdat hun kennis over deze materialen veel groter is dan die over alternatieve materialen. Deze laatste kunnen eveneens geschikt zijn en bovendien een lagere milieu-impact hebben. De milieu-impact van bouwmaterialen ligt momenteel dus zelden aan de basis van materiaalkeuzes bij het ontwerp van Vlaamse woningen. Aan de Universiteit Hasselt loopt daarom momenteel een doctoraatsonderzoek binnen de faculteit Architectuur en Kunst, waarin onderzocht wordt naar hoe architecten in het vroeg ontwerpstadium ondersteund kunnen worden bij het maken van materiaalkeuzes met een lage milieu-impact [2]. Deze masterscriptie kadert dan ook binnen dit lopend doctoraatsonderzoek.

Om te weten welke materialen er momenteel in een Vlaamse woning verwerkt zitten, werd in een voorgaand onderzoekende masterscriptie aan de faculteit Architectuur en Kunst reeds gekeken naar welke materialen er doorgaans worden gebruikt in nieuwbouw eengezinswoningen en in welke hoeveelheden deze materialen dan voorkomen in deze woningen [3]. Hieruit bleek onder andere dat conventionele materialen zoals beton en PUR-isolatie vaak worden gebruikt (uit gewoonte en ervaring) en dat "duurzamere" alternatieven op de markt minder frequent voorkomen. Er werd in dit voorgaand onderzoek echter nog niet ingegaan op de milieu-impact van deze materialen.

Tevens werd het onderzoek en de databank over milieu-gerelateerde materiaalprestatie van gebouwelementen in 2012 gepubliceerd en wordt de databank momenteel sterk uitgebreid omdat ze zeer beperkt was [4]. OVAM werkt aan een softwaretool die een milieu-impactberekening op gebouwniveau mogelijk maakt.

De ervaring met het gebruik van alternatieven met een lagere milieu-impact bij veel architecten, ingenieurs en aannemers is dus nog gering. Daarom zal in deze masterscriptie gezocht worden naar alternatieve materialen of elementen voor deze conventionele materialen om de milieu-impact van de woningen te verlagen. Hierbij wordt de praktische haalbaarheid van deze alternatieven onderzocht, rekening houdend met kostprijs, draagvermogen, thermische isolatie, brandveiligheid en akoestiek.

De onderzoeksvraag die met dit onderzoek zal beantwoord worden, luidt dan ook als volgt:

Wat zijn bij hedendaagse Vlaamse woningen de alternatieven, op elementniveau, voor standaard gebouwelementen op basis van de milieu-impact. Op welke manier kan deze milieu-impact op een haalbare manier verlaagd worden rekening houdend met kostprijs, draagvermogen, thermische isolatie, brandveiligheid en akoestiek?

1.3 Doelstellingen

In eerste instantie wordt in deze scriptie onderzocht welke materialen en/of elementen de hoogste milieu-impact hebben in de 22 Vlaamse woningen (die ook gebruikt werden in het onderzoek naar de materiaalhoeveelheden, [3]) in hun huidige toestand.

Daarna wordt er gezocht naar alternatieven voor deze materialen/elementen die beter scoren op vlak van hun milieu-impact. Hiervoor zal gebruik gemaakt worden van beschikbare databanken en methodieken met data over de milieu-impact, zoals de milieuprofielendatabank die opgesteld werd in het kader van de ontwikkeling van de MMG-bepalingsmethode in België (o.a. door de OVAM) en van de Nederlandse NIBE-classificatie [4].

Vervolgens wordt de praktische haalbaarheid van deze verbeteringen onderzocht op basis van kostprijs, beschikbaarheid, uitvoeringstechnieken,... In eerste instantie zal dit gebeuren door een kritische evaluatie op basis van beschikbare informatie in de literatuur. Daarnaast wordt ook de visie van enkele aannemers en architecten bevraagd om zo een terugkoppeling te maken met de praktijk. Deze personen gaven hun bedenkingen omtrent de effectieve realiseerbaarheid van deze alternatieven.

1.4 Materiaal en methode

Aanvankelijk wordt er kennis vergaard door een literatuurstudie omtrent het toenemend belang van de milieu-impact van een gebouw, de context en principes van milieuprestatieberekeningen en de bestaande databanken die milieuprofielen van materialen en elementen ter beschikking stellen.

Voor het verder uitvoeren van dit scriptie-onderzoek worden er, zoals eerder beschreven, 22 concrete Vlaamse woningen met plannen, meetstaten en reeds uitgerekende materiaalhoeveelheden gebruikt. In eerste instantie zal op basis van deze cases bepaald worden welke de standaardoplossingen zijn die vaak door architecten, ingenieurs en aannemers worden gebruikt en wat hun milieu-impactscore is. Bij het onderzoek naar verbeteringen van de milieu-impact wordt er op de eerste plaats gebruik gemaakt van de MMG-bepalingsmethode en de milieuprofielendatabank met 115 gebouwelementen die courant voorkomen op de Vlaams-Belgische bouwmarkt. Er bestaan databanken uit andere landen zoals de NIBE-classificatie uit Nederland, welke kunnen geraadpleegd worden voor onderdelen waarvoor nog geen MMG-elementen beschikbaar zijn. Hierbij zullen steeds de technische uitvoerbaarheid, beschikbaarheid van de materialen, kostprijs, draagvermogen, thermische isolatie, brandveiligheid en akoestiek mee in acht genomen worden.

Na het onderzoek van de mogelijke alternatieven ter verbetering van de milieu-impact, zal de praktische haalbaarheid ervan afgetoetst worden per onderzocht bouwtype (beton-, houtskelet- en staalstructuur en massiefbouw). Het aftoetsen gebeurt per bouwtype en dit bij één tot twee architecten, één stabiliteitsingenieur, één aannemer en één dakdekker.

De interviews dienen een zicht te geven op hoe materiaalkeuzes gemaakt worden en of er bij die keuzes rekening gehouden wordt met hun impact op het milieu. Bij de architecten zal er hoofdzakelijk gefocust worden op het visuele ontwerp. Bij de stabiliteitsingenieur zal de focus liggen op de structurele materiaalkeuzes. Zowel aannemer als dakdekker zullen bevroegd worden op het vlak van praktische materiaalkeuzes m.b.t. de verwerkbaarheid ervan.

2 Literatuurstudie

2.1 Duurzaamheid

2.1.1 Algemene duurzaamheid

In eerste instantie is het noodzakelijk om het begrip duurzaamheid te kaderen.

In de Nederlandse taal heb je twee mogelijke interpretaties van het woord duurzaam.

In een eerste betekenis van het woord betekent dit het lang meegaan van iets, bijvoorbeeld een betonnen bunker. In het Engels wordt het woord in deze betekenis omschreven als 'durable'.

In de loop der jaren werd er meer en meer milieubewust nagedacht en kreeg het woord duurzaam een tweede betekenis. Deze betekenis definieert een materiaal als duurzaam wanneer het uit nagroeibare materialen geproduceerd wordt met een zo laag mogelijk energieverbruik en het tevens na zijn levensduur meteen te hergebruiken of te composteren is. Dit proces kan tevens constant worden toegepast omdat het de aarde niet uitput. Het Engelse woord hiervoor is 'sustainable'. [5]

Op basis van deze tweede betekenis kunnen we de term duurzame ontwikkeling omschrijven als "een ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen" [6].

In dit scriptie-onderzoek naar de milieu-impact van bouwmaterialen zal de term "duurzaam" eerder gebruikt worden in de betekenis van 'sustainable' dan 'durable'. Hier zal de focus liggen op het ecologische aspect, maar ook enkele economische aspecten, zoals de kosten, en sociale aspecten, zoals de hanteerbaarheid van het materiaal en impact op de gezondheid zullen bestudeerd worden.

2.1.2 Duurzaamheid in de bouwsector

In de bouwsector werd duurzaamheid tot hiertoe vooral geïnterpreteerd als de energieprestatie van gebouwen. Hieronder wordt vooral het verbruik van energie voor verwarming, warm water en huishouden (tijdens de gebruiksfase van het gebouw) verstaan. Om de duurzaamheid van woningen te verhogen worden ze steeds meer voorzien van isolatie en energiezuinige installaties die het energieverbruik en de uitstoot van (voornamelijk) broeikasgassen zo laag mogelijk moeten houden. Hierbij werd echter nog niet veel aandacht besteed aan de milieu-impact die bouwmaterialen hebben.

Omdat na optimalisatie van het energieverbruik in woningen de duurzaamheid van het gebouw nog beter kan, krijgt het werken met bouwmaterialen met een lage milieu-impact steeds meer aandacht. Om ervoor te zorgen dat aannemers en architecten in de praktijk gebruik maken van deze materialen zijn er in België en Nederland reeds enkele vrijwillige initiatieven en wettelijke verplichtingen omtrent de bepaling van de milieu-impact van bouwmaterialen en hele gebouwen ontstaan. Voorbeelden hiervan zijn: de invoering van het Belgische Koninklijk Besluit omtrent milieuverklaringen op bouwproducten die voortaan in Energie Prestatie Data oftewel

EPD-format moeten worden aangeboden en de invoering van de milieuprestatieberekening in Nederland [7], [8]. Er zijn nog steeds ontwikkelingen aan de gang: het opstellen van de federale databank met EPD's en de ontwikkeling van de Milieugerelateerde Materiaalprestaties van Gebouwelementen oftewel MMG-methodiek in België [9], [10].

2.2 Milieu-impact van materialen en gebouwen

2.2.1 Levenscyclusanalyse

Een levenscyclusanalyse oftewel LCA is een methode die men gebruikt om de totale milieu-impact te bepalen over de volledige levensduur van een bouwproduct, gebouwelement of volledig gebouw. De analyse omvat onder andere de energie en de benodigde grondstoffen die gebruikt worden voor de winning of ontwikkeling en productie van de bouwmaterialen alsook het transport en de levensduur tot het levenseinde van het product zoals recycling, storting of verbranding [11].

De vier fases van de levenscyclus van een bouw materiaal zijn de productiefase, bouw fase, gebruiksfase en levens-einde-fase.

Volgens ISO-normen 14010 en 14044 moeten er vier stappen ondernomen worden tijdens een LCA [12], [13]. Deze zijn de doelbepaling en reikwijdte, inventarisatie, impact-analyse en interpretatie en worden als volgt gedefinieerd [11]:

2.2.1.1 Doel en reikwijdte

Onder het doel verstaat men de precieze vraagstelling, de doelgroep en een beschrijving van hetgeen men wenst te doen met de resultaten komende uit de LCA.

Onder de reikwijdte verstaat men een omschrijving van het systeem en zijn grenzen, de eisen m.b.t. nauwkeurigheid van de gebruikte gegevens en het technologische en geografische bereik.

Een voorbeeld van een reikwijdte is een oplijsting van belangrijke on- en off-site bouwactiviteiten van een project met een houtskeletbouw of staalskeletbouw, zoals het verbruik van grondstoffen of de materiaalproductie van het bouwproject. Als laatste worden in de systeembeschrijving de producten beschreven o.b.v. functie, basiselementen, functionele eenheid en systeemgrenzen.

2.2.1.1.1 Functionele eenheid

De functionele eenheid definieert de manier waarop het te analyseren product zijn functie uitoefent en de eigenschappen hiervan. Dit doet dienst als referentie-eenheid voor de bepaling van de milieu-impact zodat men verschillende producten met mekaar kan vergelijken. Hierbij speelt de voorziene levensduur een belangrijke rol.

Bij een bodemsaneringsproject is het bodemsaneringsvolume bijvoorbeeld 700 m^3 , waarbij 98 % van de vuilvracht verwijderd dient te worden. Het saneringsdoel is zodanig gekozen dat uitloging naar het diepere grondwater zo beperkt is, dat de gevraagde grondwaternorm van $1 \mu\text{g/l}$ voor gechloreerde ethenen niet overschreden kan worden [14].

2.2.1.1.2 Systeemgrenzen

Deze hebben een belangrijke rol binnen LCA studies. Ze zijn nodig om het systeem als het ware af te bakenen. Ze bepalen welke fases van een analyse in beschouwing worden genomen en welke niet.

In een LCA studie kan bijvoorbeeld worden geopteerd om geen systeemgrenzen m.b.t. het aspect tijd op te nemen. De tijd is 'onbeperkt' met als doel zowel de impact op korte als op lange termijn mee te nemen in de inventarisatie en impactbepaling [14].

2.2.1.2 Inventarisatie

In de tweede stap (inventarisatiefase) binnen een LCA-studie worden van het productsysteem alle detailgegevens verzameld die invloed hebben op het milieu. Hoe beter de verzameling van deze gegevens, hoe betrouwbaarder de LCA resultaten.

Een voorbeeld van inventarisatie is het verzamelen van een aantal basiselementen met betrekking tot energie- en materiaalverbruik voor de verschillende bouwvarianten, houtskeletbouw en staalskeletbouw, op basis van gegevens bekomen via bouwdeskundigen, aannemers en fabrikanten betrokken bij het bouwproces. Andere inventarisatiegegevens (productie van staal, elektriciteit, vrachtwagentransport, enz.) zijn gebaseerd op gemiddelde technologische gegevens van de Ecoinvent database versie 2.0 [14].

2.2.1.3 Impactbepaling

De derde stap wordt uitgevoerd o.b.v. de tweede en wordt de impactbepaling of impactanalyse (LCIA) genoemd. De verkregen informatie uit de inventarisatiefase wordt verwerkt en omgezet in termen van milieueffecten. Doordat de hoeveelheid aan informatie vaak erg groot is, is een besluit hieruit trekken ook erg moeilijk. Daarom wordt een bepaalde score berekend voor bepaalde milieueffecten die het interpreteren van de resultaten een stuk duidelijker maakt. Deze berekening wordt a.d.h.v. wetenschappelijke milieu-informatie over het gedrag van bepaalde stoffen van het product gedaan. Om bijvoorbeeld de invloed van emissies op het broeikaseffect te berekenen wordt gebruik gemaakt van de gegevens van het Intergovernmental Panel on Climate Change. Voor de uitputting van minerale grondstoffen en fossiele brandstoffen wordt het verbruik gerelateerd aan de geraamde wereldvoorraad [14].

In een LCA studie kan de impactbepaling van bijvoorbeeld de effecten op de ademhaling geassocieerd met fijn stof en anorganische stoffen (NO_x, SO₂ en NH₃) worden beoordeeld. De LCA resultaten worden genormaliseerd tegen de achtergrondeffecten van een gegeven gemeenschap en worden uitgedrukt in 'persoon equivalenten'. De toegepaste normalisering hanteert als referentie-informatie de jaarlijkse effecten van een gemiddelde Europeaan in 2004 voor regionale/mondiale effecten [14].

2.2.1.4 Interpretatie

In de vierde en laatste fase (interpretatiefase) wordt de vraag uit de eerste stap beantwoord o.b.v. resultaten uit voorgaande fasen. Deze resultaten worden

geëvalueerd en hieruit trekt men weer conclusies die kunnen leiden tot nieuwe vragen. Dit gebeurt in drie stappen: analyse van de resultaten, nazicht op consistentie en volledigheid, het uiteindelijke besluit en bijhorende verslag van het onderzoek.

Er zijn toepassingsmogelijkheden van LCA op bouwproducten-, gebouwelementen- en gebouwniveau alsook toepassingen van milieudata (die verkregen zijn op basis van LCA) in certificatiesystemen voor duurzaam bouwen. Voorbeelden van toepassingen op gebouwelementen- en gebouwniveau zijn respectievelijk Green Guide to Specification (Groot Brittannië) en Elodie (Frankrijk) [15], [16]. Voorbeelden van toepassingen van milieu-data op basis van LCA in certificatiesystemen zijn gegeven in: BREEAM (Groot Brittannië) en DGNB (Duitsland) [17].

2.2.2 Milieulabels en milieuverklaringen

2.2.2.1 Type I: milieuverklaringen of milieulabels

Type I milieuverklaringen of milieulabels zijn op vrijwillige basis toegekend door overheidsinstanties of private, niet-commerciële organisaties. Het doel hiervan is om bewijs te leveren dat een product, binnen zijn categorie, beter is voor het leefmilieu in vergelijking met andere producten binnen diezelfde categorie. Een voorbeeld hiervoor is een televisie van het ene merk die men op deze manier kan vergelijken met een televisie van een ander merk.

Positief aan milieuverklaringen of milieulabels is dat ze doorgaans betrouwbaar zijn en op een eenvoudige manier de milieuprestatie van een product kunnen weergeven.

Een nadeel is dat het voor een groot aantal producten en diensten niet mogelijk is om dit label te verkrijgen, omdat er nog geen milieucriteria bestaan waaraan deze producten dienen te voldoen.

Als men in Nederland een oordeel wil over de milieubelasting van een bouwproduct, is men aangewezen op het DUBOkeur label. Het DUBOkeur label is speciaal voor de bouw in Nederland ontwikkeld. "Dit label geeft een certificaat af wanneer het betreffende product, in vergelijking met andere producten in dezelfde toepassing, een geringe milieubelasting scoort" [18]. Andere gekende labels zijn het Europees Ecolabel, NaturePlus, Cradle to Cradle, Der Blaue Engel, Nordic Swan, FSC en PEFC [19].

2.2.2.2 Type II: milieuverklaringen of eigenverklaringen

Type II milieuverklaringen of eigenverklaringen worden enkel toegekend door de producent of verdeler van het product zelf [11]. Dit is niet echt geloofwaardig omdat deze zich slechts focussen op één bepaald milieuaspect, zoals: de lange levensduur van het product, de recycleerbaarheid ... Zo wordt bij gerecycleerde producten bijvoorbeeld steeds de Mobius loop (zie Figuur 1) gebruikt [20].



Figuur 1. Mobius loop [20]

2.2.2.3 Type III: milieuverklaringen of Environmental Product Declarations (EPD)

Type III milieuverklaringen of EPD's bevatten gedetailleerde, kwantitatieve en gecertificeerde informatie over de milieu- en gezondheidsaspecten op basis van de levenscyclusanalyse, geleverd door de producent of verdeler op vrijwillige basis [11].

Een positief aspect van dit type milieuverklaring is dat het enkel info geeft en geen oordeel velt.

Een nadeel is dat het zeer uitgebreide milieu en gezondheidsinfo geeft dat veel tijd en werk kost omdat het volledig gebaseerd is op de levenscyclusanalyse. Daardoor is het vaak enkel door vakkundigen te begrijpen. Tevens zijn er EPD-databanken die van elkaar verschillen omwille van een andere nadruk op bepaalde eisen. Hierdoor is het tot op heden moeilijk om deze resultaten met elkaar te vergelijken. Voorbeelden van dergelijke EPD-databanken zijn: INIES (Frankrijk), MRPI (Nederland), Environmental Profiles, Environmental Product Declarations (Groot Brittannië) en IBU Umwelt-Deklarationen (Duitsland) [16], [21], [22], [23].

2.2.2.3.1 EPD-databank in België

Ook in België is men bezig met het opstellen van een EPD databank [9]. Producenten kunnen hier hun product registreren nadat ze er een levenscyclusanalyse op hebben uitgevoerd en deze hebben laten verifiëren zodat deze analyse in overeenstemming is met de Belgische norm. Aan de hand van deze uitgebreide informatie kan er door de producent ook nagegaan worden waar er verbeteringen kunnen worden aangebracht in het productieproces van hun product.

De databank is, vanaf het moment deze online verschijnt, raadpleegbaar door iedereen. Maar, zoals reeds eerder aangehaald, is dit soort informatie voornamelijk gericht op mensen met kennis ter zake en niet zozeer op architecten en aannemers. Specialisten kunnen gebruik maken van de databank om nieuwe en reeds gebruikte producten met elkaar te gaan vergelijken op basis van hun milieu-impact.

Deze EPD's zullen op middellange termijn gebruikt worden in de MMG-tool voor milieu-impactbeoordeling op gebouwniveau en op lange termijn op wijkniveau [24].

2.2.3 Technische normering en reglementering

Om bouwprofessionelen bewust te maken van de technische aspecten bij de keuze van materialen, bestaan er wettelijke verplichtingen of reglementering en vrijwillige initiatieven onder de vorm van certificatie en labels. Dit zijn echter technische product labels, die niets zeggen over de "duurzaamheid" van de producten, maar waarmee doorgaans wel veel rekening wordt gehouden, bijvoorbeeld door de aannemer.

2.2.3.1 Reglementering

De Europese Bouwproductenrichtlijn (BPR) stelt de volgende zeven eisen voor bouwwerken [11]:

- Eis 1: mechanische weerstand en stabiliteit;
- Eis 2: brandveiligheid;
- Eis 3: hygiëne, gezondheid en milieu;
- Eis 4: gebruiksveiligheid, veiligheid en toegankelijkheid bij gebruik;
- Eis 5: bescherming tegen geluidshinder;
- Eis 6: energiebesparing en warmtebehoud;
- Eis 7: duurzaam gebruik van natuurlijke hulpbronnen.

Daaropvolgend onderscheidt de bouwproductenrichtlijn twee groepen van Europese geharmoniseerde Technische Specificaties, namelijk de Europese geharmoniseerde normen en de Europese technische goedkeuringen [11].

Vervolgens bewijst de CE-markering dat het bouwproduct conform de BPR is. Dit via attesteringssystemen 1+, 1, 2+, 2, 3 en 4.

Uiteindelijk zijn er nog vrijwillige initiatieven waarvoor het binnen België over twee conformiteitsmerken gaat, namelijk het BENOR-keurmerk en de Technische Goedkeuring of ATG. Hierbij wijst het BENOR-keurmerk op "de conformiteit van een bouwproduct met een Belgische Norm (NBN) inzake technische kwaliteit of met een Technisch Voorschrift (PTV)" [11, p. 11].

"De Technische Goedkeuring of ATG attesteert de gebruiksgeschiktheid van één specifiek bouwproduct van één fabrikant voor een welbepaalde toepassing" [11, p. 11].

2.3 Stand van zaken België

2.3.1 Achtergrond

In België zijn, voor woningen gebouwd voor 2001, de bouwmaterialen over de gehele levenscyclus verantwoordelijk voor ongeveer 10 tot 30 percent van de externe milieukosten. Een externe milieukost is de veroorzaakte schade voor mens en milieu die niet wordt betaald. Doordat er bij de hedendaagse woningen, zowel bij nieuwbouw als renovaties, steeds meer gestreefd wordt naar een laag energieverbruik en passief wonen, zal het percentage van deze externe milieukosten door bouwmaterialen alleen maar stijgen [4]. Daarom is het noodzakelijk dat er meer milieubewust omgegaan wordt met het kiezen van bouwmaterialen. Maar er zijn enkele belangrijke problemen die moeten overwonnen

worden vooraleer men kan komen tot deze milieubewuste materiaalkeuze. Bij het kiezen van deze bouwmaterialen spelen voornamelijk de architect, de bouwheer en de aannemer een belangrijke rol (in deze masterscriptie wordt verder vooral ingegaan op de rol van de aannemer, de ingenieur en de architect). Aannemers, ingenieurs en architecten zijn zich vaak niet bewust van de milieu-impact van de materiaalkeuzes die ze maken tijdens het ontwerp- en bouwproces. Ze kiezen materialen eerder uit gewoonte en zijn zich vaak niet bewust van het bestaan van alternatieve materialen met een betere milieuscore.

Een ander probleem is dat, indien men vandaag milieubewuster wil werken, men beroep moet doen op buitenlandse beoordelingssystemen zoals het Britse Green Guide to Specification of het Nederlandse NIBE-classificatiesysteem. Deze zijn echter vaak niet conform aan onze manieren van bouwen. Daarom heeft de Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM) besloten om de bouwmaterialenmethodiek op basis van MMG te ontwikkelen die strookt met de Belgische bouwwereld. Deze bouwmaterialenmethodiek, die de milieu-impact van gebouwelementen beoordeelt, kan architecten vanaf de beginfase van een project ondersteunen om een betere materiaalkeuze te maken vanuit milieuoogpunt.

Voor de ontwikkeling van de MMG-bepalingsmethode is er breed overleg geweest tussen de bouwsector en verschillende overheidsadministraties. Om een correcte en in België toepasbare bepalingmethode te creëren, is er aan verschillende experts uit de bouwmaterialensector, bouwmaterialproducenten, architectenorganisaties, adviseurs in duurzaam bouwen en materiaalbeheer, alsook experts vanuit de Vlaamse, Brusselse, Waalse en federale overheidsadministraties gevraagd naar hun visie over de MMG-methodologie [10]. De MMG-bepalingmethode wordt gekenmerkt door een integrale aanpak, modulaire opbouw en mogelijkheid tot uitbreiding en aanpassing [4].

Een opsomming van de 115 gebouwelementen en hun bijhorende geaggregeerde milieukost uit de MMG-databank wordt weergegeven in Bijlage A: MMG milieuprofiel van gebouwelementen.

2.3.2 Methodologie

Het is noodzakelijk dat er een transparant methodologisch kader is wat betreft de berekeningen en communicatie omtrent milieu gerelateerde materiaalprestaties van gebouwen en gebouwelementen [4]. Daarom werd de bepalingmethode van het MMG-rekenmodel ontwikkeld in lijn met de Europese normen voor milieuevaluatie van gebouwen en bouwmaterialen, namelijk de EN 15978 en de EN 15804+A1 [25], [26].

2.3.2.1 Doel en reikwijdte

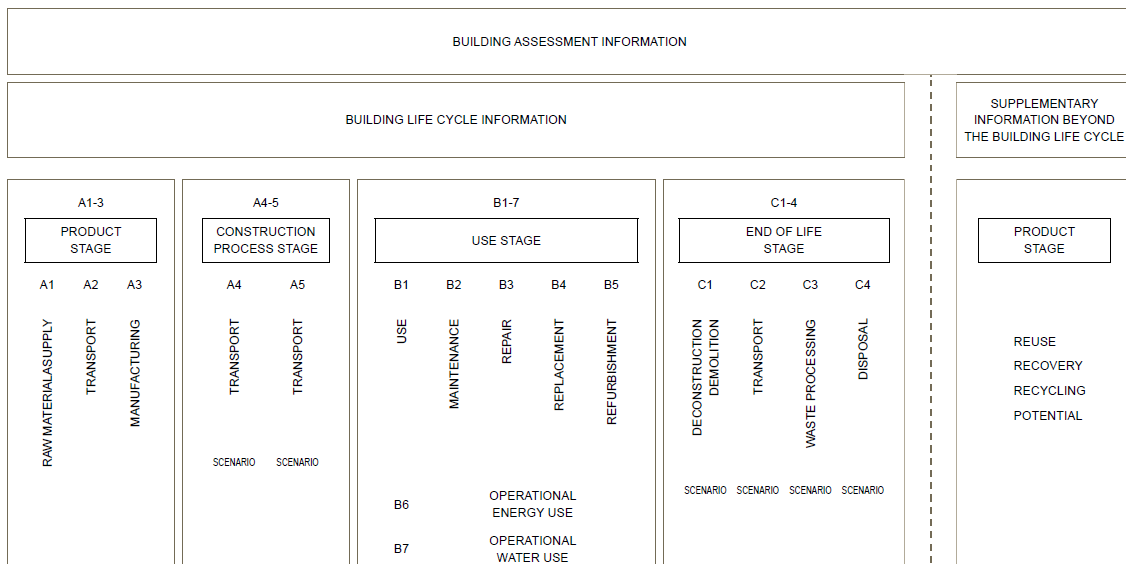
Het aanvankelijke doel van het MMG-rekenmodel is het berekenen van de milieu-impact op elementniveau. In eerste instantie werd de milieu-impact van een 115-tal gebouwelementen berekend, om zo een beter inzicht in de milieu gerelateerde materiaalprestatie te verkrijgen [4]. Deze milieu gerelateerde materiaalprestatie is louter op de Belgische context gebaseerd en bekijkt de volledige levenscyclus van het gebouwelement. De OVAM geeft wel mee dat het in de huidige MMG-bepalingmethode potentieel ziet waarin het gebruik van de "elementmethode" als

een eerste stap moet gezien worden naar een mogelijk latere uitbreiding op gebouwniveau [4]. Deze ontwikkelingen op gebouwniveau zijn dan ook volop aan de gang.

Als functionele eenheid wordt doorgaans 1 m² van het element gebruikt. Een voordeel van deze berekening op elementniveau is dat men zich kan concentreren op een enkel bouwelement, zonder het volledige gebouw te moeten ontwerpen. Een nadeel is wel dat de situatie waarbij bepaalde bouwelementen invloed hebben op andere niet in rekening wordt gebracht in het rekenmodel. Dit zou in een berekening op gebouwniveau moeten behandeld worden.

In het MMG-rekenmodel wordt de beschouwde levensduur van de bouwelementen gestandaardiseerd op 60 jaar. De achtergrond van deze 60 jaar ligt bij de veronderstelling dat na 60 jaar een gebouw zodanig is gerenoveerd dat er weinig van de originele bouwmaterialen overblijven buiten de draagstructuur [10]. In deze context krijgen niet-dragende elementen en afwerkingsmaterialen een kortere levensduur toegekend (waardoor vervangingen tijdens de levensduur van het gebouw nodig gaan zijn).

De levenscyclus van een gebouw wordt in de Europese normen, EN 15978 en EN 15804, onderverdeeld in een aantal fasen of modules met welbepaalde grenzen, zoals in Figuur 2 wordt weergegeven. Hier wordt als vuistregel gehanteerd dat een impact wordt toegekend aan de fase waarin deze impact plaatsvindt. Omwille van onduidelijkheden, tegenstellingen in de normen of afwijkingen door praktische redenen wordt er in de MMG-bepalingsmethode een eigen interpretatie gegeven aan de grenzen van deze fasen [4]. Hieronder volgt een overzicht van de beschouwde levenscyclusfasen in de MMG-methodiek.



Figuur 2. Overzicht van de beschouwde levenscyclusfasen en systeemgrenzen binnen de Europese norm EN 15976:2011 [4]

In de MMG-methodiek worden de vijf beschouwde levenscyclusfasen uit Figuur 2 omschreven als volgt [4]:

2.3.2.1.1 Productfase

De productfase behandelt zowel de productie, maar ook de afvalverwerking van de verpakkingen van de gebouwelementen.

Scenario's aangaande de productfase behandelen de productie van materialen aan de hand van processen die representatief zijn voor West-Europa [10]. Voor specifieke productieprocessen, zoals die van de blauwe hardsteen of hout, waarbij import een belangrijk onderdeel is, is een transportsценario opgesteld. De productdata van beton zijn echter aangepast aan de Belgische praktijk waarbij de CEM I van het standaard Ecoinvent-proces vervangen is door 10 % CEM III B en 55 % CEM III A.

2.3.2.1.2 Bouwfase

De bouwfase houdt rekening met het transport van het materiaal, en niet het materieel, en het bouwproces met de nadruk op het bouwafval en in mindere mate de bouwactiviteit. Ook met de impact van de kapitaalgoederen wordt in deze fase rekening gehouden.

Scenario's aangaande de bouwfase behandelen zowel het transport van de materialen, de beladingsgraad als het materiaalverlies. De transportafstand van de fabriek naar de werf, waarbij de gemiddelde transportafstanden arbitrair gekozen worden, is afhankelijk van de afstand van de werf tot Brussel [10]. Voor de belading van het transport worden de gemiddelde Europese beladingsgraden gehanteerd. Bij het materiaalverlies tijdens bouwfase wordt een standaard van 5 % gebruikt.

2.3.2.1.3 Gebruiksfase

De gebruiksfase gaat over het energieverbruik, met beperkte invloed van de verwarming. Deze fase neemt geen renovatie in acht, wel vervangingen. Vervangingen volgens de MMG-methode zijn nodig wanneer de levensduur van de bouwmaterialen korter is dan 60 jaar.

Het aantal vervangingen hangt af van hoe lang een bouw materiaal vooropgesteld wordt mee te gaan: het aantal keer dat men deze waarde in 60 kan passen min 1, is het aantal vervangingen van het bouw materiaal die nodig zullen zijn tijdens de levensduur van het gebouw. Bij gevallen waarbij men geen geheel getal uitkomt is een interpretatie van de waarde nodig. Er wordt naar boven afgerond indien een vervanging nodig is om de leefbaarheid binnen het gebouw te garanderen. Naar beneden wordt er afgerond als de vervanging niet meer nodig is omdat het gebouw reeds te oud is.

Scenario's voor energieverbruik tijdens de gebruiksfase houden enkel rekening met transmissieverliezen van de gebouwelementen. Deze worden berekend met de equivalente-graaddagen-methode [10]. In latere instantie is het wel de bedoeling om een volwaardige link met de energieprestatieberekening te bekomen.

2.3.2.1.4 Einde-levensduur-fase

De einde-levensduur-fase bestaat uit de afvalverbranding met energierecuperatie volgens type A of B, waarbij type A niet en type B wel voldoet aan de criteria voor verbranding met energierecuperatie.

Bij type A wordt de impact van het verbrandingsproces volledig toegekend aan het

gebouw of gebouwelement of het verwerkt materiaal. De energie die geproduceerd wordt door de afvalverbrandingsovens is dus gratis in termen van milieu-impact. Voor type B valt de impact van het verbrandingsproces buiten de systeemgrenzen en wordt de milieu-impact van de geproduceerde energie niet toegekend aan het gebouw of gebouwelement.

Scenario's aangaande de einde-levensduur-fase van bouwmaterialen omvatten ontmanteling en afbraak, waarbij de handmatige en niet-destructieve manier niet is meegerekend. Wel meegerekend is het transport en eindverwerking van het bouw- en sloopafval. Dit afval gaat naar een sorteerplaats waar de berekening stopt. Verder wordt het transport van bouw- en sloopafval berekend aan de hand van de Nederlandse norm: NEN 8006 (2004) [10]. Hieruit worden gemiddelde waardes aangenomen. De eindverwerking van het bouw- en sloopafval geeft waardes die afgeleid zijn uit de Nederlandse norm, NEN 8006 (2004), en eigen inzichten van de OVAM.

De vijfde fase (potentieel voor hergebruik, herstel en recycling) behandelt aanvullende informatie die zich buiten de gebouwlevenscyclus bevindt. Deze wordt niet meegerekend omdat dit buiten de systeemgrenzen van het gebouw valt. Er wordt wel onderzocht hoe deze laatste fase in de toekomst toch kan toegevoegd worden aan de berekening.

2.3.2.2 Inventarisatie

Het belang van de milieu-impact van gebouwelementen wordt op basis van de resultaten van de levenscyclus-inventarisanalyse geëvalueerd. Omwille van een gebrek aan Belgische productdata is voor de verzameling van data van goede kwaliteit en uit goede bronnen voor de MMG-bepalingsmethode gebruik gemaakt van de Zwitserse Ecoinvent database versie 2.2 [4]. Deze zijn wel aangepast aan de Belgische context (vb. transportafstanden) en worden geüpdatet naar de Ecoinvent 3.0.

2.3.2.3 Impactanalyse

Voor de levenscyclus-impactbeoordeling worden de inventarisatiegegevens geassocieerd met de specifieke milieu-impact. De globale milieu-impact van een gebouwelement wordt vervolgens weergegeven aan de hand van een milieuprofiel. Naast enkelvoudige milieu-impactscores wordt, op vraag van de OVAM, de milieubelasting ook via een geaggregeerde score gecommuniceerd door middel van monetarisatie [4]. Monetarisatie houdt in dat er een milieukost wordt gegeven aan een gebouwelement: "Deze euro's drukken de milieuschade uit die niet in de prijs verrekend zit, maar die afgewenteld wordt naar de maatschappij door bijvoorbeeld ziekte en schade aan biodiversiteit. Deze milieukosten kunnen vervolgens vergeleken worden met de respectievelijke financiële kosten" [4, p. 35].

2.3.2.3.1 Individuele milieu-impactscore

De bepaling van de enkelvoudige milieu-impactscores wordt op basis van milieu-indicatoren gedaan. Deze milieu-indicatoren zijn volgens hun impactcategorie weergegeven in Tabel 1 [4].

Tabel 1. Milieu-indicatoren volgens de CEN en CEN+ impactcategorie met inbegrip van de eenheden voor de individuele milieuscores [4]

CEN [eenheid]	CEN+ [eenheid]
<ul style="list-style-type: none"> • Klimaatsverandering [kg CO₂ eq.] • Ozonaantasting [kg CFC-11 eq.] • Verzuring van bodem en waterbronnen [kg SO₂ eq.] • Vermesting [kg (PO₄)³ eq.] • Fotochemische oxidantenvorming [kg etheen eq.] • Uitputting van niet-fossiele grondstoffen [kg Sb eq.] • Uitputting van fossiele grondstoffen [kg Sb eq.] 	<ul style="list-style-type: none"> • Menselijke toxiciteit: kanker en niet-kankereffecten [DALY = disability-adjusted life year] • Fijnstofvorming [DALY] • Ioniserende stralingseffecten op mens [DALY] • Ecotoxiciteit: aardse, zoetwater, mariene [kg 1,4 DB eq.] • Landgebruik - bezetting: bos- en landbouw, urbaan [species x year] • Landgebruik - omvorming natuur en tropisch regenwoud [species x year] • Waterschaarste [m³ waterverbruik]

Alle milieu-impactcategorieën die opgenomen zijn door de werkgroep CEN TC 350, zijn meegenomen in de MMG-bepalingsmethode [4]. Dit wordt de CEN set van milieu-indicatoren genoemd. Aanvullend worden een aantal bijkomende milieu-indicatoren geanalyseerd en gerapporteerd binnen de MMG-bepalingsmethode. Deze hebben de CEN+ set van bijkomende milieu-indicatoren als naam en worden als belangrijke toevoeging gezien voor het Vlaams-Belgisch milieubeleid.

2.3.2.3.2 Geaggregeerde milieuscore

Vele individuele milieu-impactscores vormen zelden een goede basis om een eenduidige beslissing te nemen over de milieuscore. Daarom wordt er ook een geaggregeerde milieuscore gegeven bij het milieuprofiel van een gebouwelement. Hiervoor wordt er een weging gemaakt via monetarisatie.

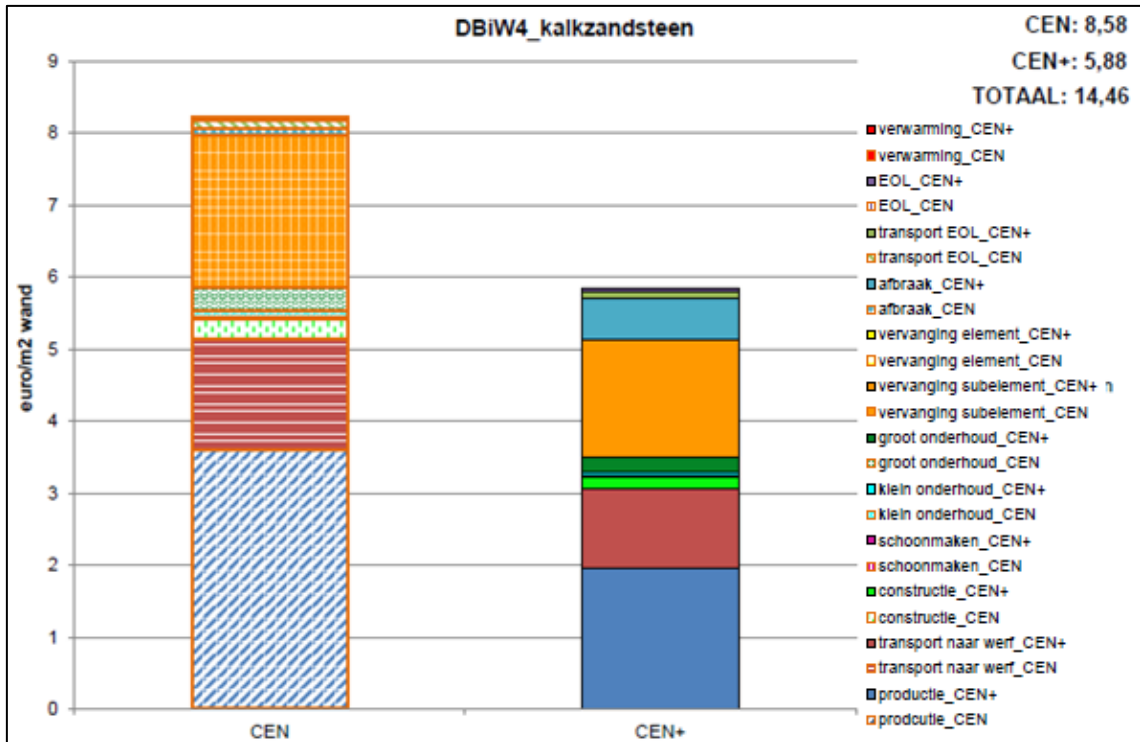
2.3.2.4 Interpretatie

In onderstaand voorbeeld 'Kalkzandsteen' wordt een milieuscore, van een dragende binnenwand bestaande uit kalkzandsteen met bepleistering en verf aan beide kanten, bekomen van 14,46 euro per m² binnenwand. Een beschrijving van de binnenwand wordt gegeven in Tabel 2. Verdere informatie over het bekomen van het geaggregeerde milieu-profiel wordt gegeven in Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5.

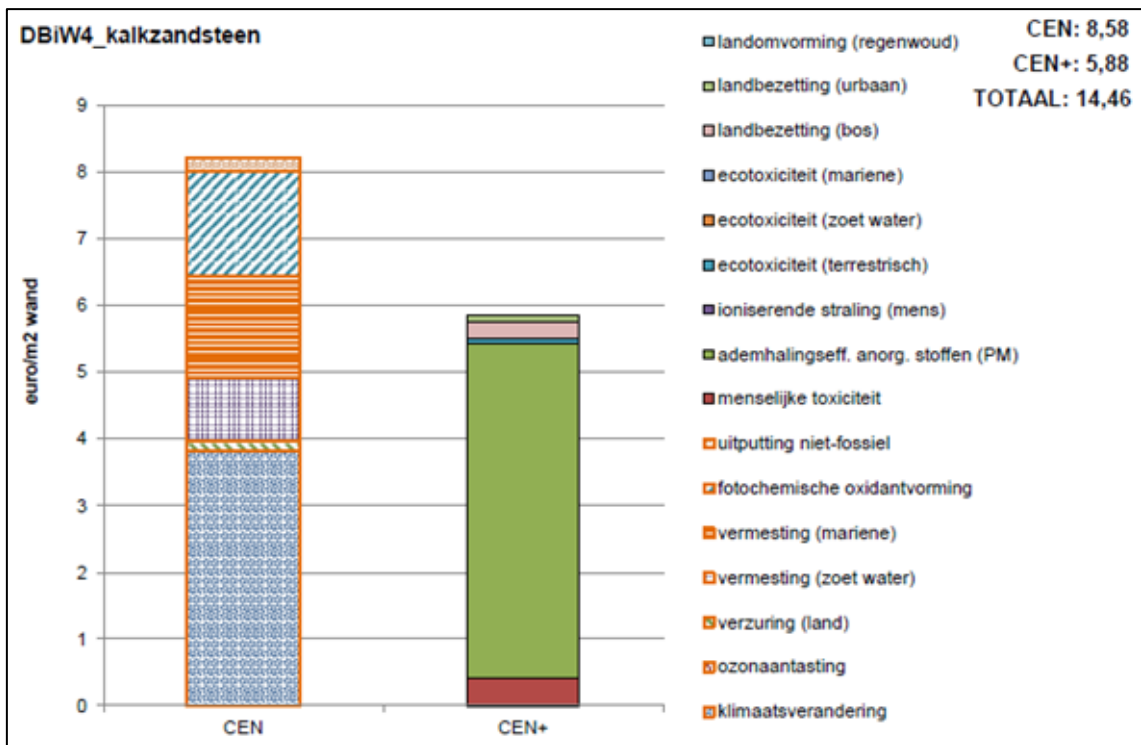
2.3.2.4.1 Kalkzandsteen

Tabel 2. Overzicht van de gedetailleerde samenstelling van variant 'DBiW4_kalkzandsteen' [27]

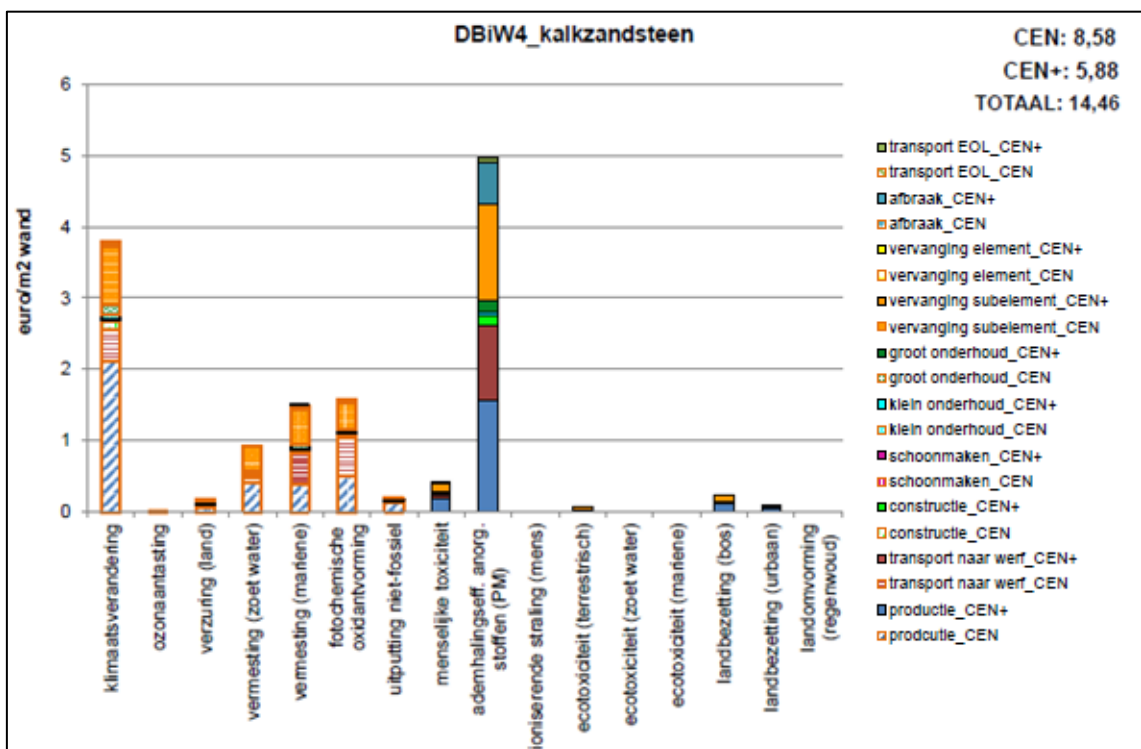
Beschrijving	eh	KO	GO	VV	Type VV	Ratio	d (m)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)
DBiW4_kalkzandsteen									
Internal wall - loadbearing - primary part - blocks/stones - sand-lime brick - hollow - (300x150x150), glued	m²			120	noodzakelijk	1	0,15	0,520	0,290
Wall finishes, internal - plaster - gypsum on brickwork - with machine (for paint or wall paper)	m²	5	10	40	esthetisch	2	0,01	0,520	0,020
Wall finishes, internal - treatment of closing sub-element - painting on gypsum plaster - acrylic paint	m²		5	10	esthetisch	2		nvt	



Figuur 3. Geaggregeerd milieu-profiel (opgesplitst in CEN en CEN+) van variant 'DBiW4_kalkzandsteen' per levenscyclusfase, uitgedrukt in monetaire eenheden [27]



Figuur 4. Geaggregeerd milieu-profiel (opgesplitst in CEN en CEN+) van variant 'DBiW4_kalkzandsteen' per milieu-indicator, uitgedrukt in monetaire eenheden [27]



Figuur 5. Geaggregeerd milieu-profiel (opgesplitst in CEN en CEN+) van variant 'DBiW4_kalkzandsteen' per levenscyclusfase en per individuele milieu-indicator, uitgedrukt in monetaire eenheden [27]

2.4 Stand van zaken Nederland

2.4.1 Achtergrond

In Nederland was men al bezig met de milieuprofielen van bouwmaterialen voor de invoer van de CEN-normen. Omdat er geen eenduidige manier was om een LCA uit te voeren, heeft de bouwsector samen met het voormalig Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer oftewel VROM een gestandaardiseerde LCA-methode ontwikkeld op basis van milieurelevante productinformatie-certificaten. Deze MRPI werd recentelijk geharmoniseerd met de later uitgebrachte EPD [18].

Doormiddel van een MRPI, wordt een gebouwelement opgenomen in de Nationale Milieu Database. Deze wordt gebruikt als databank voor de berekening van de milieuprestatie van een gebouw.

Voor de milieuprestatieberekening op gebouwniveau heeft men in Nederland het NIBE-classificatiesysteem ontwikkeld. Deze milieuclassificatie gebruikt het TWIN2011-model als basis voor de beoordeling. Hiervoor werd voornamelijk de bepalingmethode 'Materiaalgebonden milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken', inclusief de daaraan verbonden Nationale Milieu Database, gebruikt. Hier wijst GWW-werken op grond-, weg- en waterbouwwerken. De NIBE-classificatie is geen beoordeling op gebouwniveau, maar een classificatiesysteem voor bouwmaterialen en -producten.

Het NIBE-classificatiesysteem is in vergelijking met de Belgische MMG-bepalingmethode een verder uitgewerkt model, waarin de milieu-impact van een uitgebreider aantal bouwmaterialen en -producten is berekend (en uitgedrukt wordt als een milieukost).

Om een LCA uit te voeren is er software nodig. Deze software maakt een milieuprestatieberekening op basis van een database met processen en een methode die de milieueffecten als gevolg van de processen in beeld brengt [18]. Een voorbeeld is GPR gebouwbesluit, het berekent de milieuprestatie van nieuwbouw en GWW-werken voor de aanvraag van de omgevingsvergunning. GPR bouwbesluit is een module, over het subthema materiaal, in GPR bouw, die inzicht geeft in de duurzaamheid van de woning- en utiliteitsbouw [28].

De databank voor alle kosten van alle gebouwelementen die in Nederland gebruikt worden zijn te vinden op de website van het Nederlands Instituut voor bouwbiologie en ecologie oftewel NIBE [29].

2.4.2 Methodologie

Om een vergelijking van de milieu-impact van gebouwelementen mogelijk te maken, maakt NIBE een LCA van verschillende producten in hun toepassing binnen de categorieën gebouw, interieur en grond-, weg- en waterbouw. De beoordeling van het element over zijn verschillende levensfasen geeft een zogenaamde schaduwkost van het element. Hoe lager de schaduwkosten, hoe lager de milieu-impact van het product is [30]. Deze kosten worden vertaald in een milieuklasse met bijhorende milieubelastingsfactor.

2.4.2.1 Doel en reikwijdte

In de NIBE-classificatie wordt een uitgebreide omschrijving gegeven van de functionele eenheid, binnen welk kader de producten worden beoordeeld en vergeleken. Dit gebeurt op basis van geleverde prestatie, zodat er een eerlijke vergelijking gemaakt kan worden [29]. Een schaduwkost wordt per functionele eenheid geïnterpreteerd.

Binnen de NIBE-classificatie wordt een standaardlevensduur van 75 jaar gehanteerd.

Bij het onderzoek naar de systeemgrenzen van bouwproducten en de afbakening ervan zijn volgende zaken in rekening genomen [29]:

2.4.2.1.1 Productfase

De productfase behandelt zowel de winning en transport van grondstoffen als de productie en transport van materialen en halffabricaten en de verwerking van productieafval.

2.4.2.1.2 Bouwfase

De bouwfase houdt rekening met het transport naar de bouwplaats (standaard 50 km), de verliezen op de bouwplaats en de verwerking van bouwafval.

Voor de NIBE-classificatie zijn de specifieke scenario's aangaande de bouwfase gebaseerd op een materiaalverlies van 5 % bij prefab producten, 10 % bij in-situ producten en 15 % bij hulp- en afwerkingsmaterialen.

2.4.2.1.3 Gebruiksfase

De gebruiksfase gaat over emissies en uitlogingen gedurende de gebruiksfase alsook het onderhoud en de vervangingen van het product.

2.4.2.1.4 Einde-levensduur-fase

De einde-levensduur-fase bestaat uit het verwijderen van het product uit een gebouw, het transport naar stort/recyclings- of verbrandingsinstallatie, de verwerking in de afvalfase, de productie en afdanking van kapitaalgoederen.

Zaken zoals de productie van hulpstoffen met massapercentage kleiner dan 1 %, transport van werknemers en materieel, menselijke arbeid, onderhoud in de zin van schoonmaken/reinigen, werkzaamheden op de bouw zijn niet meegenomen in de milieuscore.

2.4.2.2 Inventarisatie

De Nationale Milieu Database (NMD) bevat gegevens over materialen, afkomstig uit een algemeen aanvaarde database voor bouwmaterialen: de Ecoinvent database. Deze gegevens zijn een verzameling basisprofielen en productkaarten. De basisprofielen bevatten informatie over de milieueffecten en de productkaarten stellen producten samen aan de hand van de materialen [29].

De Nationale Milieu Database is het resultaat van een harmonisatie met als doel dat een berekening in verschillende rekenprogramma's zoals Breeam, GreenCalc+, DuboCalc, GPR en Eco-Install, hetzelfde eindresultaat geeft voor milieueffectscores en milieukengetallen [29].

2.4.2.3 Impactanalyse

De milieueffectcategorieën uit de NIBE-methode bestaan uit vier impactcategorieën, deze zijn gegeven in Tabel 3. Milieueffectcategorieën [29].

Tabel 3. Milieueffectcategorieën met hun eenheid [29]

Emissies:	<ul style="list-style-type: none"> • Klimaatsverandering [CO₂ eq] • Aantasting ozonlaag [CFK-11 eq.] • Humane toxiciteit [1,4-DCB eq.] • Zoetwater aquatische ecotoxiciteit [1,4-DCB eq.] • Terrestrische ecotoxiciteit [1,4-DCB eq.] • Fotochemische oxydantvorming [C₂H₂ eq.] • Verzuring [SO₂ eq] • Vermesting [PO₄ eq]
Uitputting van grondstoffen:	<ul style="list-style-type: none"> • Uitputting abiotische grondstoffen [Sb eq] • Uitputting fossiele energiedragers [Sb eq] • Uitputting biotische grondstoffen [mbp]
Landgebruik:	<ul style="list-style-type: none"> • Landgebruik [PDFm²yr]
Hinder:	<ul style="list-style-type: none"> • Hinder t.g.v. stank [OTV m³] • Hinder t.g.v. geluid door wegtransport [DALY] • Hinder t.g.v. geluid door productieprocessen [mbp] • Hinder t.g.v. licht [mbp] • Hinder t.g.v. kans op calamiteiten [mbp]

De milieu-impact wordt genormaliseerd ten opzichte van een referentieniveau. "Dit betekent dat de bijdrage van de verschillende milieueffecten gedeeld wordt door de bijdrage van een bepaalde gemeenschap aan het betreffende milieueffect" [29]. Door het normaliseren van de resultaten wordt er inzicht verkregen over de impact van een milieueffect binnen de gekozen gemeenschap.

De schaduwkost wordt bekomen door de in equivalenten uitgedrukte milieueffecten te vermenigvuldigen met schaduwkostengetallen per milieueffect. Door het optellen van alle schaduwkosten ontstaat een totaal milieukostenplaatje.

2.4.2.4 Interpretatie

In onderstaand voorbeeld 'Kalkzandsteenblokken gelijmd' wordt een milieuscore verkregen van 1,84 euro per m² wand. Milieu-informatie over 'Kalkzandsteenblokken gelijmd' wordt gegeven in Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9.

Volgens de onderverdeling in milieuklassen, weergegeven in Figuur 6, kan worden geconcludeerd dat klasse 1 de beste keuze is en klasse 3 een aanvaardbare keuze. Een hogere klasse is niet aan te raden, en een milieu-score in klasse 7 wordt zelfs als onaanvaardbaar beschouwd.

Uit Figuur 7 blijkt dat de NIBE-milieuklasse van gelijkde kalkzandsteenblokken wordt omschreven als 1a en bijgevolg de beste keuze is op vlak van milieubelasting.

Het valt op dat de milieuscore van het voorbeeld 'Kalkzandsteen' in het deel 'Stand van zaken België' veel hoger ligt dan die van het onderstaande voorbeeld 'Kalkzandsteenblokken gelijkde'. Dit is te wijten aan de achterliggende methodologie en het feit dat het voorbeeld 'Kalkzandsteen' bestaat uit een dragende binnenwand met kalkzandsteen en bepleistering met verf aan beide kanten. Het voorbeeld 'Kalkzandsteenblokken gelijkde' bestaat enkel uit kalkzandsteenblokken. Bijkomend verschillen de specificaties van de kalkzandsteenblokken met elkaar, zo verschillen bijvoorbeeld de afmetingen en levensduur.

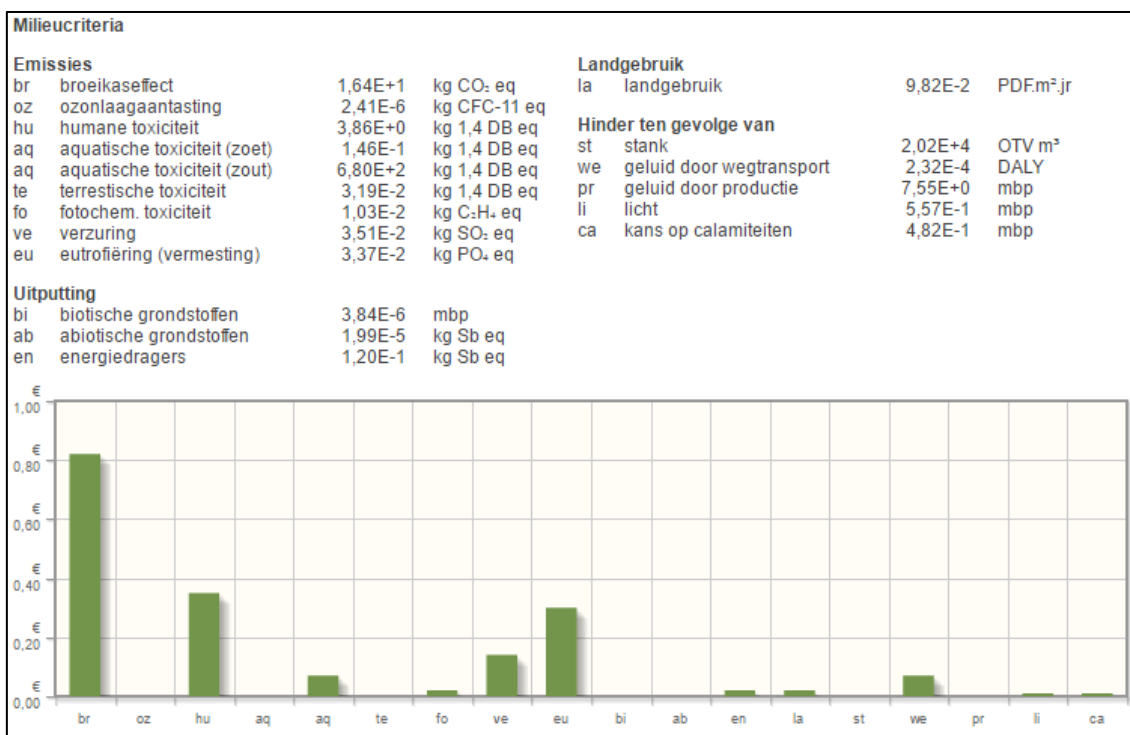
Klasse	subklasse	omschrijving	milieubelastingsfactor
1	a	beste keuze	1,00 - 1,10
	b		1,10 - 1,32
	c		1,32 - 1,58
2	a	goede keuze	1,58 - 1,90
	b		1,90 - 2,28
	c		2,28 - 2,74
3	a	aanvaardbare keuze	2,74 - 3,28
	b		3,28 - 3,94
	c		3,94 - 4,73
4	a	minder goede keuze	4,73 - 5,68
	b		5,68 - 6,81
	c		6,81 - 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

Figuur 6. NIBE - milieuklasse indeling [29]

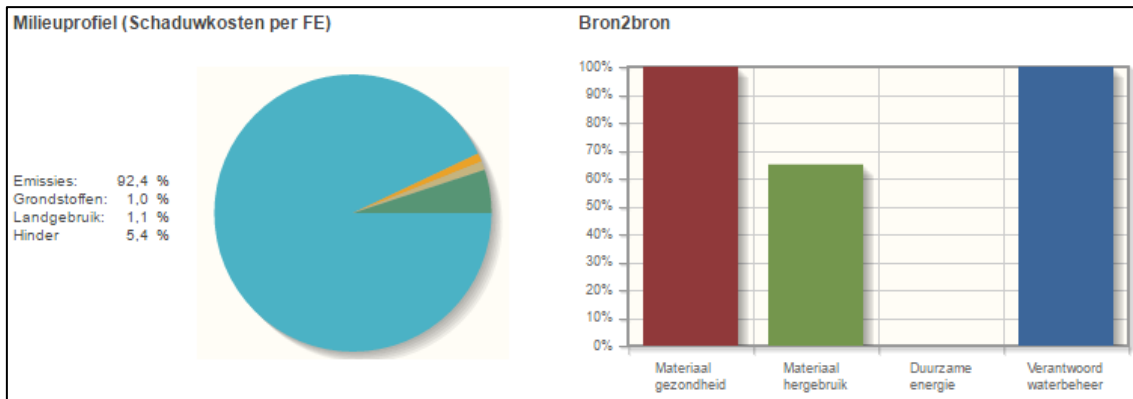
2.4.2.4.1 Kalkzandsteenblokken gelijmd

Milieu-informatie	
NIBE Milieuklasse:	Producteigenschappen:
1a	Massa per FE 174,4 kg
	Levensduur 75 jaar
Schaduwkosten: € 1,84	Transportafstand naar fabriek 150 km
	Afvalscenario:
	Stort 2,3 %
	Verbranding 0,1 %
	Recycling 97,5 %
	Hergebruik 0,0 %
	Eigenprofiel 0,0 %
Omschrijving functionele eenheid	
<p>Dragende wand van kalkzandsteenblokken met een dikte van 120 mm, de stenen zijn verlijmd met een lijm mortel (uitgaande van een lint- en stootvoeg van 2 mm, en een lijm mortel sterkte van 12,5 N/mm². De stenen hebben een afmeting van 327 x 120 x 157 mm, en een druksterkte van 12 N/mm². Hiermee wordt een totaal sterkte (Nrd) van 210 kN behaald. Voor 1 m² wand zijn ca. 19,1 kalkzandsteenblokken met een gewicht van 9 met een totaal gewicht van 171,9 kg aan kalkzandsteenblokken. Het totaal gewicht aan gebruikte lijm mortel is 2,47 kg. Voor de sterkte berekening is een partiële factor (γ_m) van 1,7 aangehouden.</p>	
Opvallende milieu-eigenschappen	
<p>Dit product valt in milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze. Het basisprofiel kalkzandsteen veroorzaakt met 95,3% het grootste deel van de schaduwkosten en het basisprofiel lijm mortel veroorzaakt 4,7% van de schaduwkosten.</p> <p>De productiefase (A1-3) is verantwoordelijk voor 59,8% van de totale schaduwkosten gedurende de beschouwde periode van 75 jaar. Het transport naar de bouwplaats (A4) tijdens de constructiefase veroorzaakt 29,3% van de schaduwkosten. De constructie (A5) van het product veroorzaakt 1% van de schaduwkosten. In deze fase wordt het afval dat vrijkomt op de bouwplaats (o.a. verpakkingen en snijverlies) en processen die plaatsvinden bij constructie meegewogen. Er treden geen milieueffecten op die voortvloeien uit emissies naar lucht, bodem of water tijdens het gebruik (B1). Voor onderhoud (B2) treden geen milieueffecten op gedurende de beschouwde periode. Er vinden geen vervangingen (B3) plaats in de gebruiksfase en derhalve zijn er geen schaduwkosten voor dit onderdeel. Er vinden geen reparaties (B4) plaats in de gebruiksfase en derhalve zijn er geen schaduwkosten voor dit onderdeel. Er zijn geen schaduwkosten voor energieverbruik door het product (B6) om te kunnen functioneren in de beschouwde periode. Er zijn geen schaduwkosten voor waterverbruik door het product (B7) om te kunnen functioneren in de beschouwde periode. In de afvalfase van het product (C & D), exclusief het transport in deze fase (C2), worden 0,8% van de schaduwkosten veroorzaakt van wieg tot graf (bij recycling en re-use weer tot de wieg). Het transport in de afvalfase van het product (C2) veroorzaakt 9,1% van de schaduwkosten.</p>	

Figuur 7. Kalkzandsteenblokken gelijmd - Milieu-informatie deel 1 [29]



Figuur 8. Kalkzandsteenblokken gelijmd - Milieu-informatie deel 2 [29]



Figuur 9. Kalkzandsteenblokken gelijmd - Milieu-informatie deel 3 [29]

2.5 Synthese MMG-elementendatabank vs. NIBE-milieuclassificatie

Tabel 4. Vergelijking MMG-elementendatabank met NIBE-classificatiesysteem

	MMG-elementendatabank	NIBE-milieuclassificatie
Niveau van beoordeling	Elementenniveau	Materiaal- of elementniveau
Bepalingsmethode	MMG	TWIN2011
Standaard levensduur	60 jaar	75 jaar
Inventarisatie	Zwitserse Ecoinvent database versie 2.2 vertaald naar Belgische situatie (update naar Ecoinvent 3.0 in opbouw)	Nationale Milieu Database
Impactanalyse	Individuele en geaggregeerde of gemonetariseerde impactmethodes	Milieu-effectcategorieën en gemonetariseerde schaduwkost
Productfase	Productie; Afvalverwerking van de verpakkingen van de gebouwelementen	Winning en transport van grondstoffen; Productie en transport van materialen en halfproducten; Verwerking van productieafval
Bouwfase	Transport van het materiaal; Bouwproces: voornamelijk bouwafval, in mindere mate bouwactiviteit; Kapitaalgoederen	Transport naar de bouwplaats; Verliezen op de bouwplaats; Verwerking van bouwafval
Gebruiksfase	Energieverbruik; Vervangingen	Emissies en uitlogingen; Onderhoud en vervangingen

	MMG	NIBE
Einde-levensduur-fase	Afvalverbranding met energierecuperatie: type A of B	Verwijderen product uit gebouw; Transport naar stort/recyclings- of verbrandingsinstallatie; Verwerking in de afvalfase; Productie en afdanking van kapitaalgoederen
Indicatoren	Klimaatsverandering; Ozonaantasting; Verzuring van bodem en waterbronnen; Vermesting; Fotochemische oxidantenvorming; Uitputting van niet-fossiele grondstoffen; Uitputting van fossiele grondstoffen; Menselijke toxiciteit: kanker en niet-kankereffecten; Fijnstofvorming; Ioniserende stralingseffecten op mens; Ecotoxiciteit: aardse, zoetwater, mariene; Landgebruik - bezetting: bos- en landbouw, urbaan; Landgebruik - omvorming natuur en tropisch regenwoud; Waterschaarste	Klimaatsverandering; Aantasting ozonlaag; Humane toxiciteit; Zoetwater aquatische ecotoxiciteit; Terrestrische ecotoxiciteit; Fotochemische oxydantvorming; Verzuring; Vermesting; Uitputting abiotische grondstoffen; Uitputting fossiele energiedragers; Uitputting biotische grondstoffen; Landgebruik; Hinder t.g.v. stank; Hinder t.g.v. geluid door wegtransport; Hinder t.g.v. geluid door productieprocessen; Hinder t.g.v. licht; Hinder t.g.v. kans op calamiteiten
Database	115 elementen	Uitgebreide database op www.nibe.nl

3 Onderzoek naar mogelijke alternatieve gebouwelementen met een lagere milieu-impact

Aan het begin van het casestudie onderzoek, werden drieëntwintig projecten ter beschikking gesteld. Eén project (project 5) voldoet niet aan de eisen van het onderzoek doordat het geen woningbouw betrof. Van de overige tweeëntwintig projecten wordt een analyse gemaakt van de elementopbouw. Er worden vier types woningen besproken, nl. woningen bestaande uit een beton-, houtskelet- en staalstructuur en massiefbouw. De projecten zijn gecreëerd door achttien architecten en reeds gebouwd in de provincies Limburg, Antwerpen en Vlaams-Brabant. De projectinformatie nodig voor het onderzoek bestaat uit bouwplannen en meetstaten en werd verkregen binnen het doctoraatonderzoek van arch. Elke Meex.

3.1 Methodologie

3.1.1 Bestaande elementopbouw en het alternatief met een lagere milieu-impact

Vanuit de voorgaande tweeëntwintig projecten wordt in dit onderzoek de elementopbouw van de vloeren op volle grond, verdiepingsvloeren, platte en hellende daken, buitenwanden, dragende en niet-dragende binnenwanden behandeld.

Een aantal elementen zullen niet besproken worden. Ten eerste komen de esthetische lagen: vloerafwerking, gevelafwerking, dakafwerking en binnen- en buitenschrijnwerk niet aan bod omdat hier de bouwheer meestal de beslissingen neemt, weliswaar na overleg met de architect. Dit geldt eveneens voor de keuze van het type raamprofiel. Bovendien kunnen de kelders niet besproken worden omwille van de afwezigheid van gegevens binnen de MMG-milieuprofilendatabank en de NIBE-classificatie.

Dit onderzoek focust zich op het zoeken naar alternatieven met een lagere milieu-impact dan de gebruikte conventionele materiaalkeuzes voor structurele en isolerende lagen. Zoals in de verkregen informatie.

In de zoektocht wordt gebruik gemaakt van de MMG-milieuprofilendatabank. Deze bestaat uit 115 milieuprofielen van gebouwelementen, telkens met de gedetailleerde opbouw van elke variant en de bijhorende milieukost. Hier onder worden twee voorbeelden (Figuur 10 en Figuur 11) kort besproken. Figuur 10 geeft een gedetailleerde beschrijving van de opbouw van vloer 1.

Beschrijving	eh	KO	GO	VV	Type VV	Ratio	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² .K/W)
vloer1_PUR05									
Excavations for floor beds - with machine - without transport	m ³			120	noodzakelijk	0.3	0.3	nvt	
Infrastructure for floor beds - filling with sand (compacted) - with machine	m ³			120	noodzakelijk	0.13	0.13	nvt	
Floor bed - reinforced concrete 15 cm (2 x 150 x 150 - 8mm), gestort met pomp	m ²			120	noodzakelijk	1	0.15	1.95	0.08
Infrastructure for floor beds - egalisation of ground surface	m ²			120	noodzakelijk	1		nvt	
Floor bed - dichtingsmembraan - PE 2/10	m ²			120	noodzakelijk	1	0	nvt	
Floor finish - tiles - ceramic (geperst, verglaasd gres) 30 x 30cm - glued	m ²		15	60	esthetisch	1	0.01	1.2	0.01
Floor, supporting structure for finish - screed - cement based - 5cm	m ²			120	noodzakelijk	1	0.05	0.84	0.06
Floor, supporting structure for chape - reinforcement net	m ²			120	noodzakelijk	1	0	nvt	
Floor finishes - thermal insulation - upon floor bed - gespoten PUR 05 cm	m ²			120	noodzakelijk	1	0.05	0.023	2.17

Figuur 10. Milieuprofiel van Vloer1_ PUR05 [31]

Een ander voorbeeld is Figuur 11. Hier worden alle milieuprofielen van vloeren op volle grond met bijhorende gemonetariseerde impact (milieukost) opgesomd. Verder kunnen we in deze tabel ook zien dat er enkel voor volledige elementopbouwen een milieukost is gegeven. Hierdoor kunnen enkel de gehele gebouwelementen met elkaar vergeleken worden en kan er voor structurele onderdelen van een gebouwelement geen aparte milieukost bepaald worden. Dit is wel geen noodzakelijkheid, want een ander gebouwelement kan een ander structureel element vereisen. Hierdoor is een vergelijking van de aparte elementen binnen de opbouw weinig zinvol en kan best de gehele opbouw vergeleken worden.

Indien er toch op materiaalniveau een vergelijking gemaakt dient te worden, kan er naar de NIBE-classificatie gekeken worden. Deze is weliswaar gebaseerd op een andere achterliggende methodologie. Voor een onderlinge vergelijking is in Figuur 11 bijvoorbeeld te zien dat Vloer1 en Vloer8 eenzelfde opbouw hebben met enkel een verschil in afwerkingslaag. Zo heeft Vloer1 tegels van gebakken aarde en Vloer8 parket als afwerkingslaag. Het verschil in milieukost tussen beide vloeropbouwen is dan het verschil in milieukost tussen beide afwerkingslagen. Als tweede voorbeeld heeft Vloer1 en Vloer2 eenzelfde opbouw met enkel een verschil in PUR-isolatie. Zo heeft Vloer1 een isolatiedikte van 0,05 m en Vloer2 een isolatiedikte van 0,15 m. Het verschil in milieukost tussen beide vloeropbouwen is dan het verschil in milieukost tussen beide isolatiediktes. Concreet betekent dit door de toename van de isolatiedikte met 0,10 m PUR, de milieukost daalt met 5,95 €/m². Een toename van de isolatiedikte zorgt voor een verhoging van de warmteweerstand. Dit laatste resulteert dan weer in een verminderd warmteverlies gedurende de levensduur van het materiaal.

In het onderzoek is er bij de conventionele materialen sprake van PIR-isolatie. In de MMG-milieuprofielendatabank enkel van PUR-isolatie. Beide vormen van isolatie vertonen gelijkaardige eigenschappen en zijn dus vergelijkbaar. Het onderzoek bestaat dus vooral uit vergelijkingen van elementen met een gelijkaardige functionele eenheid en prestaties tussen conventionele en alternatieve opbouw van elementen.

Element		Opbouw	Totale milieukost
Vloer op volle grond: milieu-impact per m² vloer (van buiten naar binnen)			[€ / m²]
Vloer1	PUR05	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,92
Vloer2	PUR15	zand/beton nieuw/PUR2 (gespoten boven beton): 15cm (U=0,15)/cement chappe/tegels gebakken aarde	81,97
Vloer3	XPS8	zand/beton nieuw+uitvullingslaag/XPS1 boven draagvloer: 4cm (U=0,38)/cement chappe/tegels gebakken aarde	88,68
Vloer4	REC PUR05	zand/beton 100 recycl/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,87
Vloer5	traskalk	grind+kleikorrels/traskalk (mortel)/-/cement chappe/tegels gebakken aarde	112,02
Vloer6	PUR04/dekvloer EPS	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 4cm (U=0,38)/isolerende chappe met EPS korrels/tegels	124,01
Vloer7	PUR05/dekvloer anhydriet	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,41)/anhydriet/tegels gebakken aarde	88,8
Vloer8	PUR05 parket	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,38)/cement chappe/parket	69,54
Vloer9	PUR05 parket	beton/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,38)/cement chappe/parket	69,19
Vloer10	K08 parket	zand/beton nieuw+uitvullingslaag/kurk: 8cm/cement chappe/parket	67,87

Figuur 11. Milieuprofielen van vloer op volle grond met bijhorende milieukost [31]

Elke van de tweeëntwintig onderzochte woning heeft een nummer gekregen van 1 tot 23 (wegens het ontbreken van woning 5). Deze nummer wordt vervolgens weergegeven in de kolom 'Conv.' (van conventionele opbouw) en achter de overeenkomstige conventionele opbouw uit de MMG-milieuprofielen databank gezet, zoals voor vloeren op volle grond van massieve opbouwen werd gedaan in Figuur 12. De woningen waarvoor de alternatieve opbouw geldt, worden weergegeven in de kolom 'Alt.' (van alternatieve opbouw) en achter de overeenkomstige alternatieve opbouw uit de MMG-milieuprofielen databank gezet. Bij gebrek aan gegevens binnen de MMG-milieuprofielen databank zal er in de NIBE-classificatie gezocht worden naar het bestaande onderdeel van het gebouwelement en een beter alternatief binnen deze classificatie.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Vloer op volle grond: milieu-impact per m² vloer (van buiten naar binnen)			[€ / m²]		
Vloer1	PUR05	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,92	19,2	
Vloer2	PUR15	zand/beton nieuw/PUR2 (gespoten boven beton): 15cm (U=0,15)/cement chappe/tegels gebakken aarde	81,97	1,4,7,14	
Vloer4	REC PUR05	zand/beton 100 recycl/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,87		
Vloer8	PUR05 parket	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,38)/cement chappe/parket	69,54		
Vloer10	K08 parket	zand/beton nieuw+uitvullingslaag/kurk: 8cm/cement chappe/parket	67,87		1,4,7,14,19,22

Figuur 12. Milieuprofielen van vloeren op volle grond: Vloer1, Vloer2, Vloer4, Vloer8 en Vloer10 [31]

3.1.2 Praktische haalbaarheid van deze alternatieven: literatuuronderzoek en interviews

De praktische haalbaarheid van deze alternatieven wordt onderzocht, rekening houdend met kostprijs, draagvermogen, thermische isolatie, brandveiligheid en akoestiek. Enerzijds gebeurt dit door middel van opzoekingen in technische fiches en literatuur, anderzijds worden uitvoeringstechnische aspecten (bouwsnelheid, het gebruik van een hijskraan, geprefabriceerd of ter plaatse, droogtijd ...) bevraagd bij professionals.

3.1.2.1 Theoretisch onderzoek

Op vlak van kostprijs wordt de richtprijs van zowel het gekozen element als de aangereikte alternatieven gevonden op de website 'www.livios.be' (baseert zijn richtprijzen op Aspen Index, een onafhankelijke en objectieve bron inzake prijsinformatie voor alle aannemingswerken van gebouwen voor bewoning) en op de website 'www.immoweb.be' (baseert zijn richtprijzen op effectieve en recente offertes van aannemers in België) [32], [33]. Deze prijzen zijn inclusief plaatsing en levering (tenzij anders vermeld) en exclusief btw [32]. Als er bouwmaterialen zijn waarvan de richtprijs niet op deze sites te vinden is, wordt er verder gezocht naar prijzen via gespecialiseerde zaken. Deze prijzen zijn gewoonlijk zonder plaatsing en levering en exclusief btw.

Elementen worden met mekaar vergeleken door naar het verschil in dikte te kijken bij eenzelfde draagvermogen. Het draagvermogen wordt bepaald aan de hand van eenzelfde nuttige belasting en overspanning. De gegevens hiervoor worden uit technische fiches gehaald.

De thermische isolatie tussen twee gebouwelementen wordt onderzocht aan de hand van de warmteweerstandscoefficiënt (R-waarde) of warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde). Deze waarden worden voornamelijk uit technische fiches gehaald, maar in enkele gevallen wordt deze informatie reeds in de NIBE-classificatie meegegeven. De warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal drukt uit hoeveel warmte er per tijdseenheid door een vlak van 1m^2 met een dikte van 1m wordt geleid bij een temperatuurverschil van 1°C (1K) [34]. Dit houdt in dat voor goed isolerende eigenschappen de waarde zo laag mogelijk moet zijn. De warmteweerstandscoefficiënt van een materiaal geeft aan hoe goed een materiaal van een bepaalde dikte thermisch isoleert en wordt bepaald door de dikte van het materiaal te delen door de warmtegeleidingscoëfficiënt [34]. Dit houdt in dat voor goed isolerende eigenschappen de waarde zo hoog mogelijk moet zijn. Voor een vooropgestelde R-waarde kan op basis van de λ -waarden van de materialen de noodzakelijke dikte berekend worden. Op basis van deze berekende dikte kunnen materialen met elkaar vergeleken worden die aan dezelfde prestatie moeten voldoen.

Bij het bestuderen van het gedrag van materialen bij brand spelen zowel de brandweerstand als de brandreactie een rol. De brandweerstand geeft de tijd (in minuten) aan waarbij bouwelementen hun functie kunnen blijven vervullen op gebied van stabiliteit (R), vlamdichtheid (E) en thermische isolatie (I). De brandreactie beschrijft de mate waarin een bouw materiaal bijdraagt aan de verspreiding van een brand. Hierin spelen volgende aspecten een rol:

brandbaarheid, hitteafgifte, vlamuitbreiding, de afgifte van gevaarlijke stoffen, bijdrage die door materiaal geleverd kan worden aan de brand, rookontwikkeling en druppelvorming. De brandreactie wordt volgens de Europese classificatie, NBN EN 13501-1, weergegeven. Hier staan de klassen A1 en A2 voor onbrandbare producten, klassen B, C, D & E voor brandbare producten en klasse F voor niet-geklasseerde producten of producten die faalden bij de minst strenge proef [35]. Er wordt in dit onderzoek een studie gedaan naar gehele elementopbouwen en er is over het brandgedrag enkel informatie te vinden op materiaalniveau. Het gedrag van materialen bij brand zal bijgevolg niet besproken worden omdat verder onderzoek hierover vereist is.

Akoestiek is een complexe materie die niet eenduidig te vergelijken valt. Zo is er contact- en luchtgeluid, transmissie, absorptie ... Bij alle materialen is hier onderzoek naar gevoerd, maar in technische fiches van materialen wordt niet altijd over dezelfde akoestische eigenschappen gepraat. Bijgevolg kan dit niet onderling worden vergeleken. Een bijkomende reden dat akoestiek in deze masterproef niet wordt besproken, is dat er in technische fiches enkel akoestische eigenschappen van naakte materialen kan gevonden worden. Er zijn geen gegevens beschikbaar voor de akoestiek van gehele opbouwen of het akoestisch gedrag van een materiaal in samenwerking met andere materialen uit dezelfde opbouw. Bijgevolg is verder onderzoek naar akoestiek van elementopbouwen vereist.

3.1.2.2 Praktisch onderzoek: interviews

De praktische haalbaarheid en uitvoerbaarheid wordt onderzocht aan de hand van interviews met architecten, ingenieurs en aannemers. Op deze manier kunnen de bevindingen uit het onderzoek worden afgetoetst aan de praktijk. Deze bevindingen worden als 'Toetsing met praktijk' in het onderzoek bijgevoegd.

Het aftoetsen gebeurt per gebouwtype steeds bij één of twee architecten, één stabiliteitsingenieur, één aannemer en één dakdekker.

De interviews dienen een zicht te geven op hoe materiaalkeuzes gemaakt worden en of er bij die keuzes rekening gehouden wordt met hun impact op het milieu. Bij de architecten zal er hoofdzakelijk worden toegespitst op het visuele ontwerp. Bij de stabiliteitsingenieur zal de focus liggen op de structurele materiaalkeuzes. Zowel de aannemer als de dakdekker zullen bevraagd worden op gebied van praktische materiaalkeuzes m.b.t. de verwerkbaarheid ervan.

Eerst wordt er telefonisch een afspraak gemaakt met een architect, ingenieur, aannemer en dakdekker (voor elk type van woning) om een interview af te nemen. Het interview zal vervolgens op het bureel van de geïnterviewde afgenomen worden m.b.v. een geluidsrecorder (om de tijd van het interview te beperken). Een interview zal gemiddeld vijfenveertig tot zestig minuten duren.

De vragen en opbouw van het interview werden opgesteld a.d.h.v. richtlijnen en tips uit het boek van Dimitri Mortelmans 'Handboek kwalitatieve onderzoeksmethoden'.

Een interview bestaat uit vijf onderdelen en begint standaard met een aantal openingsvragen waarbij algemene gegevens van de geïnterviewde verzameld worden, nl.: de ervaring, functie binnen het bedrijf, type van bouwprojecten, Op deze manier kan er een beknopte profilering gemaakt worden van elke

geïnterviewde architect, ingenieur en aannemer/dakdekker. Deze profilering is terug te vinden in 'Bijlage B: Profilering'.

De openingsvragen worden gevolgd door enkele inleidingsvragen. Deze vragen hebben als doel het gesprek op gang te brengen. Zo wordt er bijvoorbeeld gevraagd naar een omschrijving van het soort projecten waaraan hun bedrijf werkt, bijzondere ervaringen, evoluties/trends in de bouw, inspraak van de klant bij het gebruik van materialen met een dragende functie.

Dan volgen enkele transitievragen. Zo wordt er bijvoorbeeld gevraagd aan de aannemers welke bouwmaterialen er zelf gekozen worden en welke voorgeschreven zijn. Verder wordt er onderzocht met welke aspecten er rekening gehouden wordt bij de keuze van bouwmaterialen, of men rekening houdt met de milieu-impact bij het kiezen en of de klant hiernaar vraagt.

Dan volgen de belangrijkste vragen van het interview: de sleutelvragen. Hier wordt elke bevinding uit het onderzoek afgetoetst met de praktijk. Zo wordt er per gebouwelement gevraagd welke materialen de voorkeur genieten en waarom ze voor dat materiaal kiezen. Een alternatief uit ons onderzoek, met een lagere milieu-impact, wordt voorgesteld met de vraag of ze in de toekomst de overweging zouden maken om dit alternatief te gebruiken. Indien ze de overweging niet zullen maken, wordt ook gepolst naar de reden hiervoor.

Hierna ronden we het gesprek af met enkele besluitvragen. Deze vragen hebben als doel de algemene visie op de milieu-impact van bouwmaterialen van de geïnterviewde duidelijk te formuleren. Hierbij wordt ook verwezen naar gegeven antwoorden tijdens de sleutelvragen.

Na de interviews worden alle geluidsopnames zorgvuldig uitgetypt en zo kon er een besluit gevormd worden per element van elk bouwtype. Dit besluit bestaat uit de voornaamste redenen (van architect, ingenieur, aannemer en dakdekker) waarom er wel of niet voor een alternatief, met een lagere milieu-impact, zou gekozen kunnen worden.

3.2 Massieve structuur

Uit de tweeëntwintig onderzochte cases zijn er negen met een massieve structuur. Deze negen woningen hebben de volgende nummers: 1, 4, 7, 10, 14, 19, 20, 22 en 23.

3.2.1 Vloeren op volle grond

3.2.1.1 Vaak gekozen elementopbouw in de bestaande toestand

Een frequent voorkomende vloer op volle grond bij massieve structuren is een vloeropbouw bestaande uit gewapend beton met daarboven PUR-isolatie, chape en een tegelafwerking. Deze bestaande vloeren op volle grond komen overeen met de opbouw van Vloer1 en Vloer2 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 13) [31]. Deze twee vloeropbouwen verschillen onderling enkel in isolatiedikte. De isolatiedikte van Vloer1 bedraagt 0,05 m en van Vloer2 0,15 m. Zo is de vloer op volle grond van woningen 19 en 22 overeenkomstig met Vloer1 en woningen 1, 4, 7 en 14 met Vloer2. Woningen 10, 20 en 23 hebben een kruipkelder en bijgevolg geen vloer op volle grond.

Element	Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Vloer op volle grond: milieu-impact per m² vloer (van buiten naar binnen)		[€/m²]		
Vloer1	PUR05 zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,92	19,2	
Vloer2	PUR15 zand/beton nieuw/PUR2 (gespoten boven beton): 15cm (U=0,15)/cement chappe/tegels gebakken aarde	81,97	1,4,7,14	
Vloer4	REC PUR05 zand/beton 100 recycl/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,87		
Vloer8	PUR05 parket zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,38)/cement chappe/parket	69,54		
Vloer10	K08 parket zand/beton nieuw+uitvullingslaag/kurk: 8cm/cement chappe/parket	67,87		1,4,7,14,19,22

Figuur 13. Milieuprofielen van vloeren op volle grond: Vloer1, Vloer2, Vloer4, Vloer8 en Vloer10 [31]

3.2.1.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

In de MMG-milieuprofielen databank wordt een element met een lagere milieu-impact gezocht met gelijkaardige functionele prestaties (draagvermogen en thermische isolatie). Voor vloeren op volle grond geeft het MMG milieuprofiel van Vloer10 een lagere milieukost en kan het bijgevolg worden voorgesteld als alternatief. Het verschil tussen het milieuprofiel van Vloer10 en Vloer1 zit in de afwerking en het type isolatie. De afwerking van Vloer10 is parket en van Vloer1 tegels uit gebakken aarde. Omdat in het onderzoek niet verder wordt ingegaan op de afwerking, zal enkel het type isolatie worden vergeleken. Het type isolatie van Vloer10 is geëxpandeerde kurk en van Vloer1 gespoten PUR-isolatie.

Een bijkomend alternatief voor het gewapende beton als dragend onderdeel van het profiel is het gerecycleerde gewapende beton van Vloer4.

Uiteindelijk zou een combinatie van Vloer4 en Vloer10 de laagste milieukost geven. De vloeropbouw bestaat dan uit zand, gerecycleerd gewapend beton, kurkisolatie en cement chape.

3.2.1.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

3.2.1.3.1 Beton met gerecycleerde betongranulaten

Uit de vergelijking tussen het gewapend beton en gerecycleerd gewapend beton volgt dat het gebruik van gerecycleerd gewapend beton een vermindering in milieukost van 0,05 €/m² vloeroppervlakte geeft t.o.v. gewapend beton. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van Vloer1 en Vloer4 (zie Figuur 13). Vloer1 en Vloer4 verschillen onderling enkel van het type beton van 0,15 m dikte. Vloer1 heeft gewapend beton en een totale milieukost van 87,92 €/m². Vloer4 heeft gerecycleerd gewapend beton en een totale milieukost van 87,87 €/m². Het verschil in totale milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van het type beton. Hieruit volgt dat het gebruik van gerecycleerd gewapend beton een lagere milieukost heeft van 0,05 €/m² t.o.v. gewapend beton [31].

Het is mogelijk om gerecycleerde betongranulaten te gebruiken in beton bij toepassingen voor beton met een sterkteklasse C25/30 mits er aan enkele voorwaarden wordt voldaan. Zo mag het beton tot 20 % van de in het beton aanwezige fractie grove granulaten vervangen door gerecycleerde betongranulaten,

met granulaten die voornamelijk uit gebroken beton en natuursteen bestaan. Daarbij moeten de granulaten over een volumieke massa groter dan 2000 kg/m^3 , weerstand tegen verbrijzeling, een goede korrelverdeling en een waterabsorptie kleiner dan 10 % beschikken. Tevens is het gebruik van het beton met gerecycleerde betongranulaten enkel toegelaten voor toepassingen in een binnen- of niet-schadelijke omgeving. Bij vervangingspercentages van meer dan 20 %, zoals 100 % in het milieuprofiel van Vloer4, kunnen de mechanische eigenschappen (sterkte, E-modulus, krimp, kruip) en de duurzaamheid (weerstand tegen carbonatatie en vorst-dooicycli) beïnvloed worden. Deze aspecten moeten gecontroleerd worden [36].

Voor vloeren op volle grond is de betonnen draagstructuur in contact met een buitenomgeving. Dit voldoet niet aan de voorwaarde voor toepassingen voor een binnen- of niet-schadelijke omgeving. Bijgevolg is beton met gerecycleerde betongranulaten niet-toepasbaar voor vloeren op volle grond. Het geeft tevens een zeer beperkte vermindering in milieukost.

3.2.1.3.2 Geëxpandeerde kurk

Bij het vergelijken van gespoten PUR versus kurkisolatie volgt dat het gebruik van geëxpandeerde kurk een vermindering in milieukost van $1,67 \text{ €/m}^2$ vloeroppervlakte geeft t.o.v. PUR. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van Vloer1, Vloer8 en Vloer10 (zie Figuur 13). Omwille van meerdere verschillen in de opbouw (op vlak van isolatie en afwerking) kan het verschil in milieu-impact van de isolatie uit Vloer1 niet vergeleken worden met die van Vloer10. Vloer1 en Vloer8 hebben echter een opbouw met PUR-isolatie van 0,05 m dikte, maar verschillen onderling van afwerking. Vloer8 en Vloer10 hebben dan weer een opbouw met eenzelfde afwerking (parket), maar verschillen onderling van type isolatie. Een vergelijking tussen de isolatie uit Vloer8 en Vloer10 geeft bijgevolg hetzelfde resultaat voor een verschil in milieu-impact van de isolatie uit Vloer1 en Vloer10. Vloer8 heeft PUR-isolatie en een totale milieukost van $69,54 \text{ €/m}^2$. Vloer10 heeft kurkisolatie en een totale milieukost van $67,87 \text{ €/m}^2$. Het totale verschil in milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van het type isolatie. Hieruit volgt dat het gebruik van kurkisolatie een lagere milieukost geeft van $1,67 \text{ €/m}^2$ t.o.v. PUR-isolatie [31].

Op gebied van kostprijs is gespoten PUR goedkoper dan geëxpandeerde kurk. Een richtprijs voor gespoten PUR, van 0,05 m dikte met een R-waarde van $2,00 \text{ m}^2\text{K/W}$, is $10,00 \text{ €/m}^2$ [32]. Een richtprijs voor geëxpandeerde kurk, van 0,08 m dikte met een R-waarde van $2,00 \text{ m}^2\text{K/W}$, is $27,00 \text{ €/m}^2$ exclusief plaatsing [37]. De kostprijs van geëxpandeerde kurk met plaatsing loopt bijgevolg op tot minstens drie keer de kostprijs van gespoten PUR.

De warmtegeleidingscoëfficiënt van gespoten PUR-isolatie bedraagt $0,023 \text{ W/mK}$ en van geëxpandeerde kurk $0,040 \text{ W/mK}$ [38], [39]. Zo heeft een dikte van 0,05 m gespoten PUR-isolatie dezelfde R-waarde als 0,08 m geëxpandeerde kurk. Dit zijn de diktes van de isolatielagen van de MMG profielen, Vloer1 en Vloer10. Voor Vloer10 geeft dit een 0,03 m dikker profiel dan Vloer1.

Voor vloeren op volle grond is de geëxpandeerde kurk een toepasbaar materiaal. Behalve dat het een lagere milieu-impact heeft, heeft het in vergelijking met gespoten PUR twee grote nadelen. Geëxpandeerde kurk is minstens tot drie maal duurder dan gespoten PUR en heeft een grotere dikte nodig om eenzelfde R-waarde te bekomen. Voor geëxpandeerde kurk te plaatsen is er een uitvullingslaag nodig, dit geeft nog een extra dikte aan het gebruik geëxpandeerde kurk. Deze twee nadelen maken het voor geëxpandeerde kurkisolatie moeilijk te worden verkozen

boven gespoten PUR-isolatie.

In Tabel 5 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen gespoten PUR en geëxpandeerde kurk.

Tabel 5. Massieve structuur – vloeren op volle grond: Gespoten PUR – Geëxpandeerde kurk

	Gespoten PUR	Geëxpandeerde kurk	Eenheid
Verschil in milieukost t.o.v. geëxpandeerde kurk	+1,67 [31]	+0,00 [31]	€/m ²
Kostprijs (<i>R-waarde</i> = 2,00 m ² K/W)	10,00 [32]	27,00 excl. plaatsing [37]	€/m ²
<i>λ-waarde</i>	0,023 [38]	0,040 [39]	W/mK
Dikte (<i>R-waarde</i> = 2,00 m ² K/W)	0,05 [38]	0,08 [39]	m

3.2.1.4 Toetsing met praktijk

3.2.1.4.1 Beton met gerecycleerde betongranulaten

Uit de interviews kwam naar voren dat de twee architecten, ingenieur en aannemer voornamelijk kiezen voor een gewapende betonplaat. De voornaamste reden hiervoor is dat het goede structurele eigenschappen heeft, zo geeft gewapend beton als funderingsplaat de beste krachtverdeling.

Als er in de interviews naar gerecycleerd gewapend beton werd gevraagd, was hier niemand mee bekend. Wanneer dit in de interviews werd voorgesteld als alternatief, kon er bij de twee architecten afgeleid worden dat, zolang het alternatief aan dezelfde eisen voldoet als het conventionele materiaal, men het wel zou willen toepassen. Maar dat ook de kostprijs hierbij een rol zal spelen. Zo stelde de aannemer dat ze veel beton bestellen bij eenzelfde betoncentrale. De prijs die ze daarvoor moeten betalen is best goedkoop. Als ze dan overschakelen op gerecycleerd beton, die ze dan mogelijk moeten gaan zoeken bij een andere centrale, geeft dit hoogstwaarschijnlijk een duurder prijskaartje. De ingenieur stelt zich ook vragen bij de kwaliteitsgarantie inzake sterkteklasse bij gerecycleerde beton.

3.2.1.4.2 Geëxpandeerde kurk

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de isolatie er bij de twee architecten geopteerd wordt voor PUR of PIR. De geïnterviewde aannemer gebruikt Thermogran, dit is een isolatiemateriaal afkomstig van gerecycleerd PUR en PIR. Het heeft volgens de aannemer meer voordelen dan PUR of PIR omdat het minder kans op scheuren en een hogere druksterkte heeft en dat er na plaatsing meteen op verder gewerkt kan worden. Bij deze redenen kan echter een kritische kanttekening worden gemaakt aan de hand van een vergelijking tussen gespoten PUR en Thermogran.

Bij het niet correct uitvoeren van de gespoten PUR, bestaat de kans dat de PUR-isolatie overmatig vervormt bij belasting [40]. Bij Thermogran, bestaande uit granulaten, is hier inderdaad minder kans op. Verder voldoet de druksterkte van gespoten PUR voor woningen, een verbetering voor deze eigenschap is niet nodig. Op gebied van plaatsing vereist Thermogran randisolatie voordat de vloerisolatie kan aangebracht worden. Na de plaatsing van Thermogran wordt er een doek over aangebracht tegen vochtverdringing [41]. Dit brengt meer werk met zich mee dan enkel het spuiten van PUR. PUR wordt namelijk aangebracht in verschillende lagen,

met een dikte van 0,03 tot 0,04 m. Hier moet er wel rekening gehouden worden met een wachttijd van minstens 5 tot 20 minuten voor het aanbrengen van een volgende laag of verdere vloeropbouw [40]. Tot slot heeft Thermogran een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,046 W/mK en gespoten PUR-isolatie 0,023 W/mK [42], [38]. Dit heeft als gevolg dat voor eenzelfde R-waarde de Thermogran dubbel zo dik moet zijn als gespoten PUR. Dit is een nadeel van de Thermogran t.o.v. PUR.

Het gebruik van geëxpandeerde kurkisolatie wordt door zowel door de twee architecten als de aannemer niet toegepast.

Redenen daarvoor zijn de grotere dikte en het feit dat de betonvloer eerst nog egaal gemaakt moet worden voor de plaatsing van de geëxpandeerde kurkisolatie kan plaatsvinden. Dit laatste brengt een bijkomende kost met zich mee.

3.2.2 Verdiepingsvloeren

3.2.2.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende verdiepingsvloeren in woningen met een massieve opbouw komt overeen met de opbouw van VV12 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 14) [43]. Zo is de verdiepingsvloer van woningen 4, 7, 10, 14, 22 en 23 overeenkomstig met VV12. De overige drie woningen komen overeen met een andere verdiepingsvloer uit de MMG-milieuprofielen databank. Woningen 19 en 20 zijn overeenkomstig met VV4, dit is een verdiepingsvloer bestaande uit potten en balken. Woning 1 is overeenkomstig met VV1, dit is een verdiepingsvloer bestaande uit breedplaatvloeren.

Element	Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Verdiepingsvloer: milieu-impact per m² vloer (van onder naar boven)		[€/m²]		
VV1	beton tegels <i>acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/cement chappe/tegels gebakken aarde</i>	69,18	1	
VV4	potten en balken (klei) tegels <i>acrylverf/gipspleister/15cm potten en balken/cement chappe/tegels gebakken aarde</i>	65,42	19,20	1,4,7,10, 14,20,22
VV12	welfsels 12 VG RW3 tegels <i>acrylverf/gipspleister/welfsels (voorgespannen)/cement chappe/tegels gebakken aarde</i>	67,05	4,7,10, 14,22,23	

Figuur 14. Milieuprofielen van verdiepingsvloeren: VV1, VV4 en VV12 [43]

Belangrijk verschil tussen de werkelijke verdiepingsvloeropbouw en het MMG milieuprofiel is dat er in de werkelijkheid een isolatielaag tussen het beton en de chape kan voorkomen. Door ontbrekende gegevens in het MMG milieuprofiel wordt de invloed van deze isolatie niet meegerekend in de milieukost.

3.2.2.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van VV12 wordt het MMG milieuprofiel van VV4 voorgesteld. Het grote verschil met dit milieuprofiel is dat de draagstructuur uit potten en balken bestaat.

3.2.2.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

Uit de vergelijking tussen voorgespannen welfsels en potten en balken volgt dat het gebruik van potten en balken een vermindering in milieukost van 1,63 €/m²

vloeroppervlakte geeft t.o.v. voorgespannen welfsels. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van VV12 en VV4 (zie Figuur 14). VV12 en VV4 verschillen onderling enkel van het type draagstructuur. VV12 heeft voorgespannen welfsels en een totale milieukost van 67,05 €/m². VV4 heeft potten en balken en een totale milieukost van 65,42 €/m². Het verschil in totale milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van het type draagstructuur. Hieruit volgt dat het gebruik van potten en balken een lagere milieukost heeft van 1,63 €/m² t.o.v. voorgespannen welfsels [43].

Op vlak van kostprijs is het gebruik van voorgespannen welfsels goedkoper dan potten en balken. Een richtprijs voor 'Voorvormplaten, overspanning 450 cm, breedte 120 cm' is 53,40 €/m² [32]. Een richtprijs voor 'Gebakken aarde, incl. druklaag, overspanning 450 cm' is 60,00 €/m² [32].

Om het draagvermogen te vergelijken wordt de dikte van beide draagstructuren vergeleken bij een nuttige belasting van 3,50 kN/m² en een overspanning van 7,00 m. De nuttige belasting is de som van de gebruiksbelasting, afwerking (van de vloer en plafond) en eventuele wanden op de vloer. De norm, NBN EN 1991-1-1-ANB, geeft voor vloeren in een residentieel gebouw een gebruiksbelasting van 2,00 kN/m². In de technische fiche van potten en balken wordt voor de afwerking en niet-dragende wanden met een belasting van 1,50 kN/m² gerekend [44]. Voor voorgespannen welfsels wordt, voor het verkrijgen van een eenduidige vergelijking, met dezelfde belastingen gerekend. De nuttige belasting komt bijgevolg op 3,50 kN/m². De overspanning van 7,00 m is zo gekozen, uit de technische fiches, dat de maximale nuttige belasting 3,50 kN/m² bedraagt. Op deze manier is er nog maar één veranderlijke, namelijk de dikte. Om aan de vereisten, van een nuttige belasting van 3,50 kN/m² en een overspanning van 7,00 m, te voldoen moet het voorgespannen welfsel een dikte van 0,14 m met een bijhorende druklaag van 0,05 m hebben [45]. De potten en balken hebben voor deze vereisten een dikte van 0,21 m met een bijkomende druklaag van 0,04 m [44].

Voor verdiepingvloeren zijn de potten en balken een toepasbaar materiaal. Behalve dat het een lagere milieu-impact heeft, heeft het in vergelijking met voorgespannen welfsels twee nadelen. Potten en balken zijn duurder dan voorgespannen welfsels en hebben een grotere dikte nodig om eenzelfde draagvermogen te bekomen. Deze twee nadelen maken het voor potten en balken moeilijk te worden verkozen boven voorgespannen welfsels.

In Tabel 6 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen voorgespannen welfsels en potten en balken.

Tabel 6. Massieve structuur – verdiepingvloeren: Voorgespannen welfsels – Potten en balken

	Voorgespannen welfsels	Potten en balken	Eenheid
Vershil in milieukost t.o.v. potten en balken	+1,63 [43]	+0,00 [43]	€/m ²
Kostprijs	53,40 [32]	60,00 [32]	€/m ²
Dikte (overspanning 7,00 m en nuttige belasting 3,50 kN/m ²)	0,14+0,05 [45]	0,21+0,04 [44]	m

3.2.2.4 Toetsing met praktijk

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de draagstructuur van verdiepingvloeren door de twee architecten, ingenieur en aannemer voornamelijk geopteerd wordt voor voorgespannen welfsels of breedplaatvloeren. De twee architecten gaan uit van wat de ingenieur hen voorschrijft. Meestal zijn dit voor hen welfsels, maar als de lasten niet boven elkaar liggen wordt er gebruik gemaakt van breedplaatvloeren. De reden voor het gebruik van welfsels en breedplaatvloeren is volgens de ingenieur het dunne resultaat met een aantrekkelijke kostprijs. Uit de vergelijking met potten en balken kan besloten worden dat voor welfsels de ingenieur hier gelijk in heeft.

Als er in de interviews naar het gebruik van potten en balken werd gevraagd, werd dit door de twee architecten, ingenieur en aannemer niet toegepast in nieuwbouw. Het gebruik van potten en balken wordt door hen voornamelijk bij renovaties en verbouwingen toegepast. Zo is een van de architecten van mening dat het duurder en arbeidsintensiever is. De hogere kostprijs wordt in de bovenstaande vergelijking tussen welfsels en potten en balken bevestigd. Het arbeidsintensievere aspect is een aannemelijke reden omdat de potten en balken op hun plaats gedragen worden door de arbeider en niet door een kraan zoals bij welfsels. De andere architect geeft de langere plaatsingstijd ook als nadeel omdat dit niet door een kraan kan worden geplaatst. Een voordeel, volgens de tweede architect en de reden voor het gebruik bij renovaties, is dat het net op moeilijk te bereiken plaatsen kan geplaatst worden als er geen kraan beschikbaar is of als dit met een kraan niet mogelijk is. Dit voordeel van gemakkelijk manoeuvreren wordt ook door de ingenieur en aannemer aangehaald als de reden voor het gebruik tijdens een renovatie.

Uit de interviews wordt er afgeleid dat de bevindingen uit het voorgaand onderzoek, namelijk een voordeel naar dikte en kostprijs, overeenkomen met de meningen van de twee architecten, ingenieur en aannemer.

3.2.3 Platte daken

3.2.3.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

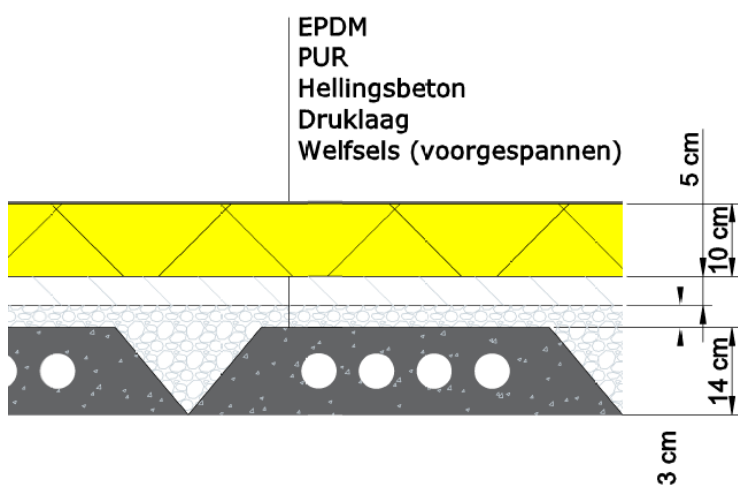
De opbouw van frequent voorkomende platte daken in woningen met een massieve opbouw komt overeen met de opbouw van PD5 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 15) [46]. Zo is het platte dak van woningen 4, 7, 10, en 22 overeenkomstig met PD5. Andere woningen met een plat dak hebben een andere opbouw. Woning 1 heeft een plat dak met een opbouw overeenkomstig met PD2. Woning 20 heeft een plat dak met een opbouw overeenkomstig met PD8, hier ontbreekt echter verdere informatie over in de MMG-milieuprofielen databank. Woning 14 heeft een plat dak met een opbouw overeenkomstig met PD11. De overige twee woningen, woning 19 en 23, hebben geen plat dak.

Element	Opbouw	Totale milieukost [€/m ²]	Conv.	Alt.
Plat dak: milieu-impact per m² dak (van binnen naar buiten)		[€/m²]		
PD1	beton PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/EPDM		
PD2	beton PUR17 EPDM	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/hellingsbeton/PUR3: 17cm (U=0,15)/EPDM	1	
PD5	welfsels 12 VG PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/welfsels (voorgespannen): 12cm/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/EPDM	4,7, 10,22	
PD6	beton PURafschot6,75	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/-/PUR1 (afschotisolatie): 6,75-10,5cm (U=0,29)/EPDM		
PD8	pottenenbalken klei PUR10 EPDM	GEEN INFO	20	
PD11	houtenbalken PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/houten balken (22)/hellingsspieën/OSB+PUR1: 10cm (U=0,23)/EPDM	14	
PD13	FJI cellulose24 RW6 EPDM	acrylverf/gipspleister/FJI 24cm + cellulose/hellingsspieën/OSB+RW: 6cm/EPDM		1,4,7,10, 14,20,22

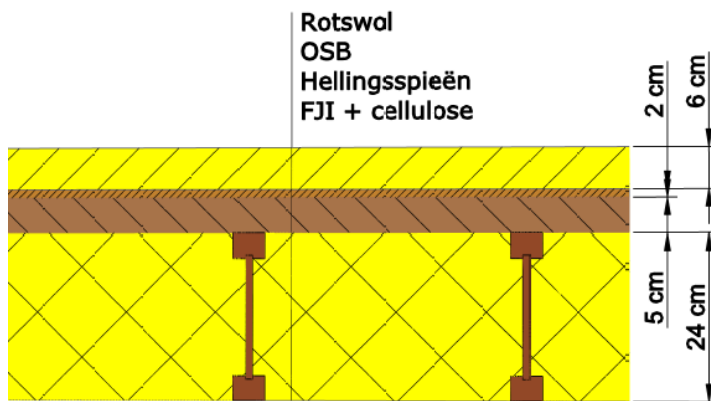
Figuur 15. Milieuprofielen van platte daken: PD1, PD2, PD5, PD6, PD8, PD11 en PD13 [46]

3.2.3.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van PD5, bestaande uit voorgespannen welfsels, hellingsbeton en PUR-isolatie, wordt het MMG milieuprofiel van PD13 voorgesteld. Bij deze alternatieve elementopbouw bestaat de opbouw uit met cellulose gevulde FJI-liggers, hellingsspieën, een OSB-plaat en rotswolisolatie. De te vergelijken opbouw van PD5 en PD13 wordt ter verduidelijking weergegeven in Figuur 16 en Figuur 17.



Figuur 16. Detaildoorsnede van opbouw PD5 [46]



Figuur 17. detaildoorsnede van opbouw PD13 [46]

Er kan nog een opmerking gemaakt worden bij het gebruik van afschotisolatie in de plaats van hellingsbeton met isolatie, zoals in PD6 (zie Figuur 15). De opbouw van PD6 heeft PUR-afschotisolatie waar PD1 en PD2 hellingsbeton met daarboven PUR-isolatie hebben. Een verschil in milieukost tussen deze profielen geeft bijgevolg het verschil tussen het gebruik van afschotisolatie of hellingsbeton met isolatie weer. Om dit verschil te vinden, wordt de U-waarde (warmtedoorgangscoefficiënt) van de onderdelen aan elkaar gelijkgesteld. De U-waarde (W/m^2K) is het omgekeerde van de R-waarde (m^2K/W). Zo heeft de opbouw PD6 met PUR-afschotisolatie een U-waarde van $0,29 W/m^2K$ en milieukost van $31,98 \text{ €/m}^2$. Hellingsbeton heeft geen isolerende functie dus wordt er enkel rekening gehouden met de PUR-isolatie uit PD1 en PD2. Zo heeft de opbouw PD1 PUR-isolatie met een U-waarde van $0,25 W/m^2K$ en een totale milieukost van $32,79 \text{ €/m}^2$. PD2 heeft PUR-isolatie met een U-waarde van $0,15 W/m^2K$ en een totale milieukost van $31,89 \text{ €/m}^2$. Aan de hand van lineaire interpolatie kan de totale milieukost voor een opbouw, overeenkomstig met PD1 en PD2, met PUR-isolatie met een U-waarde van $0,29 W/m^2K$ worden bekomen. Dergelijke opbouw heeft dan een milieukost van $33,15 \text{ €/m}^2$. Hieruit kan besloten worden dat het gebruik van PUR-afschotisolatie een lagere milieukost heeft van $1,17 \text{ €/m}^2$ t.o.v. hellingsbeton met PUR-isolatie [46].

3.2.3.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

De opbouw van PD5 die vergeleken wordt, bestaat uit voorgespannen welfsels ($0,14 \text{ m}$ dikte), druklaag ($0,03 \text{ m}$), hellingsbeton (gemiddelde dikte van $0,05 \text{ m}$) en PUR-isolatie ($0,10 \text{ m}$ dikte). De totale dikte van de opbouw die vergeleken wordt is $0,32 \text{ m}$ (zie Figuur 16). De opbouw van PD13 die vergeleken wordt, bestaat uit FJI-liggers gevuld met cellulose ($0,24 \text{ m}$ dikte), hellingsspieën (gemiddelde dikte van $0,05 \text{ m}$), OSB-plaat ($0,02 \text{ m}$ dikte) en rotswol-isolatie ($0,06 \text{ m}$ dikte). De totale dikte van de opbouw die vergeleken wordt is $0,37 \text{ m}$ (zie Figuur 17) [46].

Uit de vergelijking tussen de conventionele opbouw en de alternatieve opbouw volgt dat de alternatieve een vermindering in milieukost van $7,69 \text{ €/m}^2$ geeft t.o.v. de conventionele. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van PD5 en PD13 (zie Figuur 15) [46].

Om een kostprijsvergelijking tussen de twee verschillende opbouwen te maken, moet er een richtprijs gevonden worden voor alle onderdelen van beide opbouwen. Het is echter niet mogelijk om voor elk onderdeel een correcte algemene richtprijs te vinden waardoor een kostprijsvergelijking niet gemaakt kan worden.

Om het draagvermogen van de verschillende opbouwen te vergelijken wordt de dikte van beide draagstructuren vergeleken bij een nuttige belasting van 1,50 kN/m² en een overspanning van 6,00 m. De nuttige belasting is de som van de gebruiksbelasting, afwerking (van de vloer en plafond) en eventuele wanden op de vloer. De norm, NBN EN 1991-1-1-ANB, geeft voor daken, toegankelijk voor gewoon onderhoud en herstelling, een gebruiksbelasting van 0,80 kN/m². In de technische fiche van FJI-liggers wordt voor de afwerking met een belasting van 0,75 kN/m² gerekend [47]. Voor voorgespannen welfsels wordt, voor het verkrijgen van een eenduidige vergelijking, met dezelfde belastingen gerekend. De nuttige belasting komt bijgevolg op 1,50 kN/m². De overspanning van 6,00 m is zo gekozen, uit de technische fiches, dat de maximale nuttige belasting 1,50 kN/m² bedraagt. Op deze manier is er nog maar één veranderlijke, namelijk de dikte. Om aan de vereisten, van een nuttige belasting van 1,50 kN/m² en een overspanning van 6,00 m, te voldoen moet het voorgespannen welfsel een dikte van 0,14 m (zonder druklaag) hebben. In principe kan dit welfsel met deze overspanning en dikte een belasting tot 3,50 kN/m² aan, maar de maximale overspanning wordt in de technische fiche op 6,00 m gehouden [45]. De FJI-liggers hebben voor deze vereisten een dikte van 0,24 m met een flensdikte van 0,089 m, de FJI-liggers hebben hierbij een hart op hart afstand van 0,30 m [47].

Om de thermische isolatie van de verschillende opbouwen te vergelijken wordt de R-waarde van de opbouw vergeleken. Hiervoor wordt enkel de R-waarde van de isolatie in rekening genomen. De warmtegeleidingscoëfficiënt van PUR-isolatie bedraagt 0,026 W/mK, voor cellulose 0,039 W/mK en voor steenwol 0,040 W/mK [48], [49], [50]. Hieruit kan de R-waarde berekend worden voor de opbouwen met dezelfde afmetingen als PD5 en PD13. Zo wordt PD5 voorgesteld met 0,10 m PUR-isolatie, dit komt neer op een R-waarde van 3,85 m²K/W. PD13 wordt voorgesteld met cellulose van 0,24 m dikte, dit komt neer op een R-waarde van 6,15 m²K/W, en rotswol van 0,06 m dikte, dit komt neer op een R-waarde van 1,50 m²K/W. De totale opbouw van PD5 heeft een R-waarde van 3,85 m²K/W en PD13 van 7,65 m²K/W, dit is het dubbele van PD5. Hieruit kan afgeleid worden dat de rotswolisolatie bij PD13 niet nodig is om een gelijke R-waarde te verkrijgen als PD5. Integendeel, de PUR-isolatie moet een grotere dikte krijgen om eenzelfde R-waarde te verkrijgen als PD13 zonder rotswolisolatie (R-waarde van 6,15 m²K/W). Zo geeft PUR-isolatie van 0,16 m dikte een R-waarde van 6,15 m²K/W. Rekening houdend met het feit dat de cellulose tussen de FJI-liggers (van 0,24 m dikte) wordt geblazen en dus geen extra dikte aan de gehele opbouw geeft en de PUR-isolatie op de voorgespannen welfsels met druklaag (van 0,14 + 0,03 m) wordt geplaatst, geeft dit als resultaat dat de conventionele opbouw dikker is dan de alternatieve bij het streven naar een gelijke R-waarde.

Voor platte daken is de alternatieve opbouw, bestaande uit met cellulose gevulde FJI-liggers, hellingsspieën, een OSB-plaat en rotswolisolatie, toepasbaar. Het heeft een lagere milieu-impact en zeer goede thermisch isolerende waarden. Indien thermische isolatie geen belang heeft, heeft de draagstructuur van de alternatieve opbouw in vergelijking met de conventionele een veel grotere dikte nodig. Wanneer thermische isolatie echter wel belang heeft, geeft de alternatieve opbouw, bij eenzelfde R-waarde, een kleinere dikte als de conventionele. Deze voordelen van de alternatieve opbouw zou de keuze voor alternatief i.p.v. het conventionele gemakkelijk moeten maken. In '3.2.3.4 Toetsing met praktijk' wordt onderzocht waarom het conventionele toch nog steeds wordt verkozen boven het alternatief.

In Tabel 7 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen de conventionele opbouw en de alternatieve opbouw.

Tabel 7. Massieve structuur – platte daken: Conventionele opbouw – Alternatieve opbouw

	Conventioneel (PD5)	Alternatief (PD13)	Eenheid
Verschil in milieukost t.o.v. alternatief	+7,69 [46]	+0,00 [46]	€/m ²
Dikte van de te vergelijken opbouw	0,32 [46]	0,37 [46]	m
Dikte draagstructuur (overspanning 6,00 m en nuttige belasting 1,50 kN/m ²)	0,14 [45]	0,24 [47]	m
R-waarde van de te vergelijken opbouw	3,85 [48]	7,65 [49] [50]	m ² K/W
Dikte van de te vergelijken opbouw met eenzelfde R-waarde	0,38 [48]	0,31 [49]	m

3.2.3.4 Toetsing met praktijk

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de draagstructuur van platte daken bij de twee architecten, ingenieur, aannemer en dakdekker voornamelijk geopteerd wordt voor voorgespannen welfsels of breedplaatvloeren. De twee architecten gaan uit van wat de ingenieur hen voorschrijft. Meestal zijn dit voor hen welfsels of breedplaatvloeren. De reden voor het gebruik van welfsels en breedplaatvloeren is volgens de ingenieur het dunne resultaat met een aantrekkelijke kostprijs. Uit de vergelijking met de opbouw met FJI-liggers kan echter gediscussieerd worden over de dikte van de opbouw. De geïnterviewde ingenieur houdt namelijk geen rekening met isolatie en kijkt louter naar de dikte van de draagstructuur. In dit geval is een voorgespannen welfsel inderdaad dunner. In combinatie met isolatie (met cellulose gevulde FJI-liggers) is dit niet het geval.

Over het gebruik van FJI-liggers als alternatieve draagstructuur zijn de meningen van de respondenten verdeeld. De dakdekker is niet bekend met het gebruik van FJI-liggers in platte daken. De aannemer gebruikt geen hout in een plat dak, omdat dit een vochtgevoelige plaats is waar hout aangetast kan worden. De ene architect is geen voorstander van hout in een plat dak, omwille van de warmtegeleiding. Beton heeft namelijk een goede thermische massa t.o.v. hout. De andere architect ziet dit wel als een optie, omdat de technieken tussen de liggers kunnen ingewerkt worden, waardoor er eventueel een vals plafond niet nodig is. De ingenieur gebruikt FJI-liggers bij een plat dak met een terras, om het gewicht te beperken, of bij een plat dak boven een garage.

Alle respondenten gaven aan dat het gebruik van houten liggers arbeidsintensiever is, wat het gebruik ervan niet aantrekkelijk maakt.

Voor de isolatie in platte daken met een voorgespannen welfsel als draagstructuur wordt door de twee architecten en aannemer voor PUR-isolatie gekozen. Dit is volgens hen gemakkelijk om te plaatsen, goedkoop en heeft goede isolatiewaarden. Bij de vraag naar eventuele alternatieven hiervoor, zoals rotswol, kon dit overwogen worden, indien er voldoende vrije hoogte is.

In de MMG-milieuprofielen databank komt bij platte daken ook een voorstel met een bitumen top laag voor. Dit profiel heeft echter, in vergelijking met een overeenkomstig profiel met EPDM als top laag, een hogere milieukost van 7,30

€/m². Omdat er in de negen onderzochte woningen met een massieve opbouw enkel EPDM als toplaag werd gebruikt, is hier binnen het onderzoek niet verder op ingegaan. Om toch zeker te zijn van het gebruik van EPDM als toplaag, werd dit tijdens de interviews aangehaald. Hier geven de twee architecten, dakdekker en aannemer mee dat ze voor de toplaag bij een plat dak steeds EPDM gebruiken. Het is volgens hen makkelijk te plaatsen en heeft het geen zwakke punten naar aansluitingen. De aannemer gaf nog wel mee dat het moet beschermd worden tegen UV-stralen, a.d.h.v. een grindlaag of iets dergelijks.

3.2.4 Hellende daken

3.2.4.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende hellende daken van een woning met een massieve opbouw komt vaak overeen met de opbouw van een spantendak, zoals HD5 of HD8 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 18) [51]. Zo is het hellende dak van woningen 10, 14, 19, 22 en 23 overeenkomstig met HD5 en woning 4 met HD8. Het verschil tussen HD5 en HD8 zit in de dakafwerking. Zo heeft HD5 kleidakpannen en HD8 een dakafwerking uit zink. Woning 7 heeft een opbouw met FJI-liggers, deze opbouw is overeenkomstig met HD3. De overige twee woningen, woning 1 en 20, hebben geen hellend dak.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Hellend dak (45°): milieu-impact per m² hor. geprojecteerd dak (van binnen naar buiten)			[€/m²]		
HD2	FJI RW24 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/FJI 24cm+RW/houtvezelplaat/-/kleipannen	33,41		
HD3	FJI RW36 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/FJI 36cm+RW/houtvezelplaat/-/kleipannen	33,62	7	
HD4	FJI cellulose24 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/FJI 24cm+cellulose/houtvezelplaat/-/kleipannen	27,96		4,7,10,14,19,22,23
HD5	spantjes RW18 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/spantjes/houtvezelplaat/RW (volledig vulling tussen spantjes)/kleipannen	43,68	10,14,19,22,23	
HD8	spantjes RW18 zink	acrylverf/gipskarton/spantjes+RW (volledige vulling)/houtvezelplaat/onderstructuur/zink op PE noppenfolie	98,43	4	

Figuur 18. Milieuprofielen van hellende daken: HD2, HD3, HD4, HD5 en HD8 [51]

3.2.4.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van HD5, bestaande uit een spantendak gevuld met rotswol-isolatie, wordt het MMG milieuprofiel van HD4 voorgesteld. Bij deze alternatieve elementopbouw bestaat de opbouw uit met cellulose gevulde FJI-liggers.

Uit de vergelijking tussen de opbouw van HD5 en HD4 volgt dat het gebruik van met cellulose gevulde FJI-liggers een vermindering in milieukost van 15,72 €/m² horizontaal geprojecteerd dak geeft t.o.v. een spantendak met rotswolvulling. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van HD5 en HD4 (zie Figuur 18). HD5 heeft een spantendak met rotswolvulling en een totale milieukost van 43,68 €/m². HD4 heeft met cellulose gevulde FJI-liggers en een totale milieukost van 27,96 €/m². Het verschil in totale milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van een spantendak met rotswolvulling of met cellulose gevulde FJI-liggers. Hieruit volgt dat het gebruik van met cellulose gevulde FJI-liggers een lagere milieukost heeft van 15,72 €/m² t.o.v. een spantendak met rotswolvulling [51].

3.2.4.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

3.2.4.3.1 FJI-liggers

Bij het vergelijken van spanten versus FJI-liggers volgt dat er geen eenduidig verschil in milieukost berekend kan worden. In de MMG-milieuprofielen databank komen de spanten in een dikte van 0,18 m voor en de FJI-liggers in diktes van 0,24 m en 0,36 m. Voor spanten en FJI-liggers kan bijgevolg geen correct verschil worden opgemeten. Om dit verschil te vinden is verder onderzoek nodig met meer gedetailleerde gegevens uit de MMG-milieuprofielen databank.

Uit de vergelijking tussen spanten en FJI-liggers blijkt dat op vlak van kostprijs de spanten goedkoper zijn dan de FJI-liggers. Een richtprijs voor 'Douglas 30*215mm' is 3,25 €/lopende meter en een richtprijs voor 'I-Joist Finnwood 63*240mm' is 9,24 €/lopende meter [52]. Beide richtprijzen zijn exclusief plaatsing.

Om het draagvermogen te vergelijken wordt de sterkteklasse van beide draagstructuren vergeleken. Spanten hebben een sterkteklasse van C18 waartegenover FJI-liggers anderhalve keer zo stijf en ruim tweeëneenhalve keer zo sterk zijn dan standaard C18 hout [53], [54].

Voor hellende daken zijn de FJI-liggers een toepasbaar materiaal. Het heeft een lagere milieu-impact, maar is wel ongeveer drie keer duurder dan houten spanten. Aangezien het draagvermogen van houten spanten in een hellend dak volstaat voor woningen is het verschil in draagvermogen niet doorslaggevend. Het nadeel van kostprijs maakt het voor FJI-liggers moeilijk te worden verkozen boven houten spanten.

In Tabel 8 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen spanten en FJI.

Tabel 8. Massieve structuur – hellende daken: Spanten – FJI

	Spanten		FJI		Eenheid
Kostprijs	3,25	[52]	9,24	[52]	€/lm
Stijfheid	C18	[53]	1,5*C18	[54]	Sterkteklasse
Sterkte	C18	[53]	2,5*C18	[54]	Sterkteklasse

3.2.4.3.2 Cellulose

Bij het vergelijken van rotswolisolatie versus cellulose volgt dat het gebruik van cellulose een vermindering in milieukost van 5,45 €/m² horizontaal geprojecteerd dak geeft t.o.v. rotswolisolatie. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van HD2 en HD4 (zie Figuur 18). Omwille van meerdere verschillen in de opbouw (op vlak van isolatie en draagstructuur) kan het verschil in milieu-impact van de isolatie uit HD4 niet vergeleken worden met die van HD5. HD2 en HD4 hebben echter een opbouw met FJI-liggers (0,24 m dikte), maar verschillen onderling van type isolatie. Bijgevolg kan verschil in milieukost van de isolatie berekend worden in het verschil in totale milieukost van HD2 en HD4. HD2 heeft rotswolisolatie en een totale milieukost van 33,41 €/m². HD4 heeft cellulose en een totale milieukost van 27,96 €/m². Het totale verschil in milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van het type isolatie. Hieruit volgt dat het gebruik van cellulose een lagere milieukost geeft van 5,45 €/m² t.o.v. rotswolisolatie [51].

Uit de vergelijking tussen rotswol en cellulose volgt dat de kostprijs voor rotswol hoger ligt dan voor cellulose. Een richtprijs voor 'rotswol 10 cm' is 14,20 €/m² [32]. Het laten isoleren van de woning met cellulose kost ongeveer 14,00 tot 20,00 €/m²

voor een isolatiedikte van 20,00 cm [55]. Voor een dikte van 0,24 m geeft dat voor rotswol 34,08 €/m² en voor cellulose 16,80 tot 24,00 €/m².

Het verschil in thermische isolatiewaarde is minimaal. Rotswol heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,037 W/mK en cellulose een van 0,039 W/mK [56], [49]. Dit houdt, bij eenzelfde R-waarde van 6,15 m²K/W, in dat de rotswol een dikte van 0,23 m en de cellulose een dikte van 0,24 m heeft.

Voor hellende daken is cellulose een toepasbaar materiaal. Het heeft een lagere milieu-impact en is goedkoper dan rotswol. Het verschil in thermisch isolerende eigenschappen is minimaal en bijgevolg niet doorslaggevend. Deze voordelen van cellulose zou de keuze voor cellulose i.p.v. rotswolisolatie gemakkelijk moeten maken. In '3.2.4.4.2 Cellulose' wordt onderzocht waarom rotswolisolatie in de praktijk toch nog steeds wordt verkozen boven cellulose.

In Tabel 9 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen rotswol en cellulose.

Tabel 9. Massieve structuur – hellende daken: Rotswol – Cellulose

	Rotswol	Cellulose	Eenheid
Vershil in milieukost t.o.v. cellulose	+5,45 [51]	+0,00 [51]	€/m ²
Kostprijs (dikte = 0,24 m)	34,08 [32]	16,80-24,00 [55]	€/m ²
λ-waarde	0,037 [56]	0,039 [49]	W/mK
Dikte (R-waarde = 6,15 m ² K/W)	0,23 [56]	0,24 [49]	m

3.2.4.4 Toetsing met praktijk

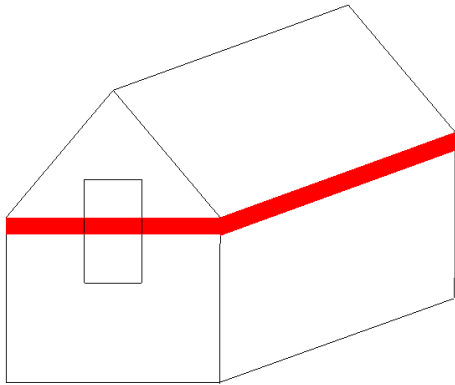
3.2.4.4.1 FJI-liggers

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de draagstructuur van hellende daken bij de twee architecten, ingenieur, dakdekker en aannemer voornamelijk geopteerd wordt voor houten spanten. Alle respondenten gaven als reden aan dat houten spanten eenvoudig en snel te plaatsen zijn.

Als er in de interviews naar het gebruik van FJI-liggers werd gevraagd, zijn de meningen van de respondenten verdeeld. De dakdekker is niet bekend met het gebruik van FJI-liggers in platte daken. De ene architect had er persoonlijk nooit aan gedacht, maar staat er wel voor open als de uitvoerder er ervaring mee heeft. De andere architect stelde zich vragen bij de verwerkbaarheid van FJI-liggers. Houten balken kunnen op de werf gemakkelijk in verstek gezaagd worden, waar dat volgens de architect niet het geval is met FJI-liggers. Dezelfde reden werd ook door de aannemer aangehaald. De aannemer gaf tevens nog mee dat ze vele eengezinswoningen niet tot de nok isoleren, maar tot de hoogte van het vals plafond. Dus het voordeel dat FJI-liggers dunner zijn en bijgevolg minder koudebruggen veroorzaken, is niet van toepassing. Tot slot vermeldde de ingenieur dat de FJI-liggers ervoor zorgen dat de horizontale krachten in het dak groter worden t.o.v. spanten. Want de horizontale balken bij spanten vangen deze krachten op. Hierdoor moet er een ringbalk voorzien worden. Dit is volgens de ingenieur niet altijd mogelijk door aanwezigheid van ramen in de gevel, zoals aangegeven in Figuur 19.

Uit de interviews wordt er afgeleid dat er nog meerdere nadelen verbonden zijn aan het gebruik van FJI-liggers dan enkel de kostprijs. Deze nadelen hebben

voornamelijk te maken met de bewerkbaarheid en gedrag van de FJI-liggers in de constructie.



Figuur 19. Ringbalk rondom dak, doorheen raam

3.2.4.4.2 Cellulose

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de isolatie in hellende daken door de twee architecten, dakdekker en aannemer voornamelijk voor rots- of glaswol gekozen wordt. De goede thermisch isolerende eigenschappen en mogelijkheid voor snelle plaatsing werd door de respondenten als voornaamste reden opgegeven. Het gebruik van cellulose werd zowel door de twee architecten, dakdekker en aannemer niet toegepast in hellende daken. De verwerkbaarheid is volgens hen een nadeel, want de structuur moet luchtdicht gemaakt worden. Er heerst bij de respondenten tevens het gevoel dat de isolatie kan zakken naar verloop van tijd.

Uit de interviews wordt er afgeleid dat de bevindingen uit het voorgaand onderzoek, namelijk de voordelen van cellulose naar milieu-impact en kostprijs, niet doorslaggevend zijn in de praktijk. De snelle en gemakkelijke plaatsing bij het gebruik van rotswolisolatie is volgens de twee architecten en aannemer de doorslaggevende factor.

3.2.5 Buitenwanden

3.2.5.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende buitenwanden van een woning met een massieve opbouw bestaat uit gipspleister, isolerende snelbouwsteen, PUR-isolatie en gevelsteen. Deze specifieke opbouw komt binnen de MMG-milieuprofielen databank niet voor. Isolerende snelbouwsteen komt hierbinnen enkel voor in combinatie met rotswol- en EPS-isolatie. PUR-isolatie komt enkel voor in combinatie met betonsteen. Daarom wordt er gekozen om eerst naar de structurele overeenkomsten te kijken en daarna pas naar de isolerende elementen. Zo volgt dat frequent voorkomende buitenwanden vaak overeenkomen met de opbouw van BW14 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 20) [57]. De buitenwanden van woningen 1, 4, 7, 10,14, 19, 22 en 23 zijn overeenkomstig met BW14. Woning 20 heeft een opbouw met EPS-isolatie en een buitenafwerking uit crepi, deze opbouw is overeenkomstig met BW16.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Buitenwand (dragend en niet-dragend): milieu-impact per m² wand (van buiten naar binnen)			[€/m²]		
BW9	betonsteen hol RW7,5 gevelsteen	gevelsteen (klei)/betonsteen1 (hol)/RW1-7,5cm (U=0,38)/gipspleister/acrylverf	35,21		
BW11	betonsteen hol PUR5 gevelsteen	gevelsteen (klei)/betonsteen1 (hol)/PUR1-5cm (U=0,37)/gipspleister/acrylverf	34,65		
BW12	betonsteen hol PUR15 gevelsteen	gevelsteen (klei)/betonsteen1 (hol)/PUR2-15cm (7+8) (U=0,14)/gipspleister/acrylverf	30,59		
BW14	snelbouw isol RW6 gevelsteen	gevelsteen (klei)/snelb. Klei1 (isolerend)/RW1-6cm (U=0,39)/gipspleister/acrylverf	32,74	1,4,7,10,14, 19,22,23	
BW16	snelbouw isol EPS7 crepi	snelb. Klei1 (isolerend)/EPS1-7cm (U=0,38)/gipspleister/acrylverf	30,83	20	
BW18	snelbouw isol RW6 gevelsteen leem-	gevelsteen (klei)/snelb. Klei1 (isolerend)/RW1-6cm (U=0,40)/leempleister/-	29,51		1,4,7,10,14, 19,20,22,23

Figuur 20. Milieuprofielen van buitenwanden: BW9, BW11, BW12, BW14, BW16 en BW18 [57]

3.2.5.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van BW14, bestaande uit isolerende snelbouwsteen en rotswolisolatie, wordt het MMG milieuprofiel van BW18 voorgesteld. Dit milieuprofiel heeft eenzelfde opbouw als BW14, bestaande uit isolerende snelbouwsteen en rotswolisolatie. Het verschil in milieu-impact wordt verkregen door een verschillende binnenafwerking, namelijk leempleister in plaats van gipspleister met acrylverf. Dit verschil heeft echter geen betrekking op de constructieve onderdelen van het gebouwelement, maar op de afwerking. Hier zal bijgevolg niet verder op ingegaan worden.

Om de draagstructuur van de opbouw toch te verbeteren naar milieu-impact wordt er gekeken naar de NIBE classificatie. Hierin komt de draagstructuur (isolerende snelbouwsteen) van opbouw BW14 overeen met het materiaal 'Baksteen; geperforeerd' uit de NIBE classificatie. 'Baksteen; geperforeerd' bevindt zich in de categorie 'Buitenwanden' in de materiaalgroep 'binnenspouwblad'. Een alternatief materiaal uit de NIBE classificatie is hiervoor 'Leemsteenmetselwerk' [29].

Om de thermische isolatie van de opbouw toch te verbeteren naar milieu-impact wordt er gekeken naar de profielen van BW9, BW11 en BW12 van de MMG-milieuprofielen databank. Bij het vergelijken van deze opbouwen volgt dat het gebruik van PUR-isolatie een vermindering in milieukost van 1,575 €/m² wandoppervlakte geeft t.o.v. rotswolisolatie. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van BW9, BW11 en BW12 (zie Figuur 20). Zo hebben de drie opbouwen enkel een verschil in type of dikte van isolatie. BW9 heeft rotswolisolatie van 0,075 m dikte en een totale milieukost van 35,21 €/m². BW11 en BW12 hebben PUR-isolatie van 0,05 m en 0,15 m dikte met een totale milieukost van respectievelijk 34,65 €/m² en 30,59 €/m². Via lineaire interpolatie kan er een milieukost berekend worden voor een profiel met 0,075 m PUR-isolatie. Deze milieukost resulteert in 33,635 €/m². Hieruit volgt dat het gebruik van PUR-isolatie een lagere milieukost geeft van 1,575 €/m² t.o.v. rotswolisolatie [57].

3.2.5.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

3.2.5.3.1 Leemsteenmetselwerk

Bij het vergelijken van de materialen voor het dragende binnenspouwblad ('Baksteen; geperforeerd' versus 'Leemsteenmetselwerk') op basis van de NIBE classificatie volgt dat er weinig verschil zit op de schaduwkost. Een geperforeerde baksteen heeft een milieuklasse 1, subklasse b met een schaduwkost van 2,59 €/m² binnenspouwblad. Dit is maar een subklasse lager dan leemsteenmetselwerk, nl. milieuklasse 1, subklasse a. Leemsteenmetselwerk heeft een schaduwkost van 2,38 €/m² binnenspouwblad. Beide draagstructuren behoren tot de beste keuze inzake milieuklasse. Het verschil in schaduwkost is slechts 0,21 €/m² [29].

Bij het vergelijken van 'Baksteen; geperforeerd' versus 'Leemsteenmetselwerk' volgt dat de kostprijs voor isolerende snelbouwsteen lager ligt dan leemsteenmetselwerk. Een richtprijs voor een 'Porotherm Thermobrick 29x14x19' is 0,88 €/stuk. Om deze kost toch per m² weer te geven wordt er berekend dat er 17 stenen met 0,01 m mortelvoeg in een m² kunnen. Op deze manier bekomt men een kost van 14,96 €/m² exclusief de plaatsing [58]. Een richtprijs voor leemsteenmetselwerk is 1,35 €/stuk. Om deze kost toch per m² weer te geven wordt er berekend dat er 33 stenen met 0,01 m mortelvoeg in een m² kunnen. Op deze manier bekomt men een kost van 44,55 €/m² exclusief de plaatsing [59].

Om het draagvermogen te vergelijken wordt de druksterkte van beide draagstructuren vergeleken. De druksterkte van isolerende snelbouwsteen is 10,00 N/mm² [60]. Dit ligt hoger dan de druksterkte van leemsteen, deze is 4,00 tot 6,00 N/mm² [59].

Voor buitenwanden is leemsteen een toepasbaar materiaal als dragende structuur. Het geeft echter maar een kleine verlaging in milieu-impact en is minstens tot drie maal duurder dan isolerende snelbouwsteen en heeft het een lagere druksterkte. Deze nadelen maken het voor leemsteenmetselwerk moeilijk te worden verkozen boven isolerende snelbouwsteen.

In Tabel 10 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen een baksteen; geperforeerd en leemsteenmetselwerk.

Tabel 10. Massieve structuur – buitenwanden: Baksteen; geperforeerd – Leemsteenmetselwerk

	Baksteen; geperforeerd	Leemsteenmetselwerk	Eenheid
Milieuklasse	1b [29]	1a [29]	
Schaduwkost	2,59 [29]	2,38 [29]	€/m ²
Kostprijs, exclusief plaatsing	14,96 [58]	44,55 [59]	€/m ²
Druksterkte	10,00 [60]	4,00-6,00 [59]	N/mm

3.2.5.3.2 PUR-isolatie

Bij het vergelijken van rotswolisolatie versus PUR-isolatie volgt dat het gebruik van PUR-isolatie een vermindering in milieukost van 1,575 €/m² vloeroppervlakte geeft t.o.v. rotswolisolatie. De achtergrond van dit verschil in milieukost werd besproken in '3.2.5.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw'.

Uit de vergelijking tussen rotswolisolatie en PUR-isolatie volgt dat de kostprijs van rotswolisolatie hoger is dan PUR-isolatie. Een richtprijs voor een rotswolplaat van 5,00 cm is 11,50 €/m² en een richtprijs voor een polyurethaanplaat van 3,00 cm is 12,20 €/m² [32]. Voor eenzelfde thermische prestatie (een R-waarde van 1,71 m²K/W) komt een rotswolplaat op 13,80 €/m² en een polyurethaanplaat op 15,45 €/m².

De warmtegeleidingscoëfficiënt van rotswol bedraagt 0,035 W/mK en van PUR-isolatie 0,022 W/mK [61], [62]. Hieruit volgt dat rotswolisolatie van 0,06 m dik een R-waarde van 1,71 m²K/W heeft. Een dikte van 0,06 m rotswolisolatie wordt berekend omdat deze dikte voorkomt in de opbouw van BW14. Voor dezelfde R-waarde heeft PUR-isolatie een dikte van 0,038 m.

Voor buitenwanden is PUR-isolatie een zeer toepasbaar materiaal. Het heeft een lagere milieu-impact, is goedkoper en heeft betere thermisch isolerende eigenschappen dan rotswol. Deze voordelen van PUR-isolatie zou de keuze voor PUR-isolatie i.p.v. rotswolisolatie gemakkelijk moeten maken. Zoals in '3.2.5.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand' al werd meegedeeld, wordt PUR-isolatie in bestaande huizen al voornamelijk toegepast. Deze vergelijking tussen isolatie werd gedaan omdat er in de MMG-milieuprofielen databank een opbouw met isolerende snelbouwsteen enkel voorkomt met rotswolisolatie. In '3.2.5.4.2 PUR-isolatie' wordt onderzocht waarom PUR-isolatie in de praktijk wordt verkozen boven rotswolisolatie.

In Tabel 11 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen een rotswolisolatie en PUR-isolatie.

Tabel 11. Massieve structuur – buitenwanden: Rotswolisolatie – PUR-isolatie

	Rotswolisolatie		PUR-isolatie		Eenheid
Verskil in milieukost t.o.v. PUR-isolatie	+1,575	[57]	+0,00	[57]	€/m ²
Kostprijs (R-waarde = 1,71 m ² K/W)	13,80	[32]	15,45	[32]	€/m ²
λ-waarde	0,035	[62]	0,023	[62]	W/mK
Dikte (R-waarde = 1,71 m ² K/W)	0,06	[62]	0,038	[62]	m

3.2.5.4 Toetsing met praktijk

3.2.5.4.1 Leemsteenmetselwerk

Uit de interviews kwam naar voren dat de twee architecten, ingenieur en aannemer voornamelijk kiezen voor isolerende snelbouwsteen. De ingenieur gaf nog mee dat er eigenlijk geen specifieke voorkeur is, zolang de draagkracht maar voldoet.

Als er in de interviews naar het gebruik van leemsteen werd gevraagd, werd hier door de twee architecten en aannemer niet aangeraden. De ene architect kende het gebruik van leemsteen eigenlijk niet. De andere architect raadde het gebruik van leemsteen af omwille van het grotere gewicht. Dit zou meer belasting geven voor de arbeiders. De aannemer sloot zich hier bij aan en vermeldde tenslotte dat het gebruik van leemsteen in buitenwanden verleden tijd.

Uit de interviews wordt er afgeleid dat er, buiten de kostprijs, nog een groot nadeel verbonden is aan het gebruik van leemsteen. Zo heeft de leemsteen een massa van

295 kg/m² terwijl isolerende snelbouwsteen een massa van 100 kg/m² heeft [29]. Dit maakt leemsteen niet aantrekkelijk voor gebruik op de werf.

3.2.5.4.2 PUR-isolatie

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de isolatie in buitenwanden door de twee architecten en aannemer voornamelijk voor PUR- of PIR-isolatie gekozen wordt. Deze keuze is voornamelijk gebaseerd op de goede thermisch isolerende eigenschappen en bijgevolg dunnere opbouw.

Als er in de interviews naar het gebruik van rotswolisolatie werd gevraagd, werd door alle respondenten gereageerd op het dikkere eindresultaat. Ze vinden het voor buitenmuren heel belangrijk een zo dun mogelijke opbouw te behouden. Deze dunnere opbouw van PUR-isolatie werd door de respondenten toch verkozen boven de lagere kost bij rotswolisolatie. Een van de architecten gaf nog wel mee in geval er met brandveiligheid rekening wordt gehouden, rotswolisolatie nog wel de voorkeur geniet op PUR-isolatie.

Uit de interviews wordt er afgeleid dat PUR-isolatie, zoals het onderzoek van de woningen al aangaf, als standaard wordt gebruikt bij woningen. Het gebruik van rotswolisolatie, zoals in de opbouw van BW14, wordt minder toegepast omwille van de dikkere opbouw.

3.2.6 Dragende binnenwanden

3.2.6.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende dragende binnenwanden van een woning met een massieve opbouw bestaat uit snelbouwsteen. Dit komt overeen met de opbouw van DBiW1 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 21) [27]. De dragende binnenwanden van woningen 1, 4, 7, 10, 14, 19, 20, 22 en 23 zijn overeenkomstig met DBiW1. Woning 19 heeft, buiten dragende binnenwanden overeenkomstig aan DBiW1, ook nog dragende binnenwanden overeenkomstig met DBiW5. Dit is een opbouw met cellenbeton.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Binnenwand (dragend): milieu-impact per m² wand			[€ / m²]		
DBiW1	snelbouwsteen	acrylverf/gipspleister/snelbouwsteen (gemetst) 14cm klei/gipspleister/acrylverf	13,86	1,4,7,10,14,19,20,22,23	
DBiW4	kalkzandsteen	acrylverf/gipspleister/kalkzandsteen (gelijmd) 14cm/gipspleister/acrylverf	14,46		
DBiW5	cellenbeton	acrylverf/gipspleister/cellenbeton 15cm/gipspleister/acrylverf	13,89	19	
DBiW6	betonsteen	acrylverf/gipspleister/holle betonsteen 14cm/gipspleister/acrylverf	15,68		
DBiW7	zichtbetonblok	zichtblokken (beton)	9,82		1,4,7,10,14,19,20,22,23

Figuur 21. Milieuprofielen van dragende binnenwanden: DBiW1, DBiW5 en DBiW7 [27]

3.2.6.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van DBiW1, bestaande uit snelbouwsteen, wordt de DBiW7 uit de MMG-milieuprofielen databank aanbevolen. Dit milieuprofiel

bestaat uit zichtbetonblokken, omdat dit een grote invloed heeft op de afwerking van de wand wordt er gezocht naar een keuze zonder verschil in afwerking. Aangezien er voor de snelbouwsteen geen beter alternatief bestaat in de MMG-milieuprofielen databank buiten de zichtbetonblokken, wordt er naar de NIBE classificatie gekeken. De NIBE classificatie vermeldt echter in de categorie 'Binnenwanden', materiaalgroep 'massief dragende binnenwanden' dat kalkzandsteen en betonsteen als materialen met een lagere milieu-impact. In Figuur 21 is te zien dat in de MMG-milieuprofielen databank kalkzandsteen en betonsteen een hogere milieu-impact hebben. Dergelijke contradicties tussen de MMG-milieuprofielen databank en de NIBE classificatie is te wijten aan de achterliggende methodologie. Een overzicht tussen het verschil bij deze achterliggende methodologieën is gegeven in '2.5 Synthese MMG-elementendatabank vs. NIBE-milieuclassificatie' (pagina 39). Omdat dit onderzoek in functie van Vlaamse woningen kadert, wordt in geval van tegenstrijdigheden de MMG-milieuprofielen databank gevolgd. Bijgevolg kan er geen alternatief worden aangereikt voor het gebruik van snelbouwsteen in dragende binnenwanden.

3.2.6.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

Omdat er geen alternatief is aanbevolen voor snelbouwsteen in dragende binnenwanden, kan er geen haalbaarheid worden onderzocht.

3.2.6.4 Toetsing met praktijk

Uit de interviews kwam naar voren dragende binnenwanden door de twee architecten, ingenieur en aannemer voornamelijk voor snelbouwsteen gekozen wordt. De ingenieur gaf nog mee dat er eigenlijk geen specifieke voorkeur is, zolang de draagkracht maar voldoet. Zo wordt kalkzandsteenblokken ook geregeld gebruikt, dit is vooral bij Nederlandse klanten zeer populair.

Omdat er in de interviews geen alternatief bevroegd kon worden, werd er naar het eventuele gebruik van beton- en kalkzandsteenblokken gevraagd. Hierop gaf een van de architecten aan dat gebruik van betonblokken in dragende binnenwanden enkel in kelders wordt toegepast, omwille van esthetische redenen. De ander architect gaf aan wel eens met kalkzandsteenblokken te werken, maar dat ze zwaarder zijn en bijgevolg meer belastend voor de arbeider. De aannemer vermeldde tevens deze stelling van het gewicht van kalkzandsteenblokken ook.

Uit de interviews wordt er afgeleid dat het onderzoek van de woningen een goede weergave van de praktijk is. Zo wordt er voornamelijk snelbouwsteen gebruikt in dragende binnenwanden. Het gebruik van kalkzandsteenblokken wordt ook toegepast, al is het gewicht hier wel een nadeel. Zo heeft de kalkzandsteen een massa van $1800,00 \text{ kg/m}^3$ terwijl de snelbouwsteen een massa van $950,00 \text{ kg/m}^3$ heeft [63], [60].

3.2.7 Niet-dragende binnenwanden

3.2.7.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende niet-dragende binnenwanden van een woning met een massieve opbouw bestaat vaak uit snelbouwsteen. Dit komt overeen met de opbouw van NDBiW5 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 22) [64]. De niet-dragende binnenwanden van woningen 1, 7, 10, 19, 20 en 23 zijn overeenkomstig met NDBiW5. Woning 14 heeft niet-dragende binnenwanden uit houtskelet, deze opbouw komt overeen met NDBiW1. Woningen 4 en 22 hebben geen niet-dragende binnenwanden.

Element	Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Binnenwand (niet-dragend): milieu-impact per m² wand		[€/m²]		
NDBiW1	houtskelet 1gipskarton	acrylverf/gipskarton (1laag)/houtskelet (10cm, gevuld met glaswol)/gipskarton (1laag)/acrylverf	15,71	14
NDBiW5	snelbouwsteen	acrylverf/gipspleister/snelbouwsteen (gemetst) 9cm klei/gipspleister/acrylverf	11,96	1,7,10,19,20,23
NDBiW8	gipsblokken	acrylverf/gipspleister/gipsblokken 10cm/gipspleister/acrylverf	11,02	1,7,10,14,19,20,23

Figuur 22. Milieuprofielen van niet-dragende binnenwanden: NDBiW5 en NDBiW8 [64]

3.2.7.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van NDBiW5, bestaande uit snelbouwsteen, wordt het MMG milieuprofiel van NDBiW8 voorgesteld. Dit milieuprofiel bestaat uit gipsblokken.

3.2.7.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

Bij het vergelijken van snelbouwsteen versus gipsblokken volgt dat het gebruik van gipsblokken een vermindering in milieukost van 0,94 €/m² wand geeft t.o.v. snelbouwsteen. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van NDBiW5 en NDBiW8 (zie Figuur 22). NDBiW5 heeft een opbouw met snelbouwsteen en een totale milieukost van 11,96 €/m². NDBiW8 heeft een opbouw met gipsblokken en een totale milieukost van 11,02 €/m². Aangezien de rest van beide opbouwen hetzelfde is, is het totale verschil in milieukost bijgevolg het verschil in gebruik van snelbouwsteen of gipsblokken. Hieruit volgt dat het gebruik van gipsblokken een lagere milieukost geeft van 0,94 €/m² t.o.v. snelbouwsteen [64].

Bij het vergelijken van snelbouwsteen versus gipsblok volgt dat de kostprijs voor snelbouwsteen hoger is dan de gipsblok. Een richtprijs voor 'Snelbouw 29/09/14' ligt tussen de 36,00 en 53,00 €/m² [33]. Een richtprijs voor de 'GNL100- gipsblok wanden 100mm (normaal blok)' is 31,00 €/m² [65].

Voor niet-dragende binnenwanden zijn gipsblokken een toepasbaar materiaal. Het heeft een lagere milieu-impact en is goedkoper. Aangezien het draagvermogen en thermisch isolerende eigenschappen niet van doorslaggevend belang zijn bij niet-dragende binnenwanden, kan er enkel op basis van de milieu-impact en kostprijs een oordeel geveld worden. Gipsblokken heeft enkel voordelen t.o.v. snelbouwsteen. De keuze voor gipsblokken zou bijgevolg gemakkelijk gemaakt moeten worden. In '3.2.7.4 Toetsing met praktijk' wordt onderzocht waarom er in de praktijk niet altijd voor gipsblokken wordt gekozen.

In Tabel 12 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen snelbouwsteen en gipsblokken.

Tabel 12. Massieve structuur – niet-dragende binnenwanden: Snelbouwsteen – Gipsblok

	Snelbouwsteen	Gipsblok	Eenheid
Vershil in milieukost t.o.v. gipsblokken	+0,94 [64]	+0,00 [64]	€/m ²
Kostprijs	36,00-53,00 [33]	31,00 [65]	€/m ²

3.2.7.4 Toetsing met praktijk

Uit de interviews bleek dat er voor niet-dragende binnenwanden heel wat onenigheid heerste tussen de twee architecten en aannemer. De ene architect kiest liever voor de snelbouwsteen, omdat deze als de dragende binnenwand worden gebruikt en er bijgevolg niet veranderd moet worden van materiaal. De andere architect plaatst liever gyprocwanden. Deze architect prees dit omwille van de snelle plaatsingstijd. De aannemer daarentegen opteert hier dan liever voor de gipsblokken. De aannemer somde hierbij enkele voordelen van gipsblokken op. Zo zouden ze snel verwerkbaar, water-werend, akoestisch sterk en gemakkelijk aan te passen zijn. De snelle verwerkbaarheid kan bewezen worden door dezelfde volumieke massa als snelbouwsteen van 950,00 kg/m³ [66], [60]. Door dit lichte gewicht kan de arbeider hier makkelijk met werken.

3.3 Betonstructuur

Uit de tweeëntwintig onderzochte cases zijn er twee met een betonstructuur. Deze twee woningen hebben de volgende nummers: 6 en 9.

3.3.1 Vloeren op volle grond

3.3.1.1 Vaak gekozen elementopbouw in de bestaande toestand

Een frequent voorkomende vloer op volle grond bij betonstructuren is een vloeropbouw bestaande uit gewapend beton met daarboven PUR- of EPS-isolatie, chape en een tegelafwerking. Deze bestaande vloeren op volle grond komen overeen met de opbouw van Vloer1, Vloer2 en Vloer3 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 23) [31]. Deze twee vloeropbouwen verschillen onderling enkel van type of dikte isolatie. De PUR-isolatie dikte van Vloer1 bedraagt 0,05 m en van Vloer2 0,15 m. Vloer3 heeft een profiel met XPS-isolatie van 0,08 m dikte. Woning 9 heeft twee soorten profielen van vloeren op volle grond, namelijk Vloer1 en Vloer2. Woning 6 heeft een vloer op volle grond overeenkomstig met het profiel van Vloer3.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Vloer op volle grond: milieu-impact per m² vloer (van buiten naar binnen)			[€/m²]		
Vloer1	PUR05	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,92	9	
Vloer2	PUR15	zand/beton nieuw/PUR2 (gespoten boven beton): 15cm (U=0,15)/cement chappe/tegels gebakken aarde	81,97	9	
Vloer3	XPS8	zand/beton nieuw+uitvullingslaag/XPS1 boven draagvloer: 4cm (U=0,38)/cement chappe/tegels gebakken aarde	88,68	6	
Vloer4	REC PUR05	zand/beton 100 recycl/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,87		
Vloer8	PUR05 parket	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,38)/cement chappe/parket	69,54		
Vloer10	K08 parket	zand/beton nieuw+uitvullingslaag/kurk: 8cm/cement chappe/parket	67,87		6,9

Figuur 23. Milieuprofielen van vloeren op volle grond: Vloer1, Vloer3 en Vloer8 [31]

3.3.1.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

In de MMG-milieuprofielen databank wordt een element met een lagere milieu-impact gezocht met gelijkaardige functionele prestaties (draagvermogen en thermische isolatie). Voor vloeren op volle grond geeft het MMG milieuprofiel van Vloer10 een lagere milieukost en kan het bijgevolg worden voorgesteld als alternatief. Het verschil tussen het milieuprofiel van Vloer10 en Vloer1 zit in de afwerking en het type isolatie. De afwerking van Vloer10 is parket en van Vloer1 tegels uit gebakken aarde. Omdat in het onderzoek niet verder wordt ingegaan op de afwerking, zal enkel het type isolatie worden vergeleken. Het type isolatie van Vloer10 is geëxpandeerde kurk en van Vloer1 gespoten PUR-isolatie. Deze vergelijking werd al behandeld in '3.2.1.3.2 Geëxpandeerde kurk' (pagina 48), daarom wordt een vergelijking tussen Vloer3 en Vloer10 gedaan. Het verschil tussen het milieuprofiel van Vloer3 en Vloer10 zit ook in de afwerking en het type isolatie. Het type isolatie van Vloer3 is XPS-isolatie en van Vloer10 geëxpandeerde kurk.

Een bijkomend alternatief voor het gewapende beton als dragend onderdeel van het profiel is het gerecycleerde gewapende beton van Vloer4.

Uiteindelijk zou een combinatie van Vloer4 en Vloer10 de laagste milieukost geven. De vloeropbouw bestaat dan uit zand, gerecycleerd gewapend beton, kurkisolatie en cement chape.

3.3.1.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

3.3.1.3.1 Beton met gerecycleerde betongranulaten

Een vergelijking tussen gewapend beton en gerecycleerd gewapend beton werd al gedaan in '3.2.1.3.1 Beton met gerecycleerde betongranulaten' (pagina 47).

3.3.1.3.2 Geëxpandeerde kurk

Uit de vergelijking van gespoten PUR versus kurkisolatie werd in '3.2.1.3.2 Geëxpandeerde kurk' (pagina 48) berekend dat het gebruik van geëxpandeerde kurk een vermindering in milieukost van 1,67 €/m² vloeroppervlakte geeft t.o.v. gespoten PUR. Bij het vergelijken van XPS-isolatie met gespoten PUR volgt dat het gebruik van gespoten PUR een vermindering in milieukost van 0,76 €/m²

vloeroppervlakte geeft t.o.v. XPS. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van Vloer1 en Vloer3 (zie Figuur 23). Omwille van eenzelfde opbouw, met enkel een verschil in type isolatie, geeft het verschil in totale milieukost het verschil in gebruik van type isolatie weer. Vloer1 heeft PUR-isolatie en een totale milieukost van 87,92 €/m². Vloer3 heeft XPS-isolatie en een totale milieukost van 88,68 €/m². Het totale verschil in milieukost is 0,76 €/m².

Uiteindelijk is verschil in milieukost tussen het gebruik van XPS-isolatie en kurkisolatie is de som van het verschil tussen kurk en PUR en PUR en XPS. Hieruit volgt dat het gebruik van geëxpandeerde kurk een vermindering in milieukost van 2,43 €/m² vloeroppervlakte geeft t.o.v. XPS-isolatie.

Op gebied van kostprijs is XPS-isolatie goedkoper dan geëxpandeerde kurk. Een richtprijs voor 'Polystyreen, geëxpandeerd (0,04 m dikte)' is 7,20 €/m. Voor een dikte van 0,08 m met een R-waarde van 2,22 m²K/W, is dit 14,40 €/m² [32]. Een richtprijs voor geëxpandeerde kurk, van 0,08 m dikte met een R-waarde van 2,00 m²K/W, is 27,00 €/m² exclusief plaatsing [37]. De kostprijs van geëxpandeerde kurk met plaatsing loopt bijgevolg op tot meer dan het dubbele van de kostprijs van XPS-isolatie.

De warmtegeleidingscoëfficiënt van gespoten XPS-isolatie bedraagt 0,036 W/mK en van geëxpandeerde kurk 0,040 W/mK [67], [39]. Zo heeft een dikte van 0,08 m gespoten XPS-isolatie een net iets hogere R-waarde (2,22 m²K/W) dan 0,08 m geëxpandeerde kurk (2,00 m²K/W). Dit zijn de diktes van de isolatielagen van de MMG profielen, Vloer1 en Vloer10. De opbouwen van beide profielen zijn bijgevolg even groot.

Voor vloeren op volle grond is de geëxpandeerde kurk een toepasbaar materiaal. Behalve dat het een lagere milieu-impact en ongeveer eenzelfde dikte nodig heeft, heeft het in vergelijking met XPS-isolatie een groot nadeel. Geëxpandeerde kurk is tot meer dan dubbel zo duur dan XPS-isolatie. Voor zowel geëxpandeerde kurk als XPS-isolatie te plaatsen is er een uitvullingslaag nodig, hier is dus geen verschil in totale opbouwdikte. De kostprijs maakt het voor geëxpandeerde kurkisolatie moeilijk te worden verkozen boven XPS-isolatie.

In Tabel 5 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen XPS-isolatie en geëxpandeerde kurk.

Tabel 13. Betonstructuur – vloeren op volle grond: XPS – Geëxpandeerde kurk

	XPS	Geëxpandeerde kurk	Eenheid
Verskil in milieukost t.o.v. geëxpandeerde kurk	+2,43 [31]	+0,00 [31]	€/m ²
Kostprijs (R-waarde ≈ 2,00 m ² K/W)	14,40 [32]	27,00 excl. plaatsing [37]	€/m ²
λ-waarde	0,036 [67]	0,040 [39]	W/mK
Dikte (R-waarde ≈ 2,00 m ² K/W)	0,08 [67]	0,08 [39]	m

3.3.1.4 Toetsing met praktijk

3.3.1.4.1 Beton met gerecycleerde betongranulaten

Uit de interviews kwam naar voren dat de architect, ingenieur en aannemer voornamelijk kiezen voor een gewapende betonplaat. De voornaamste reden hiervoor is dat het goede structurele eigenschappen heeft, zo geeft gewapend beton als funderingsplaat de beste krachtverdeling.

Als er in de interviews naar gerecycleerd gewapend beton werd gevraagd, was hier niemand mee bekend. Wanneer dit in de interviews werd voorgesteld als alternatief, kon er bij de architect afgeleid worden dat, zolang het alternatief aan

dezelfde eisen voldoet als het conventionele materiaal, men het wel zou willen toepassen. Maar dat ook de kostprijs hierbij een rol zal spelen. Zo stelt de aannemer dat ze veel beton bestellen bij eenzelfde betoncentrale. De prijs die ze daarvoor moeten betalen is best goedkoop. Als ze dan overschakelen op gerecycleerd beton, die ze dan mogelijk moeten gaan zoeken bij een andere centrale, geeft dit hoogstwaarschijnlijk een duurder prijskaartje. De ingenieur stelt zich ook vragen bij de kwaliteitsgarantie inzake sterkteklasse bij gerecycleerde beton.

3.3.1.4.2 Geëxpandeerde kurk

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de isolatie er bij de architect geopteerd wordt voor PUR of PIR. De geïnterviewde aannemer gebruikt Thermogran. Het gebruik van thermogran werd al besproken in '3.2.1.4.2 Geëxpandeerde kurk' (pagina 49).

Het gebruik van XPS-isolatie en geëxpandeerde kurkisolatie wordt door zowel door de architect als de aannemer niet toegepast.

Redenen daarvoor zijn de grotere dikte en het feit dat de betonvloer eerst nog egaal gemaakt moet worden voor de plaatsing van de geëxpandeerde kurkisolatie kan plaatsvinden. Dit laatste brengt een bijkomende kost met zich mee.

3.3.2 Verdiepingsvloeren

3.3.2.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende verdiepingsvloeren van een woning met een betonnen opbouw komt overeen met de opbouw van VV1 en VV12 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 24) [43]. Zo is de verdiepingsvloer van woning 6 overeenkomstig met VV1 en woning 9 met VV12. VV1 is een opbouw met breedplaatvloeren en VV12 met voorgespannen welfsels.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Verdiepingsvloer: milieu-impact per m² vloer (van onder naar boven)			[€/m²]		
VV1	beton tegels	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/cement chappe/tegels gebakken aarde	69,18	6	
VV4	potten en balken (klei)	acrylverf/gipspleister/15cm potten en balken/cement chappe/tegels gebakken aarde	65,42		6,9
VV12	welfsels 12 VG RW3	acrylverf/gipspleister/welfsels (voorgespannen)/cement chappe/tegels gebakken aarde	67,05	9	

Figuur 24. Milieuprofielen van verdiepingsvloeren: VV1, VV4 en VV12 [43]

Belangrijk verschil tussen de werkelijke vloeropbouw en het MMG milieuprofiel is dat er in de werkelijkheid een isolatielaag tussen het beton en de chape kan voorkomen. Door ontbrekende gegevens in het MMG milieuprofiel wordt de invloed van deze isolatie niet meegerekend in de milieukost.

3.3.2.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van VV1 en VV12 wordt het MMG milieuprofiel van VV4 voorgesteld. Het grote verschil met dit milieuprofiel is dat de

draagstructuur uit potten en balken bestaat.

3.3.2.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

Omdat er in '3.2.2.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?' (pagina 50) al een vergelijkende studie is gedaan tussen voorgespannen welfsels en potten en balken, volgt hier een vergelijkende studie tussen het gebruik van breedplaatvloeren en potten en balken.

Uit de vergelijking tussen breedplaatvloeren en potten en balken volgt dat het gebruik van potten en balken een vermindering in milieukost van 3,76 €/m² vloeroppervlakte geeft t.o.v. breedplaatvloeren. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van VV1 en VV4 (zie Figuur 24). VV1 en VV4 verschillen onderling enkel van het type draagstructuur. VV1 heeft breedplaatvloeren en een totale milieukost van 69,18 €/m². VV4 heeft potten en balken en een totale milieukost van 65,42 €/m². Het verschil in totale milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van het type draagstructuur. Hieruit volgt dat het gebruik van potten en balken een lagere milieukost geeft van 3,76 €/m² t.o.v. breedplaatvloeren [43].

Op vlak van kostprijs is het gebruik van breedplaatvloeren duurder dan potten en balken. Voor breedplaatvloeren wordt ongeveer 65,00 à 70,00 €/m² gerekend [32]. Een richtprijs voor 'Gebakken aarde, incl. druklaag, overspanning 450 cm' is 60,00 €/m² [32].

Om het draagvermogen te vergelijken wordt de dikte van beide draagstructuren vergeleken bij een nuttige belasting van 3,50 kN/m² en een overspanning van 7,00 m. De nuttige belasting is de som van de gebruiksbelasting, afwerking (van de vloer en plafond) en eventuele wanden op de vloer. De norm, NBN EN 1991-1-1-ANB, geeft voor vloeren in een residentieel gebouw een gebruiksbelasting van 2,00 kN/m². In de technische fiche van potten en balken wordt voor de afwerking en niet-dragende wanden met een belasting van 1,50 kN/m² gerekend [44]. Voor breedplaatvloeren wordt in de technische fiche met een belasting 3,50 kN/m² gerekend. De nuttige belasting komt bijgevolg voor beide draagstructuren op 3,50 kN/m². De overspanning van 7,00 m is zo gekozen, uit de technische fiche, dat de maximale nuttige belasting 3,50 kN/m² bedraagt. Op deze manier is er nog maar één veranderlijke, namelijk de dikte. Om aan de vereisten, van een nuttige belasting van 3,50 kN/m² en een overspanning van 7,00 m, te voldoen moet de breedplaatvloer in zijn geheel een dikte van 0,24 m hebben [68]. De potten en balken hebben voor deze vereisten een dikte van 0,21 m met een bijkomende druklaag van 0,04 m [44].

Voor verdiepingsvloeren zijn de potten en balken een toepasbaar materiaal. Behalve dat het een lagere milieu-impact en kostprijs heeft, heeft het in vergelijking met breedplaatvloeren het nadeel van de grotere dikte. Omwille van deze toename in dikte en een afname in kostprijs kan er overwogen worden voor geëxpandeerde potten en balken boven breedplaatvloeren. In '3.3.2.4 Toetsing met praktijk' wordt onderzocht waarom breedplaatvloeren in de praktijk toch nog steeds worden verkozen boven potten en balken.

In Tabel 14 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen breedplaatvloeren en potten en balken.

Tabel 14. Betonstructuur – verdiepingsvloeren: Breedplaatvloer – Potten en balken

	Breedplaatvloer	Potten en balken	Eenheid
Verskil in milieukost t.o.v. potten en balken	+3,76 [43]	+0,00 [43]	€/m ²
Kostprijs	65,00-70,00 [32]	60,00 [32]	€/m ²
Dikte (overspanning 7,00 m en druksterkte 3,50 kN/m ²)	0,24 [45]	0,21+0,04 [44]	m

3.3.2.4 Toetsing met praktijk

Voor de draagstructuur van verdiepingsvloeren wordt bij de architect, ingenieur en aannemer voornamelijk geopteerd voor voorgespannen welfsels of breedplaatvloeren. De architect gaat uit van wat de ingenieur voorschrijft. Meestal zijn dit voor hen welfsels, maar als de lasten niet boven elkaar liggen wordt er gebruik gemaakt van breedplaatvloeren. De reden voor het gebruik van welfsels en breedplaatvloeren is volgens de ingenieur het dunne resultaat met een aantrekkelijke kostprijs. Uit de vergelijking tussen voorgespannen welfsels en potten en balken in '3.2.2.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?' (pagina 50) kan besloten worden dat de ingenieur hier gelijk in heeft. In bovenstaande vergelijking tussen breedplaatvloer en potten en balken wordt er echter aangetoond dat breedplaatvloeren duurder zijn.

Als er in de interviews naar het gebruik van potten en balken werd gevraagd, werd dit door de architect, ingenieur en aannemer niet toegepast in nieuwbouw. Het gebruik van potten en balken wordt door hen voornamelijk bij renovaties en verbouwingen toegepast. Zo is de architect van mening dat het duurder en arbeidsintensiever is. De hogere kostprijs wordt in de bovenstaande vergelijking tussen welfsels en potten en balken bevestigd. Het arbeidsintensievere aspect is een aannemelijke reden omdat de potten en balken op hun plaats gedragen worden door de arbeider en niet door een kraan zoals bij welfsels. Een voordeel voor het gebruik bij renovatie is volgens de ingenieur en aannemer dat het op moeilijk te bereiken plaatsen kan geplaatst worden als er geen kraan beschikbaar is of als dit met een kraan niet mogelijk is.

Uit de interviews wordt er afgeleid dat de bevindingen uit het voorgaand onderzoek, namelijk een voordeel naar kostprijs, niet overeenkomt met de meningen van de architect, ingenieur en aannemer. Breedplaatvloeren worden nog steeds verkozen boven potten en balken omwille van de snelle en dunne plaatsing.

3.3.3 Platte daken

3.3.3.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende platte daken in woningen met een massieve opbouw komt overeen met de opbouw van PD2 en PD5 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 25) [46]. Zo is het platte dak van woning 6 overeenkomstig met PD2 en woning 9 met PD5.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Plat dak: milieu-impact per m² dak (van binnen naar buiten)			[€/m²]		
PD2	beton PUR17 EPDM	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/hellingsbeton/PUR3: 17cm (U=0,15)/EPDM	31,89	6	
PD5	welfsels 12 VG PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/welfsels (voorgespannen): 12cm/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/EPDM	28,03	9	
PD9	cellenbeton PUR6 EPDM	GEEN INFO	GEEN INFO		
PD10	TT PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/TT profielen1: 33cm/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/EPDM	26,82		6,9

Figuur 25. Milieuprofielen van platte daken: PD2, PD5, PD9 en PD10 [46]

3.3.3.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van PD2 en PD5, bestaande uit breedplaatvloeren of voorgespannen welfsels, hellingsbeton en PUR-isolatie, wordt het MMG milieuprofiel van PD10 voorgesteld. Het grote verschil met dit milieuprofiel is dat de draagstructuur uit TT-profielen bestaat. TT-profielen is een draagstructuur dat zelden in de woningbouw wordt toegepast omdat de voordelen hiervan pas relevant worden bij grote overspanningen, meer dan 12 m. Deze overspanningen komen in de woningbouw niet frequent voor en wordt daarom niet in dit onderzoek opgenomen.

Om de draagstructuur van de opbouw toch te verbeteren naar milieu-impact wordt er gekeken naar de NIBE classificatie. Omdat hier geen gegevens over draagconstructies voor platte daken voorkomen, wordt er in de categorie 'Vloeren', materiaalgroep 'verdiepingsvloer (overspanning van 5,4 m)' gekeken. Hierin komt de draagstructuur (voorgespannen welfsels) van opbouw PD5 overeen met het materiaal 'Kanaalplaatvloer incl. druklaag (dikte 200 mm)'. Een alternatief materiaal uit de NIBE classificatie is hiervoor 'Cellenbetonvloer' [29]. Het gebruik van cellenbeton komt ook voor bij het profiel PD9 van de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 25). Hier ontbreken er echter verdere gegevens, waardoor dit binnen de MMG-milieuprofielen databank niet kan onderzocht worden.

Er kan nog een opmerking gemaakt worden bij het gebruik van afschotisolatie in de plaats van hellingsbeton met isolatie. Deze opmerking werd al besproken in '3.2.3.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw' (pagina 53).

3.3.3.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

Bij het vergelijken van de materialen voor de dragende structuur ('Kanaalplaatvloer incl. druklaag (dikte 200 mm)' versus 'Cellenbetonvloer') op basis van de NIBE classificatie volgt dat het verschil in schaduwkost 2,28 €/m² bedraagt. Een kanaalplaatvloer heeft een milieuklasse 2, subklasse a met een schaduwkost van 8,00 €/m². Dit is een milieuklasse lager dan die van de cellenbetonvloer, nl. milieuklasse 1, subklasse b. Cellenbetonvloer heeft een schaduwkost van 5,72 €/m². Zo behoort de kanaalplaatvloer tot een goede keuze en cellenbetonvloer tot de beste keuze inzake milieuklasse. Het verschil in schaduwkost is 2,28 €/m² [29].

Bij het vergelijken van 'Kanaalplaatvloer incl. druklaag (dikte 200 mm)' versus 'Cellenbetonvloer' volgt dat de kostprijs voor voorgespannen welfsels lager ligt dan cellenbeton. Een richtprijs voor 'Voorvormplaten, overspanning 450 cm, breedte

120 cm' is 53,40 €/m² [32]. Een richtprijs voor 'Systeemvloer in cellenbeton, overspanning 480 cm, breedte 120 cm' is 58,40 €/m² [69].

Om het draagvermogen van de verschillende opbouwen te vergelijken wordt de dikte van beide draagstructuren vergeleken bij een nuttige belasting van 1,50 kN/m² en een overspanning van 6,00 m. De nuttige belasting is de som van de gebruiksbelasting, afwerking (van de vloer en plafond) en eventuele wanden op de vloer. De norm, NBN EN 1991-1-1-ANB, geeft voor daken, toegankelijk voor gewoon onderhoud en herstelling, een gebruiksbelasting van 0,80 kN/m². In de technische fiche van dakplaten uit cellenbeton wordt met een gebruiksbelasting van 1,00 kN/m² gerekend [70]. Bij de afwerking wordt er gerekend met een belasting van 0,50 kN/m². Voor voorgespannen welfsels wordt, voor het verkrijgen van een eenduidige vergelijking, met dezelfde belastingen gerekend. De nuttige belasting komt bijgevolg op 1,50 kN/m². De overspanning van 6,00 m is zo gekozen, uit de technische fiches, dat de maximale nuttige belasting 1,50 kN/m² bedraagt. Op deze manier is er nog maar één veranderlijke, namelijk de dikte. Om aan de vereisten, van een nuttige belasting van 1,50 kN/m² en een overspanning van 6,00 m, te voldoen moet het voorgespannen welfsel een dikte van 0,14 m (zonder druklaag) hebben. In principe kan dit welfsel met deze overspanning en dikte een belasting tot 3,50 kN/m² aan, maar de maximale overspanning wordt in de technische fiche op 6,00 m gehouden [45]. De cellenbetonplaten hebben voor deze vereisten een dikte van 0,20 m [70].

Voor platte daken is de cellenbetonplaat een toepasbaar materiaal. Behalve dat het een lagere milieu-impact heeft, heeft het in vergelijking met voorgespannen welfsels twee nadelen. Een cellenbetonplaat is duurder dan voorgespannen welfsels en heeft een grotere dikte nodig om eenzelfde draagvermogen te bekomen. Deze twee nadelen maken het voor cellenbetonplaten moeilijk te worden verkozen boven voorgespannen welfsels.

In Tabel 15 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen voorgespannen welfsels en cellenbetonplaten.

Tabel 15. Betonstructuur – platte daken: Voorgespannen welfsels – Cellenbetonplaat

	Voorgespannen welfsels	Cellenbetonplaat	Eenheid
Milieuklasse	2a [29]	1b [29]	
Schaduwkost	8,00 [29]	5,72 [29]	€/m ²
Kostprijs	53,40 [32]	58,40 [69]	€/m ²
Dikte (overspanning 6,00 m en nuttige belasting 1,50 kN/m ²)	0,14 [45]	0,20 [70]	m

3.3.3.4 Toetsing met praktijk

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de draagstructuur van platte daken bij de architect, ingenieur, dakdekker en aannemer voornamelijk geopteerd wordt voor voorgespannen welfsels of breedplaatvloeren. De architect gaat uit van wat de ingenieur voorschrijft. Meestal zijn dit voor hen welfsels of breedplaatvloeren. De reden voor het gebruik van welfsels en breedplaatvloeren is volgens de ingenieur het dunne resultaat met een aantrekkelijke kostprijs. Uit de vergelijking met cellenbetonplaten kan besloten worden dat de ingenieur hier gelijk in heeft.

Als er in de interviews naar TT-profielen werd gevraagd (omdat deze in de MMG-milieuprofielen databank wordt vermeld), werd dit door de respondenten unaniem

afgeraden omdat de voordelen van de grote overspanningen niet van toepassing zijn in woningbouw. Hier zijn de overspanningen namelijk niet zo groot.

Als er in de interviews naar cellenbetonplaten werd gevraagd, was hier niemand van de respondenten mee bekend. Wanneer dit in de interviews werd voorgesteld als alternatief, kon er bij de ingenieur afgeleid worden dat de grotere dikte een probleem vormt.

In de MMG-milieuprofielen databank komt bij platte daken ook een voorstel met een bitumen toplaag voor. Dit profiel heeft echter, in vergelijking met een overeenkomstig profiel met EPDM als toplaag, een hogere milieukost van 7,30 €/m². Omdat er in de negen onderzochte woningen met een massieve opbouw enkel EPDM als toplaag werd gebruikt, is hier binnen het onderzoek niet verder op ingegaan. Om toch zeker te zijn van het gebruik van EPDM als toplaag, werd dit tijdens de interviews aangehaald. Hier geeft de architect en aannemer mee dat ze voor de toplaag bij een plat dak steeds EPDM gebruiken. Het is volgens hen makkelijk te plaatsen en heeft het geen zwakke punten naar aansluitingen. De aannemer gaf nog wel mee dat het moet beschermd worden tegen UV-stralen, a.d.h.v. een grindlaag of iets dergelijks.

3.3.4 Hellende daken

In woning 6 en 9, dit zijn de twee cases bestaande uit een betonnen structuur, komt een opbouw met een hellend dak niet voor. Bijgevolg kan dit niet onderzocht worden.

3.3.4.1 Toetsing met praktijk

Om de stelling dat hellende daken niet voorkomen bij woningen uit een betonstructuur te verifiëren, werd er in de interviews naar het gebruik van hellende daken gevraagd. Hier zijn de meningen van de respondenten verdeeld. Zo geeft de architect en dakdekker mee dat hellende daken van betonstructuren gelijkaardig zijn aan die van massieve structuren. De ingenieur gaf dan weer aan dat hellende daken niet voorkomen bij betonbouw, maar dat er hier echter wel een mogelijkheid is om welfsels onder een lichte helling te plaatsen. Tot slot vatte de aannemer het samen als een projectafhankelijk voorkomen. In de aannemer zijn ervaring is het voorkomen van een zadeldak bij betonbouw niet altijd standaard, omdat het hier moeilijker werken is met een spantendak. In zo'n situatie is het gebruik van volhoutenbalken of eventueel FJI-liggers wel makkelijker volgens de aannemer.

3.3.5 Buitenwanden

3.3.5.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende buitenwanden van een woning met een betonnen opbouw bestaat uit een ter plaatse gestorte betonwand. Dit komt overeen met de opbouw van BW25 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 26) [57].

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Buitenwand (dragend en niet-dragend): milieu-impact per m² wand (van buiten naar binnen)			[€/m²]		
BW25	beton insitu RW7,5 betonplaat	architectonische betonplaat/gewapend beton (in situ)- 14cm/RW1-7,5cm (U=0,39)/gipspleister/acrylverf	43,64	6,9	

Figuur 26. Milieuprofielen van buitenwanden: BW25 [57]

3.3.5.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Binnen de MMG-milieuprofielen databank en de NIBE classificatie kan dit type buitenwand, op basis van ter plaatse gestort beton, niet verbeterd worden naar milieu-impact.

Om de thermische isolatie van de opbouw toch te verbeteren naar milieu-impact wordt er gekeken naar de profielen van BW9, BW11 en BW12 van de MMG-milieuprofielen databank. Bij het vergelijken van deze opbouwen volgt dat het gebruik van PUR-isolatie een vermindering in milieukost van 1,575 €/m² wandoppervlakte geeft t.o.v. rotswolisolatie. Deze vermindering werd uitgelegd in '3.2.5.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw' (pagina 61)

3.3.5.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

De haalbaarheid tussen rotswolisolatie en PUR-isolatie in buitenwanden werd onderzocht in '3.2.5.3.2 PUR-isolatie' (pagina 62).

3.3.5.4 Toetsing met praktijk

Om het gebruik van buitenmuren uit ter plaatse gestorte beton te verifiëren, werd er in de interviews naar het gebruik van buitenmuren gevraagd.

Uit de interviews kwam naar voren dat bij de architect, ingenieur en aannemer voor langere dragende binnenwanden voornamelijk geopteerd wordt voor prefab wanden. Bij de hoeken en kortere wanden wordt er liever voor de ter plaatse gestorte zichtbeton met bekisting gekozen.

3.3.6 Dragende binnenwanden

3.3.6.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende dragende binnenwanden van een woning met een betonnen opbouw bestaat uit gewapend zichtbeton. Dit komt niet voor in de MMG-milieuprofielen databank, maar lijkt op de zichtbetonblokken uit de opbouw van DBiW7 (zie Figuur 27) [27]. De dragende binnenwanden van woning 6 zijn overeenkomstig met DBiW7. Woning 9 heeft geen dragende binnenwanden.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Binnenwand (dragend): milieu-impact per m² wand			[€/m²]		
DBiW7	zichtbetonblok	zichtblokken (beton)	9,82	6	

Figuur 27. Milieuprofielen van dragende binnenwanden: DBiW7 [27]

3.3.6.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Binnen de MMG-milieuprofielen databank en de NIBE classificatie kan dit type dragende binnenwand, op basis van ter plaatse gestort beton, niet verbeterd worden naar milieu-impact.

3.3.6.3 Toetsing met praktijk

Om het gebruik van dragende binnenwanden uit ter plaatse gestorte zichtbeton of zichtbetonblokken te verifiëren, werd er in de interviews naar het gebruik van dragende binnenwanden gevraagd.

Uit de interviews kwam naar voren dat bij de architect en aannemer voor langere dragende binnenwanden voornamelijk geopteerd wordt voor prefab wanden. Bij de hoeken en kortere wanden wordt er liever voor de ter plaatse gestorte zichtbeton met bekisting gekozen. De ingenieur past dragende binnenwanden bij betonbouw zo min mogelijk toe.

3.3.7 Niet-dragende binnenwanden

3.3.7.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende niet-dragende binnenwanden van een woning met een betonnen opbouw bestaat uit ter plaatse gestort beton. Dit komt overeen met de opbouw van NDBiW6 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 28) [64]. De niet-dragende binnenwanden van woning 6 zijn overeenkomstig met NDBiW6. Woning 9 heeft niet-dragende binnenwanden uit houtskelet, deze opbouw komt overeen met NDBiW1.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Binnenwand (niet-dragend): milieu-impact per m² wand			[€/m²]		
NDBiW1	houtskelet 1gipskarton	acrylverf/gipskarton (1laag)/houtskelet (10cm, gevuld met glaswol)/gipskarton	15,71	9	
NDBiW6	beton	acrylverf/gipspleister/beton (insitu) 9cm nieuw/gipspleister/acrylverf	16,04	6	
NDBiW8	gipsblokken	acrylverf/gipspleister/gipsblokken 10cm/gipspleister/acrylverf	11,02		6,9

Figuur 28. Milieuprofielen van niet-dragende binnenwanden: NDBiW1, NDBiW6 en NDBiW8 [64]

3.3.7.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van NDBiW6, bestaande uit ter plaatse gestort beton, wordt het MMG milieuprofiel van NDBiW8 voorgesteld. Dit milieuprofiel bestaat uit gipsblokken.

3.3.7.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

Bij het vergelijken tussen de betonwand en gipsblokken volgt dat het gebruik van gipsblokken een vermindering in milieukost van 5,02 €/m² wand geeft t.o.v. de

betonwand. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van NDBiW6 en NDBiW8 (zie Figuur 28). NDBiW6 heeft een opbouw met ene betonwand en een totale milieukost van 16,04 €/m². NDBiW8 heeft een opbouw met gipsblokken en een totale milieukost van 11,02 €/m². Aangezien de rest van beide opbouwen hetzelfde is, is het totale verschil in milieukost bijgevolg het verschil in gebruik van een betonwand of gipsblokken. Hieruit volgt dat het gebruik van gipsblokken een lagere milieukost geeft van 5,02 €/m² t.o.v. een betonwand [64].

Bij het vergelijken van de betonwand met gipsblokken volgt dat de kostprijs voor een betonwand hoger is dan de gipsblokken. Een richtprijs voor 'Gewapend beton' is 712,80 €/m³. Voor een wand van 0,10 m dik komt dit neer op 71,28 €/m² [32]. Een richtprijs voor de 'GNL100- gipsblok wanden 100mm (normaal blok)' is 31,00 €/m² [65].

Voor niet-dragende binnenwanden zijn gipsblokken een toepasbaar materiaal. Het heeft een lagere milieu-impact en is goedkoper. Aangezien het draagvermogen en thermisch isolerende eigenschappen niet van doorslaggevend belang zijn bij niet-dragende binnenwanden, kan er enkel op basis van de milieu-impact en kostprijs een oordeel geveld worden. Gipsblokken heeft enkel voordelen t.o.v. een betonwand. De keuze voor gipsblokken zou bijgevolg gemakkelijk gemaakt moeten worden. In '3.3.7.4 Toetsing met praktijk' wordt er bevestigd dat er ook in de praktijk voor gipsblokken wordt gekozen.

In Tabel 16 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen een betonwand en gipsblokken.

Tabel 16. Betonstructuur – niet-dragende binnenwanden: Betonwand – Gipsblok

	Betonwand		Gipsblok		Eenheid
Verskil in milieukost t.o.v. gipsblokken	+5,02	[64]	+0,00	[64]	€/m ²
Kostprijs	71,28	[32]	31,00	[65]	€/m ²

3.3.7.4 Toetsing met praktijk

Uit de interviews kwam naar voren dat bij de architect en aannemer voor niet-dragende binnenwanden voornamelijk geopteerd wordt voor gipsblokken. Ze gaven aan dat deze goedkoop en gemakkelijk in te slijpen zijn. Het goedkopere aspect wordt in het onderzoek naar de gipsblokken bevestigd.

3.4 Houtskeletstructuur

Uit de tweeëntwintig onderzochte cases zijn er tien met een houtskeletstructuur. Deze tien woningen hebben de volgende nummers: 2, 3, 8, 11, 12, 13, 15, 16, 17 en 18.

3.4.1 Vloeren op volle grond

3.4.1.1 Vaak gekozen elementopbouw in de bestaande toestand

Een frequent voorkomende vloer op volle grond bij houtskeletstructuren is een vloeropbouw bestaande uit gewapend beton met daarboven PUR-isolatie, chape en

een tegelafwerking. Deze bestaande vloeren op volle grond komen overeen met de opbouw van Vloer1 en Vloer2 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 29) [31]. Deze twee vloeropbouwten verschillen onderling enkel in isolatiedikte. De isolatiedikte van Vloer1 bedraagt 0,05 m en van Vloer2 0,15 m. De vloer op volle grond van woning 17 is overeenkomstig met Vloer1 en woningen 2, 3, 8, 11, 12, 13, 15 en 18 met Vloer2. Woning 16 heeft een opbouw overeenkomstig met Vloer9. Dit is eenzelfde opbouw als Vloer1, maar dan met parket als afwerklaag.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Vloer op volle grond: milieu-impact per m² vloer (van buiten naar binnen)			[€/m²]		
Vloer1	PUR05	zand/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,40)/cement chappe/tegels gebakken aarde	87,92	17	
Vloer2	PUR15	zand/beton nieuw/PUR2 (gespoten boven beton): 15cm (U=0,15)/cement chappe/tegels gebakken aarde	81,97	2,3,8,11,12,13,15,18	
Vloer9	PUR05 parket	beton/beton nieuw/PUR1 (gespoten boven beton): 5cm (U=0,38)/cement chappe/parket	69,19	16	
Vloer10	K08 parket	zand/beton nieuw+uitvullingslaag/kurk: 8cm/cement chappe/parket	67,87		2,3,8,11,12,13,15,16,17,18

Figuur 29. Milieuprofielen van vloeren op volle grond: Vloer1, Vloer3 en Vloer8 [31]

3.4.1.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

In de MMG-milieuprofielen databank wordt een element met een lagere milieu-impact gezocht met met gelijkaardige functionele prestaties (draagvermogen en thermische isolatie). Voor vloeren op volle grond geeft het MMG milieuprofiel van Vloer10 een lagere milieukost en kan het bijgevolg worden voorgesteld als alternatief. Het verschil tussen het milieuprofiel van Vloer10 en Vloer2 zit in de afwerking en het type (en dikte) van isolatie. De afwerking van Vloer10 is parket en van Vloer2 tegels uit gebakken aarde. Omdat in het onderzoek niet verder wordt ingegaan op de afwerking, zal enkel het type isolatie worden vergeleken. Het type isolatie van Vloer10 is geëxpandeerde kurk en van Vloer2 gespoten PUR-isolatie.

Een bijkomend alternatief voor het gewapende beton als dragend onderdeel van het profiel is het gerecycleerde gewapende beton van Vloer4.

Uiteindelijk zou een combinatie van Vloer4 en Vloer10 de laagste milieukost geven. De vloeropbouw bestaat dan uit zand, gerecycleerd gewapend beton, kurkisolatie en cement chape.

3.4.1.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

3.4.1.3.1 Beton met gerecycleerde betongranulaten

Een vergelijking tussen gewapend beton en gerecycleerd gewapend beton werd al gedaan in '3.2.1.3.1 Beton met gerecycleerde betongranulaten' (pagina 47).

3.4.1.3.2 Kurkisolatie

Een vergelijking tussen gespoten PUR-isolatie en geëxpandeerde kurk werd al gedaan in '3.2.1.3.2 Geëxpandeerde kurk' (pagina 48).

3.4.1.4 Toetsing met praktijk

3.4.1.4.1 Beton met gerecycleerde betongranulaten

Uit de interviews kwam naar voren dat de architect en aannemer voornamelijk kiezen voor een gewapende betonplaat. De voornaamste reden hiervoor is dat het goede structurele eigenschappen heeft, zo geeft gewapend beton als funderingsplaat de beste krachtverdeling.

Als er in de interviews naar gerecycleerd gewapend beton werd gevraagd, was hier niemand mee bekend. Wanneer dit in de interviews werd voorgesteld als alternatief, kon er bij de architect afgeleid worden dat, zolang het alternatief aan dezelfde eisen voldoet als het conventionele materiaal, men het wel zou willen toepassen. Maar dat ook de kostprijs hierbij een rol zal spelen. De aannemer sloot zich aan bij deze stelling.

3.4.1.4.2 Kurkisolatie

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de isolatie er bij de architect en aannemer geopteerd wordt voor PUR of PIR. De aannemer gaf als reden dat er een geringe dikte nodig is voor goede isolerende eigenschappen. Dit werd bevestigd in het onderzoek in '3.2.1.3.2 Geëxpandeerde kurk' (pagina 48). Een tweede reden van de aannemer was dat het bij eventuele leidingen in de vloer gemakkelijk is om isolatie rondom de leidingen te spuiten.

Het gebruik van geëxpandeerde kurkisolatie wordt door zowel door de architect als de aannemer niet toegepast. Redenen hiervoor zijn de grotere dikte en het feit dat de betonvloer eerst nog egaal gemaakt moet worden voor de plaatsing van de geëxpandeerde kurkisolatie kan plaatsvinden. Dit laatste brengt een bijkomende kost met zich mee.

3.4.2 Verdiepingsvloeren

3.4.2.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende verdiepingsvloeren in woningen met een houtskeletstructuur bestaat uit een houten balken draagstructuur gevuld met rotswolisolatie. Dit komt overeen met VV10 en VV14 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 30) [43]. De verdiepingsvloer van woningen 2, 3, 8, 11, 12 en 16 zijn overeenkomstig met VV10 en van woningen 2, 3, 13, 15, 17 en 18 met VV14. Woningen 2 en 3 hebben dus zowel verdiepingsvloeren overeenkomstig met VV10 als VV14. Het verschil tussen VV10 en VV14 zit in de vloerafwerking. Door het gebruik van parket i.p.v. tegels met cementchape, daalt de milieukost met 23,26 €/m² vloer. Zoals reeds vermeld, zal er in dit onderzoek geen rekening gehouden worden met afwerkingslagen omdat dit een keuze is van de bouwheer.

Element	Opbouw	Totale milieukost [€/m ²]	Conv.	Alt.
Verdiepingsvloer: milieu-impact per m² vloer (van onder naar boven)				
VV10	hout RW03 parket acrylverf/gipskarton op houten onderstructuur/houten balken (22cm)+osb+RW (3cm)/-/parket	51,01	2,3,8,11,12,16	
VV14	hout RW22 RW3 tegels acrylverf/gipskarton op houten onderstructuur/houten balken (22cm)+osb+RW (3cm)/cement chappe/tegels gebakken aarde	74,27	2,3,13,15,17,18	
VV15	hout RW22 RW3 droge dekvloer acrylverf/gipskarton op houten onderstructuur/houten balken (22cm)+osb+RW (3cm)/droge dekvloer/tegels gebakken aarde	72,84		2,3,8,11,12,13,15,16,17,18

Figuur 30. Milieuprofielen van verdiepingsvloeren: VV10 en VV14 [43]

3.4.2.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van VV14 wordt het MMG milieuprofiel van VV15 voorgesteld. Het verschil met dit milieuprofiel is dat de het een droge dekvloer heeft i.p.v. cementchape. Deze droge dekvloer bestaat uit een gipsvezelplaat (0,02 m) met rotswol (0,01 m) [43].

Binnen de MMG-milieuprofielen databank en de NIBE classificatie kan de draagstructuur en isolatie niet verbeterd worden naar milieu-impact. Daarom wordt er gekeken of het beschot, bestaande uit OSB platen, verbeterd kan worden naar milieu-impact. Omdat hierover binnen de MMG-milieuprofielen databank geen andere alternatieven worden aangereikt, wordt er naar de NIBE classificatie gekeken. Hierin komt het beschot (OSB plaat) van opbouw VV14 overeen met het materiaal 'OSB, db' uit de NIBE classificatie. 'OSB, db' bevindt zich in de categorie 'Daken' in de materiaalgroep 'dakbeschot hellend dak'. Een alternatief materiaal uit de NIBE classificatie is hiervoor 'Spaanplaat, db' [29].

3.4.2.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

3.4.2.3.1 Droge dekvloer

Uit de vergelijking tussen cementchape en een droge dekvloer volgt dat het gebruik van een droge dekvloer een vermindering in milieukost van 1,43 €/m² vloeroppervlakte geeft t.o.v. cementchape. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van VV14 en VV15 (zie Figuur 30). VV14 en VV15 verschillen onderling enkel van type dekvloer. VV14 heeft cementchape en een totale milieukost van 74,27 €/m². VV15 heeft een droge dekvloer en een totale milieukost van 72,84 €/m². Het verschil in totale milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van het type dekvloer. Hieruit volgt dat het gebruik van een droge dekvloer een lagere milieukost geeft van 1,43 €/m² t.o.v. cementchape [43].

Op vlak van kostprijs is het gebruik van cementchape goedkoper dan een droge dekvloer. Een gemiddelde richtprijs voor cementchape is 12,00 tot 15,00 €/m² [71]. Een richtprijs voor de droge dekvloer 'Fermacell Vloerelement 2E32 MW 1500X500X30MM' is 23,80 €/m², exclusief plaatsing [72].

Voor verdiepingsvloeren is een droge dekvloer een toepasbaar materiaal. Uit het MMG milieuprofiel van VV14 en VV15 blijkt dat een cementchape 0,05 m dik is en een droge dekvloer 0,03 m [43]. Deze dunnere dikte en de lagere milieu-impact zijn voordelen, maar de hogere kostprijs maakt het voor een droge dekvloer moeilijk om verkozen te worden boven de cementchape.

In Tabel 17 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen cementchape en een droge dekvloer.

Tabel 17. Houtskeletstructuur – verdiepingsvloeren: Cementchape – Droge dekvloer

	Cementchape	Droge dekvloer	Eenheid
Verskil in milieukost t.o.v. gipsblokken	+1,43 [43]	+0,00 [43]	€/m ²
Kostprijs	12,00-15,00 [71]	23,80 excl. plaatsing [71]	€/m ²
Dikte	0,05 [73]	0,03 [73]	m

3.4.2.3.2 Spaanplaat

Bij het vergelijken van de materialen voor het beschot 'OSB, db' versus 'Spaanplaat, db') op basis van de NIBE classificatie volgt dat het verschil in schaduwkost 1,15 €/m² bedraagt. Een OSB plaat heeft een milieuklasse 4, subklasse a met een schaduwkost van 2,11 €/m². Dit is twee milieuklassen lager dan die van de spaanplaat, nl. milieuklasse 2, subklasse b. De spaanplaat heeft een schaduwkost van 0,96 €/m². Zo behoort de OSB plaat tot een minder goede keuze en de spaanplaat tot een goede keuze inzake milieuklasse. Het verschil in schaduwkost is 1,15 €/m² [29].

Op vlak van kostprijs is het gebruik van OSB platen duurder dan spaanplaten. Een richtprijs voor een OSB plaat met een dikte van 0,018 m is 6,72 €/m² [74]. Een richtprijs voor een spaanplaat met een dikte van 0,018 m is 4,60 €/m² [74]. Beide richtprijzen zijn exclusief plaatsing.

Voor verdiepingsvloeren is een spaanplaat een toepasbaar materiaal. Het heeft een lagere milieu-impact en is goedkoper dan een OSB plaat. Deze voordelen van spaanplaten zou de keuze voor een spaanplaat i.p.v. OSB plaat gemakkelijk moeten maken. In '3.4.2.4.2 Spaanplaat' wordt onderzocht waarom een OSB plaat in de praktijk toch nog steeds wordt verkozen boven een spaanplaat.

In Tabel 18 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen OSB plaat en spaanplaat.

Tabel 18. Houtskeletstructuur – verdiepingsvloeren: OSB plaat – Spaanplaat

	OSB plaat	Spaanplaat	Eenheid
Milieuklasse	4a [29]	2b [29]	
Schaduwkost	2,11 [29]	0,96 [29]	€/m ²
Kostprijs	6,72 [74]	4,60 [74]	€/m ²

3.4.2.4 Toetsing met praktijk

3.4.2.4.1 Droge dekvloer

Voor de dekvloer van verdiepingsvloeren wordt bij de architect en aannemer voornamelijk geopteerd voor cementchape.

Als er in de interviews naar een droge dekvloer werd gevraagd, was hier niemand mee bekend. Wanneer dit in de interviews werd voorgesteld als alternatief, kon er bij de architect en aannemer afgeleid worden dat, zolang het alternatief aan dezelfde eisen voldoet als het conventionele materiaal, men het wel zou willen toepassen. Maar dat ook de kostprijs hierbij een rol zal spelen.

3.4.2.4.2 Spaanplaat

Voor het beschot van verdiepingsvloeren wordt bij de architect en aannemer voornamelijk geopteerd voor OSB platen. Naar de mening van de respondenten is dit een sterk materiaal met een ruwer oppervlak. Dit ruwer oppervlak is volgens hen gemakkelijker voor de hechting van eventuele de pleistering.

Als er in de interviews het gebruik van spaanplaten werd voorgesteld als alternatief, was de reactie van de aannemer dit niet de te gebruiken. De spaanplaat heeft een gladder oppervlak wat volgens de aannemer gevaarlijk is indien het 's nachts gevoren heeft. Uit ervaring had de aannemer gemerkt dat de spaanplaat dan te glad was om te belopen, en bijgevolg de arbeiders aan risico's werden blootgesteld.

3.4.3 Platte daken

3.4.3.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende platte daken in woningen met een houtskeletstructuur komt vaak overeen met PD11 en PD12 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 31) [46]. Het platte dak van woningen 12, 15 en 17 is overeenkomstig met PD5. Dit is een opbouw met houten balken en PUR-isolatie. Het platte dak van woningen 13, 16 en 18 is overeenkomstig met PD12. Dit is een opbouw met houten balken en cellulose. Woning 8 heeft een plat dak, bestaande uit FJI-liggers en cellulose, overeenkomstig met de opbouw van PD13. De overige drie woningen, woning 2, 3 en 11, hebben geen plat dak.

Element	Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.	
Plat dak: milieu-impact per m² dak (van binnen naar buiten)		[€/m²]			
PD11	houtenbalken PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/houten balken (22)/ hellingsspieën/OSB+PUR1: 10cm (U=0,23)/EPDM	31,86	12,15, 17	
PD12	houtenbalken cellulose22 RW6	acrylverf/gipspleister/houten balken (22) met cellulose/hellingsspieën/OSB+RW: 6cm/EPDM	28,01	13,16, 18	
PD13	FJI cellulose24 RW6 EPDM	acrylverf/gipspleister/FJI 24cm + cellulose/ hellingsspieën/OSB+RW: 6cm/EPDM	20,34	8	12,13,15, 16,17,18

Figuur 31. Milieuprofielen van platte daken: PD11 en PD12 [46]

3.4.3.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van PD11 (houten balken met PUR-isolatie er op) en PD12 (houten balken met cellulose er tussen en rotswol er op) wordt het MMG milieuprofiel van PD13 voorgesteld. Bij deze alternatieve elementopbouw bestaat de opbouw uit met cellulose gevulde FJI-liggers en rotswolisolatie. Er zijn drie verschillen tussen de milieuprofielen PD11 en PD13. Zo bestaat de draagstructuur van de alternatieve opbouw uit FJI-liggers, gevuld met cellulose en daarbovenop rotswol i.p.v. houten balken, met tussenruimtes met lucht en daarbovenop PUR.

3.4.3.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

De opbouw van PD11 die vergeleken wordt, bestaat uit houten balken met lege tussenruimtes (0,22 m dikte), hellingspieën (gemiddelde dikte van 0,05 m), OSB

plaat (0,02 m dikte) en PUR-isolatie (0,10 m dikte). De totale dikte van de opbouw die vergeleken wordt is 0,39 m. De opbouw van PD13 die vergeleken wordt, bestaat uit FJI-liggers gevuld met cellulose (0,24 m dikte), hellingspieën (gemiddelde dikte van 0,05 m), OSB-plaat (0,02 m dikte) en rotswolisolatie (0,06 m dikte). De totale dikte van de opbouw die vergeleken wordt is 0,37 m [46].

Uit de vergelijking tussen de conventionele opbouw en de alternatieve opbouw volgt dat de alternatieve een vermindering in milieukost van 11,52 €/m² geeft t.o.v. de conventionele. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van PD11 en PD13 (zie Figuur 31) [46].

Om een kostprijsvergelijking tussen de twee verschillende opbouwen te maken, moet er een richtprijs gevonden worden voor de verschillende onderdelen van beide opbouwen. Het is echter niet mogelijk om voor elk onderdeel een correcte algemene richtprijs te vinden waardoor een kostprijsvergelijking niet gemaakt kan worden.

Om het draagvermogen te vergelijken wordt de sterkteklasse van beide draagstructuren vergeleken. Spanten hebben een sterkteklasse van C18 waartegenover FJI-liggers anderhalve keer zo stijf en ruim tweeëneenhalve keer zo sterk zijn dan standaard C18 hout [53], [54].

Om de thermische isolatie van de verschillende opbouwen te vergelijken wordt de R-waarde van de opbouw vergeleken. Hiervoor wordt enkel de R-waarde van de isolatie in rekening genomen. De warmtegeleidingscoëfficiënt van PUR-isolatie bedraagt 0,026 W/mK, voor cellulose 0,039 W/mK en voor rotswol 0,040 W/mK [48], [49], [50]. Hieruit kan de R-waarde berekend worden voor de opbouwen met dezelfde afmetingen als PD5 en PD13. Zo wordt PD5 voorgesteld met 0,10 m PUR-isolatie, dit komt neer op een R-waarde van 3,85 m²K/W. PD13 wordt voorgesteld met cellulose van 0,24 m dikte, dit komt neer op een R-waarde van 6,15 m²K/W, en rotswol van 0,06 m dikte, dit komt neer op een R-waarde van 1,50 m²K/W. De totale opbouw van PD5 heeft een R-waarde van 3,85 m²K/W en PD13 van 7,65 m²K/W, dit is het dubbele van PD5. Hieruit kan afgeleid worden dat de rotswolisolatie bij PD13 niet nodig is om een gelijke R-waarde te verkrijgen als PD5. Integendeel, de PUR-isolatie moet een grotere dikte krijgen om eenzelfde R-waarde te verkrijgen als PD13 zonder rotswolisolatie (R-waarde van 6,15 m²K/W). Zo geeft PUR-isolatie van 0,16 m dikte een R-waarde van 6,15 m²K/W. Rekening houdend met het feit dat de cellulose tussen de FJI-liggers (van 0,24 m dikte) wordt geblazen en dus geen extra dikte aan de gehele opbouw geeft en de PUR-isolatie op de houten balken (van 0,22 m dikte) wordt geplaatst, geeft dit als resultaat dat de conventionele opbouw dikker is dan de alternatieve bij het streven naar een gelijke R-waarde.

Voor platte daken is de alternatieve opbouw, bestaande uit met cellulose gevulde FJI-liggers, hellingspieën, een OSB-plaat en rotswolisolatie, toepasbaar. Het heeft een lagere milieu-impact en zeer goede thermisch isolerende waarden. Deze voordelen van de alternatieve opbouw zou de keuze voor alternatief i.p.v. het conventionele gemakkelijk moeten maken. In '3.4.3.4 Toetsing met praktijk' wordt bevestigd waarom het alternatieve voortaan verkozen wordt boven het conventionele.

In Tabel 19 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen de conventionele opbouw en de alternatieve opbouw.

Tabel 19. houtskeletstructuur – platte daken: Conventionele opbouw – Alternatieve opbouw

	Conventioneel (PD11)	Alternatief (PD13)	Eenheid
Verskil in milieukost t.o.v. alternatief	+11,52 [46]	+0,00 [46]	€/m ²
Dikte van de te vergelijken opbouw	0,39 [46]	0,37 [46]	m
Stijfheid	C18 [53]	1,5*C18 [54]	Sterkteklasse
Sterkte	C18 [53]	2,5*C18 [54]	Sterkteklasse
R-waarde van de te vergelijken opbouw	3,85 [48]	7,65 [49] [50]	m ² K/W
Dikte van de te vergelijken opbouw met eenzelfde R-waarde	0,38 [48]	0,31 [49]	m

3.4.3.4 Toetsing met praktijk

Voor draagstructuur van platte daken wordt bij de architect en aannemer voornamelijk geopteerd FJI-liggers i.p.v. volhouten balken. De respondenten gaven hierbij als voornaamste reden aan dat bij FJI-liggers het lichaam doorboord kan worden (indien bepaalde regels gevolgd worden) zodat er leidingen doorheen geplaatst kunnen worden. Bij volhouten balken wordt dit door de respondenten niet gedaan, want dan verminderd de sterkte van de balk. Tevens zijn de architect en aannemer van mening dat er een grotere overspanning gemaakt kan worden met FJI-liggers en dat ze een grotere tussenafstand kunnen hebben t.o.v. volhouten balken.

Als er in de interviews het gebruik van cellulose werd voorgesteld als isolatiemateriaal, stemde de architect hier met in. De architect past meestal cellulose toe in platte daken, omdat hetzelfde isolatiemateriaal van de wanden kan worden aangehouden. Tevens vermeld de architect de goede isolerende eigenschappen t.o.v. rotswol als bijkomende reden. Dit is echter maar een minimale verbetering, zo heeft cellulose een λ -waarde van 0,039 W/mK en rotswol van 0,040 W/mK [49], [50]. De aannemer daarentegen gaf aan meestal glas- of rotswol te gebruiken. Cellulose wordt echter ook gebruikt door de aannemer, maar enkel als de bouwheer hiervoor kiest of als de wandopbouw dikker is.

Uit de interviews wordt er afgeleid dat de alternatieve opbouw in de praktijk meer wordt toegepast dan de resultaten van de onderzochte woningen aangaven.

3.4.4 Hellende daken

3.4.4.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende hellende daken van een woning met een houtstructuur bestaat uit een spantendak met rotswolisolatie. Dit komt overeen met het profiel van HD5 uit de MMG-milieuprofilen databank (zie Figuur 32) [51]. Het hellende dak van woningen 2, 12 en 15 is overeenkomstig met HD5. Woning 3 is overeenkomstig met HD3 en woning 11 met HD4. Het verschil tussen HD5 en HD3 is de draagstructuur, HD5 heeft houten spanten en HD3 FJI-liggers. Het verschil tussen HD3 en HD4 is de isolatie, HD3 heeft rotswolisolatie en HD4 heeft

cellulose. De overige vijf woningen, woning 8, 13, 16, 17 en 18, hebben geen hellend dak.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Hellend dak (45°): milieu-impact per m² hor. geprojecteerd dak (van binnen naar buiten)			[€/m²]		
HD3	FJI RW36 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/FJI 36cm+RW/houtvezelplaat/-/ kleipannen	33,62	3	
HD4	FJI cellulose24 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/FJI 24cm+cellulose/houtvezelplaat/-/kleipannen	27,96	11	2,3,12,15
HD5	spantjes RW18 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/spantjes/houtvezelplaat/RW (volledig vulling tussen spantjes)/kleipannen	43,68	2,12,15	

Figuur 32. Milieuprofiel van hellende daken: HD3, HD4 en HD5 [51]

3.4.4.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van HD5, bestaande uit een spantendak gevuld met rotswol-isolatie, wordt het MMG milieuprofiel van HD4 voorgesteld. Bij deze alternatieve elementopbouw bestaat de opbouw uit met cellulose gevulde FJI-liggers.

Uit de vergelijking tussen de opbouw van HD5 en HD4 volgt dat het gebruik van met cellulose gevulde FJI-liggers een vermindering in milieukost van 15,72 €/m² horizontaal geprojecteerd dak geeft t.o.v. een spantendak met rotswolvulling. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van HD5 en HD4 (zie Figuur 32). HD5 heeft een spantendak met rotswolvulling en een totale milieukost van 43,68 €/m². HD4 heeft met cellulose gevulde FJI-liggers en een totale milieukost van 27,96 €/m². Het verschil in totale milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van een spantendak met rotswolvulling of met cellulose gevulde FJI-liggers. Hieruit volgt dat het gebruik van met cellulose gevulde FJI-liggers een lagere milieukost heeft van 15,72 €/m² t.o.v. een spantendak met rotswolvulling [51].

3.4.4.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

3.4.4.3.1 FJI-liggers

De haalbaarheid tussen houten spanten en FJI-liggers in hellende daken werd onderzocht in '3.2.4.3.1 FJI-liggers' (pagina 58).

3.4.4.3.2 Cellulose

De haalbaarheid tussen rotswolisolatie en cellulose in hellende daken werd onderzocht in '3.2.4.3.2 Cellulose' (pagina 58).

3.4.4.4 Toetsing met praktijk

3.4.4.4.1 FJI-liggers

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de draagstructuur van hellende daken de architect voornamelijk het gebruik van FJI-liggers toepast. In tegenstelling tot de massieve structuren is het gebruik van FJI-liggers volgens de architect wel aangeraden omdat het een sterk materiaal is waartussen ingeblazen cellulose goed past. De grotere sterkte t.o.v. van houten balken werd aangetoond in '3.2.4.3.1

FJI-liggers' (pagina 58).

Als er in het interview met de aannemer naar het gebruik van FJI-liggers werd gevraagd, gaf de aannemer aan voornamelijk houten spanten te gebruiken. Het gebruik van FJI-liggers komt in de ervaring van de aannemer wel voor, maar dit komt enkel bij grotere overspanningen voor. Tot slot vroeg de aannemer zich nog af of de FJI-liggers wel zo milieuvriendelijk zijn omwille van de aanwezigheid van lijm.

3.4.4.4.2 Cellulose

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de isolatie van hellende daken de architect voornamelijk het gebruik van cellulose toepast, omdat op deze manier de isolatie in de wanden dezelfde is als de isolatie in het dak. Tevens vermeldt de architect de goede isolerende eigenschappen t.o.v. rotswol als bijkomende reden. Dit wordt echter tegengesproken in '3.2.4.3.2 Cellulose' (pagina 58), zo heeft cellulose een λ -waarde van 0,039 W/mK en rotswol van 0,037 W/mK.

Als er in het interview met de aannemer naar het gebruik van cellulose werd gevraagd, gaf de aannemer aan voornamelijk glaswol te gebruiken, omdat de opbouw hiervan dunner is dan die van cellulose. Dit komt overeen met de resultaten in '3.2.4.3.2 Cellulose' (pagina 58). Indien het gebouw een dikke dakopbouw heeft, durft de aannemer zich wel tot cellulose te wenden.

3.4.5 Buitenwanden

3.4.5.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende buitenwanden van een woning met een houtskeletstructuur bestaat uit een met rotswolisolatie gevulde houtskelet. Deze opbouw komt overeen met BW1, BW2 en BW8 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 33) [57]. De buitenwanden van woningen 12, 15 en 17 zijn overeenkomstig met BW1, woning 18 met BW2 en woningen 12, 13, 16 en 17 met BW8. Woningen 12 en 17 hebben twee soorten opbouwen van buitenwanden, namelijk BW1 en BW8. Het verschil tussen de opbouw van BW1 en BW2 zit in de isolatiedikte. Het verschil tussen opbouw van BW1 en BW8 zit in de gevelafwerking. Woningen 2 en 8 hebben een opbouw overeenkomstig met BW3. Het verschil tussen de opbouw van BW2 en BW3 zit in het type isolatie. Woning 11 heeft een opbouw overeenkomstig met BW5 en woning 3 met BW6. Het verschil tussen BW5 en BW6 zit in de dikte van de draagstructuur (FJI-liggers) en isolatie (cellulose).

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Buitenwand (dragend en niet-dragend): milieu-impact per m² wand (van buiten naar binnen)			[€/m²]		
BW1	houtskelet RW14 gevelsteen	gevelsteen (klei)/houtskelet (14cm)/RW (volledige vulling)/gipskarton/acrylverf	36,35	12,15, 17	
BW2	houtskelet RW22 gevelsteen	gevelsteen (klei)/houtskelet (22cm)/RW (volledige vulling)/gipskarton/acrylverf	38,72	18	
BW3	houtskelet cellulose22 gevelsteen	gevelsteen (klei)/houtskelet (22cm)/cellulose (volledige vulling)/gipskarton/acrylverf	35,83	2,8	
BW5	FJI cellulose24 gevelsteen	gevelsteen (klei)/FJI (24cm)/cellulose/gipskarton op houten latwerk/acrylverf	27,16	11	2,3,8,12,13, 15,16,7,18
BW6	FJI cellulose36 gevelsteen	gevelsteen (klei)/FJI (36cm)/cellulose/gipskarton op houten latwerk/acrylverf	28,45	3	
BW8	houtskelet RW14 planken	onbehandelde ceder planken/houtskelet (14cm)/RW (volledige vulling)/gipskarton/acrylverf	41,1	12,13, 16,17	

Figuur 33. Milieuprofielen van buitenwanden: BW1, BW2, BW3 en BW8 [57]

3.4.5.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Als alternatief voor het milieuprofiel van BW1, BW2 en BW8, bestaande uit een met rotswolisolatie gevulde houtskelet (0,22 m dikte), wordt het MMG milieuprofiel van BW5 voorgesteld. Bij deze alternatieve elementopbouw bestaat de opbouw uit met cellulose gevulde FJI-liggers (0,24 m dikte).

Het verschil in milieu-impact komt door het toepassen van een draagstructuur in FJI's met cellulose i.p.v. houtskelet met rotswol.

3.4.5.3 Haalbaarheid van deze aangereikte alternatieven?

3.4.5.3.1 FJI's

Uit de vergelijking tussen houtskelet met houten balken en FJI's volgt dat het gebruik van FJI's een vermindering in milieukost van 8,67 €/m² wand geeft t.o.v. houtskelet. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van BW3 en BW5 (zie Figuur 33). BW3 en BW5 verschillen onderling enkel van het type draagstructuur en BW3 heeft dezelfde draagstructuur als BW1, BW2 en BW8. Er is echter een minimaal verschil in dikte van de draagstructuur met bijhorende cellulosevulling. BW3 heeft een houtskelet van 0,22 m dikte en BW5 FJI's van 0,24 m dikte. Dit verschil in dikte wordt niet mee in rekening gebracht. BW3 heeft een totale milieukost van 35,83 €/m² en BW5 van 27,16 €/m². Het verschil in totale milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van het type draagstructuur. Hieruit volgt dat het gebruik van FJI's een lagere milieukost geeft van 8,67 €/m² t.o.v. houtskelet [57].

Uit de vergelijking tussen houtskelet balken en FJI's blijkt dat op vlak van kostprijs de spanten goedkoper zijn dan de FJI's. Een richtprijs voor 'Douglas 30*215mm' is 3,25 €/lopende meter en een richtprijs voor 'I-Joist Finnwood 63*240mm' is 9,24 €/lopende meter [52]. Beide richtprijzen zijn exclusief plaatsing.

Om het draagvermogen te vergelijken wordt de sterkteklasse van beide draagstructuren vergeleken. Houtskelet balken hebben een sterkteklasse van C18 waartegenover FJI's anderhalve keer zo stijf en ruim tweeëneenhalve keer zo sterk zijn dan standaard C18 hout [53], [54].

Voor buitenwanden zijn de FJI-liggers een toepasbaar materiaal. Het heeft een lagere milieu-impact, maar is wel ongeveer drie keer duurder dan houtskelet. Aangezien het draagvermogen van houtskelet balken in buitenwanden volstaat voor woningen is het verschil in draagvermogen niet doorslaggevend. Het nadeel van kostprijs maakt het voor FJI's moeilijk te worden verkozen boven houtskelet balken.

In Tabel 20 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen houtskelet en FJI's.

Tabel 20. Houtskeletstructuur – buitenwanden: Houtskelet – FJI's

	Houtskelet		FJI's		Eenheid
Verskil in milieukost ten opzichte van FJI	+8,67	[57]	0,00	[57]	€/m ²
Kostprijs	3,25	[52]	9,24	[52]	€/lm
Stijfheid	C18	[53]	1,5*C18	[54]	Sterkteklasse
Sterkte	C18	[53]	2,5*C18	[54]	Sterkteklasse

3.4.5.3.2 Cellulose

Bij het vergelijken van rotswolisolatie versus cellulose volgt dat het gebruik van cellulose een vermindering in milieukost van 2,89 €/m² wand geeft t.o.v. rotswolisolatie. Deze vermindering is gebaseerd op het verschil in milieukost van BW2 en BW3 (zie Figuur 33). BW2 en BW3 verschillen onderling enkel van het type isolatie. BW2 heeft rotswolisolatie een totale milieukost van 38,72 €/m². BW3 heeft cellulose en een totale milieukost van 35,83 €/m². Het verschil in totale milieukost is bijgevolg afhankelijk van het gebruik van het type isolatie. Hieruit volgt dat het gebruik van cellulose een lagere milieukost geeft van 2,89 €/m² t.o.v. rotswolisolatie [57].

Uit de kostprijsvergelijking tussen rotswol en cellulose volgt dat de kostprijs voor rotswol hoger ligt dan voor cellulose. Een richtprijs voor 'rotswol 10 cm' is 14,20 €/m² [32]. Het laten isoleren van de woning met cellulose kost ongeveer 14,00 tot 20,00 €/m² voor een isolatiedikte van 20,00 cm [55]. Voor een dikte van 0,24 m geeft dat voor rotswol 34,08 €/m² en voor cellulose 16,80 tot 24,00 €/m².

Het verschil in thermische isolatiewaarde is minimaal. Rotswol heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,037 W/mK en cellulose een van 0,039 W/mK [56], [49]. Dit houdt, bij eenzelfde R-waarde van 6,15 m²K/W, in dat de rotswol een dikte van 0,23 m en de cellulose een dikte van 0,24 m heeft.

Voor buitenwanden is cellulose een toepasbaar materiaal. Het heeft een lagere milieu-impact en is goedkoper dan rotswol. Het verschil in thermisch isolerende eigenschappen is minimaal en bijgevolg niet doorslaggevend. Deze voordelen van cellulose zou de keuze voor cellulose i.p.v. rotswolisolatie gemakkelijk moeten maken. In '3.4.5.4.2 Cellulose' wordt onderzocht waarom er in de praktijk nog onenigheid heerst over het gebruik rotswolisolatie of cellulose.

In Tabel 21 wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen rotswol en cellulose.

Tabel 21. Houtskeletstructuur – buitenwanden: Rotswol – Cellulose

	Rotswol	Cellulose	Eenheid
Verskil in milieukost t.o.v. cellulose	+5,45 [51]	+0,00 [51]	€/m ²
Kostprijs (<i>dikte</i> = 0,24 m)	34,08 [32]	16,80-24,00 [55]	€/m ²
λ -waarde	0,037 [56]	0,039 [49]	W/mK
Dikte (<i>R-waarde</i> = 6,15 m ² K/W)	0,23 [56]	0,24 [49]	m

3.4.5.4 Toetsing met praktijk

3.4.5.4.1 FJI's

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de buitenwanden de architect en aannemer voornamelijk volhouten balken als houtskelet gebruiken. De voornaamste reden hiervoor is volgens de respondenten de lagere kostprijs t.o.v. FJI's. Dit wordt bevestigd in '3.4.5.3.1 FJI's'. De aannemer vermeldde nog dat indien men passief wilt bouwen, er vaak FJI's voorzien worden. FJI's zijn dunner dan houten balken, hierdoor kan er net iets meer isolatie geplaatst worden waardoor de R-waarde verhoogt. Deze kleine verbeteringen zijn naar de mening van de architect het verschil tussen passieve woningen en lage energiewoningen.

3.4.5.4.2 Cellulose

Uit de interviews kwam naar voren dat voor de isolatie van buitenwanden de architect voornamelijk het gebruik van cellulose toepast, omdat op deze manier de isolatie in de wanden dezelfde is als de isolatie in het dak. Tevens vermeldde de architect de goede isolerende eigenschappen t.o.v. rotswol als bijkomende reden. Dit wordt echter tegengesproken in '3.4.5.3.2 Cellulose', zo heeft cellulose een λ -waarde van 0,039 W/mK en rotswol van 0,037 W/mK.

Als er in het interview met de aannemer naar het gebruik van cellulose werd gevraagd, gaf de aannemer aan voornamelijk glaswol te gebruiken, omdat de opbouw hiervan dunner is dan die van cellulose. Dit komt overeen met de resultaten in '3.4.5.3.2 Cellulose'. Indien het gebouw dikke buitenwanden heeft, durft de aannemer zich wel tot cellulose te wenden.

3.4.6 Dragende binnenwanden

3.4.6.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende dragende binnenwanden van een woning met een houtskeletstructuur bestaat uit houtskelet. Dit komt overeen met de opbouw van DBiW3 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 34) [27]. Woningen 11 en 12 hebben dragende binnenwanden overeenkomstig aan de opbouw van DBiW3. De dragende binnenwanden van woningen 11 en 12 zijn overeenkomstig met DBiW3. De overige acht woningen, woning 2, 3, 8, 13, 15, 16, 17 en 18, hebben geen dragende binnenwanden.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Binnenwand (dragend): milieu-impact per m² wand			[€/m²]		
DBiW3	houtskelet	acrylverf/gipspleister/houtskelet (14cm, gevuld met glaswol)/gipspleister/acrylverf	19,41	11,12	

Figuur 34. Milieuprofielen van dragende binnenwanden: DBiW3 [27]

3.4.6.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Binnen de MMG-milieuprofielen databank en de NIBE classificatie kan dit type dragende binnenwand, op basis van houtskelet, niet verbeterd worden naar milieu-impact.

3.4.6.3 Toetsing met praktijk

Om het gebruik van dragende binnenwanden uit houtskelet te verifiëren, werd er in de interviews naar het gebruik van dragende binnenwanden gevraagd.

Uit de interviews kwam naar voren dat er bij de architect voor dragende binnenwanden geopteerd wordt voor metselwerk i.p.v. houtskelet. Indien er toch een houtskelet wordt toegepast, wordt er bij de architect als isolatie gekozen voor cellulose i.p.v. rotswol.

Als er in het interview met de aannemer naar het gebruik van dragende binnenwanden werd gevraagd, vermeldde de aannemer houtskelet gevuld met glaswol te gebruiken. De aannemer verkiest glaswol boven cellulose omdat er twijfel heerst over de dichting van cellulose, waardoor er holle ruimtes ontstaan in de wand ter hoogte van leidingen en dergelijke.

3.4.7 Niet-dragende binnenwanden

3.4.7.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende niet-dragende binnenwanden van een woning met een houtskeletstructuur bestaat uit houtskelet. Dit komt overeen met de opbouw van NDBiW1 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 35) [64]. De niet-dragende binnenwanden van woningen 2, 3, 8, 11, 13, 15, 16, 17 en 18 zijn overeenkomstig met NDBiW1. Woning 12 heeft geen niet-dragende binnenwanden.

Element		Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Binnenwand (niet-dragend): milieu-impact per m² wand			[€/m²]		
NDBiW1	houtskelet 1gipskarton	acrylverf/gipskarton (1laag)/houtskelet (10cm, gevuld met glaswol)/gipskarton (1laag)/acrylverf	15,71	2,3,8,11,13, 15,16,17,18	

Figuur 35. Milieuprofielen van niet-dragende binnenwanden: NDBiW1 [64]

3.4.7.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Binnen de MMG-milieuprofielen databank en de NIBE classificatie kan dit type niet-dragende binnenwand, op basis van houtskelet, niet verbeterd worden naar milieu-impact.

3.4.7.3 Toetsing met praktijk

Om het gebruik van niet-dragende binnenwanden uit houtskelet te verifiëren, werd er in de interviews naar het gebruik van niet-dragende binnenwanden gevraagd.

Uit de interviews kwam naar voren dat er bij de architect voor niet-dragende binnenwanden geopteerd wordt voor metselwerk i.p.v. houtskelet. Indien er toch een houtskelet wordt toegepast, wordt er bij de architect als isolatie gekozen voor cellulose i.p.v. rotswol.

Als er in het interview met de aannemer naar het gebruik van niet-dragende binnenwanden werd gevraagd, vermeldde de aannemer houtskelet gevuld met glaswol te gebruiken. De aannemer verkiest glaswol boven cellulose omdat er twijfel heerst over de dichting van cellulose, waardoor er holle ruimtes ontstaan in de wand ter hoogte van leidingen en dergelijke.

3.5 Staalstructuur

Uit de tweeëntwintig onderzochte cases is er slechts één case met een staalstructuur. Deze woning heeft de volgende nummer: 21.

Uit onderzoek blijkt dat er enkel voor niet-dragende binnenwanden een overeenkomstig MMG milieuprofiel te vinden is. Daarom zal er enkel op deze opbouw verder worden ingegaan.

3.5.1 Niet-dragende binnenwanden

3.5.1.1 Vaak gekozen elementopbouw in bestaande toestand

De opbouw van frequent voorkomende niet-dragende binnenwanden van een woning met een staalstructuur bestaat uit metalen studs. Dit komt overeen met de opbouw van NDBiW3 uit de MMG-milieuprofielen databank (zie Figuur 36) [64]. De niet-dragende binnenwanden van woning 21 komt overeen met de opbouw van NDBiW3.

Element	Opbouw	Totale milieukost	Conv.	Alt.
Binnenwand (niet-dragend): milieu-impact per m² wand		[€ / m²]		
NDBiW3	metalstud 1gipskarton	acrylverf/gipskarton (1laag)/metal-stud (10cm, gevuld met glaswol)/gipskarton (1laag)/acrylverf	16,2	21

Figuur 36. Milieuprofielen van niet-dragende binnenwanden: DBiW3 [64]

3.5.1.2 Aangereikte alternatieven voor deze elementopbouw

Binnen de MMG-milieuprofielen databank en de NIBE classificatie kan dit type niet-dragende binnenwand, op basis van metalen studs, niet verbeterd worden naar milieu-impact.

3.5.1.3 Toetsing met praktijk

Om het gebruik van niet-dragende binnenwanden uit metalen studs te verifiëren, werd er in de interviews naar het gebruik van niet-dragende binnenwanden gevraagd.

Uit het interview met de ingenieur kwam naar voren dat er geen keuzes maakt worden over niet-dragende wanden. De ingenieur houdt zich namelijk enkel bezig met dragende structuren. De ingenieur gaf echter wel mee dat er omwille van een gebrek aan keuzes standaard materialen worden gebruikt. De ingenieur vond het gebruik van staal tevens een milieuvriendelijke optie omdat de materialen herbruikbaar zijn.

4 Besluit

4.1 Massieve structuur

Voor woningen met een massieve structuur is enkel het alternatief met een lagere milieu-impact voor vloeren op volle grond, nl. beton met gerecycleerde granulaten, niet toepasbaar in de praktijk. De andere voorgestelde alternatieven zijn wel toepasbaar. Of deze onderzochte alternatieven kans maken om toegepast te worden in de praktijk verschilt echter van alternatief tot alternatief.

Geëxpandeerde kurkisolatie (voor vloeren op volle grond), potten en balken (voor verdiepingsvloeren), FJI-liggers (voor hellende daken) en leemsteen (voor buitenwanden) zijn materialen die niet worden toegepast in de praktijk omwille van de hogere kostprijs en/of dikkere opbouw t.o.v. de conventioneel gebruikte materialen.

De opbouw met cellulose gevulde FJI-liggers + hellingsspieën + OSB-plaat + rotswolisolatie (voor platte daken) en de materialen cellulose (voor hellende daken), PUR-isolatie (voor buitenwanden) en gipsblok (voor niet-dragende binnenwanden) beschikken over aantrekkelijke eigenschappen om toch verkozen te worden boven de conventioneel gebruikte. Deze eigenschappen hebben voornamelijk te maken met een dunner en/of goedkoper resultaat t.o.v. de conventioneel gebruikte materialen/opbouw.

Een overzicht van de conventioneel gebruikte materialen en hun alternatief wordt in Tabel 22 weergegeven.

Tabel 22. Vergelijking tussen conventionele met alternatieve materialen voor massieve structuur

	Conventioneel	Alternatief
Vloeren op volle grond	Beton met grove granulaten	Beton met gerecycleerde granulaten
	PUR-isolatie	Geëxpandeerde kurkisolatie
Verdiepingsvloeren	Voorgespannen welfsels	Potten en balken
Platte daken	Voorgespannen welfsels + helling beton + PUR-isolatie	Met cellulose gevulde FJI-liggers + hellingsspieën + OSB-plaat + rotswolisolatie
Hellende daken	Houten spanten	FJI-liggers
	Rotswol	Cellulose
Buitenwanden	Snelbouwsteen	Leemsteen
	Rotswolisolatie	PUR-isolatie
Dragende binnenwanden	Snelbouwsteen	/
Niet-dragende binnenwanden	Snelbouwsteen	Gipsblok

4.2 Betonstructuur

Voor woningen met een betonstructuur is enkel het alternatief met een lagere milieu-impact voor vloeren op volle grond, nl. beton met gerecycleerde granulaten, niet toepasbaar in de praktijk. De andere voorgestelde alternatieven zijn wel toepasbaar. Of deze onderzochte alternatieven kans maken om toegepast te worden in de praktijk verschilt echter van alternatief tot alternatief.

Geëxpandeerde kurkisolatie (voor vloeren op volle grond) en cellenbetonplaten (voor platte daken) zijn materialen die niet worden toegepast in de praktijk omwille van de hogere kostprijs en/of dikkere opbouw t.o.v. de conventioneel gebruikte materialen.

Het gebruik van potten en balken (voor verdiepingsvloeren) is een toepassing die t.o.v. welfsels geen aantrekkelijkere eigenschappen heeft, maar t.o.v. breedplaatvloeren wel. Uit interviews met een architect, ingenieur en aannemer wordt er toch afgeleid dat potten en balken t.o.v. breedplaatvloeren enkel een voorkeur genieten bij renovaties.

De materialen PUR-isolatie (voor buitenwanden) en gipsblok (voor niet-dragende binnenwanden) beschikken over aantrekkelijke eigenschappen om toch verkozen te worden boven de conventioneel gebruikte. Deze eigenschappen hebben voornamelijk te maken met een dunner en/of goedkoper resultaat t.o.v. de conventioneel gebruikte materialen/opbouw.

Een overzicht van de conventioneel gebruikte materialen en hun alternatief wordt in Tabel 23 weergegeven.

Tabel 23. Vergelijking tussen conventionele met alternatieve materialen voor betonstructuur

	Conventioneel	Alternatief
Vloeren op volle grond	Beton met grove granulaten	Beton met gerecycleerde granulaten
	PUR-isolatie/ XPS-isolatie	Geëxpandeerde kurkisolatie
Verdiepingsvloeren	Breedplaatvloer/ Voorgespannen welfsels	Potten en balken
Platte daken	Breedplaatvloer/ Voorgespannen welfsels	Cellenbetonplaat
Hellende daken	/	/
Buitenwanden	Betonwand	/
Dragende binnenwanden	Zichtbetonblok	/
Niet-dragende binnenwanden	Betonwand	Gipsblok

4.3 Houtskeletstructuur

Voor woningen met een houtskeletstructuur is enkel het alternatief met een lagere milieu-impact voor vloeren op volle grond, nl. beton met gerecycleerde granulaten, niet toepasbaar in de praktijk. De andere voorgestelde alternatieven zijn wel toepasbaar. Of deze onderzochte alternatieven kans maken om toegepast te worden in de praktijk verschilt echter van alternatief tot alternatief.

Geëxpandeerde kurkisolatie (voor vloeren op volle grond), droge dekvloer (voor verdiepingsvloeren), FJI-liggers (voor hellende daken) en FJI's (voor buitenwanden) zijn materialen die niet worden toegepast in de praktijk omwille van de hogere kostprijs en/of dikkere opbouw t.o.v. de conventioneel gebruikte materialen.

Het gebruik van spaanplaten (voor verdiepingsvloeren) is een goedkopere toepassing dan OSB platen. Dit maakt het aantrekkelijker om te gebruiken, maar uit interviews met een architect en aannemer wordt er afgeleid dat OSB platen eerder gebruikt worden omwille van het gladde oppervlak van spaanplaten bij koude temperaturen.

De opbouw met cellulose gevulde FJI-liggers + hellingspieën + OSB-plaat + rotswolisolatie (voor platte daken) en de materialen cellulose (voor hellende daken) en cellulose (voor buitenwanden) beschikken over aantrekkelijke eigenschappen om toch verkozen te worden boven de conventioneel gebruikte. Deze eigenschappen hebben voornamelijk te maken met een dunner en/of goedkoper resultaat t.o.v. de conventioneel gebruikte materialen/opbouw.

Een overzicht van de conventioneel gebruikte materialen en hun alternatief wordt in Tabel 24 weergegeven.

Tabel 24. Vergelijking tussen conventionele met alternatieve materialen voor houtskeletstructuur

	Conventioneel	Alternatief
Vloeren op volle grond	Beton met grove granulaten	Beton met gerecycleerde granulaten
	PUR-isolatie	Geëxpandeerde kurkisolatie
Verdiepingsvloeren	OSB	Spaanplaat
	cementchape	Droge dekvloer
Platte daken	Houten balken met lege tussenruimtes + hellingspieën + OSB plaat + PUR-isolatie	FJI-liggers gevuld met cellulose + hellingspieën + OSB-plaat + rotswolisolatie
Hellende daken	Houten spanten	FJI-liggers
	Rotswol	Cellulose
Buitenwanden	Houten balken	FJI's
	Rotswol	Cellulose
Dragende binnenwanden	Houtskelet + glaswol	/
Niet-dragende binnenwanden	Houtskelet + glaswol	/

4.4 Staalstructuur

Omwille van een gebrek aan gegevens in de MMG-milieuprofielen databank en NIBE classificatie kon er omtrent de staalstructuur weinig onderzoek gedaan worden naar milieu-impact. Bijgevolg kunnen hier geen concrete besluiten over gevormd worden.

Een overzicht van de conventioneel gebruikte materialen en hun alternatief wordt in Tabel 25 weergegeven.

Tabel 25. Vergelijking tussen conventionele met alternatieve materialen voor staalstructuur

	Conventioneel	Alternatief
Niet-dragende binnenwanden	Metalen studs + glaswol	/

4.5 Algemeen besluit

Na dit onderzoek kan er besloten worden dat de Vlaamse bouwwereld wel openstaat voor alternatieve materialen met een lagere milieu-impact. Zeker voor een alternatieve opbouw in platte daken, alternatieve isolatiematerialen in hellende daken en buitenwanden en alternatieve materialen in niet-dragende binnenwanden is er veel interesse.

Maar er zijn ook een aantal drempels voor het gebruik ervan. Zo moet dit eerst economisch vergelijkbaar zijn met de huidig gebruikte materialen. Vele huidig gebruikte materialen kunnen namelijk snel geplateerd worden en zijn goedkoper bij aankoop.

Het verschil in dikte, waardoor de leefbare oppervlakte kleiner wordt, door een verschil in thermisch isolerende waarden is een tweede bijkomend probleem om over te stappen op een alternatieve opbouw.

Tot slot ontbreekt er in een aantal gevallen nog heel wat kennis over de alternatieve materialen/opbouwen, waardoor deze minder toegepast worden.

Onderzoek naar het gebruik van alternatieve materialen kost tevens geld en vele professionelen zijn niet gewillig deze investering te maken.

In de toekomst zal de MMG-databank moeten verder evolueren naar een databank op materiaalniveau. Deze masterproef kan in die evolutie gebruikt worden als een tussentijdse controle op de stand van zaken van de huidige Vlaamse bouwpraktijk inzake materialen en hun milieu-impact.

Er is zeker ook een taak weggelegd voor de overheid als zij gaan voor een beter milieu. Zij zullen d.m.v. een regelgeving ervoor kunnen zorgen dat professionelen gedwongen worden of aangezet worden om alternatieve materialen met een lagere milieu-impact te gebruiken. Via subsidiëring van onderzoek en meer expertise kan de kwaliteit van alternatieve materialen verhogen en de prijs op termijn verlagen. Dit zou de drempels voor een groot deel doen verdwijnen.

Literatuurlijst

- [1] NIBE, „www.nibe.info/nl,“ Nederlands Instituut voor bouwbiologie en ecologie, 2016. [Online]. Available: <http://www.nibe.info/nl>. [Geopend 2016].
- [2] E. Meex, „Development of a methodology for architects for the assessment and integration of sustainable material use from the early design phase on,“ Work in progress, 2013-2018.
- [3] I. Vanherck, „Onderzoek naar materiaalgebruik in Vlaamse woningen,“ 2016.
- [4] R. Servaes, K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen,“ OVAM, Mechelen, 2013.
- [5] M. Haas, „www.michielhaas.nl,“ mh blogs bv, [Online]. Available: <http://michielhaas.nl/het-verschil-tussen-duurzaam-en-duurzaam/>. [Geopend 9 Februari 2017].
- [6] W. C. o. E. a. Development, „Brundtland Report,“ Oxford University Press, Oxford, 1987.
- [7] Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, „Koninklijk besluit tot vaststelling van de minimumeisen voor het aanbrengen van milieuboodschappen op bouwproducten en voor het registreren van milieuproductverklaringen in de federale databank,“ Belgisch Staatsblad, Brussel, 2014.
- [8] BRIS, „www.bouwbesluitonline.nl,“ BRIS, [Online]. Available: <http://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012>. [Geopend 9 Februari 2017].
- [9] Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, „www.health.belgium.be/nl/databank-voor-milieuproductverklaringen-epd,“ Federale overheidsdienst, 12 Januari 2016. [Online]. Available: <http://www.health.belgium.be/nl/databank-voor-milieuproductverklaringen-epd>. [Geopend 20 December 2016].
- [10] W. Debacker, K. Allacker, F. D. Troyer, A. Janssen, L. Delem, K. Peeters, L. D. Nocker, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieugerelateerde materiaalprestatie van gebouwelementen,“ OVAM, Mechelen, 2012.
- [11] A. Janssen, L. Delem en J. V. Dessel, „Principes en aandachtspunten bij de keuze voor duurzame bouwmaterialen,“ WTCB, 2012.
- [12] Bureau voor Normalisatie, „Milieumanagement - Levenscyclusanalyse - Principes en raamwerk (ISO 14040:2006),“ Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2006.

- [13] Bureau voor Normalisatie, „Milieumanagement - Levenscyclusanalyse - Eisen en richtlijnen (ISO 14044:2006),” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2006.
- [14] K. Touchant, R. Lookman, J. Bronders, G. Van Gestel, N. Bruneel, S. De Mulder en P. Marynissen, „LCA toepassingen in bodemsaneringsprojecten - Literatuurstudie,” Danny Wille, OVAM, Mechelen, 2011.
- [15] BRE Group, „www.thegreenguide.org.uk,” BRE Group, 2016. [Online]. Available: <http://www.bre.co.uk/greenguide/podpage.jsp?id=2126>. [Geopend 9 December 2016].
- [16] INIES, „www.inies.fr,” INIES, 2016. [Online]. Available: <http://www.inies.fr/home/>. [Geopend 9 December 2016].
- [17] Het Technische Comité Architecten van het WTCB, „Technische aandachtspunten - Levenscyclusanalyse (LCA): naar veralgemeend gebruik,” *Arch-Index*, vol. 17, nr. 86, p. 11, 2013.
- [18] G. Leeuwen, H. D. Mönnink, C. Penders, F. Visser, N. Visser en N. V. Leeuwen, „LCA, DUBOkeur, NMD, MRPI en EPD: Wegwijs in duurzaam bouwen,” *Duurzaam bouwen in het Oosten*, vol. 4, nr. 2, pp. 39-42, 2015.
- [19] Netwerk Bewust Verbruiken, „www.labelinfo.be,” Eos Wetenschap, [Online]. Available: <https://www.labelinfo.be>. [Geopend 9 December 2016].
- [20] Bureau voor Normalisatie, „Environmental labels and declarations - Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling) (NBN EN ISO 14021:2016),” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2016.
- [21] Stichting MRPI, „www.mrpi.nl,” Stichting MRPI, [Online]. Available: <http://www.mrpi.nl/>. [Geopend 9 Februari 2017].
- [22] The International EPD® System, „www.environdec.com,” The International EPD® System, [Online]. Available: <http://www.environdec.com/>. [Geopend 9 Februari 2017].
- [23] Institut Bauen und Umwelt e.V., „ibu-epd.com,” Institut Bauen und Umwelt e.V., [Online]. Available: <http://ibu-epd.com/en/>. [Geopend 9 Februari 2017].
- [24] E. Rossi en R. Servaes, „Een tool in ontwikkeling op basis van de MMG berekeningswijze,” in *Seminaries Duurzaam Bouwen, Leefmilieu Brussel*, Brussel, 2016.
- [25] Bureau voor Normalisatie, „NBN EN 15978: Duurzaamheid van constructies - Beoordeling van milieuprestaties van gebouwen - Rekenmethode,” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2012.
- [26] Bureau voor Normalisatie, „NBN EN 15804+A1: Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen van producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten,” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2014.
- [27] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K.

- Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: dragende binnenwand,” OVAM, Mechelen, 2013.
- [28] W/E adviseurs, „gprsoftware.nl,” GPR software, 1995. [Online]. Available: <http://gprsoftware.nl/>. [Geopend 9 December 2016].
- [29] NIBE, „www.nibe.info/nl,” Nederlands Instituut voor bouwbiologie en ecologie, 2016. [Online]. Available: <http://www.nibe.info/nl/>. [Geopend 9 December 2016].
- [30] E. Willaert, „De milieukost van bouwmaterialen,” *de koevoet*, nr. 165, pp. 38-42, 2013.
- [31] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: vloer op volle grond,” OVAM, Mechelen, 2013.
- [32] Livios, „www.livios.be,” Livios, [Online]. Available: <http://www.livios.be>. [Geopend 1 Maart 2017].
- [33] Immoweb, „www.immoweb.be,” Immoweb, [Online]. Available: <http://www.immoweb.be>. [Geopend 1 Maart 2017].
- [34] dubolimburg.be, „DUBO Limburg,” [Online]. Available: <http://www.dubolimburg.be/files/isolatiebegrippen.pdf>. [Geopend 20 mei 2017].
- [35] WTCB, „www.wtcb.be,” Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, [Online]. Available: http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards_regulations&pag=fire&art=news&niv01=in_belgium&niv02=3. [Geopend 5 Mei 2017].
- [36] J. Vrijders, P. Van Itterbeeck en J. Piérard, „www.wtcb.be,” Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, November 2014. [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=71&art=1#b1>. [Geopend 5 Mei 2017].
- [37] isolatie-info.be, „www.isolatie-info.be/isolatiemateriaal/kurk-isolatie,” isolatie-info.be, 2017. [Online]. Available: <https://www.isolatie-info.be/isolatiemateriaal/kurk-isolatie>. [Geopend 16 Mei 2017].
- [38] Eltherm nv, „Vloerisolatie in gespoten PUR schuim,” Eltherm nv, 2011.
- [39] Kurkfabriek Van Avermaet, „Geëxpandeerde kurkplaten,” Kurkfabriek Van Avermaet, 2014.
- [40] J. Van den Bossche en T. Vangheel, „www.wtcb.be,” 4 Oktober 2013. [Online]. Available:

<http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact40&art=616>. [Geopend 22 Mei 2017].

- [41] Isola NV , „www.isola.be,” Isola NV , 2017. [Online]. Available: <http://www.isola.be/nl/oplossingen/akoestische-isolatie/thermogran-met-epbd-certificaat/producten/thermogran-25#tabs>. [Geopend 16 Mei 2017].
- [42] Isola NV, „Thermogran,” Isola NV, 2016.
- [43] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: verdiepingsvloer,” OVAM, Mechelen, 2013.
- [44] Ploegsteert, „staltonvloer met potten en balkjes,” Ploegsteert, 2017.
- [45] ECHO nv, „DOMODECK PRB/PSB 14/60,” ECHO nv, Houthalen, 2017.
- [46] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: plat dak,” OVAM, Mechelen, 2013.
- [47] Finnforest, „Finnframe floor system,” Finnforest, 2007.
- [48] Recticel, „Eurothane Bi-4,” Recticel, 2016.
- [49] Isoproc, „Isofloc,” Isoproc, Zemst.
- [50] Rockwool bvba, „Rhinox: Isolatie voor platte daken,” Rockwool bvba, 2016.
- [51] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: hellend dak,” OVAM, Mechelen, 2013.
- [52] DS Hout by DS Group bvba, „allesvooruwinterieur.be,” DS Group bvba, 2016. [Online]. Available: <http://allesvooruwinterieur.be/>. [Geopend 12 April 2017].
- [53] WTCB, „www.wtcb.be,” WTCB, 7 Januari 2013. [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact37&art=574>. [Geopend 16 Mei 2017].
- [54] Cras Woodshops, „Producten voor houtskeletbouw,” Cras Woodshops, 2016.
- [55] [isolatie-info.be](http://www.isolatie-info.be), „www.isolatie-info.be/isolatiemateriaal/cellulose,” [isolatie-info.be](http://www.isolatie-info.be), 21 April 2017. [Online]. Available: <https://www.isolatie-info.be/isolatiemateriaal/cellulose>. [Geopend 22 April 2017].
- [56] Rockwool bvba, „RockRoof Flexi (Plus): Isolatie voor hellende daken,” Rockwool bvba, Wijnegem, 2017.
- [57] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van

- gebouwelementen, details per variant: buitenwand," OVAM, Mechelen, 2013.
- [58] Bouwdepot cvba, „www.bouwdepot.be," Bouwdepot cvba, [Online]. Available: <https://www.bouwdepot.be/porotherm-thermobrick-29x14x19.html>. [Geopend 5 Mei 2017].
- [59] Oskam V/F, „www.oskam-vf.com," Oskam V/F, [Online]. Available: <https://www.oskam-vf.com>. [Geopend 6 April 2017].
- [60] Wienerberger, „POROTHERM Thermobrick 10N," sa Wienerberger nv, Kortrijk.
- [61] Rockwool bvba, „RockFit Mono: spouw-, vliesgevel- en gemene muurisolatie," Rockwool bvba, Wijnegem, 2017.
- [62] Recticel, „Eurowall," Recticel, 2016.
- [63] Xella BE nv/sa, „Technische data SILKA," Xella BE nv/sa, 2016.
- [64] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: niet-dragende binnenwand," OVAM, Mechelen, 2013.
- [65] Van Heesch Stukadoors, „Prijzlijst 2014," Van Heesch Stukadoors, 2014.
- [66] N.V. PROMONTA S.A., „PROMONTA Blok Type Normaal," N.V. PROMONTA S.A., Willebroek.
- [67] URSA , „Productdatablad URSA XPS N-W-E," URSA , 2013.
- [68] Van Thuyne Gewelven, „www.gewelven.be," Van Thuyne Gewelven, 2016. [Online]. Available: <http://www.gewelven.be/producten.html>. [Geopend 5 Mei 2017].
- [69] G. Tombeur, „www.eclecticsite.be," EclecticSite, 15 Februari 2016. [Online]. Available: <http://www.eclecticsite.be/bouw/prijsBouw.htm>. [Geopend 5 Mei 2017].
- [70] Xella BE nv/sa, „Dakplaten/Vloerplaten," Xella BE nv/sa, 2013.
- [71] Evotis BVBA, „www.chapewerken.vlaanderen," Evotis BVBA, 3 Augustus 2015. [Online]. Available: <https://www.chapewerken.vlaanderen/>. [Geopend 3 April 2017].
- [72] Bouwpunt, „www.bouwpuntshop.be," Bouwpunt, 2017. [Online]. Available: <https://www.bouwpuntshop.be/fermacell-vloerelement-2e32-mw-1500x500x30mm>. [Geopend 16 Mei 2017].
- [73] WTCB, „EEN DEKVLOER KIEZEN; Hoe de dikte van de dekvloer en de samenstelling ervan bepalen, welke toleranties toepassen," Carlo De Pauw.
- [74] Gamma, „www.gamma.nl," Gamma, 2017. [Online]. Available: <https://www.gamma.nl/assortiment/osb-plaat-18-mm-244x122->

cm/p/B545605?q=fh_location%3d%2f%2fcatalog01%2fnl_NL%2f%24s%3do
sb%5cu0020%2ffh_item_type%3E%7bproduct%7d%26fh_refview%3dsearch
%26fh_start_index%3d0%26fh_lister_pos%3d1%26fh_view_size%3d20%26
date_tim. [Geopend 24 april 2017].

- [75] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: raam,“ OVAM, Mechelen, 2013.
- [76] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: trap,“ OVAM, Mechelen, 2013.
- [77] K. Allacker, W. Debacker, L. Delem, L. D. Nocker, F. D. Troyer, A. Janssen, K. Peeters, R. Servaes, C. Spirinckx en J. V. Dessel, „Milieuprofiel van gebouwelementen, details per variant: binnenschrijnwerkerij,“ OVAM, Mechelen, 2013.

Bijlagen

Bijlage A: MMG milieuprofiel van gebouwelementen

		CEN	CEN+	TOTAAL
(13)+ vloer op grond: milieu-impact per m² vloer, 10 types (van buiten naar binnen =>)				
Vloer 1	PUR05	40,86	47,06	87,92 [euro/m ² vloer]
Vloer 2	PUR15	34,89	47,08	81,97
Vloer 3	XP58	41,65	47,03	88,68
Vloer 4	REC PURO5	40,85	47,02	87,87
Vloer 5	trasalk	40,18	71,84	112,02
Vloer 6	PUR04/dekvloer EPS	65,29	58,72	124,01
Vloer 7	PUR05/dekvloer anhydriet	40,92	47,88	88,8
Vloer 8	PUR05 parкет	31,52	38,02	69,54
Vloer 9	PUR05 parкет	31,38	37,81	69,19
Vloer 10	K05 parкет	28,08	39,79	67,87
(21)+ buitenwand (dragend en niet-dragend): milieu-impact per m² wand, 25 types* (van buiten naar binnen =>)				
BW 1	houtskelet RW14 gevelsteen	20,25	16,1	36,35 [euro/m ² wand]
BW 2	houtskelet RW22 gevelsteen	18,8	19,92	38,72
BW 3	houtskelet cellulose22 gevelsteen	18,23	17,6	35,83
BW 4	houtskelet RW14 vezelcementplaat	18,7	15,55	34,25
BW 5	Fij cellulose24 gevelsteen	14,85	12,31	27,16
BW 6	Fij cellulose36 gevelsteen	14,1	14,35	28,45
BW 7	Fij cellulose36 crepi gipsblokken	14,43	15,37	29,8
BW 8	houtskelet RW14 planken	18,58	22,52	41,1
BW 9	betonsteen hol RW7,5 gevelsteen	24,56	10,65	35,21
BW 10	betonsteen hol RW22 gevelsteen	18,67	12,5	31,17
BW 11	betonsteen hol PUR5 gevelsteen	24,66	9,99	34,65
BW 12	betonsteen hol PUR15 gevelsteen	19,86	10,73	30,59
BW 13	betonsteen vol RW7,5 gevelsteen	25,37	11,44	36,81
BW 14	snelbouw isol RW6 gevelsteen	23,41	9,33	32,74
BW 15	snelbouw isol RW8 crepi	23,03	14,57	37,6
BW 16	snelbouw isol EPS7 crepi	22,27	8,56	30,83
BW 17	snelbouw RW7,5 gevelsteen	23,42	10,23	33,65
BW 18	snelbouw isol RW6 gevelsteen leem-pleister	21,51	8	29,51
BW 19	betonsteen hol PUR5 betonsteen	23,58	9,52	33,1
BW 20	cellenbeton30 gevelsteen	27,07	10,81	37,88
BW 21	cellenbeton48 crepi	26,73	12,08	38,81
BW 22	cellenbeton30 RW14 gevelsteen	21,94	12,66	34,6
BW 23	kalkesteen RW7,5 gevelsteen	22,97	10,21	33,18
BW 24	snelbouw betonprefabpaneel	31,29	22,38	53,67
BW 25	beton institu RW7,5 betonplaat	27,91	15,73	43,64
(22)+ binnenwand (dragend): milieu-impact per m² wand, 7 types dragend				
DBIW1	snelbouwsteen	8,43	5,43	13,86 [euro/m ² wand]
DBIW2	beton	11,79	9,47	21,26
DBIW3	houtskelet	7,77	11,64	19,41
DBIW4	kalkesteen	8,58	5,88	14,46
DBIW5	cellenbeton	8,64	5,25	13,89
DBIW6	betonsteen	9,44	6,24	15,68
DBIW7	zichtblokken (beton)	5,78	4,04	9,82

Figuur 37. MMG milieuprofiel van gebouwelementen deel 1 [31], [57], [27]

(22)† binnenwand (niet-dragend): milieu-impact per m² wand/12 types									
NDBIW1	houtskelet 1gipskarton	acrylverf/gipskarton (1laag)/houtskelet (10cm, gevuld met glaswol)/gipskarton (1laag)/acrylverf	6,98	8,73	15,71	[euro/m² wand]			
NDBIW2	houtskelet 2gipskarton	acrylverf/gipskarton (2lagen)/houtskelet (10cm, gevuld met glaswol)/gipskarton (2lagen)/acrylverf	9,32	11	20,32				
NDBIW3	metaalstud 1gipskarton	acrylverf/gipskarton (1laag)/metaal-stud (10cm, gevuld met glaswol)/gipskarton (1laag)/acrylverf	8,56	7,64	16,2				
NDBIW4	metaalstud 2gipskarton	acrylverf/gipskarton (2lagen)/metaal-stud (10cm, gevuld met glaswol)/gipskarton (2lagen)/acrylverf	10,91	9,91	20,82				
NDBIW5	snelbouwsteen	acrylverf/gipspleister/snelbouwsteen (gemets) 9cm klei/gipspleister/acrylverf	7,26	4,7	11,96				
NDBIW6	beton	acrylverf/gipspleister/beton (insitu) 9cm nieuw/gipspleister/acrylverf	9	7,04	16,04				
NDBIW7	beton gerecycleerd	acrylverf/gipspleister/beton (insitu) 9cm 100% recycl/gipspleister/acrylverf	9	7,02	16,02				
NDBIW8	gipsblokken	acrylverf/systeemwand volle panelen	6,97	4,05	11,02				
NDBIW9	houtskelet gipsvezelplaat	acrylverf/systeemwand 100% beglaasd	7,3	9,09	16,39				
NDBIW10	systeemwand vol	acrylverf/gipspleister/gipsblokken 10cm/gipspleister/acrylverf	25,59	25,07	50,66				
NDBIW11	systeemwand glas	acrylverf/gipsvezelplaat/houtskelet (10cm, gevuld met glaswol)/gipsvezelplaat/acrylverf	8,89	6,02	14,91				
NDBIW12	systeemwand 50% beglaasd	acrylverf/systeemwand 50% beglaasd/acrylverf	19,56	17,88	37,44				
(23)† verdieplingsvloer: milieu-impact per m² vloer, 16 types (van onder naar boven =>)									
VV1	beton tegels	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/cement chappe/tegels gebakken aarde	26,48	42,7	69,18	[euro/m² vloer]			
VV2	beton linoleum	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/cement chappe/linoleum	23,67	15,71	39,38				
VV3	beton staalplaat linoleum	acrylverf/gipskarton-isolatie (op metalen onderstructuur)/beton-verloren stalen bekisting/cement chappe/linoleum	29,18	19,9	49,08				
VV4	potten en balken (klei) tegels	acrylverf/gipspleister/15cm potten en balken/cement chappe/tegels gebakken aarde	24,84	40,58	65,42				
VV5	beton parket	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/cement chappe/parket	19,45	35,51	54,96				
VV6	welfsels 16,5 NVG linoleum	acrylverf/gipspleister/welfsels (niet voorgespannen)/cement chappe/linoleum	24,55	16,09	40,64				
VV7	welfsels 12 VG linoleum	acrylverf/gipspleister/welfsels (voorgespannen)/cement chappe/linoleum	21,42	13,2	34,62				
VV8	beton kurk	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/cement chappe/kurk	18,78	15,69	34,47				
VV9	welfsels 12 VG linoleum rotswolplaten	-Verlaagd plafond: rotswolplaten op metalen onderstructuur/welfsels (voorgespannen)/cement chappe/linoleum	26,21	19,07	45,28				
VV10	hout laminaat	acrylverf/gipskarton op houten onderstructuur/houten balken (22cm)+osb+RW (3cm)/parket	13,43	37,58	51,01				
VV11	beton laminaat	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/cement chappe/laminaat	24,41	19,85	44,26				
VV12	welfsels 12 VG RW3 tegels	acrylverf/gipspleister/welfsels (voorgespannen)/cement chappe/tegels gebakken aarde	25	42,05	67,05				
VV13	welfsels 12 VG RW3 tapijt	acrylverf/gipspleister+RW isolatie/welfsels (voorgespannen)/cement chappe/tapijt	20,49	14,01	34,5				
VV14	hout RW22 RW3 tegels	acrylverf/gipskarton op houten onderstructuur/houten balken (22cm)+osb+RW (3cm)/cement chappe/tegels gebakken aarde	24,3	49,97	74,27				
VV15	hout RW22 RW3 droge dekvloer tegels	acrylverf/gipskarton op houten onderstructuur/houten balken (22cm)+osb+RW (3cm)/droge dekvloer/tegels gebakken aarde	23,62	49,22	72,84				
VV16	welfsels 12 VG RW3 laminaat	acrylverf/gipspleister/welfsels (voorgespannen)/cement chappe/laminaat	22,94	19,21	42,15				
(27.1)† plat dak: milieu-impact per m² dak, 3 types* (van binnen naar buiten =>)*dampscherm (VP40/15 wordt toegevoegd waar nodig									
PD1	beton PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/EPDM	21,18	11,61	32,79	[euro/m² dak]			
PD2	beton PUR17 EPDM	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/hellingsbeton/PUR3: 17cm (U=0,15)/EPDM	19,61	12,28	31,89				
PD3	beton PUR10 bitumen	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/bitumen	25,3	14,79	40,09				
PD4	welfsels 16,5 NVG PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/welfsels (niet voorgespannen): 16,5cm/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/EPDM	22,01	11,98	33,99				
PD5	welfsels 12 VG PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/welfsels (voorgespannen): 12cm/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/EPDM	18,93	9,1	28,03				
PD6	beton PURafschot6,75 10,5 EPDM	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/PUR1 (afschotisolatie): 6,75-10,5cm (U=0,29)/EPDM	21,22	10,76	31,98				
PD7	beton RWafschot6,11 14 EPDM	acrylverf/gipspleister/15cm beton nieuw/PUR1 (afschotisolatie): 5-8cm + 6cm fixed (U=0,3)/EPDM	20,27	11,29	31,56				
PD10	TT PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/TT profielen1: 33cm/hellingsbeton/PUR1: 10cm (U=0,25)/EPDM	18,17	8,65	26,82				
PD11	houtenbalken PUR10 EPDM	acrylverf/gipspleister/houten balken (22)/hellingspleien/OSB+PUR1: 10cm (U=0,23)/EPDM	16,63	15,23	31,86				
PD12	houtenbalken cellulose22 RW6 EPDM	acrylverf/gipspleister/houten balken (22) met cellulose/hellingspleien/OSB+RW: 6cm/EPDM	13,39	14,62	28,01				
PD13	FII cellulose24 RW6 EPDM	acrylverf/gipspleister/FII 24cm + cellulose/hellingspleien/OSB+RW: 6cm/EPDM	10,75	9,59	20,34				

Figuur 38. MMG milieuprofiel van gebouwelementen deel 2 [64], [43], [46]

(27.2)+ hellend dak (45°): milieu-impact per m ² horizontaal geprojecteerd dak, 13 types* (van binnen naar buiten =>) *damp- en windschermen worden toegevoegd waar nodig					
HD1	gording RW18 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/gordingen en kepers met 8cm RW tss lepers, 10cm tss gordingen (U=0,2)/houtvezelplaat/-kleipannen	23,47	20,94	44,41 [euro/m ² hor dak]
HD2	FII RW24 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/FII 24cm+RW/houtvezelplaat/-kleipannen	16,77	16,64	33,41
HD3	FII RW36 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/FII 36cm+RW/houtvezelplaat/-kleipannen	16,86	16,76	33,62
HD4	JFI cellulose24 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/FII 24cm+cellulose/houtvezelplaat/-kleipannen	15,65	12,31	27,96
HD5	spantjes RW18 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/spantjes/houtvezelplaat/RW (volledig vulling tussen spantjes)/kleipannen	24,04	19,64	43,68
HD6	spantjes PUR08 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/spantjes/houtvezelplaat/PUR1 (sarking): 8cm (U=0,26)/kleipannen	26,28	17,89	44,17
HD7	spantjes PUR16 kleidakpan	acrylverf/gipskarton/spantjes/houtvezelplaat/PUR2 (sarking): 16(6+10)cm (U=0,14)/kleipannen	23,74	19,01	42,75
HD8	spantjes RW18 zink	acrylverf/gipskarton/spantjes+RW (volledige vulling)/houtvezelplaat/onderstructuur/zink op PE noppenfolie	47,77	50,66	98,43
HD9	spantjes RW18 vezelcement	acrylverf/gipskarton/spantjes/houtvezelplaat/RW (volledig vulling tussen spantjes)/leien in vezelcement	30,48	24,82	55,3
HD10	staal sandwich RW12 staal	acrylverf/gipskarton/staalstructuur/metalen sandwichpanelen gevuld met ratswol	35,89	26,53	62,42
HD11	spantjes RW18 houten shingles	acrylverf/gipskarton/spantjes/houtvezelplaat/RW (volledig vulling tussen spantjes)/cederhout (shingles)	29,32	37,1	66,42
HD12	spantjes RW18 betondakpan	acrylverf/gipskarton/spantjes/houtvezelplaat/RW (volledig vulling tussen spantjes)/betonpannen	23,15	19,32	42,47
HD13	spantjes sandwich panel PUR8 kleidakpan	acrylverf/-spantjes/prefab panelen gevuld met PUR+tengellatten/kleipannen	24,48	15,56	40,04
(31) raamopeningen inclusief schrijnwerk: milieu-impact per m² raam, 11 types					
raam 1	PVC glas1.1	PVC kader1/standaard dubbel glas (U=1,1 W/m ² K)	42,09	35,25	77,34 [euro/m ² raam]
raam 2	ALU glas1.1	ALU kader1/standaard dubbel glas (U=1,1 W/m ² K)	49,77	43,48	93,25
raam 3	hout tropisch hard glas1.1	Tropisch hardhout kader1/standaard dubbel glas (U=1,1 W/m ² K)	50,22	342,94	393,16
raam 4	houtgeschilderd glas1.1	geschilderd hout kader1/standaard dubbel glas (U=1,1 W/m ² K)	29,12	47,02	76,14
raam 5	hout alu glas1.1	hout-alu kader1/standaard dubbel glas (U=1,1 W/m ² K)	45,9	57,57	103,47
raam 6	PVC therm glas0.5	PVC kader2/standaard 3-dubbel glas (U=0,65 W/m ² K)	54,66	44,12	98,78
raam 7	ALU therm glas0.6	ALU kader2/standaard 3-dubbel glas (U=0,65 W/m ² K)	65,81	55,69	121,5
raam 8	houttherm tropisch hard glas0.8	Tropisch hardhouttherm kader2/standaard 3-dubbel glas (U=0,65 W/m ² K)	64,4	355,35	419,75
raam 9	houttherm geschilderd glas0.8	geschilderd hout kader2/standaard 3-dubbel glas (U=0,65 W/m ² K)	43,26	59,41	102,67
raam 10	PVC glas1.1 veilig	PVC kader1/standaard dubbel glas (U=1,1 W/m ² K)	45,52	37,79	83,31
raam 11	PVC glas1.1 akoest	PVC kader1/standaard dubbel glas (U=1,1 W/m ² K)	43,38	36,53	79,91
Trappen: 5 types					
trap 1	hout open	hout open/vernis/houten leuning	55,71	259,65	315,36 [euro/trap]
trap 2	hout gesloten	hout gesloten/vernis/houten leuning	67,01	222,5	289,51
trap 3	beton	beton/bloot of gepolijst/metalen leuning	198,59	142,13	340,72
trap 4	beton tegels	beton/tegels/metalen leuning	239,17	347,55	586,72
trap 5	staal	staal/verf/stalen leuning	359,52	288,7	648,22
Binnenschrijnwerk: 3 types					
D1	MDF	schildersuren/kader in MDF	206,76	216,4	423,16 [euro/deur]
D2	eik	massief eik/kader in eik	156,78	1402,58	1559,36
D3	glas	glas/kader in MDF	214,74	221,72	436,46

Figuur 39. MMG milieuprofiel van gebouwelementen deel 3 [51], [75], [76], [77]

Bijlage B: Profilering

Architect massief- en betonbouw

1. Naam: ██████████
2. Geslacht: Man
3. Leeftijd: 31
4. Opleiding: Architect
5. Actief in de bouwpraktijk sinds (jaartal): 2011
6. Functie binnen het bedrijf: Adjunct Project Leider - Architectuur
7. Grootte van het bedrijf (personen incl. uzelf + jaarlijkse omzet): 14.500 medewerkers in Europa waarvan 800 in België; jaarlijkse omzet van 1,7 miljard euro (Europese groep)

8. Type projecten in de praktijk (% invullen, som = 100 %)
 - Particulier woningbouw - 1 %
 - Appartementen - 5 %
 - Sociale woningbouw - /
 - Kantoorgebouwen - 23,5 %
 - Openbare gebouwen - 23,5 %
 - Industriële gebouwen - 23,5 %
 - Commerciële gebouwen - 23,5 %
 - Andere, nl. ... - /

9. Ervaring met volgende constructietypes voor nieuwbouw woningen? In welke verhouding (som = 100 %)
 - Traditioneel - 40 %
 - Houtskeletbouw - 20 %
 - Staalbouw - /
 - Betonwoning - 40 %
 - Andere, nl. ... - /

10. Wat is uw visie op de impact van bouwmaterialen op het milieu?
Bouwmaterialen hebben hun impact op het milieu, maar daar houden we nog niet echt rekening mee bij het ontwerpen van gebouwen.

11. Heeft u al eens gehoord van een Environmental Product Declaration (EPD)?
Neen.

12. Heeft u al eens gehoord van Life Cycle Assessment / Life Cycle Analysis (LCA)?
Ja.

Architect massief- en houtskeletbouw

1. Naam: ██████████
2. Geslacht: Vrouw
3. Leeftijd: 34
4. Opleiding: Architect-ingenieur Bouwkunde
5. Actief in de bouwpraktijk sinds (jaartal): 2007
6. Functie binnen het bedrijf: Projectleider Architectuur
7. Grootte van het bedrijf (personen incl. uzelf + jaarlijkse omzet): 14.500 medewerkers in Europa waarvan 800 in België; jaarlijkse omzet van 1,7 miljard euro (Europese groep)

8. Type projecten in de praktijk (% invullen, som = 100 %)
 - Particulier woningbouw - 20 %
 - Appartementen - 20 %
 - Sociale woningbouw - /
 - Kantoorgebouwen - 15 %
 - Openbare gebouwen - 15 %
 - Industriële gebouwen - 15 %
 - Commerciële gebouwen - 15 %
 - Andere, nl. ... - /

9. Ervaring met volgende constructietypes voor nieuwbouw woningen? In welke verhouding (som = 100 %)
 - Traditioneel - 60 %
 - Houtskeletbouw - 35 %
 - Staalbouw - /
 - Betonwoning - 5 %
 - Andere, nl. ... - /

10. Wat is uw visie op de impact van bouwmaterialen op het milieu?
Men wordt zich daar meer en meer bewust van. Als architect heb je daarin een sturende functie, maar geen beslissende.

11. Heeft u al eens gehoord van een Environmental Product Declaration (EPD)?
Neen.

12. Heeft u al eens gehoord van Life Cycle Assessment / Life Cycle Analysis (LCA)?
Ja, dat vind je geregeld terug op technische fiches.

Ingenieur massief-, beton- en staalbouw

1. Naam: ██████████
2. Geslacht: Vrouw
3. Leeftijd: 35
4. Opleiding: Burgerlijk Ingenieur
5. Actief in de bouwpraktijk sinds (jaartal): 2007
6. Functie binnen het bedrijf: Stabiliteitsingenieur
7. Grootte van het bedrijf (personen incl. uzelf + jaarlijkse omzet): 3 personen

8. Type projecten in de praktijk (% invullen, som = 100 %)
 - Particulier woningbouw - 20 %
 - Appartementen - 20 %
 - Sociale woningbouw - 20 %
 - Kantoorgebouwen - 20 %
 - Openbare gebouwen - /
 - Industriële gebouwen - 20 %
 - Commerciële gebouwen - /
 - Andere, nl. ... - /

9. Ervaring met volgende constructietypes voor nieuwbouw woningen? In welke verhouding (som = 100 %)
 - Traditioneel - 70 %
 - Houtskeletbouw - /
 - Staalbouw - 20 %
 - Betonwoning - 10 %
 - Andere, nl. ... - /

10. Wat is uw visie op de impact van bouwmaterialen op het milieu?
/

11. Heeft u al eens gehoord van een Environmental Product Declaration (EPD)?
Neen.

12. Heeft u al eens gehoord van Life Cycle Assessment / Life Cycle Analysis (LCA)?
Neen.

Aannemer massief- en betonbouw

1. Naam: ██████████
2. Geslacht: Man
3. Leeftijd: 26
4. Opleiding: Professionele Bachelor Bouwkunde
5. Actief in de bouwpraktijk sinds (jaartal): 2012
6. Functie binnen het bedrijf: Werfleider
7. Grootte van het bedrijf (personen incl. uzelf + jaarlijkse omzet): 80 personen; jaarlijkse omzet van ± 11 miljoen

8. Type projecten in de praktijk (% invullen, som = 100 %)
 - Particulier woningbouw - 50 %
 - Appartementen - 40 %
 - Sociale woningbouw - /
 - Kantoorgebouwen - /
 - Openbare gebouwen - /
 - Industriële gebouwen - /
 - Commerciële gebouwen - 10 %
 - Andere, nl. ... - /

9. Ervaring met volgende constructietypes voor nieuwbouw woningen? In welke verhouding (som = 100 %)
 - Traditioneel - 60 %
 - Houtskeletbouw - /
 - Staalbouw - /
 - Betonwoning - 40 %
 - Andere, nl. ... - /

10. Wat is uw visie op de impact van bouwmaterialen op het milieu?
Mijn visie is dat het vooral belangrijk is dat gebouwen duurzaam zijn en lang kunnen meegaan. Daarbij kijk ik niet echt naar de impact van materialen op het milieu, ik gebruik de materialen die me zijn voorgeschreven.

11. Heeft u al eens gehoord van een Environmental Product Declaration (EPD)?
Neen.

12. Heeft u al eens gehoord van Life Cycle Assessment / Life Cycle Analysis (LCA)?
Neen.

Aannemer houtskeletbouw

1. Naam: ██████████
2. Geslacht: Man
3. Leeftijd: 38
4. Opleiding: TSO
5. Actief in de bouwpraktijk sinds (jaartal): 1997
6. Functie binnen het bedrijf: Algemeen directeur
7. Grootte van het bedrijf (personen incl. uzelf + jaarlijkse omzet): 25 personen; jaarlijkse omzet van 6 à 7 miljoen euro

8. Type projecten in de praktijk (% invullen, som = 100 %)
 - Particulier woningbouw - 100 %
 - Appartementen - /
 - Sociale woningbouw - /
 - Kantoorgebouwen - /
 - Openbare gebouwen - /
 - Industriële gebouwen - /
 - Commerciële gebouwen - /
 - Andere, nl. ... - /

9. Ervaring met volgende constructietypes voor nieuwbouw woningen? In welke verhouding (som = 100 %)
 - Traditioneel - 5 %
 - Houtskeletbouw - 95 %
 - Staalbouw - /
 - Betonwoning - /
 - Andere, nl. ... - /

10. Wat is uw visie op de impact van bouwmaterialen op het milieu?
Het gebruik van hernieuwbare materialen is een must, echter onder voorbehoud van economische haalbaarheid.

11. Heeft u al eens gehoord van een Environmental Product Declaration (EPD)?
Ja.

12. Heeft u al eens gehoord van Life Cycle Assessment / Life Cycle Analysis (LCA)?
Ja.

Dakwerker massief- en betonbouw

1. Naam: ██████████
2. Geslacht: Man
3. Leeftijd: 27
4. Opleiding: Dakdekker
5. Actief in de bouwpraktijk sinds (jaartal): 2006
6. Functie binnen het bedrijf: Zelfstandige
7. Grootte van het bedrijf (personen incl. uzelf + jaarlijkse omzet):
2 personen; 300.000 € bruto

8. Type projecten in de praktijk (% invullen, som = 100 %)
 - Particulier woningbouw - 50 %
 - Appartementen - 20 %
 - Sociale woningbouw - 5 %
 - Kantoorgebouwen - 5 %
 - Openbare gebouwen - 10 %
 - Industriële gebouwen - 10 %
 - Commerciële gebouwen - /
 - Andere, nl. ... - /

9. Ervaring met volgende constructietypes voor nieuwbouw woningen? In welke verhouding (som = 100 %)
 - Traditioneel - 100 %
 - Houtskeletbouw - /
 - Staalbouw - /
 - Betonwoning - /
 - Andere, nl. ... - /

10. Wat is uw visie op de impact van bouwmaterialen op het milieu?
Ik heb daar niet echt een visie op. Ik heb daar tot op heden ook nooit rekening mee gehouden.

11. Heeft u al eens gehoord van een Environmental Product Declaration (EPD)?
Neen.

12. Heeft u al eens gehoord van Life Cycle Assessment / Life Cycle Analysis (LCA)?
Neen.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Onderzoek naar mogelijkheden om de milieu-impact van Vlaamse woningen te verlagen

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Grauwen, Thomas

Jans, Bernd

Datum: **5/06/2017**