

2014•2015
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Bepaling en optimalisatie van de total cost of ownership van bouwwerken

Promotor :
prof. dr. Herve DEGEE

Promotor :
ir. JELLE MACHIELS

Hans Hermans , Rik Vleugels

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

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2014•2015
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Bepaling en optimalisatie van de total cost of ownership
van bouwwerken

Promotor :
prof. dr. Herve DEGEE

Promotor :
ir. JELLE MACHIELS

Hans Hermans , Rik Vleugels

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

Voorwoord

Met deze studie sluiten wij met trots onze masteropleiding Industriële Ingenieurswetenschappen Bouwkunde af. Het onderzoek van deze masterproef was een interessante bijdrage aan onze opleiding. Om deze studie tot een goed einde te brengen, was een goede begeleiding essentieel. Graag zouden we op deze manier iedereen die rechtstreeks of onrechtstreeks hiermee betrokken was, willen bedanken.

In eerste instantie willen wij bouwaannemer Kumpen bedanken. Zij hebben immers het onderwerp van deze masterproef voorgesteld. In het bijzonder willen we onze externe promotor ir. Jelle Machiels (projectleider bouwteam) bedanken voor zijn intensieve opvolging en vele inspanningen met betrekking tot deze masterproef. Ook gaat onze dank uit naar de onderneming Grontmij, met in het bijzonder Johan Vanderlinden (projectleider) en ir. Bart Gentens (consultant, consulting service) voor hun goede begeleiding en het ter beschikking stellen van het softwareprogramma O-prognose. Vervolgens willen we ook onze interne promotor Prof. Dr. Hervé Degée bedanken voor de begeleiding en opvolging van onze masterproef.

Ten slotte zouden wij ook graag onze familie en vrienden willen bedanken voor hun steun en aanmoediging.

Diepenbeek, juni 2015,

Hans en Rik

Inhoud

Voorwoord.....	1
Lijst van tabellen.....	7
Lijst van figuren.....	9
Lijst van afkortingen en symbolen.....	11
Samenvatting.....	13
Abstract.....	15
1 Inleiding.....	17
2 Literatuurstudie.....	19
2.1 Geïntegreerde aanpak met de kijk op de levenscyclusanalyse.....	19
2.2 System engineering.....	22
2.3 Geïntegreerde contractvormen.....	23
2.3.1 Publiek-private samenwerking (PPS).....	23
2.3.2 DB(F)M(O).....	23
2.4 Risicoanalyse.....	27
2.4.1 Risman-methode.....	27
2.4.2 ESR-regelgeving.....	28
2.5 Condiëmeting.....	29
2.5.1 Beoordeling conditie.....	30
2.5.2 Vangnetconstructie conditiescore.....	33
2.5.3 Risico-inschatting gebreken.....	33
2.5.4 Gebrekenlijsten.....	34
2.6 Case study.....	34
2.6.1 Scholen van Morgen.....	34
3 Levensduur.....	37
3.1 Algemeen.....	37
3.2 Levensduurwaarden.....	38
3.2.1 Daken.....	39
3.2.2 Gevels.....	40
3.2.3 Vloeren.....	43
4 Onderzoeksmethode.....	45
4.1 Aandachtspunten.....	45
5 Plat dak.....	47
5.1 Opbouw.....	47
5.2 Materialen.....	48
5.2.1 Isolatie.....	48
5.2.2 Dakbedekking.....	50

5.3	Resultaten	51
5.3.1	Algemene kostprijs	51
5.3.2	Gedetailleerde kostprijs per onderhoudstermijn	52
5.3.3	Isolatie	54
5.4	Conclusie.....	56
5.4.1	30 jaar onderhoudstermijn	56
5.4.2	50 jaar onderhoudstermijn	57
6	Hellend dak.....	59
6.1	Opbouw	59
6.2	Materialen.....	59
6.2.1	Isolatie	59
6.2.2	Dakbekleding	61
6.3	Resultaten	61
6.3.1	Algemene kostprijs	61
6.3.2	Gedetailleerde kostprijs per onderhoudstermijn	63
6.3.3	Isolatie	65
6.4	Conclusie.....	66
6.4.1	30 jaar onderhoudstermijn	66
6.4.2	50 jaar onderhoudstermijn	67
7	Gevels	69
7.1	Opbouw	69
7.2	Materialen.....	70
7.2.1	Isolatie	70
7.2.2	Binnenblad	71
7.2.3	Buitenblad	71
7.3	Resultaten	72
7.3.1	Algemene kostprijs	72
7.3.2	Gedetailleerde kostprijs per onderhoudstermijn.....	75
7.3.3	Isolatie	78
7.4	Conclusie.....	79
7.4.1	30 jaar onderhoudstermijn	79
7.4.2	50 jaar onderhoudstermijn	80
8	Vloeren	81
8.1	Opbouw	81
8.2	Materialen.....	82
8.2.1	Isolatie	82
8.2.2	Vloerafwerkingen	82

8.3	Resultaten.....	83
8.3.1	Algemene kostprijs.....	83
8.3.2	Gedetailleerde kostprijs per onderhoudstermijn.....	85
8.3.3	Isolatie.....	87
8.4	Conclusie.....	88
8.4.1	30 jaar onderhoudstermijn.....	88
8.4.2	50 jaar onderhoudstermijn.....	88
9	Case study.....	91
9.1	Materialen.....	91
9.1.1	Plat dak.....	91
9.1.2	Vloer.....	92
9.1.3	Gevel.....	93
9.2	Alternatieve materialen.....	95
9.3	Vergelijking.....	96
10	Besluit.....	99
10.1	Conclusie.....	99
10.2	Vooruitblik verder onderzoek.....	100
	Bibliografie.....	101
	Bijlagen.....	105

Lijst van tabellen

Tabel 1 Ernstige gebreken [19].....	31
Tabel 2 Serieuze gebreken [19]	31
Tabel 3 Geringe gebreken [19].....	31
Tabel 4 Correctiefactor [19]	32
Tabel 5 Conditie herleiding [19].....	33
Tabel 6 Isolatie platte daken lambda waarden en dikte [50][51]	49
Tabel 7 Verdeling kosten 30 jaar plat dak onbelast, beste optie 1000m ²	56
Tabel 8 Verdeling kosten 30 jaar plat dak belast, beste optie 1000m ²	57
Tabel 9 Verdeling kosten 50 jaar plat dak onbelast, beste optie 1000m ²	57
Tabel 10 Verdeling kosten 50 jaar plat dak belast, beste optie 1000m ²	58
Tabel 11 Isolatie hellende daken lambda waarden en dikte [50][51]	60
Tabel 12 Verdeling kosten 30 jaar hellend dak, beste optie 1000m ²	66
Tabel 13 Verdeling kosten 50 jaar hellend dak, beste optie 1000m ²	67
Tabel 14 Isolatie gevel lambda waarden en dikte [50][51]	70
Tabel 15 Nummering buitenblad	75
Tabel 16 Verdeling kosten 30 jaar gevel, beste optie 1000m ²	79
Tabel 17 Verdeling kosten 50 jaar gevel, beste optie 1000m ²	80
Tabel 18 Isolatie vloeren lambda waarden en dikte [50][51]	82
Tabel 19 Verdeling kosten 30 jaar vloer, beste optie 1000m ²	88
Tabel 20 Verdeling kosten 50 jaar vloer, beste optie 1000m ²	89
Tabel 21 Gegevens bestaande opbouw VIIIO	94
Tabel 22 Gegevens alternatief VIIIO	95
Tabel 23 Conclusie meest economische materiaalkeuzen.....	100

Lijst van figuren

Figuur 1 Levenscyclusanalyse van een gebouw [2][3]	19
Figuur 2 Vergelijking milieukosten buitenwanden [3]	20
Figuur 3 Totale levenscycluskost van een gebouw [8]	21
Figuur 4 Kwaliteit i.f.v. de inspanning van System engineering [6].....	22
Figuur 5 Totale kost i.f.v. de inspanning van System engineering [6]	22
Figuur 6 Stelsel van contracten [11]	23
Figuur 7 Prestatieverloop [19]	29
Figuur 8 Vangnetconstructie [19].....	33
Figuur 9 Van referentielevensduur (RSL) naar geschatte levensduur (ESL) [35]	38
Figuur 10 Levensduren dakbedekking plat dak.....	39
Figuur 11 Levensduren dakbedekking hellend dak.....	39
Figuur 12 Levensduren gevel binnenblad	40
Figuur 13 Levensduren gevel buitenblad	41
Figuur 14 Levensduren vloerafwerkingen en bekledingen	43
Figuur 15 Logo Plandatis [29]	45
Figuur 16 Logo Grontmij [30]	45
Figuur 17 Opbouw warm dak [38]	47
Figuur 18 Opbouw omkeerdak [38]	48
Figuur 19 EPB eisen maximale U-waarden [39]	49
Figuur 20 Dikte isolatie plat dak ($U_{max} 0,24 W/m^2.K$)	50
Figuur 21 Kostprijs dakbedekking plat dak $1000m^2$	51
Figuur 22 Kostprijs dakbedekking plat dak $1000m^2$ (30 jaar)	52
Figuur 23 Kostprijs dakbedekking plat dak $1000m^2$ (50 jaar)	53
Figuur 24 Kostprijs isolatie plat dak $1000m^2$ (onbelast)	55
Figuur 25 Kostprijs isolatie plat dak $1000m^2$ (belast).....	55
Figuur 26 Verdeling kosten 30 jaar plat dak onbelast, beste optie.....	56
Figuur 27 Verdeling kosten 30 jaar plat dak belast, beste optie	57
Figuur 28 Verdeling kosten 50 jaar plat dak onbelast, beste optie.....	58
Figuur 29 Opbouw hellend dak [40]	59
Figuur 30 Dikte isolatie hellend dak ($U_{max} 0,24 W/m^2.K$)	60
Figuur 31 Kostprijs dakbedekking hellend dak $1000m^2$	62
Figuur 32 Kostprijs dakbedekking hellend dak $1000m^2$ (30 jaar).....	63
Figuur 33 Kostprijs dakbedekking hellend dak $1000m^2$ (50 jaar).....	64
Figuur 34 Kostprijs isolatie hellend dak $1000m^2$	66
Figuur 35 Verdeling kosten 30 jaar hellend dak, beste optie.....	67

Figuur 36 Verdeling kosten 50 jaar hellend dak, beste optie.....	67
Figuur 37 Opbouw houtskeletwand [47].....	69
Figuur 38 Opbouw steenachtige of betonnen constructie [33]	70
Figuur 39 Dikte isolatie gevel ($U_{max} 0,24 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)	71
Figuur 40 Kostprijs binnenblad 1000m^2	73
Figuur 41 Kostprijs buitenblad 1000m^2	74
Figuur 42 Kostprijs buitenblad 1000m^2 (30 jaar)	76
Figuur 43 Kostprijs buitenblad 1000m^2 (50 jaar)	77
Figuur 44 Kostprijs gevelisolatie 1000m^2	79
Figuur 45 Verdeling kosten 30 jaar gevel, beste optie.....	80
Figuur 46 Verdeling kosten 50 jaar gevel, beste optie.....	80
Figuur 47 Opbouw vloer [54]	81
Figuur 48 Kostprijs vloerafwerkingen en bekledingen 1000m^2	84
Figuur 49 Kostprijs vloerafwerkingen en bekledingen 1000m^2 (30 jaar)	85
Figuur 50 Kostprijs vloerafwerkingen en bekledingen 1000m^2 (50 jaar)	86
Figuur 51 Kostprijs vloerisolatie 30 en 50 jaar 1000m^2	87
Figuur 52 Verdeling kosten 30 jaar vloer, beste optie.....	88
Figuur 53 Verdeling kosten 50 jaar vloer, beste optie.....	89
Figuur 54 VIIIO Tongeren [27]	91
Figuur 55 EPDM dakbedekking [44]	91
Figuur 56 PIR-plaat [43]	92
Figuur 57 Tapijttegel [42].....	92
Figuur 58 Keramische tegel [42].....	92
Figuur 59 Gespoten PUR [45]	92
Figuur 60 PU gietvloer [46]	92
Figuur 61 Aluminium gevelbekleding [48].....	93
Figuur 62 Buitenblad baksteen [42].....	93
Figuur 63 Binnenblad betonsteen [49].....	93
Figuur 64 Verdeling kosten VIIIO 30 jaar.....	95
Figuur 65 Verdeling kosten alternatief VIIIO 30 jaar.....	96
Figuur 66 Vergelijking alternatieven VIIIO 1000m^2	97

Lijst van afkortingen en symbolen

Symbol	Betekenis	Eenheid
U	Warmtedoorgangscoefficiënt	W/(m ² .K)
λ (lambda)	Warmtegeleidingscoëfficiënt	W/(m.K)

Afkorting	Betekenis
APP	Atactisch polypropyleen
BIM	Building Information Modeling
DB(F)M(O)	Design, Build, Finance, Maintain, Operate
EPB	Energieprestatie en binnenklimaat
EPDM	Ethyleen – Propyleen – Dieen Monomeer
EPS	Geëxpandeerd polystyreen
ESL	Estimated Service Life “geschatte levensduur”
ESR	Europees stelsel van rekeningen
INCOSE	International Council On System Engineering
ISO	Internationale Organisatie voor Standaardisatie
NEN	Nederlandse norm
PIR	Polyisocyanuraat
PPS	Publiek Private Samenwerking
PU	Polyurethaan
PUR	Polyurethaan
PVC	Polyvinylchloride
Risman	Risicomangement
RSL	Reference Service Life “referentielevensduur”
SBS	Styreen butadien styreen
SVM	Scholen van Morgen
VIIO	Vrij Innovatief Interactief Onderwijs
WTCB	Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
XPS	Geëxtrudeerd polystyreen

Samenvatting

Bouwprojecten worden vaak niet efficiënt genoeg behandeld. Bovendien wordt op lange termijn de totale kostprijs van het project te weinig in rekening gebracht. Als oplossing voor die problemen is er recent een nieuw samenwerkingsproces ontwikkeld, namelijk een geïntegreerd samenwerkingsverband. Daarbij werken de verschillende partijen samen als één team en ligt de verantwoordelijkheid van het onderhoud over een bepaalde termijn bij de opdrachtnemer. Daardoor verloopt de aanpak efficiënter en wordt er geopteerd voor duurzamere ontwerpen en materialen. Uit de praktijk en literatuur blijkt echter dat het moeilijk is om de totale kost van een project over een langere periode in te schatten. Deze masterproef heeft dan ook als doel de totale kostprijs van de verschillende ontwerpen en materialen voor enkele bouwonderdelen (dak, gevel en vloer) te vergelijken op lange termijn.

De vergelijking van de materiaal- en ontwerpkosten is gebaseerd op de startprijs, levensduur en onderhoudskosten van elk bouwonderdeel. Voor elk onderzocht bouwonderdeel wordt op basis van deze data de meest economische oplossing gekozen.

Uit de resultaten blijkt dat de meest economische keuze voor elk bouwonderdeel afhankelijk is van de gekozen onderhoudstermijn. De prijzen van elk bouwonderdeel zijn echter moeilijk te vergelijken vermits deze vaak projectgebonden zijn. Toch is er per bouwonderdeel voor zowel een onderhoudstermijn van 30 als van 50 jaar een conclusie gekomen van de meest economische toepassing.

Abstract

Nowadays, construction projects are often not approached in the most efficient way possible. Moreover, there is too little attention for their total cost in the long term. As a possible solution for those problems, a new cooperation process has recently been developed, namely an integrated cooperation. Through this approach, the different parties work together as one team and the contractor is responsible for the maintenance over a certain period of time. Those factors make the process more efficient and ascertain the choice of more sustainable designs and materials. However, practice as well as literature show the difficulty of estimating a project's total cost over a longer period of time. That is why the goal we have set for this master thesis is to compare the total cost of the different possible designs and materials for some building components (roof, façade and floor) in the long term.

The comparison of the costs of both material and design was based on the starting price, life span and maintenance costs of each building component. On the basis of them the most economical solution was chosen for each of the building components investigated.

The findings show that the most economical choice for each building component depends on the chosen maintenance period. A complexity in this study is that the prices of each building component can vary with each project. Nevertheless the conclusion of this master thesis shows the most economical solution for each building component for a maintenance period of both 30 and 50 years.

1 Inleiding

Geïntegreerde samenwerkingsverbanden worden steeds meer toegepast bij bouwprojecten. Elke partij zal vanaf het begin samenwerken om een optimaal concept te creëren en af te leveren bij de opdrachtgever. Hierbij zal de verantwoordelijkheid van het onderhoud van het project ook bij de opdrachtnemer liggen. Deze manier van werken brengt een nieuw probleem met zich mee voor de aannemer: hij zal namelijk op voorhand moeten inschatten wat de totale kost van het bouwproject zal zijn, inclusief het onderhoud voor de bepaalde contractduur. De levensduur en onderhoudskost van bepaalde bouwmaterialen zijn onvoorspelbaar, de kost ervan is dus moeilijk te bepalen voor de opdrachtnemer.

Deze masterproef tracht een vergelijking op te stellen tussen verschillende ontwerpen en materialen van bepaalde bouwonderdelen. Er is gekozen voor een analyse van de daken, gevels en vloeren. De vergelijking tussen de verschillende ontwerpen en materialen gebeurt op basis van de levensduur, investeringskost, onderhoudskost en onderhoudscyclus. Voor de levensduren, prijzen van de investering en onderhoud wordt beroep gedaan op de database van Grontmij, waarin gegevens van 7 jaar praktijkervaring zijn opgeslagen. In de masterproef worden deze gegevens kritisch vergeleken en eventueel uitgebreid met waarden verkregen van onderzoeksinstanties, onderaannemers, leveranciers, fabrikanten etc.

In hoofdstuk twee is er een korte literatuurstudie die inzicht geeft in de nieuwe geïntegreerde aanpak, risicoanalyse en case study. Ook komt conditiemeting uitgebreid aan bod in dit hoofdstuk.

Het derde hoofdstuk geeft een korte beschrijving van een belangrijke invloedsfactor in het onderzoek, namelijk de levensduur van de gebruikte materialen. Ook zijn er in dit hoofdstuk grafieken terug te vinden met de gebruikte levensduren. Om de zo juist mogelijke levensduur te bekomen zijn er verschillende bronnen gebruikt, grote verschillen tussen deze bronnen worden ook in dit hoofdstuk besproken.

Het vierde hoofdstuk beschrijft de gehanteerde onderzoeksmethode met haar belangrijkste aandachtspunten. Vervolgens wordt er in de volgende hoofdstukken voor zowel het dak, gevel als vloer een opsomming gemaakt van de materialen die in het onderzoek vergeleken worden. De materialen worden voor een onderhoudstermijn van 30 en 50 jaar met elkaar vergeleken. De resultaten van het onderzoek worden in grafieken en tabellen weergegeven om de visibiliteit te verhogen. Ook wordt er op het einde van elk hoofdstuk een conclusie geformuleerd met daarin de voordeligste optie volgens het uitgevoerde onderzoek.

Ten slotte wordt er in het laatste hoofdstuk een case study besproken. Deze case study is een bouwproject van 'Scholen van Morgen' waarbij Kumpen en Cordeel als aannemer aangesteld zijn. Dit bouwproject wordt geanalyseerd op drie bouwonderdelen, namelijk daken, gevels en vloeren. Naast deze analyse volgt er ook een kritisch verslag waarbij aangegeven wordt of de opdrachtnemer al dan niet de juiste materialen gekozen heeft en welke materialen eventueel een betere keuze zouden zijn voor een dergelijk project met een onderhoudstermijn van 30 jaar.

2 Literatuurstudie

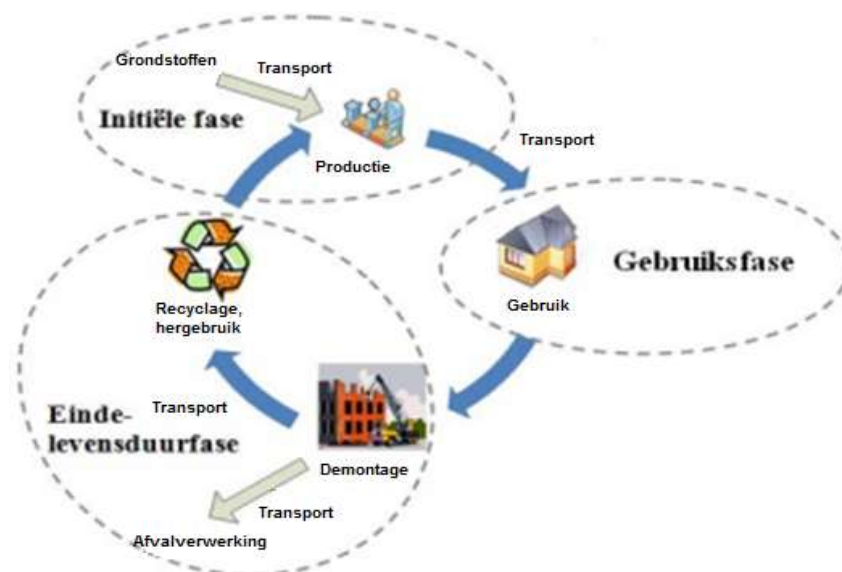
2.1 Geïntegreerde aanpak met de kijk op de levenscyclusanalyse

Om te zorgen voor een optimalisatie van de totale kost van een bouwwerk moet er afgestapt worden van de traditionele manier om een bouwproject aan te pakken. Om tot een vermindering van de total cost of ownership te komen, moet er aandacht besteed worden aan twee elementen.

Als eerste moet er naar een meer geïntegreerde aanpak gewerkt worden, waarbij ontwerper en uitvoerder van in het begin samenwerken. Door deze samenwerking en meer overleg wordt er bij de ontwerpkeuzes ook gekeken naar de realiseerbaarheid en de totale kost ervan. Bij de traditionele methode worden ontwerp en uitvoer van een project verdeeld onder verschillende partijen. Hierbij legt de ontwerper, op vraag van de opdrachtgever, technische eisen op zodat de opdrachtnemer weinig tot geen vrijheid heeft in de uitvoer en de keuze van materialen. Dit is nadelig voor de kost van bepaalde bouwonderdelen. Bij een geïntegreerde opdracht legt de opdrachtgever enkele functionele eisen op aan de opdrachtnemer (ontwerper en uitvoerder) en vullen zij zelf de technische eisen in met de kijk op de totale kost van het gebouw. Wanneer deze geïntegreerde contracten afgesloten worden tussen de overheid en private partijen, worden ze Publiek Private Samenwerkingen (PPS) genoemd. [1][2][6][7]

Als tweede element moet er gekeken worden naar de levensduur en de onderhoudskost van de ontwerp- en materiaalkeuzes. Niet enkel de beginprijs is voor de opdrachtgever belangrijk, maar ook de totale kost van het gebouw op zijn volledige levensduur. Hiervoor kan er best gewerkt worden met een DBM-contract. Dit is een voorbeeld van een geïntegreerde samenwerking waarbij de verantwoordelijkheid van het onderhoud voor een bepaalde termijn (bv. 30 jaar) bij de uitvoerder ligt. Hierdoor zal de uitvoerder opteren voor materialen van betere kwaliteit omdat de onderhouds- of vervangingskost anders te hoog oploopt. Om een goed beeld te krijgen van de levensduur en de hoeveelheid onderhoud van een materiaal moet er met de levenscyclusanalyse gewerkt worden. [1][2][6][7]

De levenscyclusanalyse vormt een goede methode om de milieu-impact van bouwproducten over hun volledige levensduur weer te geven. De term levenscyclusanalyse betekent dat alle activiteiten die nodig zijn om een product te laten functioneren, opgedeeld worden volgens de levensfasen van het product. [1]



Figuur 1 Levenscyclusanalyse van een gebouw [2][3]

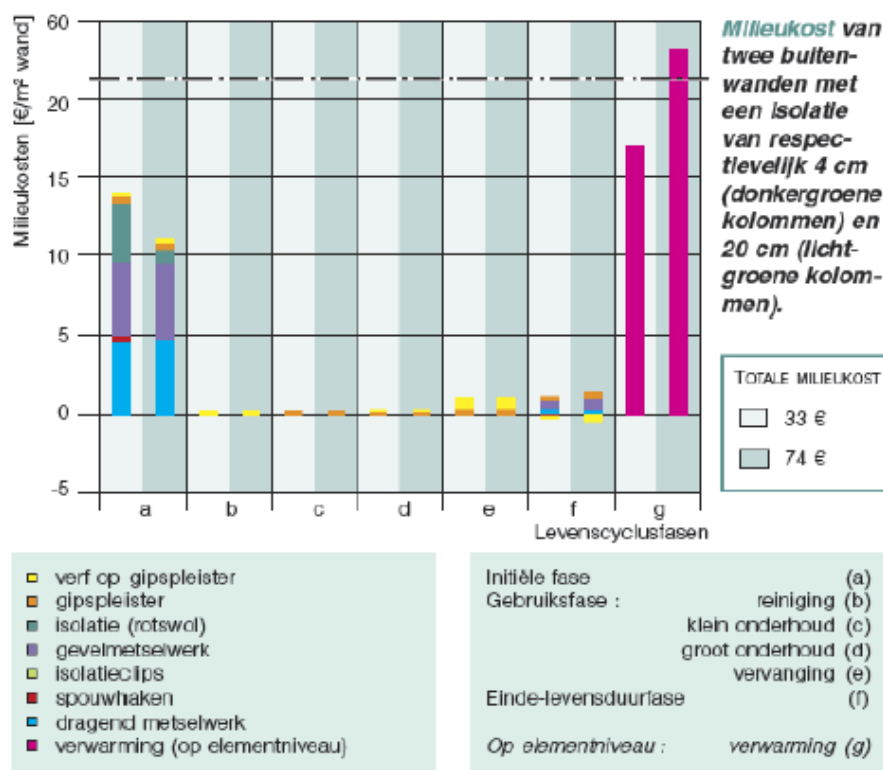
De levenscyclus van een gebouw kan in het algemeen worden opgedeeld in drie grote fases: de initiële fase of ook wel de fase voor het gebruik van het gebouw, de gebruiksfase en de einde levensduurfase. [2]

De initiële fase kan nog verder opgedeeld worden in 3 subfasen: de productie van het bouw materiaal, het transport ervan en de bouw fase op de werf. [2]

De volgende fase is de gebruiksfase. Deze fase is voor het verdere onderzoek naar het optimale materiaalgebruik zeer belangrijk. In deze fase wordt rekening gehouden met de schoonmaak, het onderhoud en ook de vervanging van het materiaal. Wanneer er dus gekozen wordt voor een beter/duurzamer materiaal zal er in de gebruiksfase minder onderhoud moeten uitgevoerd worden en zal er ook geen vervanging meer nodig zijn in de vooropgestelde onderhoudsperiode, wat voor de opdrachtnemer een zeer belangrijk item is. [2]

Als laatste fase is er de einde-levensduurfase. Deze fase houdt rekening met de afbraak van de materialen en de eventuele recyclage hiervan om te kunnen verwerken in nieuwe producten. [2]

De materialen hebben tijdens de hele levenscyclus een bepaalde impact op het milieu. Om tot een eenduidige conclusie te komen van de milieu-impact van een bepaald bouwonderdeel per fase kan dit uitgedrukt worden in een eengetalsscore. [3] Een eengetalsscore laat toe om een eenvoudige en goede vergelijking te maken tussen de verschillende alternatieven van bouwonderdelen. [4] Dit kan bijvoorbeeld zoals in onderstaand voorbeeld met geldwaarde. Bij het groeperen en wegen speelt toch een bepaalde graad van subjectiviteit: de resultaten van onderstaand voorbeeld moeten dus met de nodige omzichtigheid bekeken worden. [4]



Figuur 2 Vergelijking milieukosten buitenwanden [3]

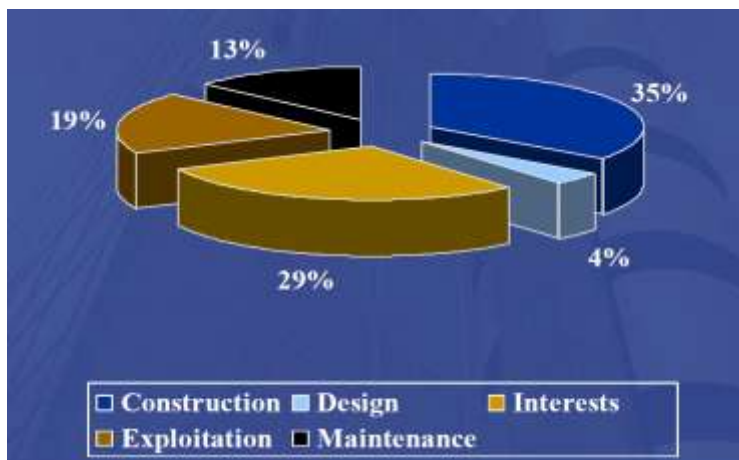
In bovenstaande staafdiagram zijn de milieukosten vergeleken voor een buitenwand met 4 cm isolatiedikte en één met 20 cm isolatie. Er wordt rekening gehouden met de financiële kosten, bijvoorbeeld 0,05 €/kg CO₂-uitstoot en met de milieu-impact. [3] Aan de hand van deze analyse kan de meest geschikte uitvoering gekozen worden.

Bij de analyse wordt er rekening gehouden met de initiële fase, hierbij heeft de opbouw met 20 cm rotswol isolatie duidelijk een grotere milieukost. Dit is een logisch resultaat doordat er meer isolatie moet geproduceerd worden door de grotere dikte. Om te vermijden dat een verhoging van het aantal centimeter isolatie enkel invloed zal hebben op een bijkomende materiaalkost, moet er ook rekening gehouden worden met het verminderen van het energieverbruik. [3]

In de gebruiksfase wordt er rekening gehouden met het onderhoud, dit is voor de twee verschillende opbouwen zo goed als gelijk. De reden hiervoor is dat dezelfde materialen gebruikt worden, enkel de dikte van de isolatie verschilt. Wanneer we alternatieve materialen vergelijken, zal er hier wel duidelijk een verschil op te merken zijn. Dit zal verder behandeld worden in het onderzoek van deze masterproef. Verschillende bouwelementen hebben op een regelmatige basis een aantal schoonheidsactiviteiten nodig. Dit kan van stofzuigen tot het reinigen van de muur gaan. De bouwelementen moeten niet enkel schoongemaakt worden, maar zullen ook op regelmatige basis onderhouden moeten worden, bijvoorbeeld het herstellen van een kapotte bitumen dakbedekking. Hoe vaak deze schoonmaak en onderhoud moeten gebeuren, kan worden vastgelegd in een onderhoudsplanning.

De levensduur van bouwmaterialen is vaak lager dan de totale levensduur van het gebouw. Tijdens de levensduur van het gebouw zullen er dus vaak elementen moeten vervangen worden en dit zelfs meerdere malen tijdens de levensduur van het gebouw. [2]

Doordat een DBM-contract vaak afgesloten wordt voor een periode langer dan 30 jaar zullen er dus ook veel vervangingen moeten gebeuren binnen deze periode. Het is dus belangrijk om goed af te wegen welk alternatief best gebruikt kan worden om zo de levenscycluskost tot een minimum te beperken. [5]



Figuur 3 Totale levenscycluskost van een gebouw [8]

Zoals zichtbaar in bovenstaand figuur, gaat er 13% van de totale kost van een gebouw naar het onderhoud. Dit is een groot percentage en het gaat vaak over veel geld. Het is dus belangrijk om de onderhoudskost zorgvuldig vanaf de start van een project te onderzoeken. Bij een DBM-contract krijgt de opdrachtgever van in het begin een goed zicht op de toekomstige onderhoudskost en kan deze kost zo efficiënt mogelijk bepaald worden door er bij het ontwerp en de uitvoering al rekening mee te houden. [8]

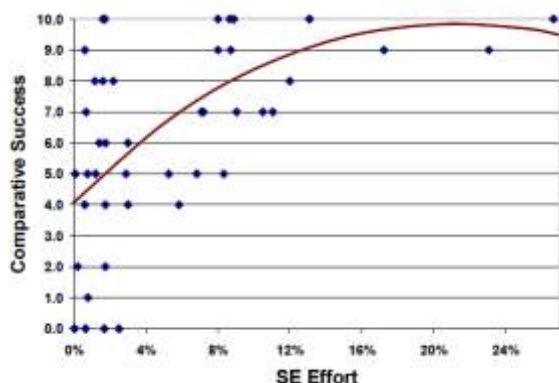
2.2 System engineering

Om een geïntegreerde aanpak van bouwprojecten te bekomen bij PPS-projecten, waaronder de DBFM-contracten, moet er gebruik gemaakt worden van een goede werkwijze die deze geïntegreerde aanpak van een project kan verwezenlijken. Een geschikte werkwijze hiervoor is system engineering. [6]

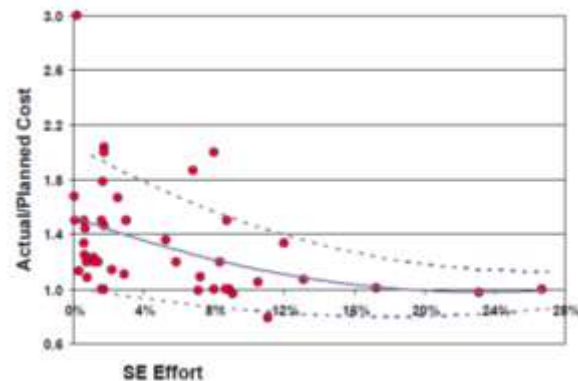
De oorsprong van system engineering ligt bij de telefoonsector in de jaren '40. Het concept is doorgebroken bij Defensie tijdens de Tweede Wereldoorlog. Hierbij gebruikte men system engineering om militaire operaties te verbeteren. Ondertussen wordt het concept in verscheidene takken van de wetenschap gebruikt (ruimtevaarttechnologie, computer chips ...). In de bouwsector is het voorlopig nog een minder gebruikt concept. [6][9]

System engineering is een interdisciplinaire tak van de ingenieurswetenschap die bekijkt hoe complexe ingenieurssystemen (zoals een bouwproject) in hun geheel ontworpen en beheerd moeten worden over de ganse levenscyclus ervan. System engineering deelt een complex systeem/project op in verschillende deelsystemen die op hun beurt één systeem vormen. Wanneer deze systemen goed functioneren op zichzelf, kan er bekeken worden of het project in zijn geheel goed functioneert. Door eerst naar de deelsystemen te kijken is er een goed overzicht over welke deelsystemen er zijn en hoe deze met elkaar zullen samenwerken. Het linkt overigens de functionele eisen aan de technische eisen voor een project. System Engineering bevat twee belangrijke aspecten, namelijk de technische achtergrond van een project en het projectbeheer. Het doel is om een flexibel proces te krijgen waarbij enkel functionele eisen worden opgelegd, die dan omgezet kunnen worden in technische eisen. De kijk naar de levenscyclus van het project is belangrijk om het resultaat dat de opdrachtgever eist te behouden gedurende een bepaalde opgelegde periode. Op deze manier kan een project sneller worden afgewerkt en de behoefte om het na een korte periode aan te passen sterk worden verminderd. [6][9][10]

System engineering is een concept dat al langer bestaat en zijn doeltreffendheid al bewezen heeft in meerdere takken van de wetenschap. PPS is echter een recentere projectmethode. Het is dan ook niet zeker of system engineering het juiste resultaat bereikt van een PPS-project, hiervoor is er te weinig ervaring bij de toepassing van system engineering bij PPS-projecten. Onderzoek door het INCOSE (International Council On System Engineering) toont echter aan dat de toepassing van system engineering een positief effect op de kwaliteit heeft en een negatief effect op de totale kost van een project heeft. [6]



Figuur 4 Kwaliteit i.f.v. de inspanning van System engineering [6]



Figuur 5 Totale kost i.f.v. de inspanning van System engineering [6]

2.3 Geïntegreerde contractvormen

Zoals eerder vermeld worden geïntegreerde contracten Publiek Private Samenwerking genoemd. Een voorbeeld hiervan is het DBM-contract. Deze twee type contracten worden hieronder verder toegelicht.

2.3.1 Publiek-private samenwerking (PPS)

Een publiek-private samenwerking is een samenwerking tussen een private opdrachtnemer en de overheid met het behoud van hun eigen verantwoordelijkheden en identiteit. [12] De publiek-private samenwerking kan betrekking hebben op verschillende projecten en bij verschillende sectoren worden toegepast. Het verschilt van een openbare aanbesteding doordat het ontwerpopdracht ook bij de aannemer ligt. Een DBM-project kan ook een PPS zijn, maar niet altijd vermits een DBM ook een samenwerking tussen twee private instellingen kan zijn en een PPS enkel met de overheid kan. Er zijn twee verschillende soorten PPS-systemen: een participatieve of een contractuele. Bij een participatieve richten overheid en aannemer een tijdelijk handelsvennootschap op. Dit is voornamelijk voor een langdurige samenwerking. Een DBM is een contractuele PPS (samenwerking vastgelegd in een contract). [11][7]

2.3.2 DB(F)M(O)

Een DBM-, DBFM- of DBFMO-contract is een contract tussen een private opdrachtnemer en de overheid of tussen een private opdrachtnemer en een private opdrachtgever. De opdrachtnemer moet niet voldoen aan de technische eisen die de opdrachtgever opgeeft, dit is bijvoorbeeld wel het geval bij een openbare aanbesteding. In het DBM-contract, dat opgemaakt is door de opdrachtgever, staan enkel functionele eisen (het resultaat) van de opdrachtgever die de opdrachtnemer naar eigen wens kan omzetten in technische eisen naar keuze. De opdracht is een integrale opdracht. De aannemer staat namelijk in voor het ontwerp (**D**esign), de bouw (**B**uild), eventueel de financiering (**F**inance), het onderhoud (**M**aintain) en eventueel de exploitatie (**O**perate). Doordat deze diverse onderdelen van realisatie tot exploitatie van een bouwproject door de opdrachtgever van het project allemaal aan één opdrachtnemer worden opgedragen is duidelijk dat een DB(F)M(O) contract een geïntegreerde contractvorm is. De uitvoerder is dus vanaf het begin betrokken bij het ontwerp. [11]

De verschillende gekende partijen vormen samen één “team”, namelijk de opdrachtnemer (aannemer, ingenieurs, architecten, onderhoudsfirma's, financiers etc.). Deze werkgroep werkt vanaf het ontwerp aan het project. en richt vaak een tijdelijke handelsvennootschap op.

In de onderstaande afbeelding staat de werking van een DBFM-contract weergegeven:



Figuur 6 Stelsel van contracten [11]

Een bouwproject realiseren met een DB(F)M(O) contract heeft enkele voor- en nadelen.

De algemene voordelen zijn:

- Het is voor de overheid (of een privé-instelling) makkelijker om een goed inzicht te krijgen in de totale kost van het project over tientallen jaren, afhankelijk van de contractduur. De opdrachtgever komt bij het beheer van het project dus niet zo snel voor financiële verrassingen te staan; [7]
- De opdrachtgever kan de begrotingsimpact spreiden over meerder jaren en moet dus niet vanaf de start het volledige bedrag op tafel leggen; [7]
- Door het geïntegreerde karakter gaan er verschillende partijen beter met elkaar samenwerken met als gevolg dat de kennis van deze verschillende partijen kan worden samengevoegd. Zo is er een goede kennis over de verschillende fasen van een gebouw; [13]
- Doordat er gewerkt wordt met een beschikbaarheid gerelateerde vergoeding, zal er altijd voor gezorgd worden dat er goed gepresteerd zal worden en dit tot het einde van de contractduur; [11][13]
- Voor alle partijen is er een bepaalde zekerheid. Deze zekerheid kan gaan van de zekerheid tot beschikbaarheid van het gebouw, budget en werkgelegenheid; [13]
- De projecten worden veel duurzamer uitgevoerd. We leven in een tijd waarin de duurzaamheid van materialen steeds belangrijker is geworden. Doordat de aannemer ook instaat voor het onderhoud van enkele tientallen jaren, zal hij niet enkel opteren voor het goedkoopste materiaal, maar zal hij bewuster kiezen voor een materiaal met de combinatie van een minieme investeringskost en een minimale onderhoudskost. Met andere woorden worden bouwprojecten uitgevoerd met materialen van een betere kwaliteit. [7]

De algemene nadelen zijn:

- De bouwmethode zal veel complexer worden omdat het contract loopt over een langere periode: er komen meer ingewikkelde contracten, er is een langere voorbereidingstijd nodig en de verschillende partijen moeten goed als één team kunnen samenwerken; [7], [13]
- Het project kan voor de overheid duurder uitkomen vermits bij een DBFM-contract de private instelling zorgt voor de financiering van het project en niet de overheid zelf. De overheid kan namelijk vaak goedkoper lenen dan een private instelling; [7]
- Doordat het contract loopt over een zeer lange periode, zijn de partijen een lange tijd aan elkaar gebonden. Dit kan een beperking geven in de vrijheid en kan als een nadeel beschouwd worden; [13]
- Doordat dit contract een vrij nieuw gegeven is, kan het ontbreken van de ervaring en kennis als negatief beschouwd worden; [13]

Design

Hier zit het grote verschil tussen een traditionele aanbesteding en een DBM-contract. Bij een openbare aanbesteding zal het ontwerp uitgevoerd worden door architecten en ingenieurs die de publieke of private partij aanstelt, deze bepaalt dus hoe het gebouw er gaat uitzien en welke materialen gebruikt moeten worden. Bij een dergelijke traditionele aanbesteding worden er inputspecificaties (technische eisen) vastgelegd. Bij een DBM-contract heeft de opdrachtnemer een grotere vrijheid binnen het ontwerp. Er worden door de opdrachtgever outputspecificaties (functionele eisen) opgesteld. In deze outputspecificaties wordt door de randvoorwaarden voor de opdrachtnemer en de te leveren diensten vastgelegd. Er wordt dus vermeld welk resultaat verwacht wordt, maar niet op welke manier dat moet uitgevoerd/geleverd worden. Hoe de opdrachtnemer het project ontwerpt, bouwt en onderhoudt is voor de opdrachtgever in een DBM-contract van minder belang. De voorwaarden die in de outputspecificaties vermeld staan, worden door de opdrachtnemer omgezet naar de juiste inputspecificaties. De opdrachtnemer bepaalt zelf met welke architecten, ingenieurs en aannemer er wordt samenwerkt. Gezien de langdurige onderhoudstaak van de uitvoerder zal er ook rekening gehouden worden om het ontwerp zo efficiënt mogelijk te maken. [7]

Tijdens de aanbestedingsfase wordt het ontwerp in verschillende stadia aan de opdrachtgever voorgelegd ter beoordeling.

Build

Net zoals traditionele contracten staat de aannemer (uitvoerder) in voor de bouw van het project. Hij werkt uiteraard ook met onderaannemers, maar de hoofdaannemer is verantwoordelijk voor de uitvoering van het gehele project. De aannemer is dus verantwoordelijk voor de veiligheid en arbeidsomstandigheden, kwaliteitsborging, de bouwplanning en het tijdig verkrijgen van de nodige vergunningen. [7] De aannemer gaat het project realiseren volgens het uitvoeringsontwerp dat hij zelf mee opgemaakt heeft. [14]

De planning is een heel belangrijk gegeven bij de bouw van het project. Door de opdrachtgever wordt er een beschikbaarheid datum opgenomen in het contract. Dit is de datum waarop het project beschikbaar moet zijn voor de opdrachtgever. [7]

Finance

Traditioneel financiert de opdrachtgever zelf het project. Bij een DBFM staat de opdrachtnemer in voor het financieren ervan. Achteraf kan een instelling het gebouw huren of kopen van de opdrachtnemer. Meestal heeft de opdrachtnemer zelf niet voldoende vermogen waardoor er ook geld bij allerlei investeerders gehaald wordt. Gemiddeld zorgt de opdrachtnemer voor 10% van het budget. [7]

Maintain

Nieuw aan een DBM-contract is dat het onderhoud van het gebouw, technische installaties, machines ... nu ook de verantwoordelijkheid is van de opdrachtnemer (uitvoerder). De duur van dit onderhoud hangt af van de opgestelde contractduur. Onder het onderhoud dat de uitvoerder (aannemer) moet uitvoeren, kan zowel het reguliere onderhoud, het grote onderhoud als het vervangen van materialen vallen. In het contract wordt vermeld wat het onderhoud allemaal inhoudt en wat niet door de uitvoerder onderhouden moet worden. De uitvoerder moet een onderhoudscontract opstellen om voor te leggen welk onderhoud voorzien is in de bepaalde tijd van het contract. [7]

Milieutechnisch gezien is dit een goede methode omdat de aannemer nu vaker materialen kiest van een betere kwaliteit omdat het zo minder onderhoud zal moeten uitvoeren en dus kan besparen op de totale kost over de hele contractduur.

Operate

Dit komt voor in een DBFMO-contract. Deze contracten zijn eerder uitzonderlijk omdat de overheid ook de verantwoordelijkheid van de exploitatie van het project in privéhanden legt. De private instelling kan het project niet zomaar runnen naar eigen wens, er is nog steeds de wetgeving van overheidsopdrachten die er geldt, maar dit is slechts beperkt. Een voorbeeld van zo een DBFMO zijn de tolwegen die door een private instelling uitgebaat worden, bijvoorbeeld de Liefkenshoektunnel. [7]

Contractduur

De contractduur wordt vastgelegd in het contract. De opdrachtgevers zullen ervoor zorgen dat de contractduur voor hun een zo efficiënt mogelijke oplossing biedt. De contractduur wordt vaak aanbesteed op 25-30 jaar. Dit zodat de opdrachtnemer voldoende rekening kan houden met de te verwachte levensduur en de onderhoudsbenodigdheden van een bepaald project. [11]

Juridisch kader DBM

Bij de keuze voor een DBM-contract dient er met heel wat regelgeving rekening gehouden te worden. Vermits een DBM meestal een PPS-contract is, moet er rekening gehouden worden met het PPS-decreet van 19 juli 2003. Dit decreet vergemakkelijkt een publiek-private samenwerking met minder obstakels van de huidige wetgeving. [7][11]

Ook de Wet van 24 december 1993 betreffende de overheidsopdrachten is van toepassing op een DBM-contract. Dit is natuurlijk ook enkel indien het om samenwerking gaat tussen de overheid en een private instelling en niet wanneer het om een samenwerking gaat tussen twee private instellingen. [7][11]

Vervolgens zijn ook nog de Algemene Aannemingsvoorwaarden van toepassing indien het om een overheidsopdracht gaat. Dit is het algemeen bestek van de overheid dat een bijlage vormt van het K.B. van 26 september 1996. [7][11]

Indien er een contract gesloten wordt tussen een private instelling (de aannemer) en de overheid en de risico's overgedragen worden aan de aannemer, dan is het contract ESR neutraal. Dit wordt verder toegelicht bij de risicoanalyse. [11][7]

2.4 Risicoanalyse

Bij geïntegreerde opdrachten krijgt de opdrachtnemer meer vrijheid omdat er functionele eisen opgelegd worden in plaats van specifieke technische eisen. Deze vrijheid geeft als gevolg dat de opdrachtnemer verantwoordelijk is voor een goed resultaat. Meer verantwoordelijkheid brengt meer risico's met zich mee. Bij PPS-projecten worden dus in vergelijking met traditionele aanbestedingen meer risico's overgedragen aan de opdrachtnemer. Bij PPS- en dus ook DBFM-projecten is het belangrijk een goede risicoverdeling te hanteren. Het risico wordt het best gelegd bij de partij die het risico best kan beheeren. Het zou ook niet slim zijn van de overheid moesten ze alle risico's bij de private instelling leggen, want elk risico heeft een kost, en bij onvoorspelbare risico's zullen er hoge vergoedingen gevraagd worden door de private instellingen. De totale kost wordt zo dus alleen maar hoger voor de overheid. De overheid kan best op voorhand een grondige risicoanalyse maken zodat elk risico en de prijs ervan in kaart gebracht kan worden. Indien de gevraagde risicopremie van de private instelling hoger is dan de prijs die de overheid ervoor over heeft, kan het best het risico zelf ten laste nemen. Een aannemer kan zich voor het opstellen van de risicoanalyse van een DBM-project de Risman-methode (RISicoMANagement) als basis gebruiken. [7][15][16]

De uitvoering van Vlaamse DBFM-projecten gebeurt buiten de reguliere begroting. Hierdoor is de risico-overdracht ook verplicht door de ESR-regelgeving (Europees stelsel van rekeningen) en moet het project voldoen aan de ESR-neutraliteit. Economische risico's moeten door de private instelling gedragen worden om buiten de overheidsbegroting te blijven. Hierdoor kan het zijn dat de risicoverdeling niet volgens de optimale verdeling is. Dit heeft als resultaat dat er een verhoging van de prijs kan zijn om de ESR-neutraliteit te bereiken. [7][15][16]

2.4.1 Risman-methode

Bij bouwprojecten wordt risicomanagement gebruikt om de projectdoelstellingen te beschermen. De volgende beschermde aspecten zijn hierbij van belang: budget, tijd en kwaliteit. Risicomanagement is vaak een juridische controle van het project. Er wordt gefocust op de analyse en beheersing van aansprakelijkheidsrisico's, zodat contracten juridisch minder kunnen aangevochten worden. [17]

Door het benoemen en inventariseren van de risico's van een project worden de risico's duidelijk zichtbaar voor elk teamlid binnen het project. Hierdoor moet er een risicobewustzijn ontstaan binnen de projectorganisatie zodat de risico's optimaal beheerst kunnen worden. De risico's moeten gedurende het project regelmatig geïnventariseerd en besproken worden zodat er voortdurend aandacht is voor de beheersing ervan. [18]

Door risicomanagement worden beheersmaatregelen voor de risico's benoemd en uitgevoerd alvorens het risico daadwerkelijk optreedt. Dit is een preventieve werking wat de beheersing van risico's zal optimaliseren. Een risicoanalyse van een project zorgt ervoor dat de risico's niet zomaar willekeurig bepaald worden, maar gestructureerd. [18]

Een correcte risicomanagement bij projecten bestaat uit 4 stappen: [18]

1) Risicoanalyse

De risicoanalyse vormt de basis van het risicomanagement. Het resultaat zorgt voor een lijst met de aanwezige risico's. Deze is gestructureerd volgens grootte met de daarbij horende maatregelen om de kans van optreden te verkleinen en/of de maatregelen om de gevolgen te verkleinen.

2) Beheersmaatregelen

De projectleiding beslist welke beheersmaatregelen, die voortkomen uit de risicoanalyse, daadwerkelijk toegepast worden voor het project. Deze keuze wordt gebaseerd op de efficiëntie van de maatregelen en de bijhorende kost en inspanning ervan. Hierbij wordt ook bepaald wie verantwoordelijk is voor de uitvoering van de beheersmaatregelen.

3) Implementeren beheersmaatregelen

De volgende stap is uiteraard om de gekozen maatregelen effectief te gaan toepassen door de verantwoordelijke.

4) Evaluatie en update risicoanalyse

De uitgevoerde beheersmaatregelen moeten regelmatig worden geëvalueerd om te bekijken of ze hun doel bereiken. De risicoanalyse moet geüpdatet worden om nieuwe risico's, niet doeltreffende beheersmaatregelen ... te bepalen en aan te passen.

2.4.2 ESR-regelgeving

Sinds 2000 treedt het Europees stelsel van rekeningen regelgeving in werking. Deze bepaalt de aspecten van de overheidsbegroting en de overheidsschuld. Deze regelgeving is van belang voor de Maastrichtnorm van 1992. Deze norm bepaalt onder andere dat het jaarlijks begrotingstekort en de totale overheidsschuld in functie van het bruto binnenlands product respectievelijk maximaal 3% en 6% mogen bedragen. Hierdoor kunnen investering en lange termijnschulden door overheden ESR-neutraal zijn. Dit houdt in dat het project, met uitzondering van de in het concrete jaar verschuldigde betalingen, geen impact hebben op de overheidsbegroting of de overheidsschuld. [16]

De ESR-regelgeving werd in 2004 nog aangepast. Deze aanpassing heeft betrekking op elke langdurige overeenkomst tussen de overheid en een private instelling, zoals een PPS/DBFM-project. Hierdoor kan de investering van de overheid buiten de begroting blijven indien de private instelling (opdrachtnemer) naast het bouwrisico ook het beschikbaarheidsrisico op zich neemt. Dit laatste risico houdt in dat het gebouw, na oplevering, in alle tijden beschikbaar is voor de opdrachtgever. Indien bepaalde onderdelen niet beschikbaar zijn door gebreken, zullen er boetes opgelegd worden. Bij DBFMO projecten wordt het exploitatierisico ook in handen gelegd van de private instelling. [16]

Bouwprojecten worden dus aan 2 of 3 risicotypes blootgesteld:

- het bouwrisico,
- het beschikbaarheidsrisico,
- het exploitatierisico (bij DBFMO).

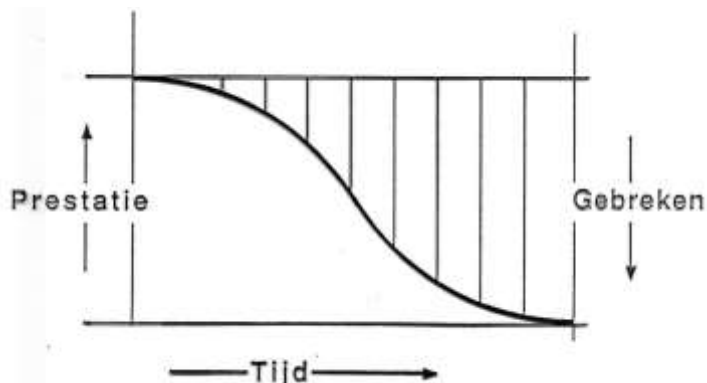
2.5 Conditiemeting

Zoals eerder vermeld wordt de totale kost van het beheer van een gebouw niet enkel bepaald door de uitvoering van de bouw zelf, maar ook door het onderhoud van het gebouw gedurende zijn levensduur. Indien de verantwoordelijkheid van een deel of het volledige onderhoud niet bij de opdrachtgever zelf ligt, zoals bij een DB(F)M(O)-contract, is het belangrijk dat er goede contractuele afspraken worden gemaakt tussen de opdrachtgever en de onderhoudsverantwoordelijke (de aannemer bij een DBM-contract). Er moet bepaald worden wie voor welk bouwonderdeel verantwoordelijk is en vanaf welke toestand er voor onderhoud of vervanging gezorgd moet worden. Vooral de kwestie 'wanneer' kan nogal vaag en subjectief geïnterpreteerd worden. Vandaar dat er nood is aan een manier om dit in het contract duidelijk te beschrijven en om de conditie van bouwonderdelen objectief te meten. Deze beschrijving en meting gebeurt door een conditiemeting door een externe partij. De frequentie van conditiemeting gedurende de onderhoudsperiode is op vraag van de opdrachtgever en wordt bepaald in het contract. Ofwel zal er om een bepaalde afgesproken termijn een conditiemeting over het volledige gebouw gebeuren, ofwel periodiek een meting van bijvoorbeeld 5% van elk bouwonderdeel. [20]

Een conditiemeting is een objectieve methode voor de bepaling van de huidige conditie van een gebouw. Er wordt met andere woorden gemeten in welke staat een gebouw zich bevindt. Om deze objectiviteit te garanderen, wordt er gezorgd voor een externe partij die de conditiemeting uitvoert. Als resultaat van de conditiemeting wordt er een cijfer verkregen per onderzocht bouwonderdeel. Dit cijfer geeft de conditie van het onderdeel aan: [21]

- conditie 1 = uitstekend,
- conditie 2 = goed,
- conditie 3 = redelijk,
- conditie 4 = matig,
- conditie 5 = slecht,
- conditie 6 = zeer slecht.

Wanneer er een nieuwbouw project wordt gerealiseerd waarbij aan alle eisen is voldaan en geen gebreken werden vastgesteld hebben alle bouwonderdelen conditie 1. In het contract wordt vooraf bepaald aan welk cijfer het gebouw minimum moet voldoen gedurende de contractduur. Indien de opdrachtgever een bepaalde prioriteit heeft, kan hij aan bepaalde bouwonderdelen een hoger of lager cijfer toekennen. Als uit de conditiemeting blijkt dat het gebouw gezakt is onder zijn minimum cijfer moet de onderhoudsverantwoordelijke zorgen voor het juiste onderhoud of vervanging zodat de staat van het bouwonderdeel terug boven zijn minimum reikt. De onderhoudsverantwoordelijke krijgt hier een bepaalde termijn voor, indien hij deze overschrijdt volgen er zware boetes die ook bepaald zijn in het contract. De gebreken die zich in een gebouw voordoen bepalen de conditie en de prestatie van het gebouw.



Figuur 7 Prestatieverloop [19]

2.5.1 Beoordeling conditie

De beoordeling van de conditiemeting wordt bepaald aan de hand van de norm NEN 2767. In deze norm wordt beschreven op welke manier er tot een bepaald cijfer van conditie gekomen wordt. Het cijfer dat toegekend wordt aan een bouwonderdeel, wordt bepaald door de grootte van een eventueel gebrek aan het onderdeel. De grootte van het gebrek wordt gebaseerd op drie pijlers, namelijk de ernst van het gebrek, de intensiteit en de omvang ervan. [18][19]

De ernst van het gebrek kan gedefinieerd worden als de mate van de invloed van het gebrek op de functionaliteit van het bouwonderdeel. [18] De ernst van het gebrek wordt onderverdeeld in ernstige gebreken, serieuze gebreken en geringe gebreken.

De intensiteit van een gebrek is de mate waarin het gebrek al gevorderd is. De intensiteit kan zich voordoen in het beginstadium ervan, in een gevorderd stadium of kan zich al reeds in het eindstadium bevinden.

De omvang van een gebrek is het percentage van het gebrek ten opzichte van het totale bouwonderdeel. In een gebouw is er bijvoorbeeld een post schilderwerk van 200m² waarvan 10m² schilderwerk beschadigd is. De omvang is dus 5% van het totale bouwonderdeel. De omvang van het gebrek wordt verdeeld in incidenteel, plaatselijk, regelmatig, aanzienlijk en algemeen. Bij installaties wordt er meestal gerekend op basis van het percentage van de totale vervangingswaarde van de installatie. [19]

Gebrek aan een bouwonderdeel:

- **ernst**
 - ⇒ *ernstig* (directe inbreuk op de functie) : houtrot, corrosie ...,
 - ⇒ *serieus* (degradatie = verlies van kwaliteit) : erosie, verwerking ...,
 - ⇒ *gering* (esthetisch) : vervuiling ...
- **intensiteit**
 - ⇒ *beginstadium* (nauwelijks waarneembaar),
 - ⇒ *gevorderd stadium* (duidelijk waarneembaar),
 - ⇒ *eindstadium* (zeer duidelijk waarneembaar en het gebrek kan niet meer verergeren).
- **omvang**
 - ⇒ *incidenteel* (< 2%),
 - ⇒ *plaatselijk* (2-10%),
 - ⇒ *regelmatig* (10-30%),
 - ⇒ *aanzienlijk* (30-70%),
 - ⇒ *algemeen* (> 70%).

De resultaten van dit stappenplan worden dan vergeleken met de conditiematrixen waaruit men dan het cijfer van conditie kan bepalen. De conditiematrixen zien er als volgt uit:

Tabel 1 Ernstige gebreken [19]

Omvang	Incidenteel (< 2%)	Plaatselijk (2-10%)	Regelmatig (10-30%)	Aanzienlijk (30-70%)	Algemeen (> 70%)
Intensiteit					
Beginstadium	1	1	2	3	4
Gevorderd stadium	1	2	3	4	5
Eindstadium	2	3	4	5	6

Tabel 2 Serieuze gebreken [19]

Omvang	Incidenteel (< 2%)	Plaatselijk (2-10%)	Regelmatig (10-30%)	Aanzienlijk (30-70%)	Algemeen (> 70%)
Intensiteit					
Beginstadium	1	1	1	2	3
Gevorderd stadium	1	1	2	3	4
Eindstadium	1	2	3	4	5

Tabel 3 Geringe gebreken [19]

Omvang	Incidenteel (< 2%)	Plaatselijk (2-10%)	Regelmatig (10-30%)	Aanzienlijk (30-70%)	Algemeen (> 70%)
Intensiteit					
Beginstadium	1	1	1	1	2
Gevorderd stadium	1	1	1	2	3
Eindstadium	1	1	2	3	4

Indien het zich voordoet dat er meerdere gebreken zijn op één bouwonderdeel dan kan de conditie van het onderdeel bepaald worden volgens drie methodes/situaties:

- 1) Indien er afzonderlijke gebreken zijn op eenzelfde bouwonderdeel wordt de conditie bepaald door het gebrek dat tot de slechtste conditie leidt.
- 2) Indien er gebreken zijn van dezelfde ernst en intensiteit op verschillende delen van een bouwonderdeel wordt de som genomen van de omvang van de afzonderlijke gebreken.
- 3) Een derde methode wordt toegepast indien situatie 1 en 2 niet van toepassing zijn. Hierbij wordt er rekening gehouden met alle soorten gebreken op het bouwonderdeel. Nadat de conditie van elk gebrek vastgesteld is, moet er dan nog een extra stappenplan gevolgd worden om de conditie van het bouwonderdeel in het geheel te bepalen.

Voorbeeld situatie 3

Als voorbeeld nemen we het bouwonderdeel buitenpleisterwerk:

- vervuiling
 - ⇒ omvang = 25 %,
 - ⇒ conditie = 2.
- erosie
 - ⇒ omvang = 20 %,
 - ⇒ conditie = 3.
- overige oppervlakte (geen gebreken)
 - ⇒ omvang = 65 %,
 - ⇒ conditie = 1.

Vervolgens moet er een correctiefactor worden toegepast op de verschillende gebreken. Dit gebeurt aan de hand van de volgende tabel:

Tabel 4 Correctiefactor [19]

Conditie	Correctiefactor
1	1
2	1,02
3	1,1
4	1,3
5	1,7
6	2

$$(25\% \times 1,02) + (20\% \times 1,1) + (65\% \times 1) = 112,5\%$$

$$\frac{112,5\%}{100\%} = 1,125 = 1,13$$

Met deze waarde wordt de totale conditie van het bouwonderdeel bepaald via volgende tabel:

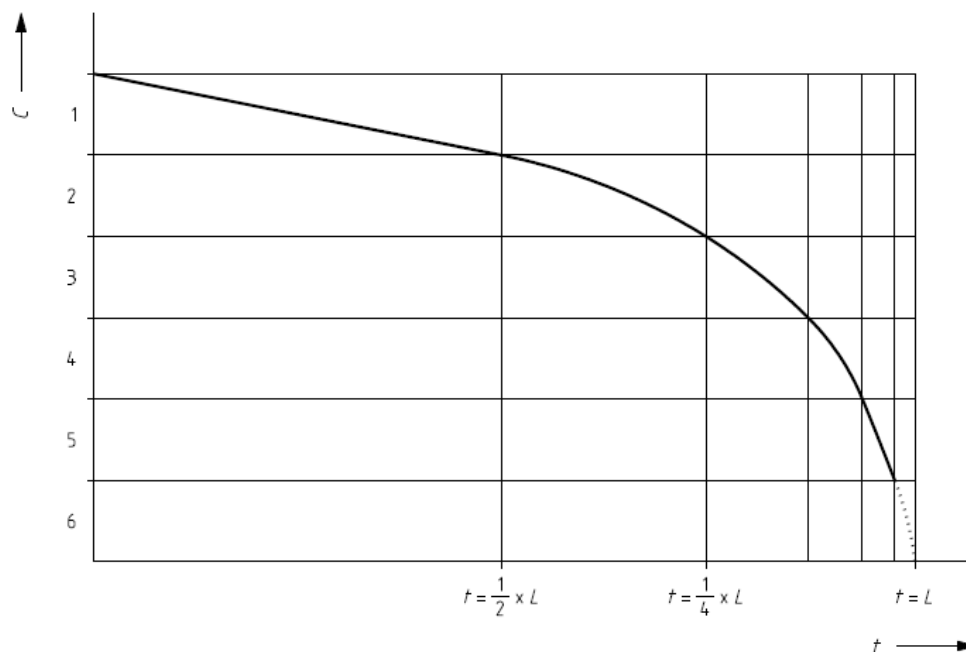
Tabel 5 Conditie herleiding [19]

Uitkomst	Conditie
Uitkomst $\leq 1,01$	1
$1,01 < \text{Uitkomst} \leq 1,04$	2
$1,04 < \text{Uitkomst} \leq 1,15$	3
$1,15 < \text{Uitkomst} \leq 1,4$	4
$1,4 < \text{Uitkomst} \leq 1,78$	5
Uitkomst $> 1,78$	6

$1,04 < 1,13 < 1,15 \rightarrow$ conditie 3. Dit is dus de conditie van het bepaalde bouwonderdeel met verschillende gebreken.

2.5.2 Vangnetconstructie conditiescore

Indien een bouwonderdeel niet beoordeeld kan worden op uitwendig zichtbare gebreken, dan kan de conditiescore bepaald worden op basis van ouderdom. De conditie van het bouwonderdeel wordt dan bepaald op basis van onderstaande verouderingskromme:



Figuur 8 Vangnetconstructie [19]

L staat voor de theoretische levensduur van een gebouw.

2.5.3 Risico-inschatting gebreken

Bij een conditiemeting worden naast de bepaling van de conditiescores ook de risico's van de gebreken geschat. Hierbij geeft men aan wat de mogelijke gevolgen zijn bij het niet oplossen van een gebrek. De conditiescores en de risico's vormen de basis van het niveau van onderhoud.

De mogelijke gevolgen kunnen gaan om gebruiks- of kosteneffecten. Afhankelijk van het budget zijn gebreken meer of minder acceptabel. Bij het op voorhand bepalen van de totale kost van een bouwproject, zoals bij een DBM-contract, zijn het budget en dus de aanvaardbaarheid van gebreken op voorhand vastgelegd.

2.5.4 Gebrekenlijsten

In het tweede deel van de norm NEN 2767 zijn standaard gebrekenlijsten toegevoegd van verschillende toepassingen (bouwkunde, elektrotechniek, klimaattechniek en transporttechniek). Deze lijsten geven mogelijke gebreken aan een bouwonderdeel. Deze gebrekenlijsten kunnen helpen bij het bepalen van de ernst van een gebrek. [19]

2.6 Case study

Het onderzoek van de masterproef wordt ook toegepast op een praktisch voorbeeld. Dit voorbeeld is een school in Tongeren waarbij Kumpen samen met Cordeel de aannemer is. Deze school is een voorbeeld van een DBFM project, namelijk "Scholen van Morgen".

2.6.1 Scholen van Morgen

Scholen van Morgen is een project dat opgericht is om de wachtlijst van nieuwe of te renoveren scholen in te korten. Vermits de overheid de financiële middelen er op het moment niet voor heeft, moeten ze anders te werk gaan om toch nieuwe scholen te kunnen bouwen of te renoveren. Scholen van Morgen is een voorbeeld van een DBFM-contract. Hiervoor is er een tijdelijke vennootschap opgericht tussen de private instellingen (AG Real Estate en BNP Paribas Fortis) en de overheid (inrichtende macht). De private instellingen zorgen bij dit project dus voor het ontwerp, de bouw, de financiering en het onderhoud van de scholen. De overheid koopt geleidelijk de scholen over, dit gedurende 30 jaar. Dit nieuw concept is opgestart op 10 juni 2014. De overheid heeft hiervoor 1,5 miljard euro uitgetrokken (wat over 30 jaar betaald wordt), tegen 2016 worden er 200 nieuwe scholen gebouwd. [22][24]

SVM is op basis van een DBFM-contract opgesteld, maar in de praktijk heeft het wel enkele gelijkenissen met een traditionele aanbesteding. Zo ligt het ontwerp, de uitvoer, de stabiliteitsberekeningen en het onderhoud bij AG Real Estate, maar die zal dit op zijn beurt weer verdelen onder verschillende partijen. In de case study van Tongeren zijn Kumpen en Cordeel verantwoordelijk voor de uitvoering en het onderhoud van het schoolgebouw. [22][27]

Het concept van SVM krijgt echter ook negatieve beoordelingen. Zo vinden we een artikel terug in De Tijd, geschreven door NAV-voorzitter Kati Lamens.[24] NAV is de Vlaamse architectenorganisatie. De focus zou volgens haar zo sterk gelegd worden op juridische, technische en financiële aspect dat de procedure loodzwaar is en duurder uitkomt. Hierdoor wordt er bespaard op de bouw zelf. Als eerste zullen architecten en ingenieurs een studie uitvoeren waaruit een prestatiebestek komt. In theorie krijgt de aannemer dus veel vrijheid in de uitvoering van de prestatie-eisen, maar in de praktijk is er te weinig tijd voor de aannemer om kostenbesparend te werken zodat deze terug naar standaardoplossingen zoekt. Daarnaast komt nog eens dat de onderhoudscontracten enkel afgesloten kunnen worden met grote onderhoudsfirma's. Door gebrek aan concurrentie en de dure verzekeringen die deze onderhoudsfirma's moeten afsluiten, zal de aannemer meer moeten besparen op de bouw zelf. [23][25]

Het bouwmagazine Builders Facts bracht in 2014 aannemers, scholen, architecten en Scholen van Morgen nv samen voor een evaluatiegesprek over SVM. Volgens de betrokken partijen gaat het eerder om een dBM-contract. Dit wil zeggen dat de financiering niet bij de aannemer ligt en het ontwerp slechts gedeeltelijk. Uit het evaluatiegesprek zijn enkele voor- en nadelen op tafel gelegd omtrent het nieuw concept. [26]

Voordelen:

- financiering van het project niet voor de aannemer,
- vergunningsaanvraag niet bij de aannemer (geen juridische vertragingen),
- zekerheid dat projecten daadwerkelijk zullen uitgevoerd worden (vaak niet het geval bij andere PPS-projecten).

Nadelen:

- architecten zijn al op voorhand aangeduid en het ontwerp is niet in samenspraak met de aannemer. Hierdoor wordt er bespaard op materiaalkeuze, terwijl de aannemer verantwoordelijk is voor het onderhoud van 30 jaar;
- de (kleine) schoolbesturen sturen het project vaak liever zelf aan. Nu voelen ze hun eerder bedreigd door de grote partners als Scholen van Morgen;
- de inrichtende macht bestaat vaak uit vrijwilligers en gepensioneerden die gebrek aan bouwervaring hebben;
- er gaat volgens de architecten teveel aandacht naar het juridische, technische en financiële aspect waardoor er minder aandacht gaat naar het comfort van de leerlingen.

Een voorstel dat uit het evaluatiegesprek komt, is om voor sommige types van scholen een andere methode te gebruiken. Nu konden enkel klasse 8 aannemers meedoen (o.a. door de hoge eisen van financiële capaciteit), maar het was voor kleinere scholen ook interessant geweest als andere aannemers konden deelnemen en dat eventueel met een lichtere versie van het concept. [26]

De toekomst zal moeten uitwijzen of het concept al dan niet rendabel is voor de verschillende partijen (opdrachtgever, opdrachtnemer, architect ...).

3 Levensduur

3.1 Algemeen

Een belangrijke invloedsfactor in dit onderzoek is de levensduur van het bouwproduct. Het begrip levensduur is een ingewikkeld begrip omdat het afhankelijk is van bepaalde invloedsfactoren, zoals relatieve vochtigheid, temperatuur en aard van gebruik. Deze invloedsfactoren zijn zelf ook moeilijk te bepalen omdat ze zelf ook afhankelijk zijn van een reeks parameters. Menselijke beslissingen hebben ook een invloed op de levensduur van een materiaal: ontwerpbeslissingen (vb. plat of hellend dak), uitvoering (vb. prefab of situ), onderhoud (jaarlijks of maandelijks). [35][36]

Om met al deze invloedsfactoren rekening te houden is er een praktische toepassing tot stand gekomen, namelijk de factormethode. Deze is beschreven in de ISO 15686-serie 'Buildings and constructed assets – Service life planning'. Deze factormethode maakt het mogelijk om van de referentielevensduur (RSL), door middel van 7 correctiefactoren een geschatte levensduur voor een specifieke situatie te bekomen. [35][36]

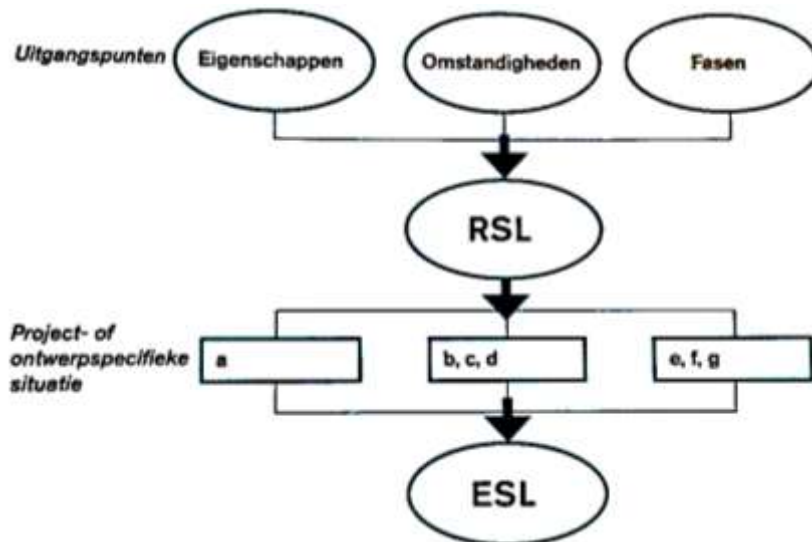
De referentielevensduur of Reference Service Life (RSL) die gehanteerd wordt, is een gemiddelde waarde. Deze wordt bepaald voor een materiaal dat gemaakt, uitgevoerd, toegepast, gebruikt en onderhouden wordt in overeenstemming met de eigenschappen en in relatie tot de omstandigheden. [35][36]

De zeven correctiefactoren uit de factormethode zijn: [35][36]

- eigenschappen:
 - a. bouwproducteigenschappen.
- omstandigheden:
 - b. binnenklimaat,
 - c. buitenklimaat,
 - d. functie en gebruik.
- fasen:
 - e. ontwerp,
 - f. uitvoering,
 - g. beheer en onderhoud.

Elke factor wordt in een aantal criteria omschreven. Na het corrigeren van de referentielevensduur (RSL) met de 7 factoren, wordt er de geschatte levensduur of Estimated Service Life (ESL) bekomen. [35][36]

De geschatte levensduur (ESL)= referentielevensduur (RSL) * a * b * c * d * e * f * g. Een effect dat er zal toe leiden dat de levensduur gaat verlengen, resulteert in een waarde groter dan 1. Wanneer het een negatieve invloed heeft op de levensduur geeft dit een waarde lager dan 1. [35][36]



Figuur 9 Van referentielevensduur (RSL) naar geschatte levensduur (ESL) [35]

3.2 Levensduurwaarden

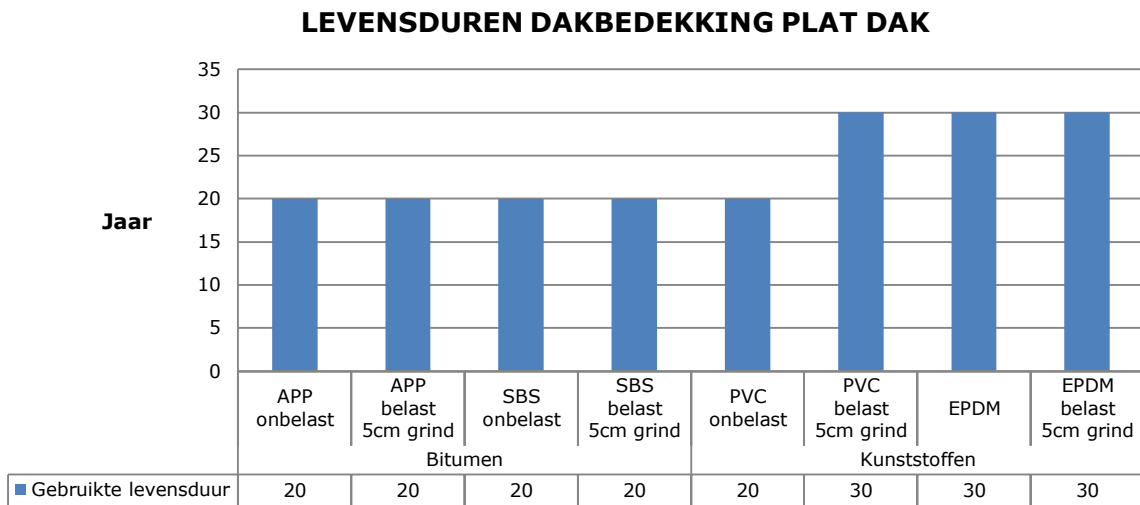
In deze masterproef wordt er enkel rekening gehouden met de levensduurwaarden onder normale omstandigheden. Eveneens wordt er uitgegaan dat de bouwproducten op een correcte en professionele manier verwerkt worden alsook van een goed ontwerp en goed gebruik.

Om met de meest correct levensduur te rekenen in deze masterproef zijn er steeds verschillende bronnen geraadpleegd. Wanneer er een klein verschil is tussen de verkregen levensduren zijn de berekeningen in dit onderzoek uitgevoerd met de kortste levensduur. Wanneer er meerdere bronnen dezelfde levensduur aangaven, is er met deze levensduur gerekend. Één van de gebruikte bronnen is een onderzoek van Universiteit Gent waarbij levensduren vergeleken zijn met verschillende bronnen. [36]

Bij de isolatiematerialen zijn de levensduren van zowel daken, gevels en vloeren 75 jaar of meer. Bij gevels is het enkel de cellulose met dikte 19 cm die maar een levensduur van 30 jaar heeft, dit gaat dus zorgen voor een hogere kostprijs.

Onderstaande grafieken geven de gebruikte levensduur van de gebruikte materialen in deze masterproef weer.

3.2.1 Daken

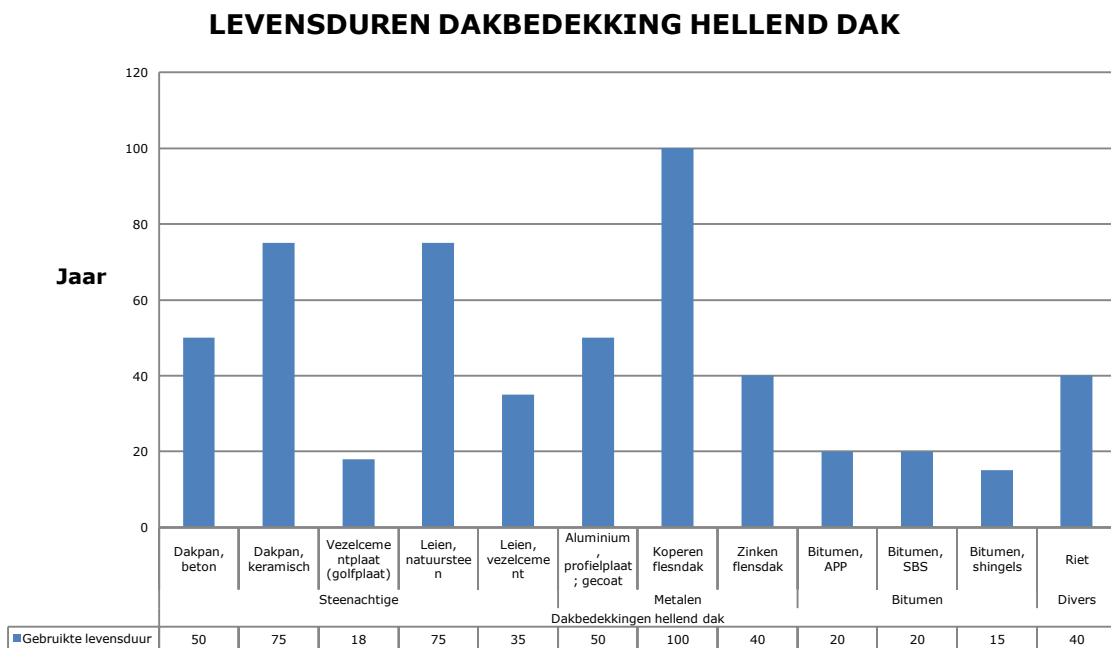


Figuur 10 Levensduren dakbedekking plat dak

Volgende opmerkingen kunnen gemaakt worden:

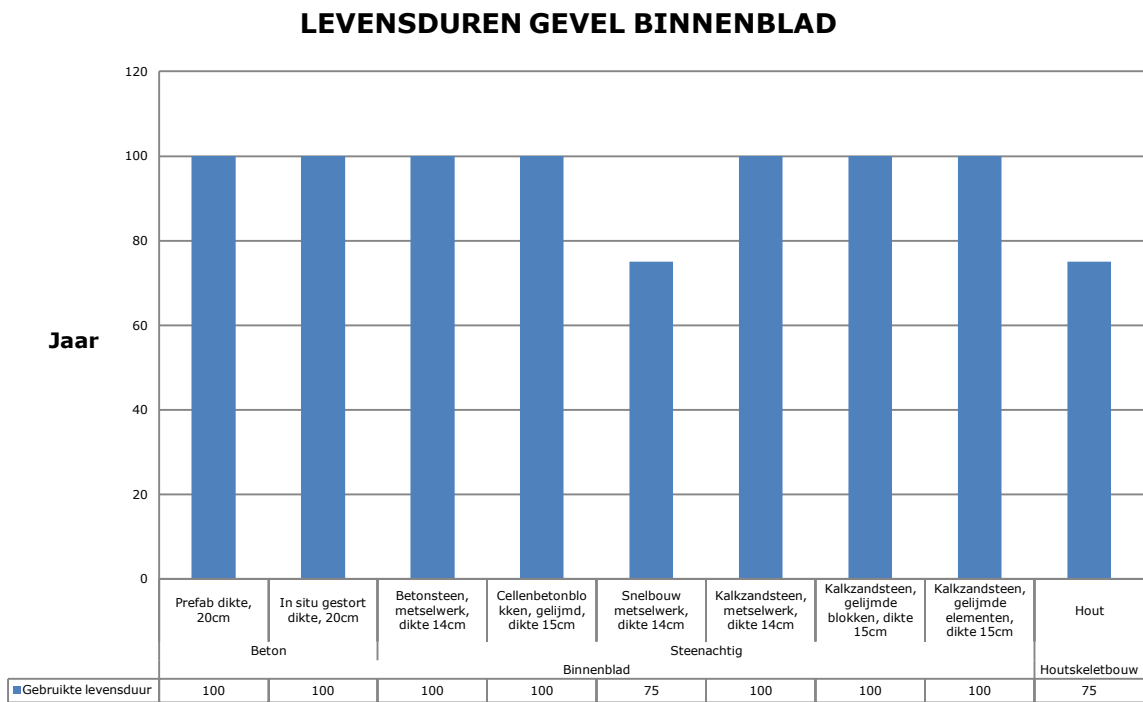
Bij de bitumen dakbedekkingen is er een groot verschil te merken tussen de levensduur van SBR van 40 jaar [35] en waarden uit praktijkervaring van 20 jaar. De levensduur van het soort dakbedekking is sterk afhankelijk van de plaats waar het gebouw gebouwd wordt. Wanneer er in een bosrijke omgeving gebouwd wordt, is de kans veel groter dat er plantengroei voorkomt op het dak die de dakbedekking kunnen aantasten.

Bij PVC onbelast is de levensduur 20 jaar volgens de database van Grontmij [53] en PVC belast is 30 jaar [53] volgens de database. Dit is te verklaren door het feit dat de ballastlaag ervoor gaat zorgen dat de dakbedekking niet aan grote temperaturen wordt blootgesteld en dus ook de afdichting beschermt tegen UV-stralen.



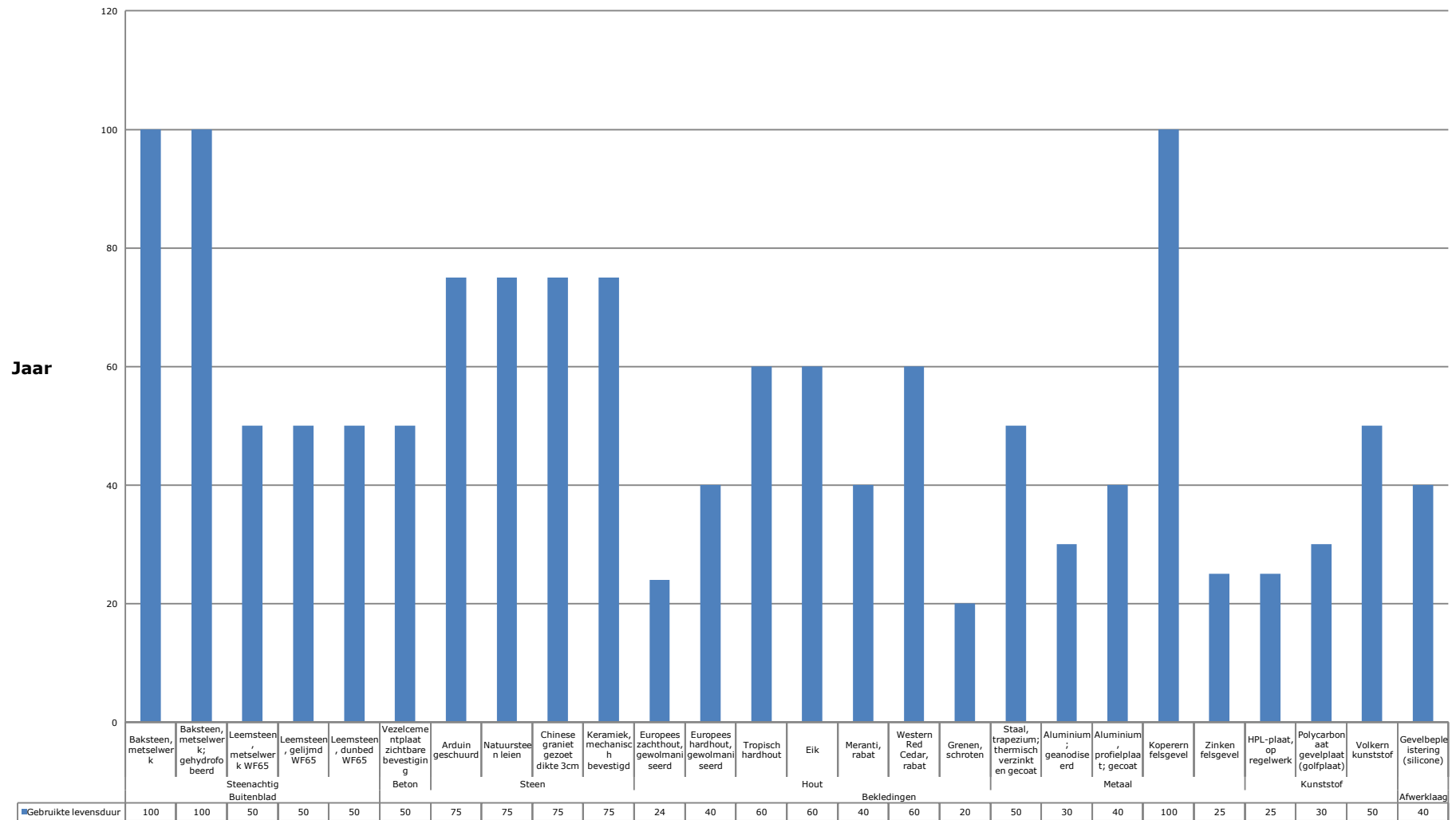
Figuur 11 Levensduren dakbedekking hellend dak

3.2.2 Gevels



Figuur 12 Levensduren gevel binnenblad

LEVENSDUREN GEVEL BUITENBLAD



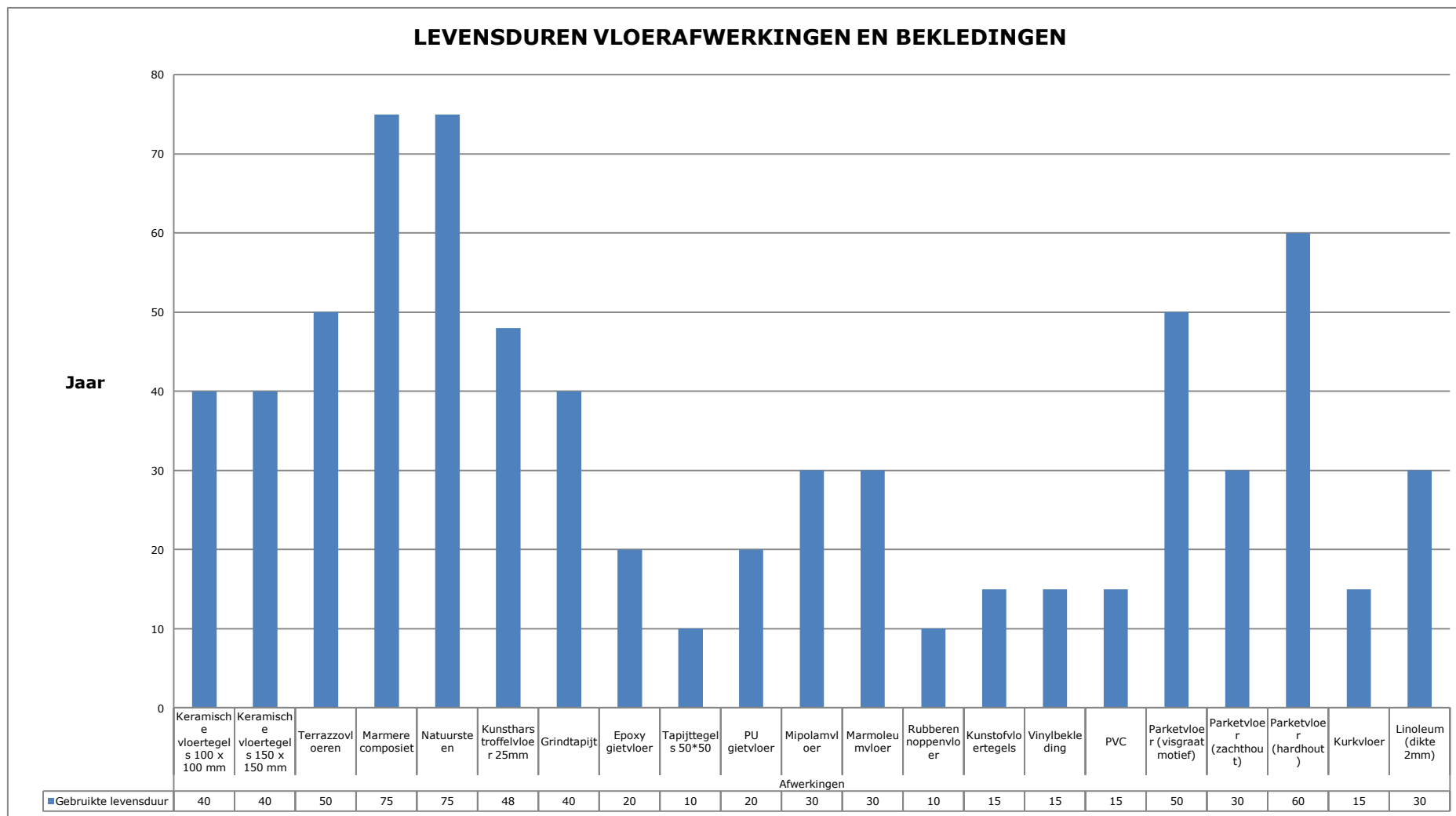
Figuur 13 Levensduren gevel buitenblad

Volgende opmerkingen kunnen gemaakt worden:

Bij de leien uit natuursteen als gevelbekleding geeft SBR een levensduur van 40 jaar [35] en Grontmij een levensduur van 48 jaar [53]. Als we deze gegevens vergelijken met de levensduur van natuursteen leien gebruikt als hellende dakbedekking, heeft dit materiaal volgens SBR een levensduur van 75 jaar [35]. Dit is een groot verschil tussen twee dezelfde materialen.

Volgens de leverancier van natuursteen leien gaat een natuursteen lei gebruikt als gevelbekleding een langere levensduur hebben dan deze gebruikt als hellende dakbedekking, dit omdat de gevel sneller zal opdrogen en ook minder in contact komt met grote temperatuurschommelingen. Door deze verantwoording is er in dit onderzoek gekozen om de levensduur van zowel de gevelbekleding als de dakbedekking in natuursteen leien van 75 jaar te gebruiken in de berekeningen.

3.2.3 Vloeren



Figuur 14 Levensduren vloerafwerkingen en bekledingen

4 Onderzoeksmethode

In het onderzoek van deze masterproef wordt er gezocht naar de meest duurzame/economische ontwerpen en materiaalkeuzes voor een project, technische installaties worden buiten beschouwing gelaten. Hierbij wordt er vooral aandacht besteed aan dak-, gevel- en vloeropbouw omdat deze bouwonderdelen het vaakst onderhoud nodig hebben of het snelst aan vervanging toe zijn. Om een goede vergelijking met een bondig verslag van de verschillende opties te verkrijgen, wordt er gebruik gemaakt van het softwareprogramma O-Prognose.

O-Prognose is een softwareprogramma van Plandatis voor vastgoedbeheer. Met O-Prognose kan er eenvoudig een bouwkundig meerjarenonderhoudsplan gemaakt worden van een bepaald project. Hierdoor kan er van bij de start van een project een goed overzicht bekomen worden van de totale kosten van een gebouw over een bepaalde periode. Met dit programma kunnen er dus ook verschillende alternatieven vergeleken worden en de meest economische gekozen worden. Uiteraard is er ook een goede bibliotheek van materialen nodig met hun bijhorende onderhoudsintensiteit en onderhoudskosten. O-prognose zelf heeft een bibliotheek, maar deze is te beperkt om een bondige vergelijking te kunnen opstellen. [29][30]



Figuur 15 Logo Plandatis [29]

Daarom is er een overeenkomst met Grontmij om hun bibliotheek te gebruiken. Grontmij is een interdisciplinair ingenieurs-, advies- en ontwerpbureau en heeft wereldwijd verschillende vestigingen. Reeds 7 jaar zijn ze bezig met het creëren van een eigen bibliotheek van materialen waaraan elke werknemer gegevens kan toevoegen.



Figuur 16 Logo Grontmij [30]

Deze bibliotheek bevat dus zeer veel informatie die goed gebruikt kan worden bij het vergelijken van de materialen. Deze bibliotheek kan ingevoegd worden in het programma O-Prognose zodat er voldoende informatie is om een bondig verslag en vergelijkingen te maken. [29][30]

De gegevens van Grontmij zullen vergeleken worden met andere bronnen, ook zullen er extra materialen en kosten toegevoegd moeten worden om voldoende en betrouwbare informatie te bezitten omtrent de materialen en de kosten.

4.1 Aandachtspunten

Er wordt gewerkt met verschillende bronnen, namelijk: Grontmij, Kumpen, diverse onderaannemers, borderel van eenheidsprijzen, fabrikanten etc. De nodige gegevens zijn verkregen door overleg met contactpersonen, telefonisch contact en via mail. Op basis van deze gegevens worden de conclusies getrokken. Grontmij werkt met vervangingsprijzen, dus inclusief de afbraak van het oud materiaal omdat zij naar het onderhoud kijken. Voor de prijzen van enkel plaatsing zijn er dus extra bronnen geraadpleegd.

Indien een materiaal een cyclus van 30 jaar heeft, zal deze eenmaal vervangen worden bij een onderhoudstermijn van 30 jaar. Dit principe geldt ook voor een materiaal met een cyclus van 50 jaar bij een onderhoudstermijn van 50 jaar.

De tabellen met alle gedetailleerd resultaten zijn terug te vinden in bijlage. Hieronder worden de resultaten besproken met grafieken die op basis van deze tabellen opgesteld zijn. Er wordt gerekend met plaatsingskosten en onderhoudskosten. In de onderhoudskosten kunnen verschillende aspecten zoals reiniging, vervanging, schuren etc. zitten. Onder het begrip plaatsingskost verstaan we de materiaalkost en de werkuren.

De materialen die gekozen zijn, worden het meest toegepast in België en zijn het meest relevant voor het onderzoek.

Om een goed zicht te krijgen op de totale kosten bij een onderhoudstermijn van 30 en 50 jaar, is er telkens gebruik gemaakt van een referentiehoeveelheid van 1000 m². Dit zowel voor de dakoppervlakte als voor de gevel- en vloeroppervlakte.

Alle vernoemde prijzen zijn exclusief btw.

5 Plat dak

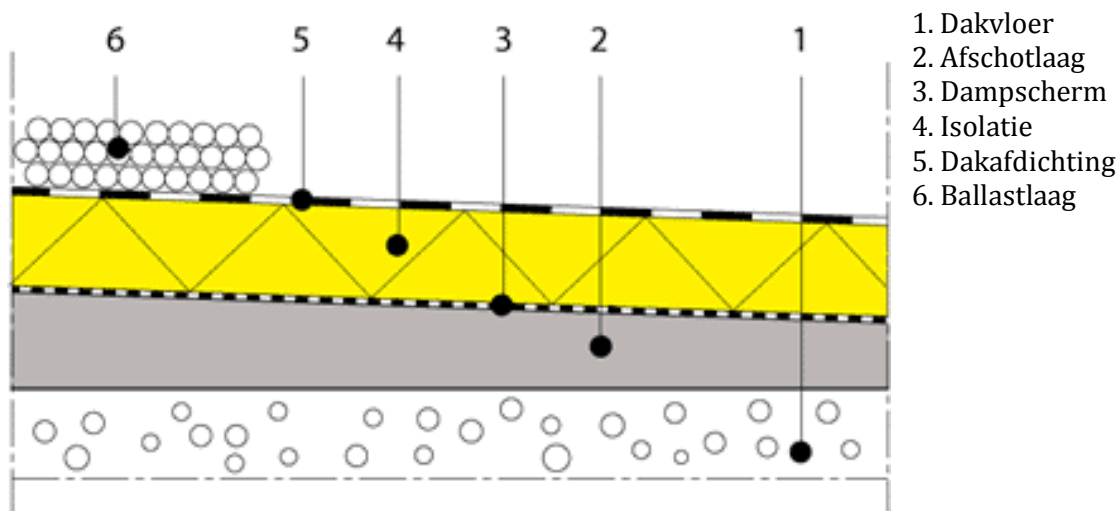
5.1 Opbouw

Een plat dak is een dak waar de waterdichting in de meeste gevallen uitgevoerd wordt door het aanbrengen van een soepele afdichting met een waterdichte overlapping. Ook niet soepele afdichtingen zijn mogelijk.

Het plat dak kan op verschillende manieren opgebouwd worden. Om vochtproblemen te vermijden, kan het plat dak best opgebouwd worden volgens twee varianten. Deze twee varianten hebben het voordeel dat het dampscherm overal op een continue onderlaag aangebracht is. [37][38]

Het warme dak

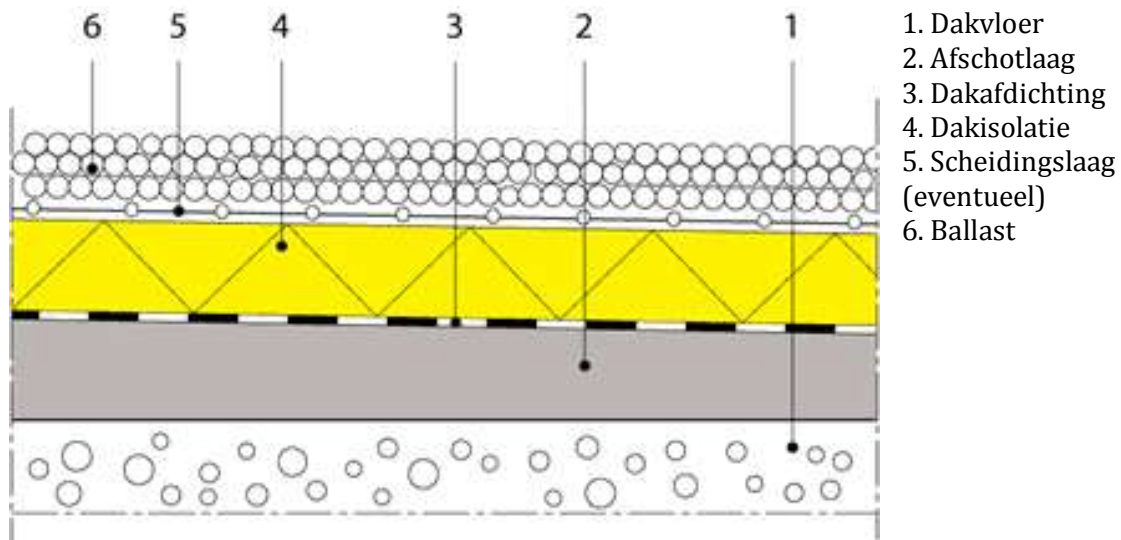
Tussen de afdichting en de dakvloer of het dampscherm bevindt zich de thermische isolatie. Dit is de meest voorkomende dakopbouw. Doordat de isolatie boven de dakvloer geplaatst wordt, is deze beschermd tegen sterke temperatuurschommelingen, waardoor het bewegen en scheuren in de dakvloer en de verbonden muren beperkt wordt. [38]



Figuur 17 Opbouw warm dak [38]

Het omkeerdak

De thermische isolatie wordt hier op de afdichting geplaatst. De isolatie wordt belast en moet voldoende gewicht hebben om het opwaaien of opdrijven van de isolatieplaten te voorkomen. De afdichting is in dit geval ook beschermd tegen grote temperatuurschommelingen en andere weersinvloeden, maar wordt wel langer blootgesteld aan een hogere vochtigheidsgraad, wat aanleiding kan geven tot plantengroei en schimmels. [38]



Figuur 18 Opbouw omkeerdak [38]

5.2 Materialen

Voor de materiaal- en ontwerpkeuze van een plat dak wordt er in dit onderzoek enkel vergeleken met de isolatie- en dakbedekkingsoorten. De draagstructuur, de hellingslaag en de tussenlagen hebben geen grote invloed op de onderhoudskost en zijn dus niet relevant voor dit onderzoek.

5.2.1 Isolatie

Het plaatsen van isolatie is om zijn economische en energiebesparende redenen zeker noodzakelijk, maar is tevens ook noodzakelijk voor het verhogen van het thermische comfort in de woning.

Een belangrijke eigenschap van de isolatie is het isolerend vermogen, meer bepaald de lambda waarde [λ]. Dit is de warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal en wordt uitgedrukt in W/mK.

Om een correcte vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende isolatiesoorten wordt er in deze masterproef gekeken naar de gestelde EPB-eisen van 2015.

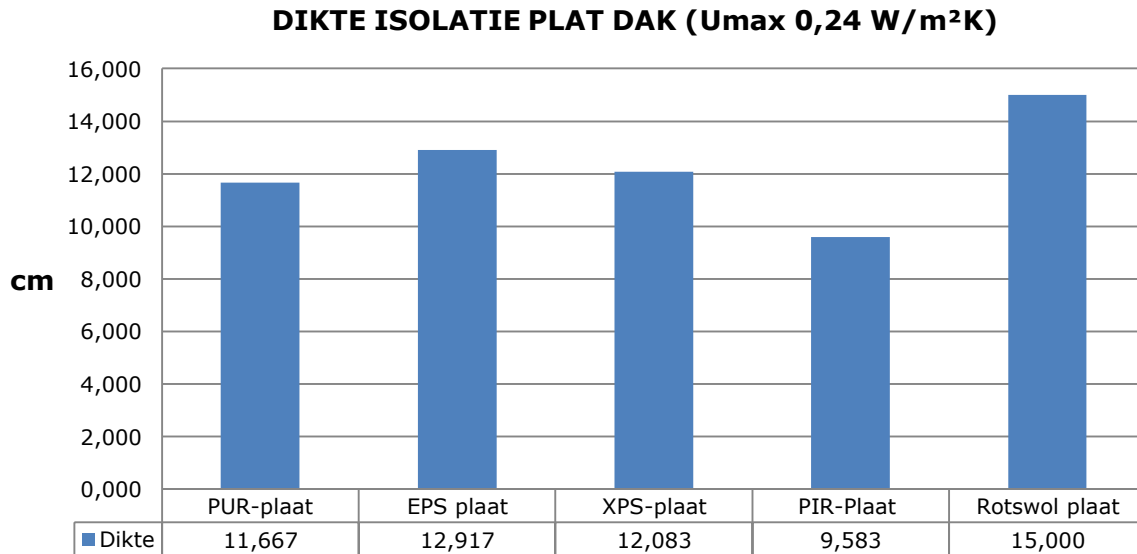
Constructiedeel	U_{max} (W/m ² K)	R_{min} (m ² K/W)
1 SCHEIDINGSCONSTRUCTIES DIE HET BESCHERMD VOLUME OMHULLEN, met uitzondering van de scheidingsconstructies die de scheiding vormen met een aanpalend beschermd volume		
1.1 TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3), lichte gevels (zie 1.4), glasbouwstenen (zie 1.5) en scheidingsconstructies andere dan glas (zie 1.6)	1.8 en $U_{g,max} = 1.1$	
1.2 OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (zie 1.4)		
1.2.1 daken en plafonds	0.24	
1.2.2 muren niet in contact met de grond, met uitzondering van de muren bedoeld in 1.2.4		
1.2.3 muren in contact met de grond	0.40	of 1.5
1.2.4 verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met een kruipruimte of met een kelder buiten het beschermd volume		1.4
1.2.5 vloeren in contact met de buitenomgeving	0.30	
1.2.6 andere vloeren (vloeren op volle grond, boven een kruipruimte of boven een kelder buiten het beschermd volume, ingegraven keldervloeren)	0.30	of 1.75
1.3 DEUREN EN POORTEN (met inbegrip van kader)	2.0	
1.4 GORDIJNGEVELS (volgens prEN 13947)	2.0 en $U_{g,max} = 1.1$	
1.5 GLASBOUWSTENEN	2.0	
1.6 TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES ANDERE DAN GLAS, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (zie 1.4)	2.0 en $U_{tp,max} = 1.6$	

Figuur 19 EPB eisen maximale U-waarden [39]

Tabel 6 Isolatie platte daken lambda waarden en dikte [50][51]

Materiaal	λ (W/m K)	Dikte (cm)
EPS	0,031	12,9
XPS	0,029	12,1
PUR	0,028	11,7
PIR	0,023	9,6
Rotswol plaat	0,036	15,0

De diktes van de isolatie zijn bepaald volgens de huidige EPB norm wat betreft de thermische isolatie van de woning. Sinds 2015 is de maximum toelaatbare U-waarde van het dak 0,24 W/m²K. [39] Elk isolatiemateriaal kan in verschillende varianten voorkomen, afhankelijk van de fabrikant. Bijgevolg kan de lambda waarden variëren.



Figuur 20 Dikte isolatie plat dak ($U_{max} 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$)

5.2.2 Dakbedekking

De belangrijkste functie van een dakbedekking is ongetwijfeld het waterdicht houden van de gebouwschil. Een plat dak kan zowel onbelast als belast uitgevoerd worden. Indien het dak niet belast wordt, moet de dakbedekking en isolatie extra verlijmd worden. Een ballast kent ook nog andere voordelen die hieronder besproken worden. [37]

Een ballast kan verschillende functies vervullen zoals: [37]

- beschermen van de afdichting tegen UV,
- temperatuur beperking van de afdichting,
- opvangen van grote windkrachten,
- kan het dak beloopbaar maken,
- opdrijven van de platen verhinderen bij een omkeerdak;
- verbeteren het brandgedrag van het dak.

Volgende soorten dakbedekking zijn gebruikt om dit onderzoek uit te voeren:

bitumen:

- APP toplaag,
- SBS toplaag.

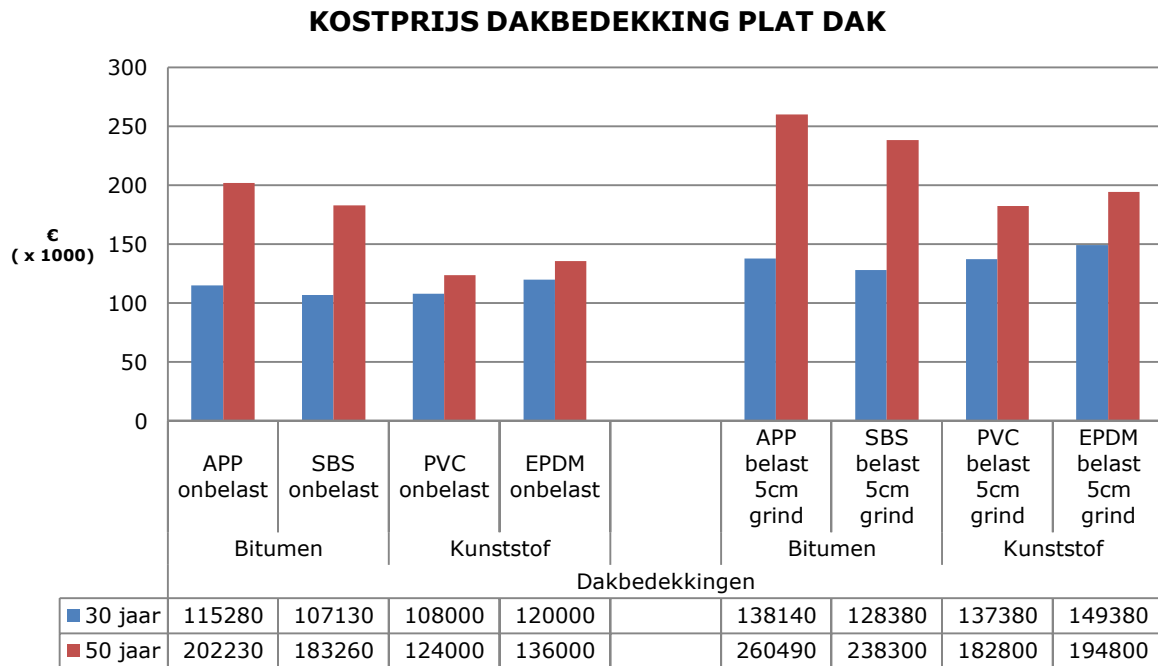
kunststoffen:

- PVC,
- EPDM.

5.3 Resultaten

5.3.1 Algemene kostprijs

De hieronder vermelde grafiek geeft de kostprijs van de verschillende dakbedekkingen voor 1000m² weer voor een termijn van 30 en 50 jaar. De kostprijs bevat alle kosten, dus zowel de plaatsingskost als de onderhoudskosten. Met de grafiek kan er dus duidelijk aangetoond worden welke materiaalkeuze het meest economisch is voor de twee verschillende onderhoudstermijnen. Zoals eerder vermeld wordt er een onderscheid gemaakt tussen belaste en onbelaste daken.

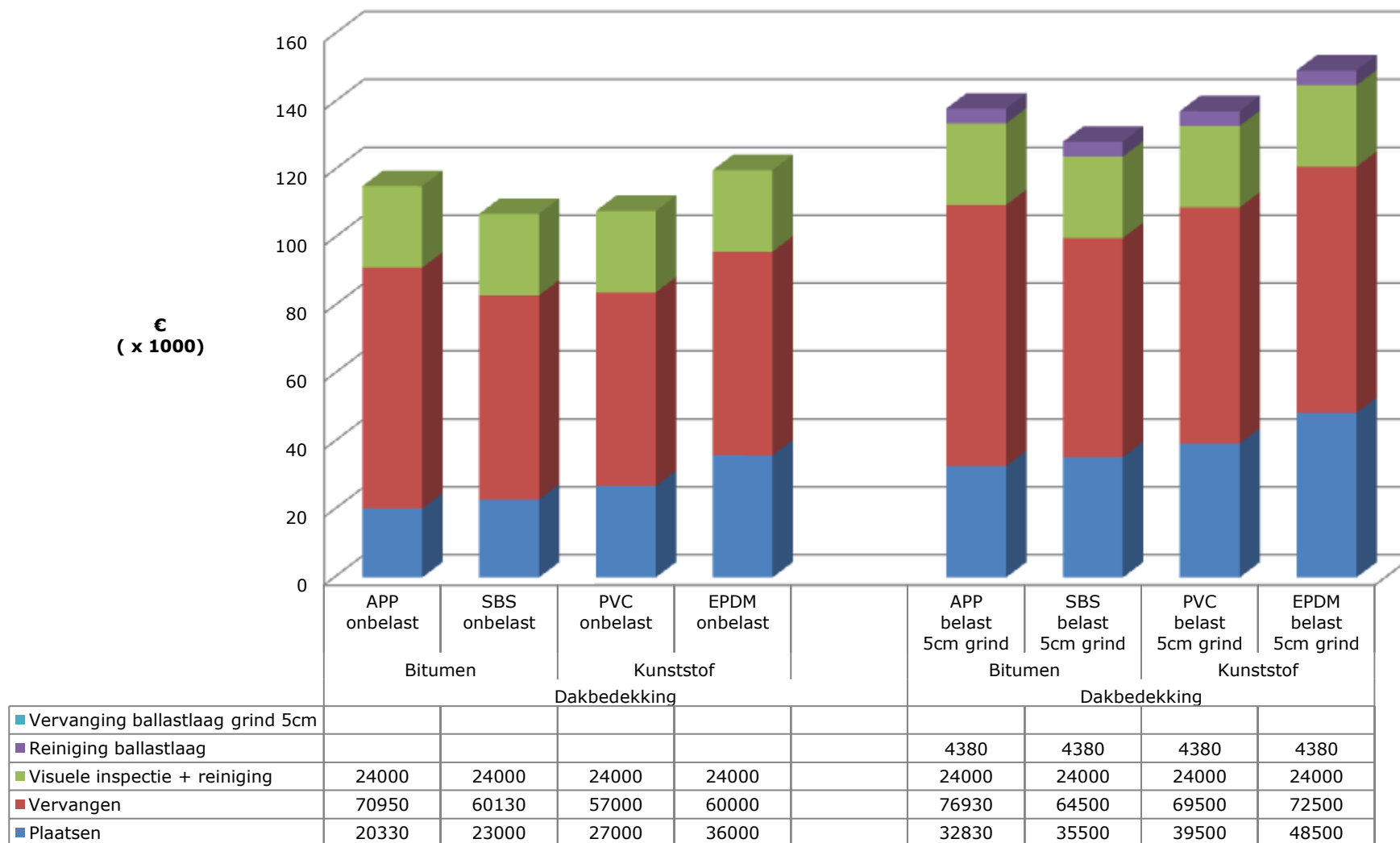


Figuur 21 Kostprijs dakbedekking plat dak 1000m²

Er kan besloten worden dat voor 30 jaar onderhoudscontract een bitumen dakbedekking met SBS-toplaag de beste oplossing is voor onbelaste en voor belaste daken. Bij een onderhoudstermijn van 50 jaar is een PVC-dakbedekking zowel voor belast als voor onbelaste daken de beste oplossing. Een meer gedetailleerd overzicht per onderhoudstermijn staat in de volgende grafieken beschreven.

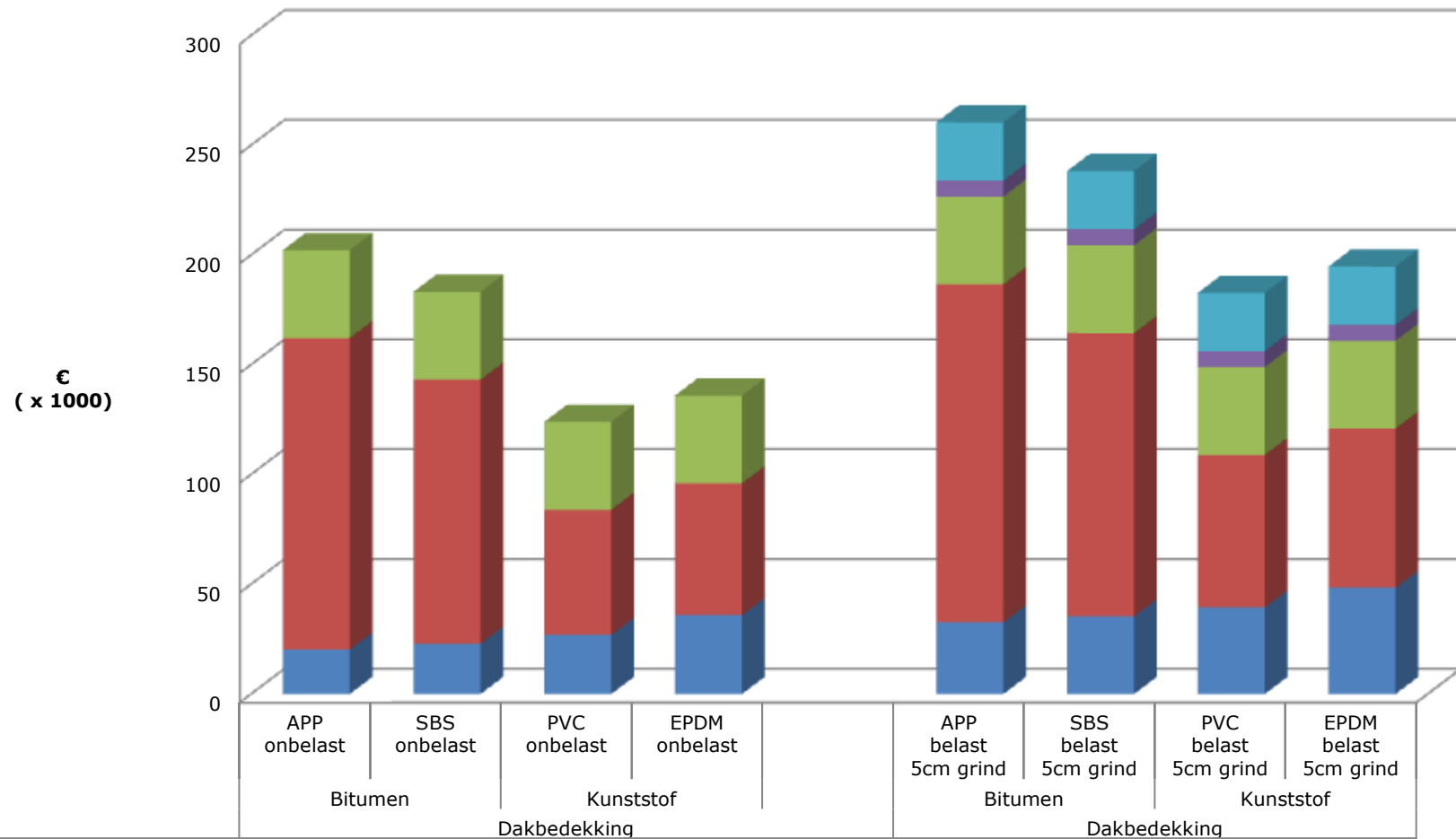
5.3.2 Gedetailleerde kostprijs per onderhoudstermijn

KOSTPRIJS DAKBEDEKKING PLAT DAK (30 JAAR)



Figuur 22 Kostprijs dakbedekking plat dak 1000m² (30 jaar)

KOSTPRIJS DAKBEDEKKING PLAT DAK (50 JAAR)



	Dakbedekking				Dakbedekking			
	APP onbelast	SBS onbelast	PVC onbelast	EPDM onbelast	APP belast 5cm grind	SBS belast 5cm grind	PVC belast 5cm grind	EPDM belast 5cm grind
Vervanging ballastlaag grind 5cm					26500	26500	26500	26500
Reiniging ballastlaag					7300	7300	7300	7300
Visuele inspectie + reiniging	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000
Vervangen	141900	120260	57000	60000	153860	129000	69500	72500
Plaatsen	20330	23000	27000	36000	32830	35500	39500	48500

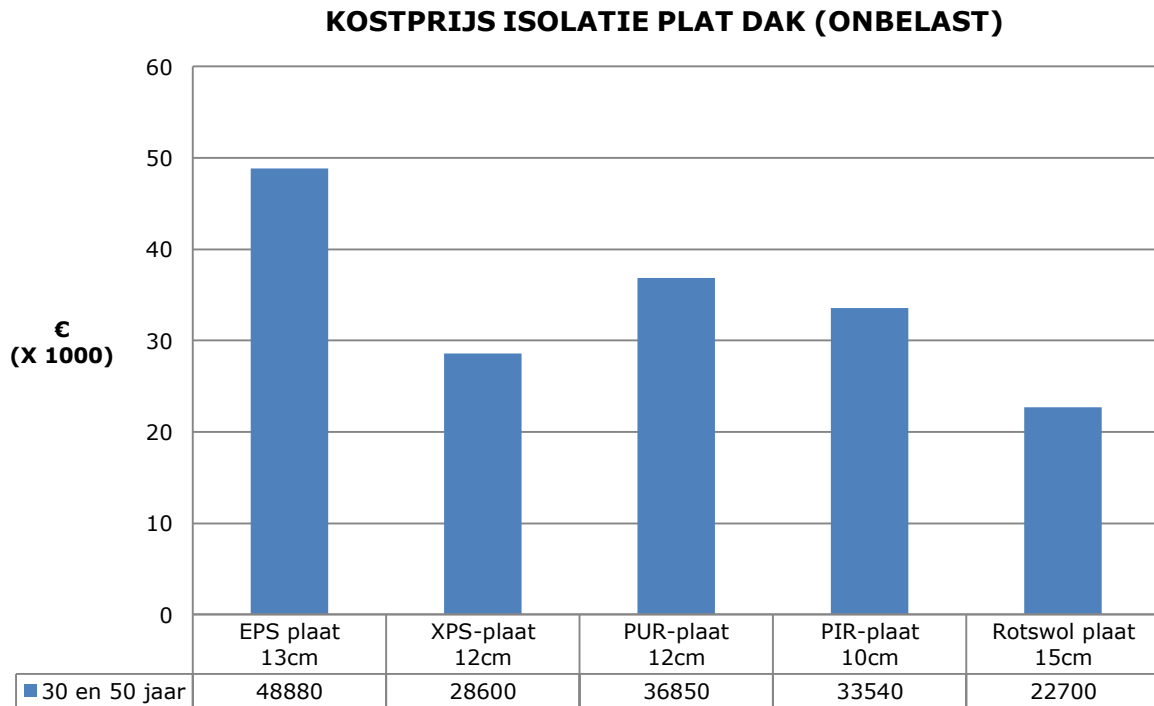
Figuur 23 Kostprijs dakbedekking plat dak 1000m² (50 jaar)

Opmerkingen

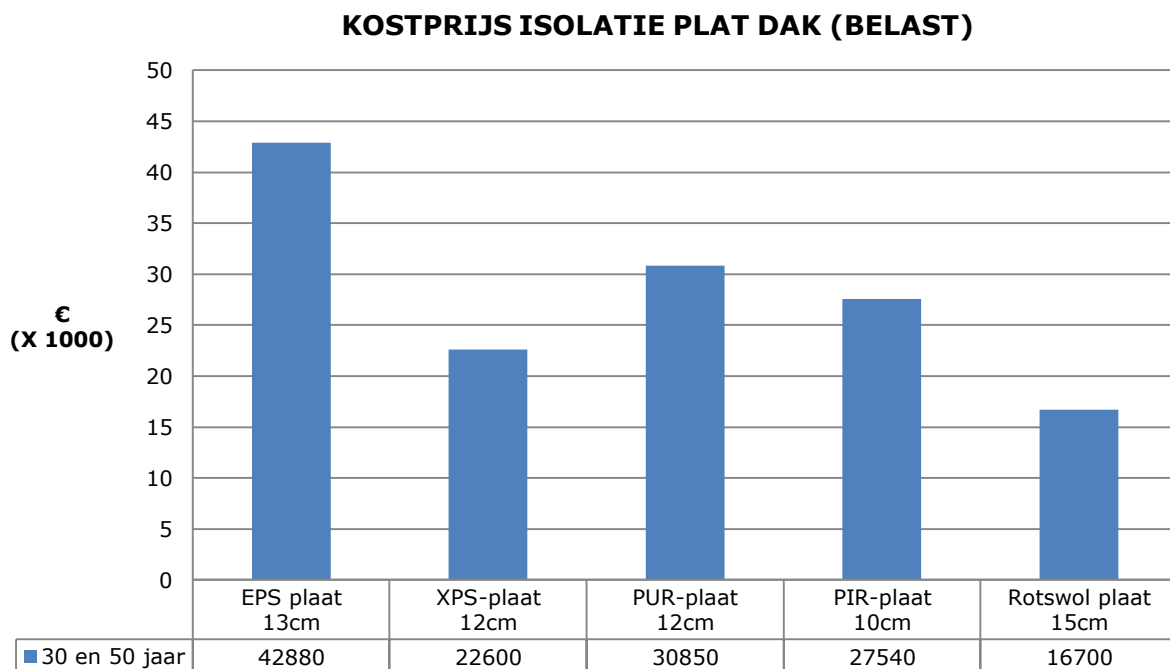
- De vervanging van onbelaste dakbedekking is normaal duurder omdat de bedekking beter vastgelijmd is dan bij belaste daken. Maar bij belaste dakbedekking moet de ballast (grind) ook verwijderd en teruggeplaatst worden waardoor deze prijs voor vervanging hoger ligt.
- In de praktijk komen er bij de vervanging van dakbedekkingen van platte daken nog extra kosten bij omdat er vaak nog zonnepanelen, technische installaties etc. opstaan die eerst verwijderd en vervolgens ook teruggeplaatst moeten worden op het dak.
- Bij elke dakbedekking van een plat dak moet er om het half jaar een visuele inspectie en reiniging gebeuren. Dit om de platengroei te verwijderen en te inspecteren of de regenwaterafvoer goed werkt, dit is uiteraard ook een grote onderhoudskost.
- Het valt op dat de plaatsingskost van de dakbedekking het kleinste percentage is van de volledige kostprijs. De kosten van de vervanging van de dakbedekking, de ballast en de inspectie van het dak liggen veel hoger bij een onderhoudstermijn van minimum 30 jaar.
- Bij een onderhoudstermijn van 50 jaar is het percentage van de vervangingskost van PVC en EPDM laag t.o.v. de andere varianten.
- Het grote verschil tussen een onderhoudstermijn van 30 jaar en die van 50 jaar is dat er bij deze laatste een extra kost is van de vervanging van de ballast laag (5cm grind). Deze moet namelijk om de 40 jaar vervangen worden.

5.3.3 Isolatie

In onderstaande grafiek is er een overzicht gemaakt van de kostprijs van de isolatiematerialen van belaste en onbelaste platte daken. Bij onbelaste platte daken komt er bij de prijs voor de isolatie nog 6 €/m² bij, dit voor het extra lijmen van de isolatie, maar de verhoudingen tussen de verschillende isolaties blijven wel gelijk. Er wordt hier geen onderscheid gemaakt tussen plaatsingskost, reiniging, vervanging etc. omdat de isolatiematerialen een levensduur hebben van minimum 75 jaar zonder onderhoud en er dus enkele gekeken moet worden naar de kost van de initiële plaatsing.



Figuur 24 Kostprijs isolatie plat dak 1000m² (onbelast)



Figuur 25 Kostprijs isolatie plat dak 1000m² (belast)

Rotswol is duidelijk de meest economische keuze. Maar bij isolatiematerialen moet er uiteraard niet enkel gekeken worden naar de kostprijs, maar ook naar de dikte. Als er ruimte genoeg is, kan er dus geopteerd worden voor rotswol, maar indien de ruimte beperkt is, gaat rotswol een te dikke dakopbouw creëren en kan er best gekozen worden voor een XPS- of PIR-plaat.

De uitgebreide gegevenstabel kan teruggevonden worden in bijlage A.

5.4 Conclusie

5.4.1 30 jaar onderhoudstermijn

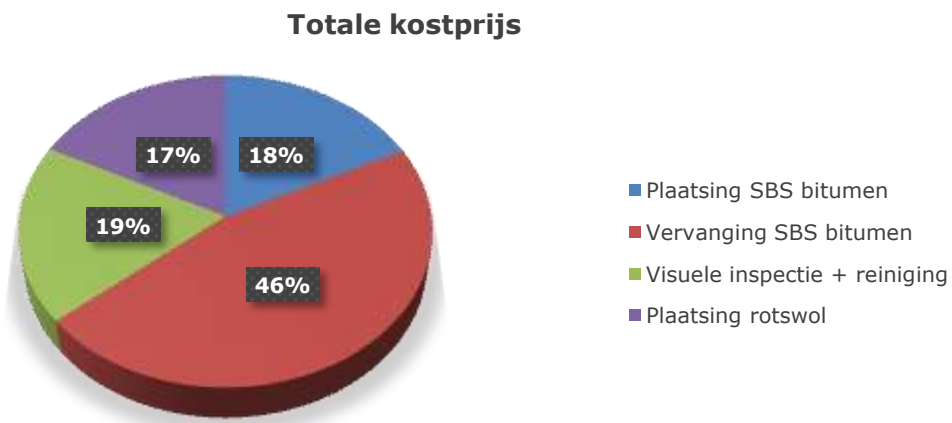
Onbelast dak

De meest economische oplossing voor een onbelast plat dak is:

- bitumen SBS toplaag dakbedekking,
- rotswol plaat.

Tabel 7 Verdeling kosten 30 jaar plat dak onbelast, beste optie 1000m²

Handeling	Cyclus (jaar)	Totale kostprijs	
Plaatsing SBS bitumen		€	23 000
Vervanging SBS bitumen	20	€	60 130
Visuele inspectie + reiniging	0,5	€	24 000
Plaatsing rotswol		€	22 700



Figuur 26 Verdeling kosten 30 jaar plat dak onbelast, beste optie

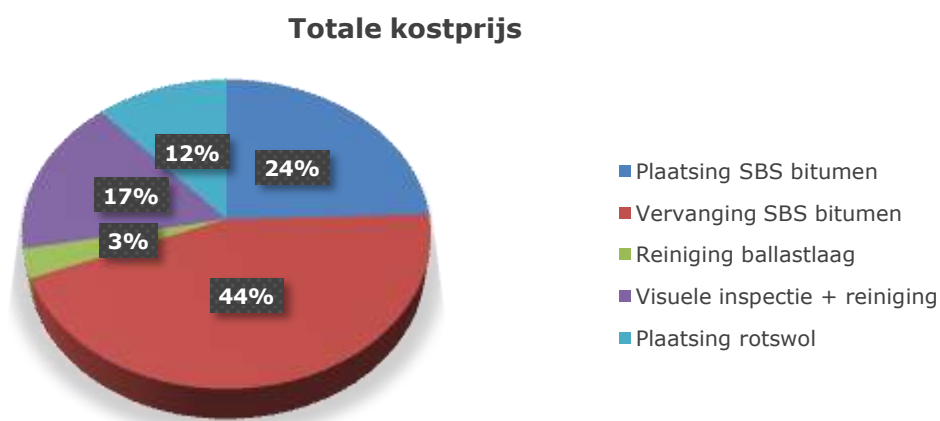
Belast dak

De meest economische oplossing voor een belast plat dak is:

- bitumen SBS toplaag dakbedekking,
- rotswol plaat.

Tabel 8 Verdeling kosten 30 jaar plat dak belast, beste optie 1000m²

Handeling	Cyclus (jaar)	Totale kostprijs
Plaatsing SBS bitumen		€ 35 500
Vervanging SBS bitumen	20	€ 64 500
Reiniging ballast	10	€ 4 380
Visuele inspectie + reiniging	0,5	€ 24 000
Plaatsing rotswol		€ 16 700



Figuur 27 Verdeling kosten 30 jaar plat dak belast, beste optie

5.4.2 50 jaar onderhoudstermijn

Onbelast dak

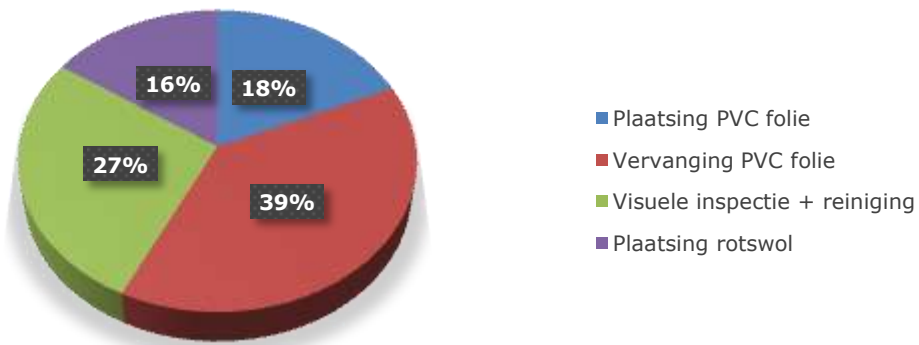
De meest economische oplossing voor een onbelast plat dak is:

- PVC dakbedekking,
- rotswol plaat.

Tabel 9 Verdeling kosten 50 jaar plat dak onbelast, beste optie 1000m²

Handeling	Cyclus (jaar)	Totale kostprijs
Plaatsing PVC folie		€ 27 000,00
Vervanging PVC folie	30	€ 57 000,00
Visuele inspectie + reiniging	0,5	€ 40 000,00
Plaatsing rotswol		€ 22 700,00

Totale Kostprijs



Figuur 28 Verdeling kosten 50 jaar plat dak onbelast, beste optie

Belast dak

De meest economische oplossing voor een belast plat dak is:

- PVC dakbedekking,
- rotswol plaat.

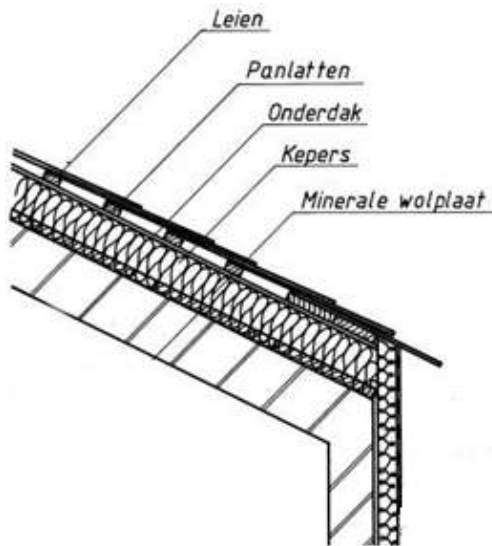
Tabel 10 Verdeling kosten 50 jaar plat dak belast, beste optie 1000m²

Handeling	Cyclus (jaar)	Totale kostprijs	
Plaatsing PVC folie		€	39 500
Vervanging PVC folie	30	€	69 500
Reiniging ballast	10	€	7 300
Vervanging ballast grind 5cm	40	€	26 500
Visuele inspectie + reiniging	0,5	€	40 000
Plaatsing rotswol		€	16 700

6 Hellend dak

6.1 Opbouw

Bij hellende daken wordt de waterdichting gemaakt met het schubsgewijs over elkaar aanbrengen van harde materialen.



Figuur 29 Opbouw hellend dak [40]

De draagstructuur van het dak kan opgebouwd worden uit verschillende materialen, hout is het meest toegepast. Ook kan het opgetrokken worden uit beton of uit stalen elementen. De dragende dakstructuur wordt afgestemd op de belastingen waaraan het dak zal blootgesteld worden (windbelasting, eigengewicht, sneeuwbelasting ...). [41]

6.2 Materialen

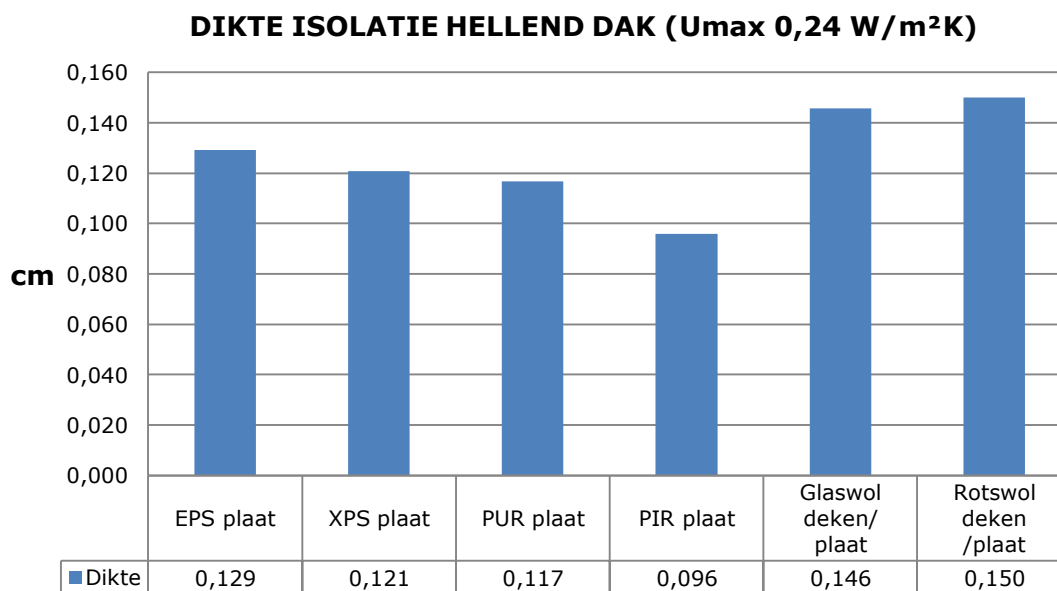
Voor de materiaal- en ontwerpkeuze van een hellend dak wordt er in dit onderzoek enkel vergeleken met de isolatie- en dakbekledingssoorten. Het timmerwerk, het onderdak en de tussenlagen hebben geen grote invloed op de onderhoudskost en zijn dus niet relevant voor dit onderzoek.

6.2.1 Isolatie

Volgende soorten isolatiematerialen met bijhorende lambda waarde zijn gebruikt om het onderzoek in deze masterproef uit te voeren:

Tabel 11 Isolatie hellende daken lambda waarden en dikte [50][51]

Materiaal	λ (W/m K)	Dikte (cm)
Cellulose plaat (houtvezel)	0,044	18,3
EPS-plaat	0,031	13
XPS-plaat	0,029	12
PUR-plaat	0,028	12
PIR-plaat	0,023	10
Glaswol deken/plaat	0,035	15
Rotswol deken/plaat	0,036	15
Cellulose ingeblazen	0,037	15,4
Cellulair glas plaat	0,038	16
Perliet plaat	0,051	21



Figuur 30 Dikte isolatie hellend dak (U_{max} 0,24 W/m².K)

Elk isolatiemateriaal kan in verschillende varianten voorkomen, afhankelijk van de fabrikant. Bijgevolg kan de lambda waarden variëren.

6.2.2 Dakbekleding

Volgende soorten dakbekledingen zijn gebruikt om het onderzoek in dit onderzoek uit te voeren:

steenachtige:

- dakpan beton,
- dakpan keramisch,
- vezelcementplaat (golfplaat),
- leien, natuursteen,
- leien, vezelcement.

metalen:

- aluminium, profielplaat; gecoat,
- koperen felsdak,
- zinken felsdak.

bitumen:

- APP-toplaag,
- SBS-toplaag,
- Shingels.

divers:

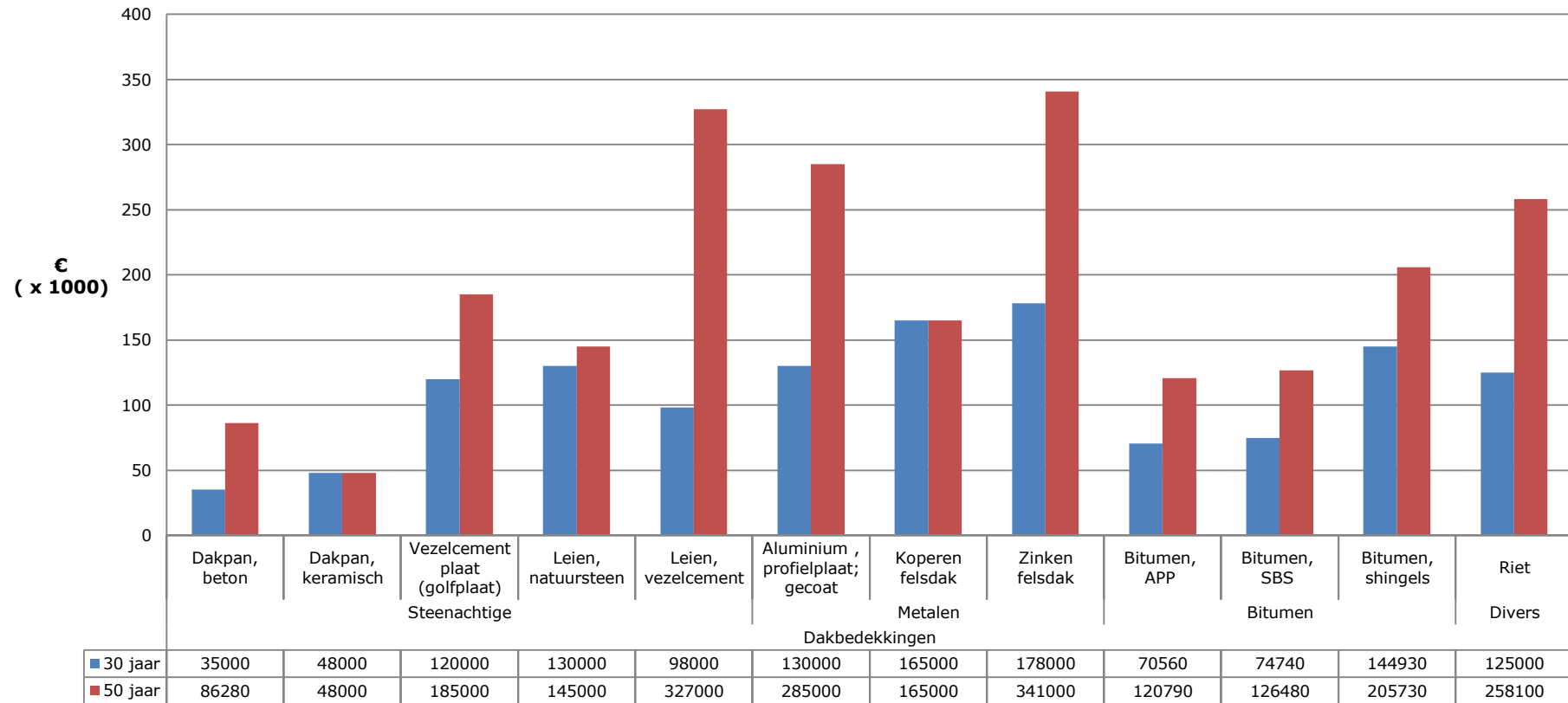
- riet.

6.3 Resultaten

6.3.1 Algemene kostprijs

De hieronder vermelde grafiek geeft de kostprijs van de verschillende dakbedekkingen voor 1000m² weer voor een termijn van 30 en 50 jaar. De kostprijs bevat alle kosten, dus zowel plaatsingskost als de onderhoudskosten. Met de grafiek kan er dus duidelijk aangetoond worden welke materiaalkeuze het meest economisch is voor de twee verschillende onderhoudstermijnen.

KOSTPRIJS DAKBEDEKKING HELLEND DAK

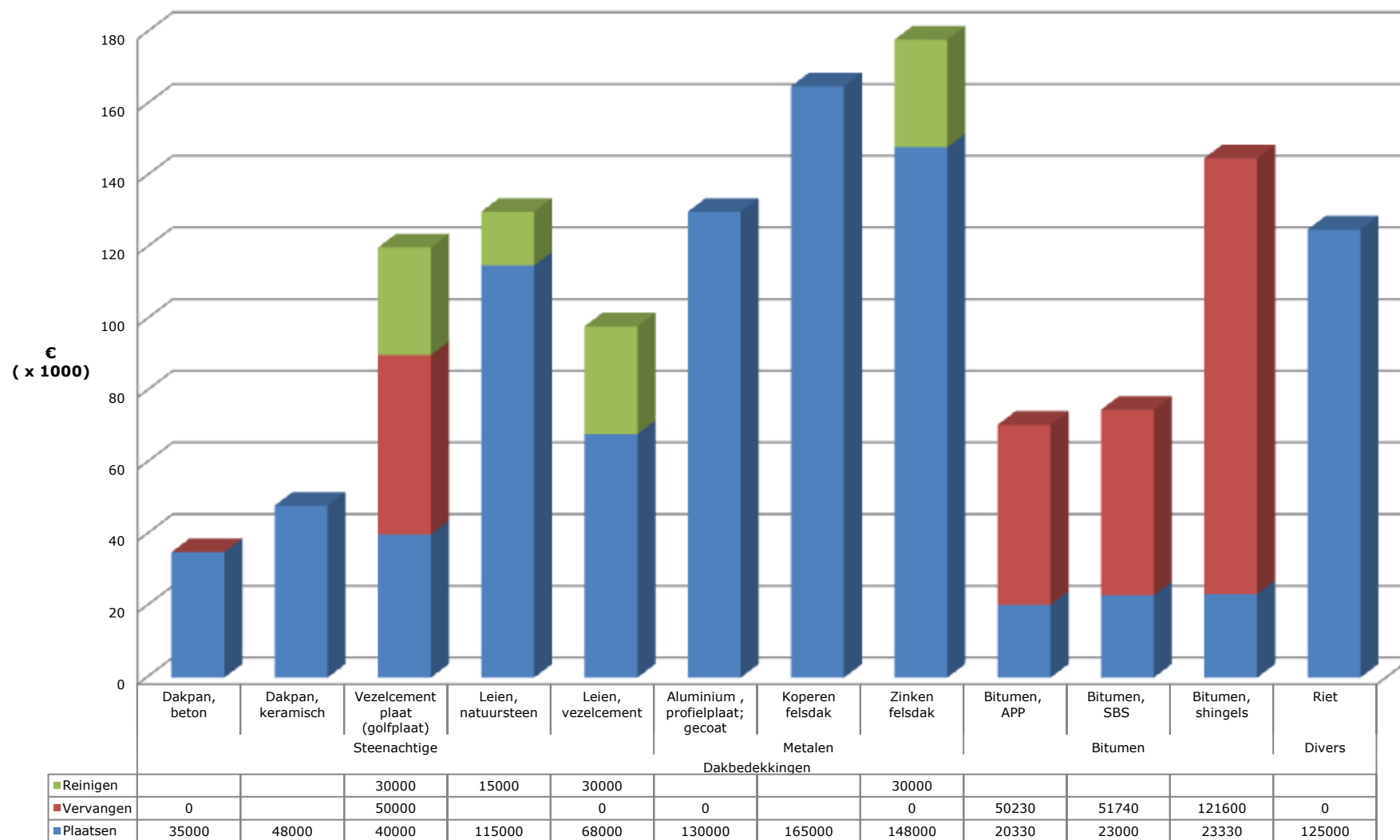


Figuur 31 Kostprijs dakbedekking hellend dak 1000m²

Er kan besloten worden dat voor 30 jaar onderhoudstermijn betonnen dakpannen de beste oplossing zijn en voor 50 jaar keramische dakpannen. Een meer gedetailleerd overzicht per onderhoudstermijn staat in onderstaande grafieken beschreven.

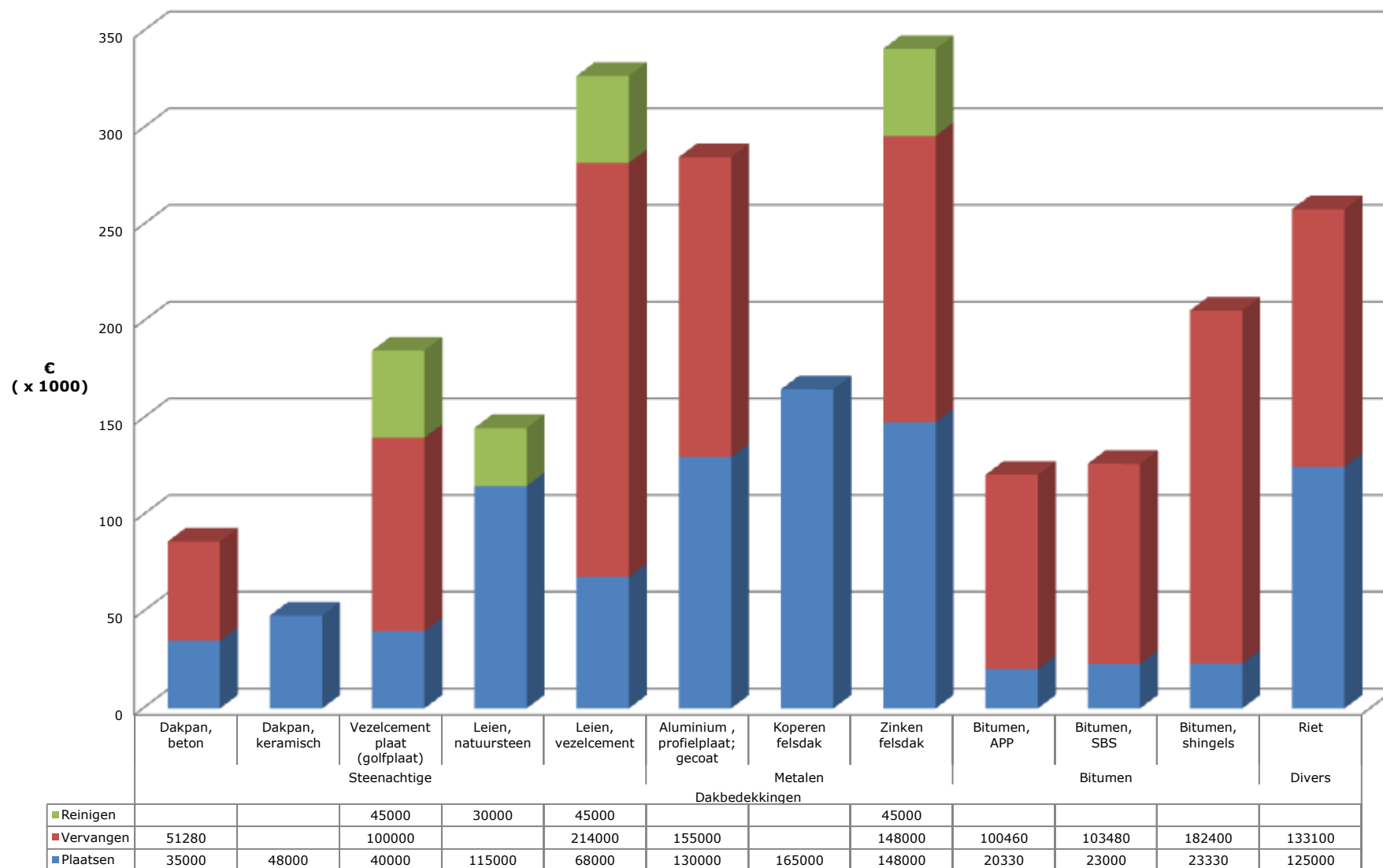
6.3.2 Gedetailleerde kostprijs per onderhoudstermijn

KOSTPRIJS DAKBEDEKING HELLEND DAK (30 JAAR)



Figuur 32 Kostprijs dakbedekking hellend dak 1000m² (30 jaar)

KOSTPRIJS DAKBEDEKKING HELLEND DAK (50 JAAR)



Figuur 33 Kostprijs dakbedekking hellend dak 1000m² (50 jaar)

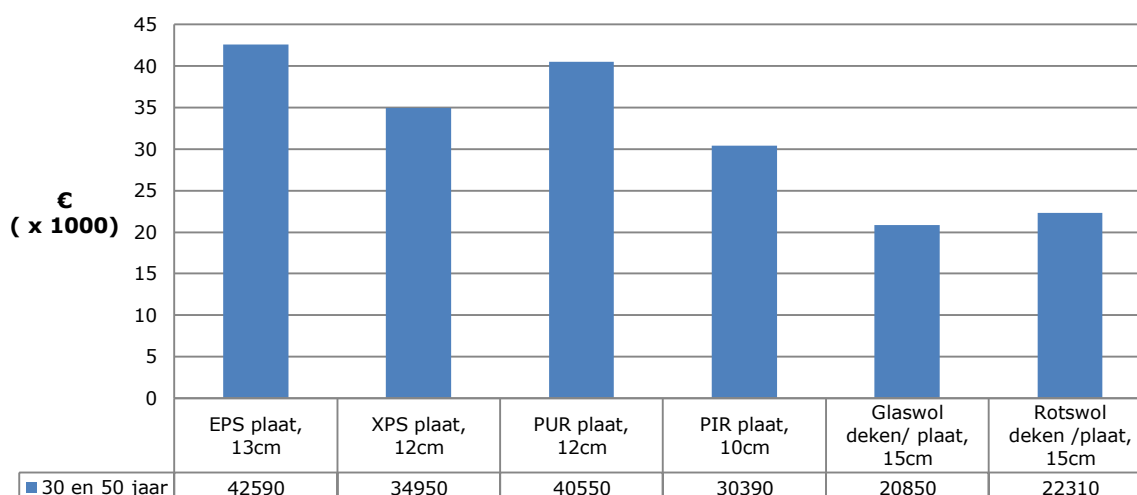
Opmerkingen

- Wanneer er vergeleken wordt tussen een hellend en een plat dak moet er rekening gehouden worden met de verschillende draagstructuren waardoor de kostprijs kan verschillen. Ook is het belangrijk dat de beschikbare nuttige ruimte vergeleken wordt bij beide toepassingen.
- Bij de zinken dakbedekking is de plaatsingskost gelijk aan de vervangingskost omdat de afbraak van het oude materiaal niet zoveel tijd in beslag neemt en dat het oude zinkmateriaal ook nog opbrengt. De kost van de afbraak is dus gelijk aan de opbrengst ervan.
- Bij het nakijken van de prijzen van Grontmij is opgevallen dat de prijs van betonnen dakpan en die van keramische dakpan verwisseld moeten worden. In de tabellen en grafieken zijn de juiste waarden terug te vinden.
- Bij een onderhoudstermijn van 30 jaar is de betonnen dakpan het meest economisch omdat deze een voordelige plaatsingskost heeft en geen vervanging nodig heeft. Bij 50 jaar moet er echter wel een vervanging gebeuren van de betonnen dakpan en wordt de keramisch dakpan het meest economisch oplossing omdat deze bij 50 jaar nog steeds niet vervangen moet worden.
- Een koperen felsdak is bij 30 jaar een dure optie, maar bij 50 jaar al voordeliger omdat deze een hoge plaatsingskost kent, maar een levensduur van 75 jaar heeft.
- Bij vezelcement leien is dit omgekeerd. Deze dakbedekking is voordelig bij 30 jaar, maar niet meer bij 50 jaar. Omdat deze bij 50 jaar een grote vervangingskost hebben.
- Bitumen shingels en vezelcement leien hebben een zeer hoge vervangingskost t.o.v. hun plaatsingskost. De vervangingskost is hier gemiddeld drie maal zo hoog als de initiële plaatsingskost. Dit is te verklaren door de korte levensduur van deze materialen.

6.3.3 Isolatie

In onderstaande grafiek is er een overzicht gemaakt van de kostprijs van de isolatiematerialen van hellende daken. Er wordt hier geen onderscheid gemaakt tussen plaatsingskost, reiniging, vervanging etc. omdat de isolatiematerialen een levensduur hebben van minimum 75 jaar zonder onderhoud en er dus enkele gekeken moet worden naar de kost van de initiële plaatsing.

KOSTPRIJS ISOLATIE HELLEND DAK



Figuur 34 Kostprijs isolatie hellend dak 1000m²

Glaswol is duidelijk de meest economische keuze. Maar bij isolatiematerialen moet er uiteraard niet enkel gekeken worden naar de kostprijs, maar ook naar de dikte. Als er ruimte genoeg is, kan er dus geopteerd worden voor glaswol, maar indien de ruimte beperkt is, gaat glaswol een te dikke dakopbouw creëren en kan er best gekozen worden voor een XPS- of PIR-plaat. Glaswol kan dus wel geplaatst worden bij hellende daken en niet bij platte daken omdat het een niet druvast materiaal is.

De uitgebreide gegevenstabel kan teruggevonden worden in bijlage B.

6.4 Conclusie

6.4.1 30 jaar onderhoudstermijn

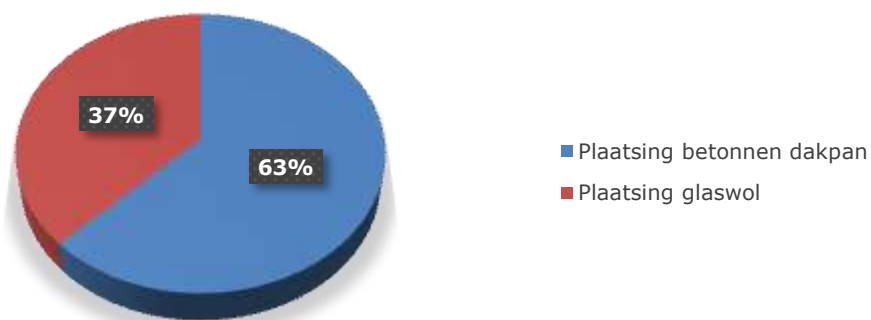
De meest economische oplossing voor een hellend dak is:

- betonnen dakpannen,
- glaswol.

Tabel 12 Verdeling kosten 30 jaar hellend dak, beste optie 1000m²

Handeling	Totale kostprijs	
Plaatsing betonnen dakpan	€	35 000
Plaatsing glaswol	€	20 850

Totale Kostprijs



Figuur 35 Verdeling kosten 30 jaar hellend dak, beste optie

6.4.2 50 jaar onderhoudstermijn

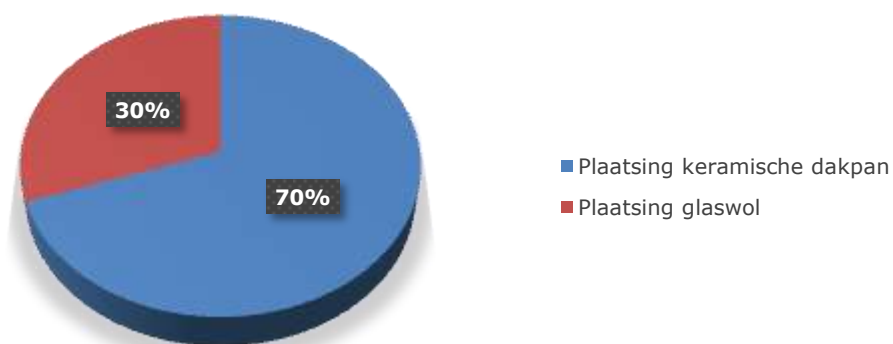
De meest economische oplossing voor een hellend dak is:

- keramische dakpannen,
- glaswol.

Tabel 13 Verdeling kosten 50 jaar hellend dak, beste optie 1000m²

Handeling	Totale kostprijs	
Plaatsing keramische dakpan	€	48 000
Plaatsing glaswol	€	20 850

Totale kostprijs



Figuur 36 Verdeling kosten 50 jaar hellend dak, beste optie

7 Gevels

7.1 Opbouw

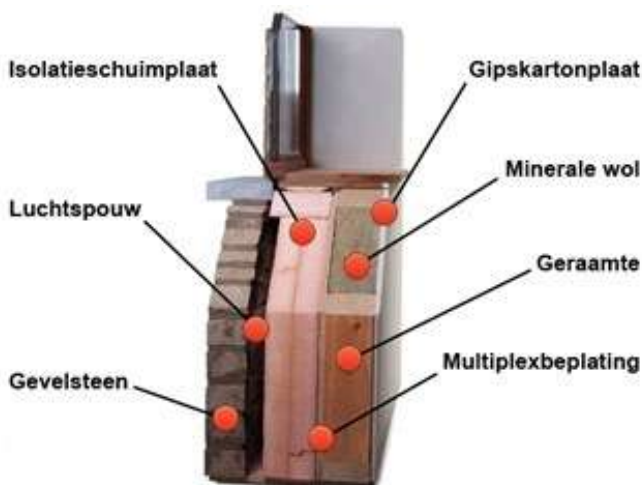
Voor het ontwerp van de wand kan er ofwel gekozen worden voor het type houtskeletbouw, ofwel voor de steenachtige of betonnen constructie. Elk van deze types kunnen met verschillende materialen opgebouwd worden. Eventueel kan er ook een spouw voorzien worden zodat het buitenblad kan drogen om vorstschade te vermijden en zodat de isolatie en het binnenblad niet vochtig worden.

Houtskeletwand

Houtskeletbouw wordt steeds vaker toegepast bij energiezuinige gebouwen. Het is een erg duurzaam bouwsysteem, de warmtegeleidingscoëfficiënt van hout is namelijk veel lager dan dat van steen. De warmtedoorgangcoëfficiënt van de wand is bij een goed ontwerp rond de $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, terwijl dit bij een traditionele spouwmuur dubbel zo hoog is [32]. Een ander voordeel is dat de akoestische prestatie van de wand verhoogd kan worden. Er kan gekozen worden voor akoestische isolatie, zoals minerale wol, die tussen de holte van het geraamte wordt geplaatst.

Het aanbod van materialen, verbindingsmiddelen en andere elementen voor houtskeletbouw is de laatste jaren sterk toegenomen. Dit wil zeggen dat er meer mogelijkheden zijn en dat de kosten minder worden. Met de huidige kennis is het zelfs mogelijk een houtskeletbouw op te trekken tot 6 bouwlagen. [32]

Een standaard houtskeletwand bestaat uit een houten geraamte, zachte isolatie, harde isolatie, binnenbekleding, spouw en buitenbekleding zoals het voorbeeld in onderstaande afbeelding. De mogelijkheden van de materialen zijn heel ruim. Vooral bij de keuze van de isolatie en de buitenbekleding zijn er veel opties. [31][32]

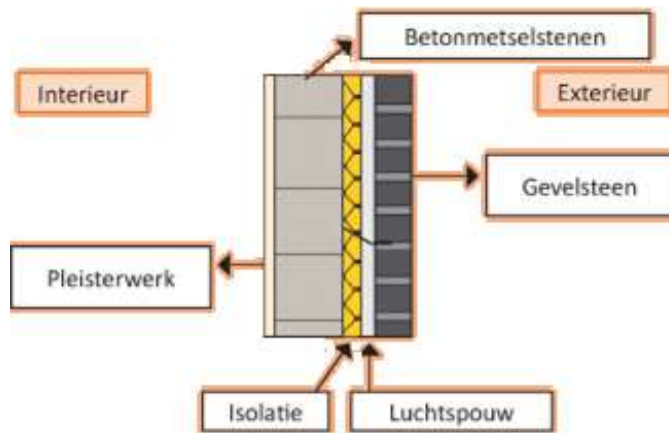


Figuur 37 Opbouw houtskeletwand [47]

Steenachtige of betonnen constructie

Een wandconstructie uit metselwerk of beton is een traditionele manier van opbouwen van wanden en bestaat dus al langer. Dit type is het meest gekend in de bouwwereld en zal dus ook het vaakst worden toegepast. Een steenachtige of betonnen constructies heeft een groot draagvermogen, dus zeker bij gebouwen met meerdere bouwlagen is dit een goede oplossing. De opbouw bestaat uit een binnenblad, isolatie en het buitenblad.

Door de jaren ervaring met dit type zijn er ondertussen al veel varianten en keuze van materialen. Er zijn verschillende mogelijkheden voor de draagconstructie, de buitenbekleding en de isolatie. Onderstaande afbeelding is een voorbeeld met betonmetselsteen als draagstructuur en gevelsteen als buitenbekleding. [33]



Figuur 38 Opbouw steenachtige of betonnen constructie [33]

7.2 Materialen

Er zijn verschillende materialen mogelijk voor de wandopbouw. De materialen die aan bod komen kunnen ook nog eens in verschillende varianten voorkomen. Een baksteen kan bijvoorbeeld gemetseld of gelijmd worden.

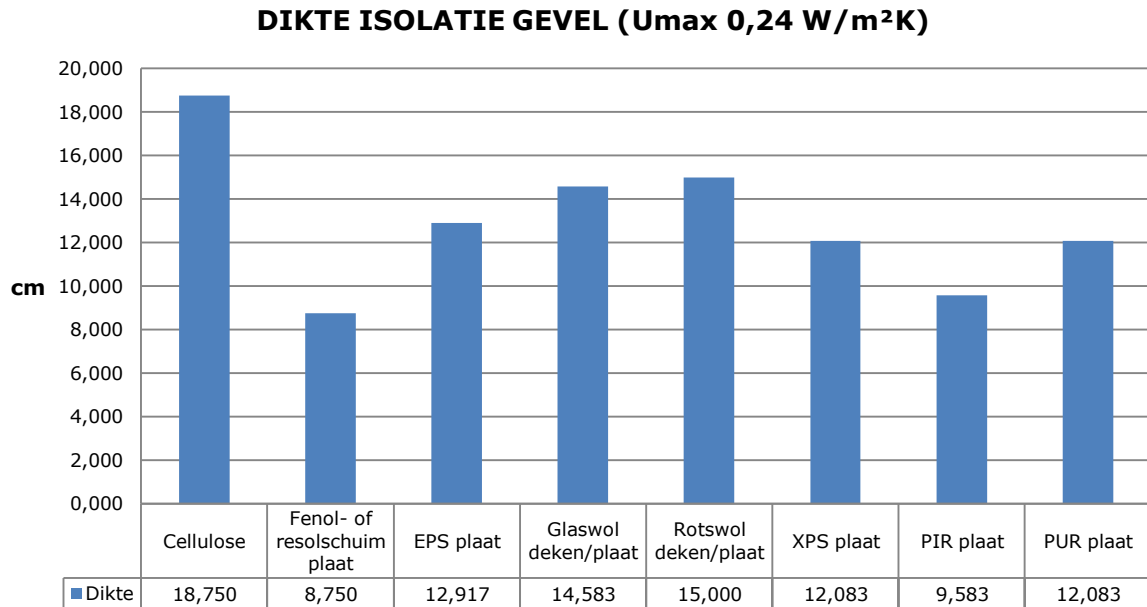
7.2.1 Isolatie

Volgende soorten isolatie met bijhorende lambda waarde zijn gebruikt om het onderzoek in deze masterproef uit te voeren:

Tabel 14 Isolatie gevel lambda waarden en dikte [50][51]

Materiaal	λ (W/m K)	Dikte (cm)
Cellulose	0,045	18,8
Resolschuim	0,021	8,8
EPS	0,031	12,9
Glaswol deken/plaat	0,035	14,6
Rotswol deken/plaat	0,036	15,0
XPS plaat	0,029	12,1
PUR	0,029	12,1
PIR	0,023	9,6

De diktes van de isolatie zijn bepaald volgens de huidige EPB-norm wat betreft de thermische isolatie van de woning. Sinds 2015 is de maximum toelaatbare U-waarde van de buitenwand 0,24 W/ m²K. [39] Elk isolatiemateriaal kan in verschillende varianten voorkomen, afhankelijk van de fabrikant. Bijgevolg kan de lambda waarden variëren.



Figuur 39 Dikte isolatie gevel ($U_{max} 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$)

7.2.2 Binnenblad

Volgende soorten binnenwanden zijn gebruikt om het onderzoek in deze masterproef uit te voeren:

steenachtige- of betonnen constructie:

- in situ gestort beton,
- prefab beton,
- betonsteen,
- cellenbeton,
- baksteen,
- kalkzandsteen.

houtskeletbouw:

- hout.

7.2.3 Buitenblad

Volgende soorten gevelbekleding zijn gebruikt om het onderzoek in deze masterproef uit te voeren:

Steenachtig:

- baksteen,
- leemsteen.

Beton:

- vezelcementplaat.

steen:

- arduin,
- leien,
- graniet,
- keramiek.

hout:

- Europees zachthout,
- Europees hardhout,
- tropisch hardhout,
- eik,
- meranti,
- western Red Cedar,
- grenen.

metaal:

- staal,
- aluminium,
- koper,
- zink.

kunststof:

- HPL,
- polycarbonaat,
- volkern.

afwerkklagen:

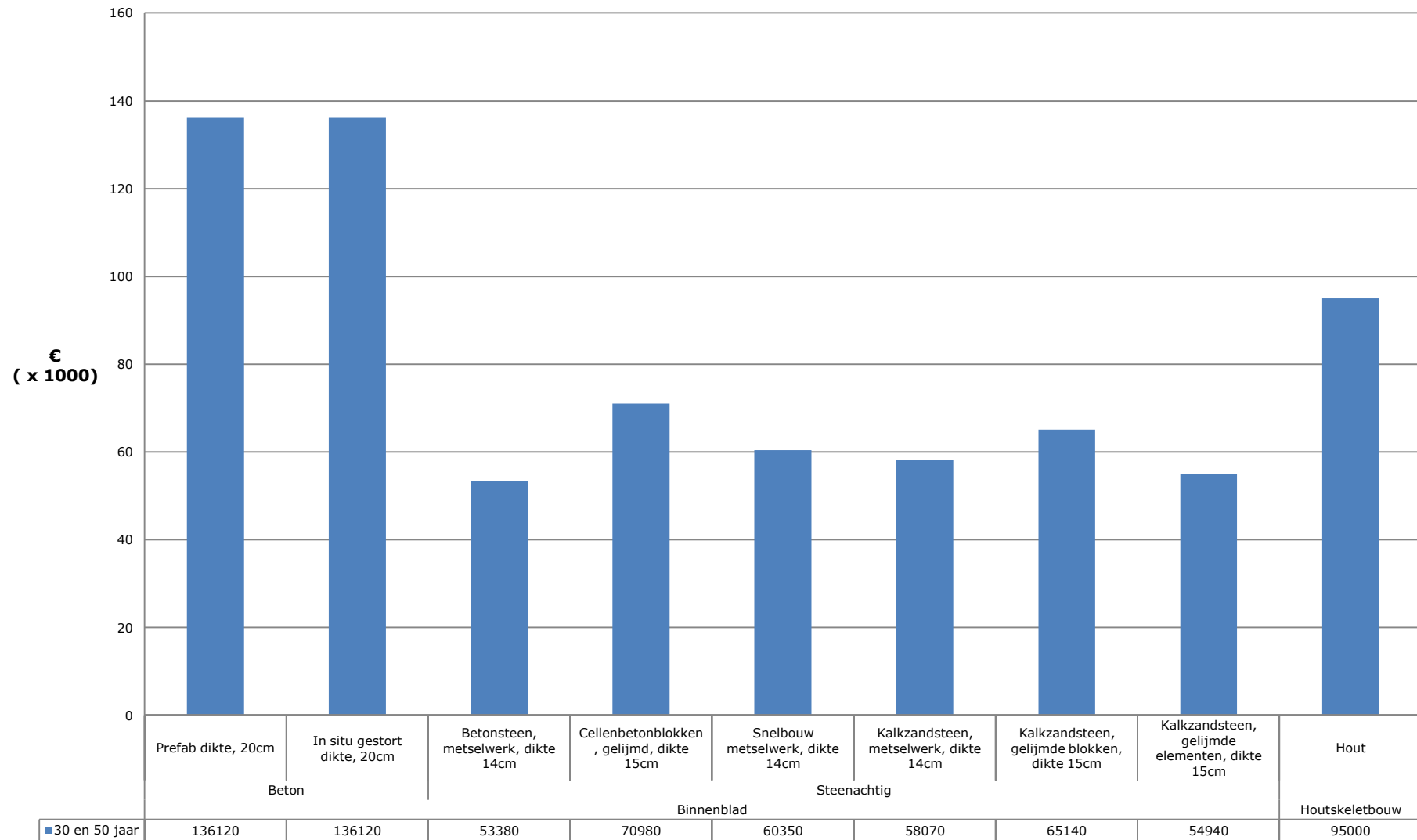
- Gevelbepoetsing (silicone)

7.3 Resultaten

7.3.1 Algemene kostprijs

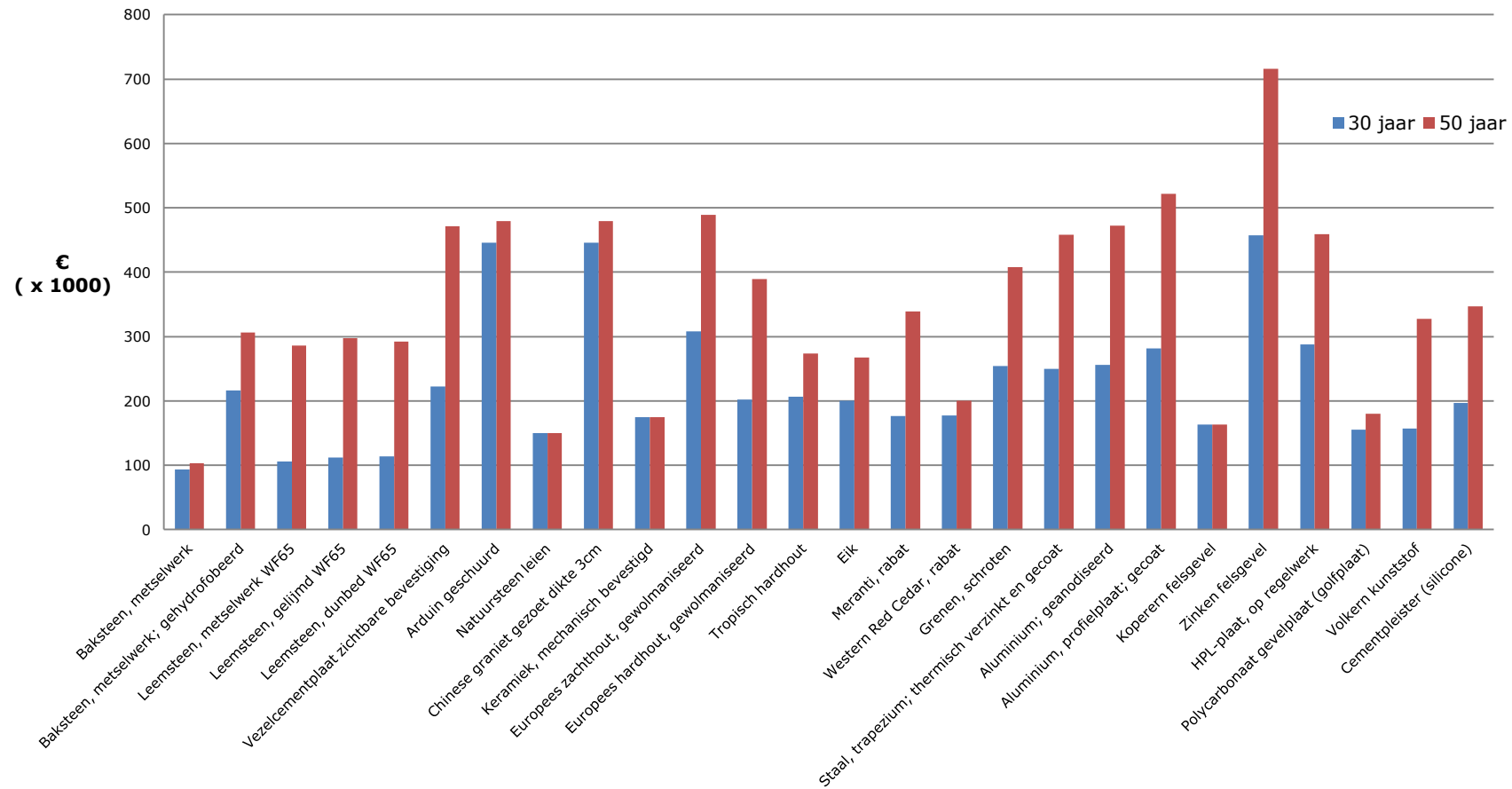
De hieronder vermelde grafieken geven de kostprijs van de verschillende soorten binnen- en buitenbladen voor 1000m² weer voor een termijn van 30 en 50 jaar. De kostprijs bevat alle kosten, dus zowel plaatsingskost als de onderhoudskosten. Met de grafieken kan er dus duidelijk aangetoond worden welke materiaalkeuze het meest economisch is voor de twee verschillende onderhoudstermijnen. De grafiek van het binnenblad maakt geen onderscheid tussen een onderhoudstermijn van 30 of 50 jaar omdat de levensduur van de materialen allemaal minimum 50 jaar is zonder extra onderhoud.

KOSTPRIJS BINNENBLAD



Figuur 40 Kostprijs binnenblad 1000m²

KOSTPRIJS BUITENBLAD



Figuur 41 Kostprijs buitenblad 1000m²

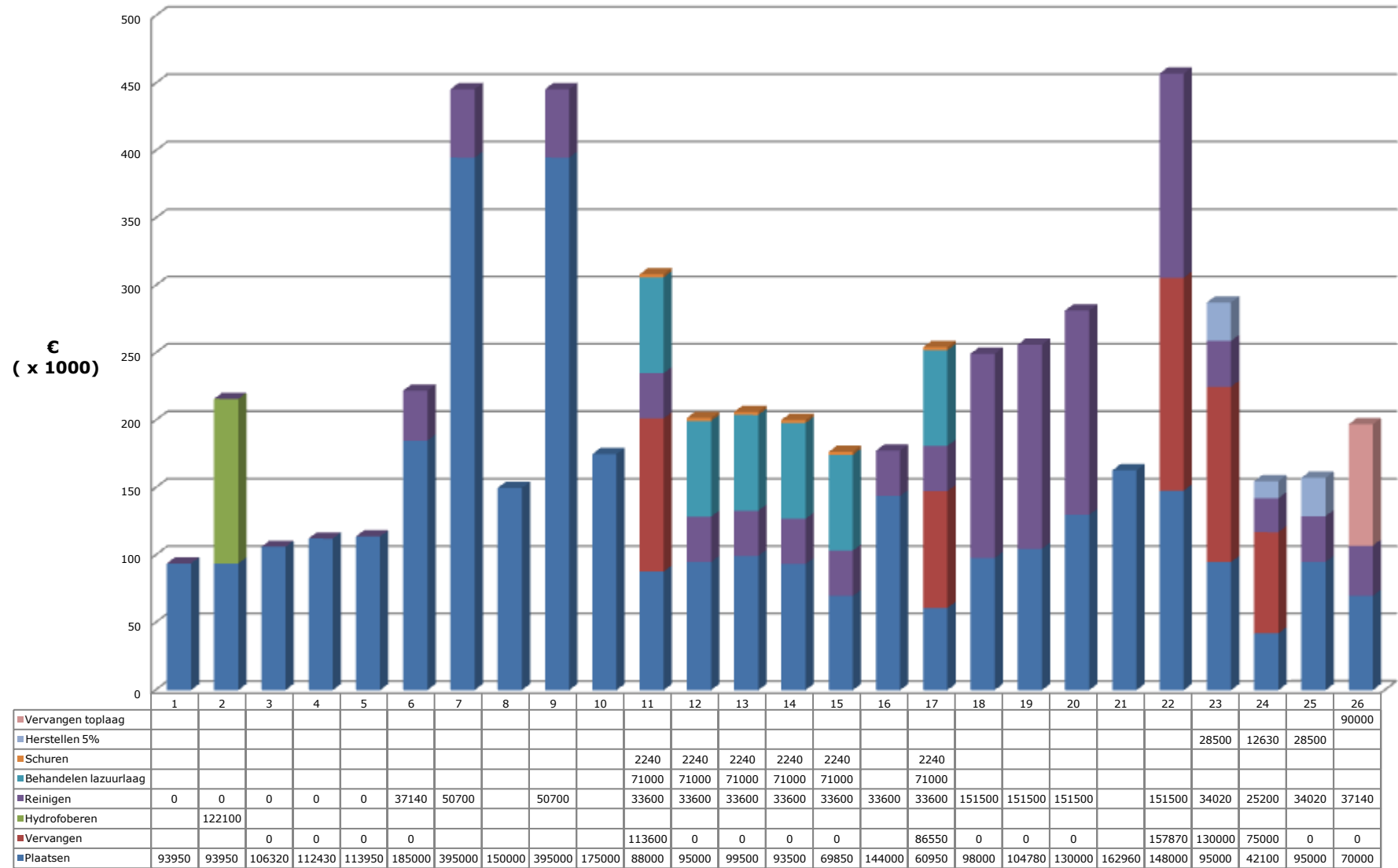
Er kan besloten worden dat betonsteen metselwerk de beste oplossing is voor het binnen blad en baksteen metselwerk voor het buitenblad voor zowel 30 als 50 jaar onderhoudstermijn. Een meer gedetailleerd overzicht per onderhoudstermijn staat in onderstaande grafieken beschreven

7.3.2 Gedetailleerde kostprijs per onderhoudstermijn

Tabel 15 Nummering buitenblad

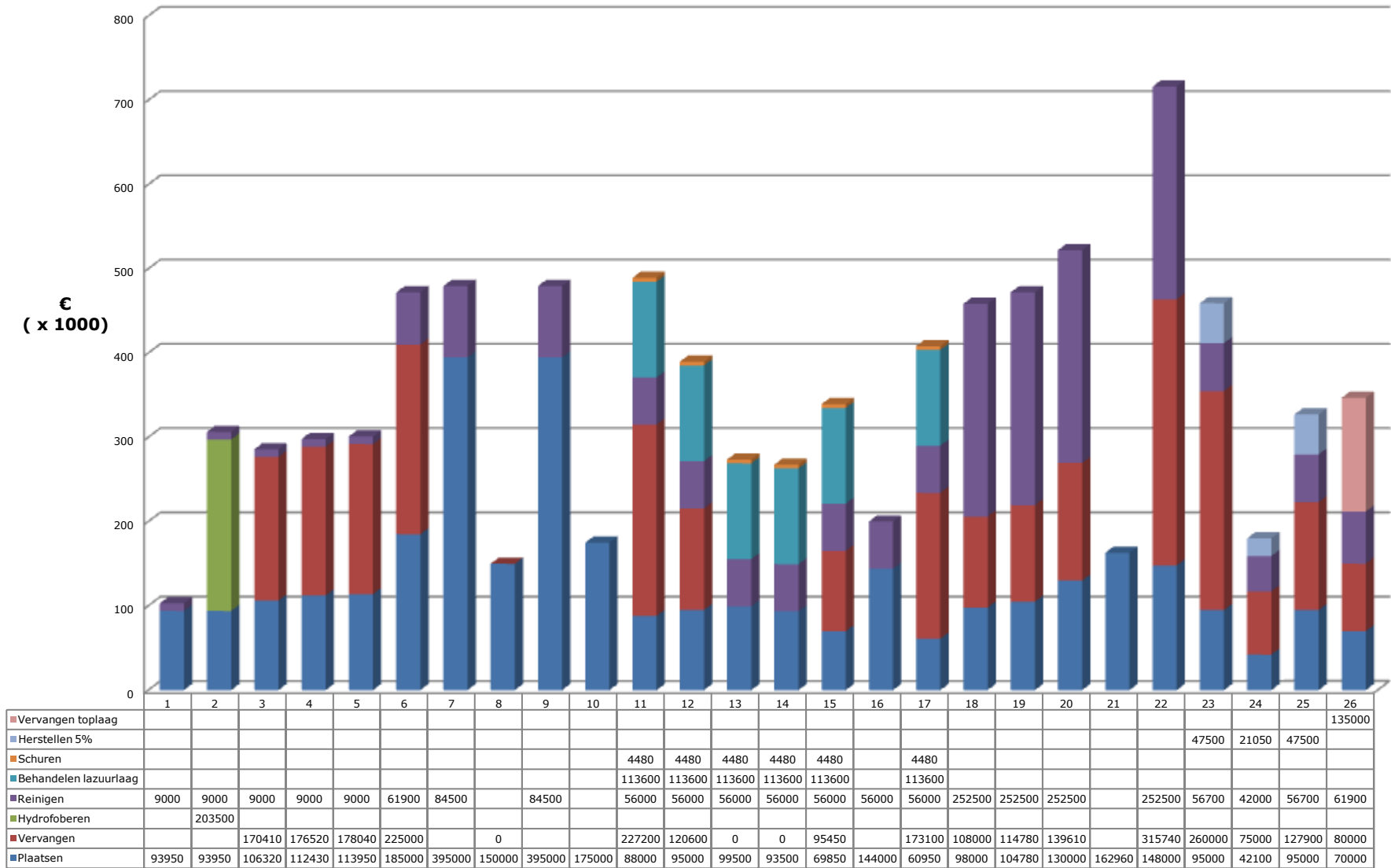
Materiaal	NR.	Productnaam
Steenachtig	1	Baksteen, metselwerk
	2	Baksteen, metselwerk; gehydrofobeerd
	3	Leemsteen, metselwerk WF65
	4	Leemsteen, gelijmd WF65
	5	Leemsteen, dunbed WF65
Beton		
Steen	6	Vezelcementplaat zichtbare bevestiging
Hout	7	Arduin geschuurd
	8	Natuursteen leien
	9	Chinese graniet gezoet dikte 3cm
	10	Keramik, mechanisch bevestigd
	11	Europees zachthout, gewolmaniseerd
Metaal	12	Europees hardhout, gewolmaniseerd
	13	Tropisch hardhout
	14	Eik
	15	Meranti, rabat
	16	Western Red Cedar, rabat
	17	Grenen, schroten
	18	Staal, trapezium; thermisch verzinkt en gecoat
Kunststof	19	Aluminium; geanodiseerd
	20	Aluminium, profielplaat; gecoat
	21	Koperen felsgevel
	22	Zinken felsgevel
Afwerkklagen	23	HPL-plaat, op regelwerk
	24	Polycarbonaat golfplaat
	25	Volkern kunststof
	26	Gevelpleister (silicone)

KOSTPRIJS BUITENBLAD (30 JAAR)



Figuur 42 Kostprijs buitenblad 1000m² (30 jaar)

KOSTPRIJS BUITENBLAD (50 JAAR)



Figuur 43 Kostprijs buitenblad 1000m² (50 jaar)

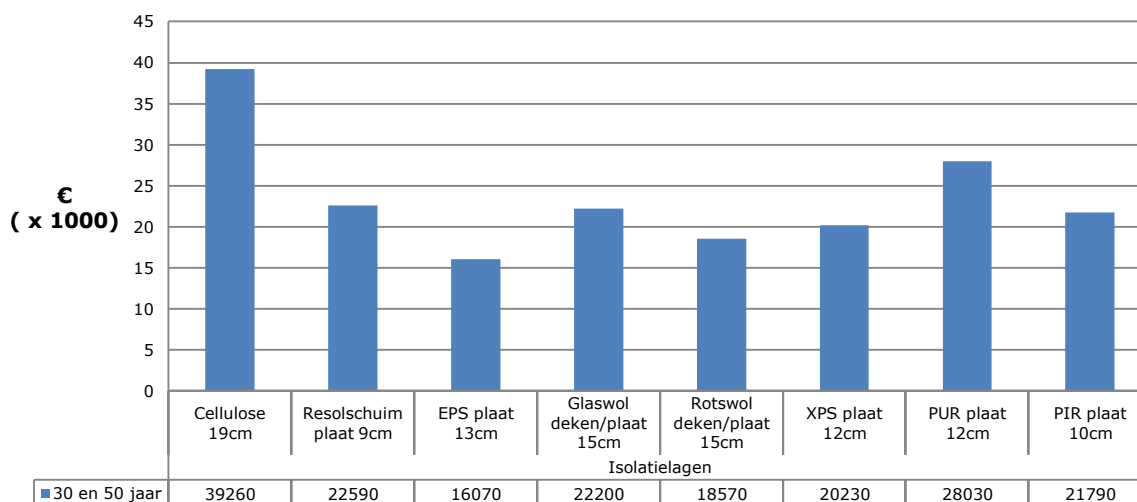
Opmerkingen

- Na controle blijkt dat de vervangingsprijs van Meranti, rabat gevelbekleding van Grontmij 41,55 €/m² te hoog is. De juiste vervangingsprijs is 95,45 €/m², deze is ook terug te vinden in de tabel in bijlage D.
- Na controle blijkt het dat de nieuwprijs van de vezelcementplaat van Grontmij 97 €/m² te laag is. De juiste nieuwprijs is 187 €/m², deze is ook terug te vinden in de tabellen.
- Een algemene opmerking die gemaakt kan worden is dat er voor elke gevelbekleding verschillende soorten beschikbaar zijn. Hierdoor kunnen sommige prijsverschillen verklaard worden.
- Arduin en Chinese graniet hebben een hoge plaatsingsprijs, maar weinig tot geen onderhoud nodig. Hierdoor zijn ze bij een onderhoudstermijn van 30 jaar een dure optie, maar bij 50 jaar al meer bij het gemiddelde.
- Leemsteen is een goedkoop alternatief bij 30 jaar onderhoudstermijn omdat het dan nog geen vervanging nodig heeft, maar bij 50 jaar is dit niet meer het geval omdat de gevelbekleding dan al eens vervangen moet worden.
- Baksteen metselwerk, keramiek, natuursteen leien en koper zijn bij 30 jaar onderhoudstermijn al een goede oplossing omdat ze geen onderhoud nodig hebben. Bij 50 jaar onderhoudstermijn zijn ze zelfs nog een betere oplossing omdat ze dan nog steeds geen onderhoud nodig hebben. Het zijn dus alle vier zeer duurzame materialen.
- Zinken felsgevel is een zeer dure oplossing omdat het een hoge plaatsingsprijs heeft en veel onderhoud vraagt. Zeker bij 50 jaar onderhoudstermijn is dit het slechtste alternatief.
- Algemeen kan besloten worden dat buitenbladen van gevels uit kwaliteitsvolle materialen bestaan waar niet snel onderhoud bij nodig is. Vooral bij 30 jaar onderhoudstermijn is dit zo, bij 50 jaar moet er wel bij verschillende materialen vervanging worden toegepast.

7.3.3 Isolatie

In onderstaande grafiek is er een overzicht gemaakt van de kostprijs van de isolatiematerialen van gevels. Er wordt hier geen onderscheid gemaakt tussen plaatsingskost, reiniging, vervanging etc. omdat de isolatiematerialen een levensduur hebben van minimum 75 jaar zonder onderhoud en er dus enkele gekeken moet worden naar de kost van de initiële plaatsing.

KOSTPRIJS GEVELISOLATIE



Figuur 44 Kostprijs gevelisolatie 1000m²

De EPS-plaat is duidelijk de meest economische keuze. Maar bij isolatiematerialen moet er uiteraard niet enkel gekeken worden naar de kostprijs, maar ook naar de dikte. Als er voldoende ruimte is kan er dus geopteerd worden voor EPS, maar indien de ruimte beperkt is, gaat EPS een te dikke wandopbouw creëren en kan er best gekozen worden voor een Resolschuim of PIR-plaat.

De uitgebreide gegevenstabellen kunnen teruggevonden worden in bijlage C, D en E.

7.4 Conclusie

7.4.1 30 jaar onderhoudstermijn

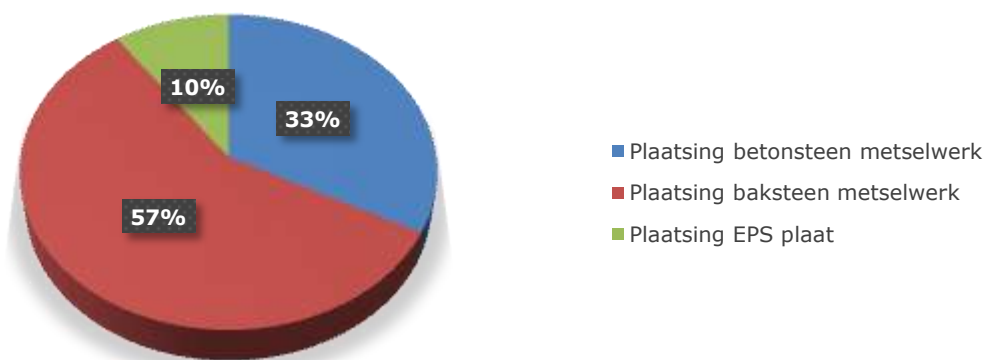
De meest economische oplossing voor een gevel is:

- betonsteen metselwerk,
- baksteen metselwerk,
- EPS plaat.

Tabel 16 Verdeling kosten 30 jaar gevel, beste optie 1000m²

Handeling	Kostprijs
Plaatsing betonsteen metselwerk	€ 53 380
Plaatsing baksteen metselwerk	€ 93 950
Plaatsing EPS plaat	€ 16 070

Totale kostprijs



Figuur 45 Verdeling kosten 30 jaar gevel, beste optie

7.4.2 50 jaar onderhoudstermijn

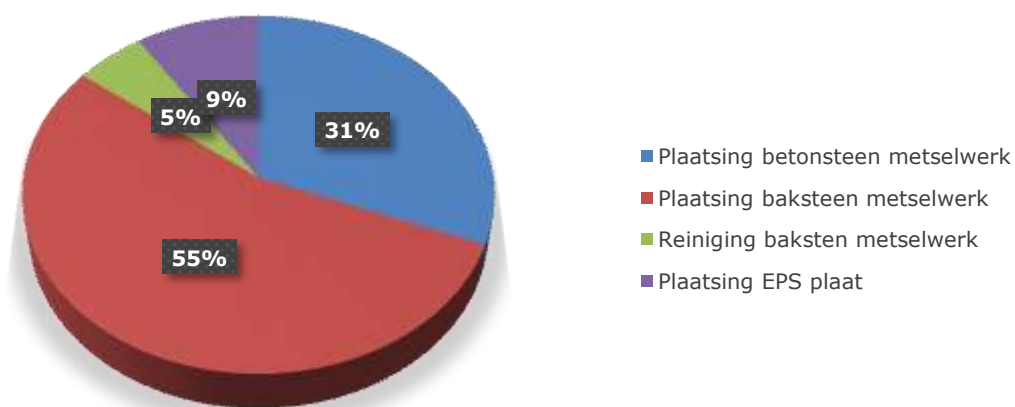
De meest economische oplossing voor een gevel is:

- betonsteen metselwerk,
- baksteen metselwerk,
- EPS plaat.

Tabel 17 Verdeling kosten 50 jaar gevel, beste optie 1000m²

Handeling	Cyclus (jaar)	Kostprijs
Plaatsing betonsteen metselwerk		€ 53 380
Plaatsing baksteen metselwerk		€ 93 950
Reiniging baksten metselwerk	35	€ 9 000
Plaatsing EPS plaat		€ 16 070

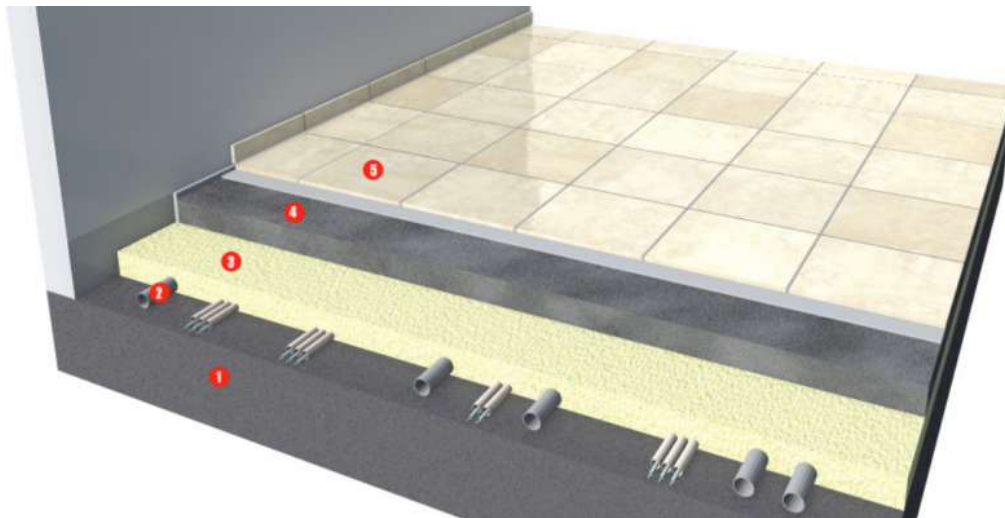
Totale kostprijs



Figuur 46 Verdeling kosten 50 jaar gevel, beste optie

8 Vloeren

8.1 Opbouw



Figuur 47 Opbouw vloer [54]

De bovenstaande afbeelding toont een voorbeeld van een standaard vloeropbouw. Een vloeropbouw kan heel verschillend zijn met diverse toepassingen. De meest voorkomende onderdelen zijn de draagvloer, isolatie, dekvloer (chape), afwerkingslaag en een elastische voeg.

Voor de materiaal- en ontwerpkeuze van de vloeren wordt er in dit onderzoek enkel vergeleken met de isolatie- en afwerkingssoorten. De draagstructuur, de tussenlagen en de uitvlaklaag van de vloer hebben geen grote invloed op de onderhoudskost en zijn dus niet relevant voor dit onderzoek. Voor de isolatie en de afwerkingslagen zijn er verscheidenen varianten die toegepast kunnen worden. De elastische voeg wordt ook mee in rekening genomen omdat deze ook regelmatig vervangen moet worden.

De volgende materialen zijn gekozen om in dit onderzoek te vergelijken op basis van kostprijs en levensduur. De materialen die gekozen zijn, worden het meest toegepast in België en zijn het meest relevant voor het onderzoek.

8.2 Materialen

8.2.1 Isolatie

Volgende soorten isolatie met bijhorende lambda waarde zijn gebruikt om het onderzoek in deze masterproef uit te voeren:

Tabel 18 Isolatie vloeren lambda waarden en dikte [50][51]

Materiaal	λ (W/m K)	Dikte (cm)
EPS	0,031	10,3
XPS	0,029	9,7
PUR	0,029	9,7
PIR	0,023	7,7
Cellulair glasplaat	0,038	12,7
Gespoten PUR	0,030	10,0

De diktes van de isolatie zijn bepaald volgens de huidige EPB norm wat betreft de thermische isolatie van de woning. Sinds 2015 is de maximum toelaatbare U-waarde van de buitenwand 0,30 m²K/W. [39] Elk isolatiemateriaal kan in verschillende varianten voorkomen, afhankelijk van de fabrikant. Bijgevolg kan de lambda waarden variëren.

8.2.2 Vloerafwerkingen

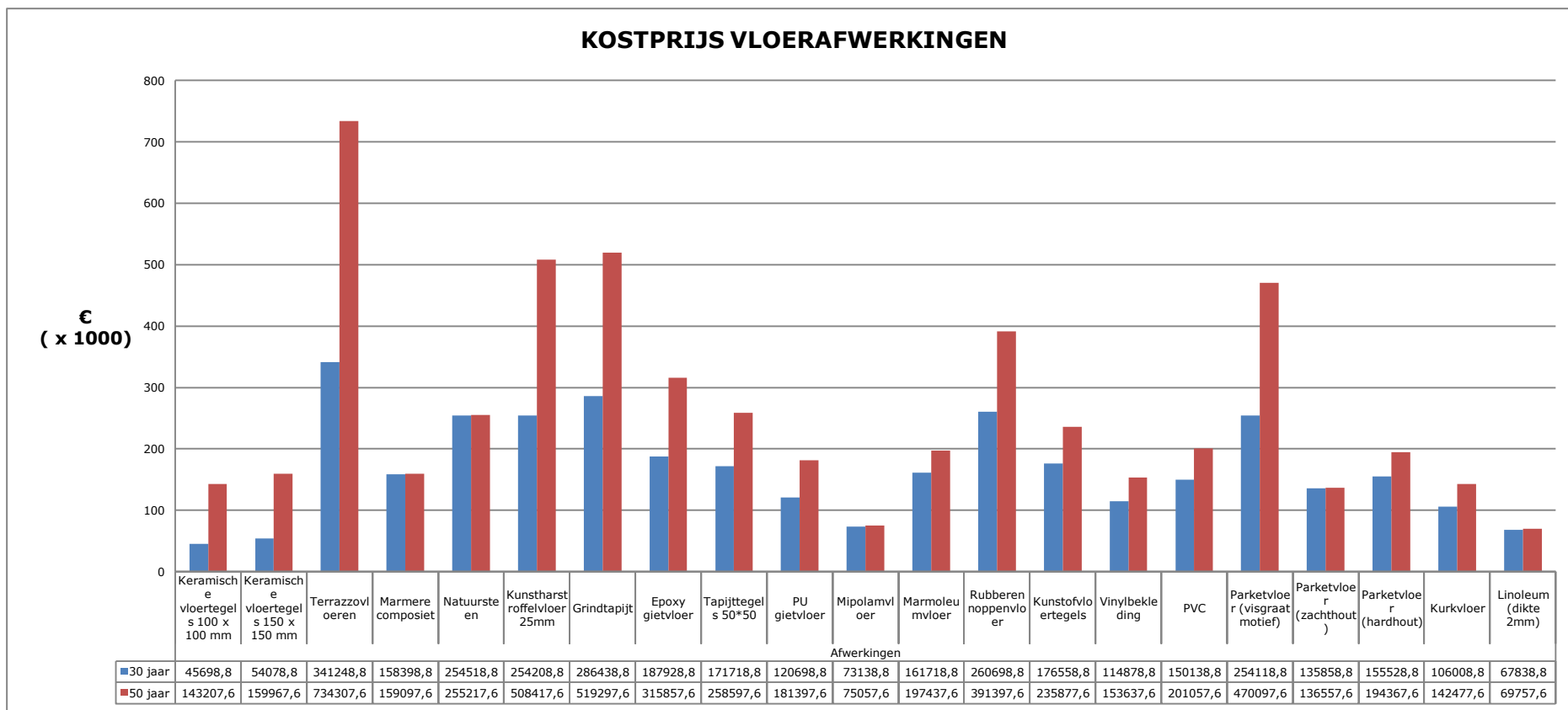
Volgende soorten vloerafwerkingen zijn gebruikt om het onderzoek in deze masterproef uit te voeren:

- keramische vloertegels,
- terrazzovloer,
- marmere composiet,
- natuursteen,
- kunstharstroffelvloer,
- grindtapijt,
- epoxy gietvloer,
- tapijttegels,
- PU gietvloer,
- mipolam,
- marmoleum,
- rubberen noppen,
- kunststofvloertegels,
- vinyl,
- PVC,
- parket,
- kurk,
- linoleum.

8.3 Resultaten

8.3.1 Algemene kostprijs

Onderstaande grafiek geeft de kostprijs van de verschillende vloerafwerkingen voor 1000m² weer voor een termijn van 30 en 50 jaar. De kostprijs bevat alle kosten, dus zowel plaatsingskost als de onderhoudskosten. Met de grafiek kan er dus duidelijk aangetoond worden welke materiaalkeuze het meest economisch is voor de twee verschillende onderhoudstermijnen.

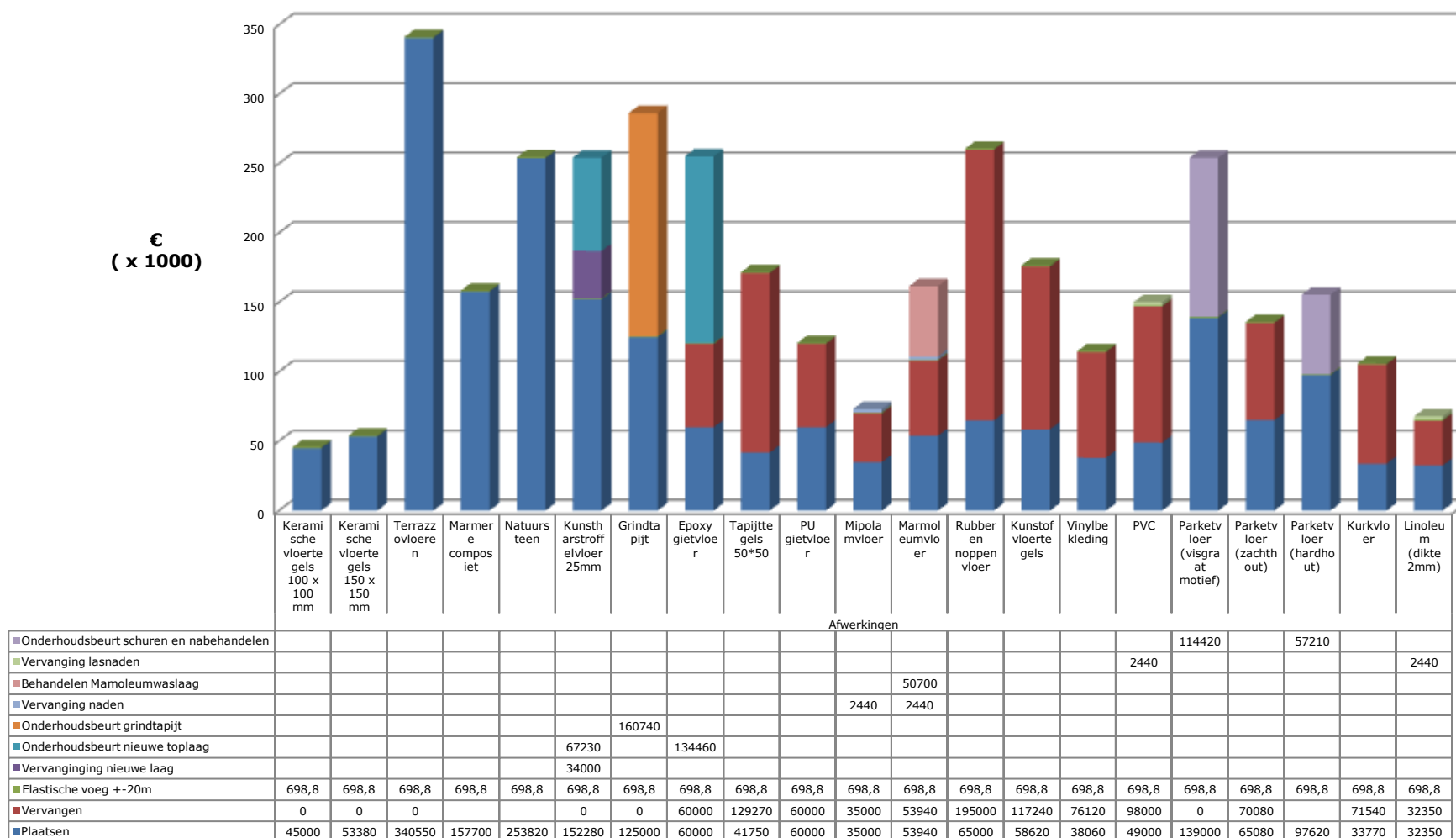


Figuur 48 Kostprijs vloerafwerkingen en bekledingen 1000m²

Er kan besloten worden dat voor 30 jaar onderhoudstermijn keramische vloertegels de beste oplossing zijn en voor 50 jaar linoleum vloer. Een meer gedetailleerd overzicht per onderhoudstermijn staat in onderstaande grafieken beschreven.

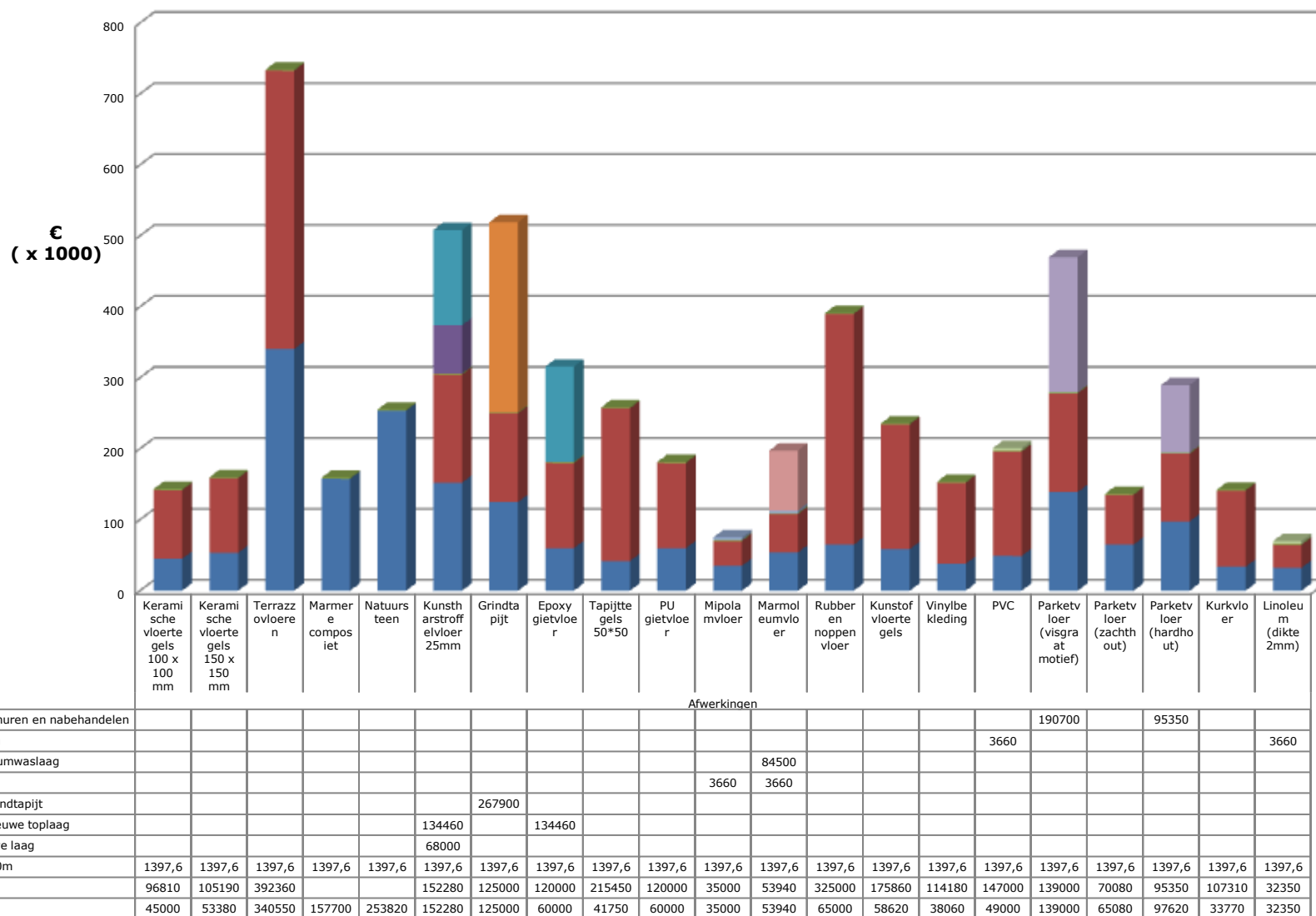
8.3.2 Gedetailleerde kostprijs per onderhoudstermijn

KOSTPRIJS VLOERAFWERKINGEN (30 JAAR)



Figuur 49 Kostprijs vloerafwerkingen en bekledingen 1000m² (30 jaar)

KOSTPRIJS VLOERAFWERKINGEN (50 JAAR)



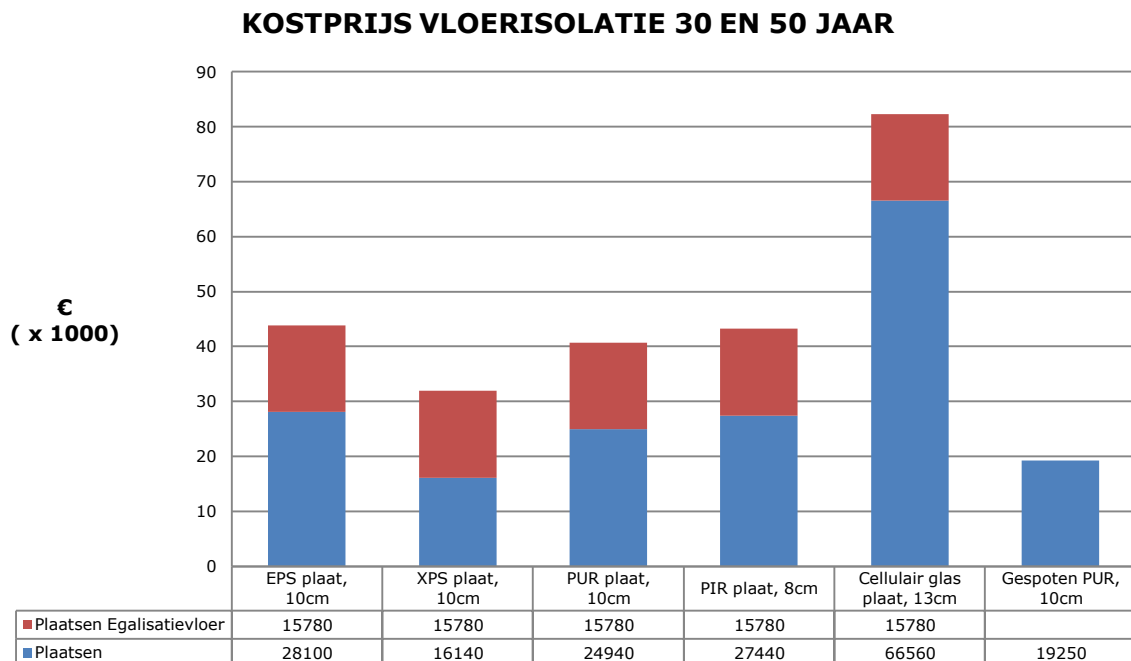
Figuur 50 Kostprijs vloerwerken en bekledingen 1000m² (50 jaar)

Opmerking

- Indien er gekozen wordt voor isolatieplaten moet er een extra egalisatievloer voorzien worden zodat de platen vlak liggen en goed op elkaar aansluiten. Dit brengt een extra kost met zich mee van 15,78 €/m². Bij gespoten PUR isolatie is dit niet nodig omdat één geheel vormt en makkelijk vlak te krijgen is.
- Terrazzovloeren zijn de duurste optie omdat deze een hoge plaatsingskost hebben en bij 50 jaar onderhoudstermijn zelfs nog eens vervangen moeten worden.
- Keramische vloertegels zijn een goede keuze bij 30 jaar onderhoudstermijn omdat ze in deze termijn niet vervangen moeten worden. Bij 50 jaar moet er wel een vervanging voorzien worden en deze is het dubbel van de plaatsingskost. Bij 50 jaar onderhoudstermijn is dit dus niet meer de beste oplossing.
- Marmer en natuursteen zijn dure opties bij onderhoudstermijn van 30 jaar omdat het een duur materiaal is, maar het zijn kwaliteitsvolle materialen die geen onderhoud nodig hebben. Bij 50 jaar zijn deze opties al een stuk voordeliger omdat er geen extra kost bijkomt.

8.3.3 Isolatie

In onderstaande grafiek is er een overzicht gemaakt van de kostprijs van de isolatiematerialen voor de vloeren. Er wordt hier geen onderscheid gemaakt tussen plaatsingskost, reiniging, vervanging etc. omdat de isolatiematerialen een levensduur hebben van minimum 75 jaar zonder onderhoud en er dus enkele gekeken moet worden naar de kost van de initiële plaatsing. Zoals eerder vermeld, moet er bij isolatieplaten wel nog een extra kost worden toegevoegd van een egalisatievloer zodat de platen vlak liggen en goed op elkaar aansluiten.



Figuur 51 Kostprijs vloerisolatie 30 en 50 jaar 1000m²

Gespoten PUR is duidelijk de meest economische keuze, vermits hier geen egalisatievloer nodig is. Als er rekening gehouden wordt met de extra dikte van de egalisatievloer, is gespoten PUR ook nog eens de isolatie met de kleinste dikte.

De uitgebreide gegevenstabel kan teruggevonden worden in bijlage F.

8.4 Conclusie

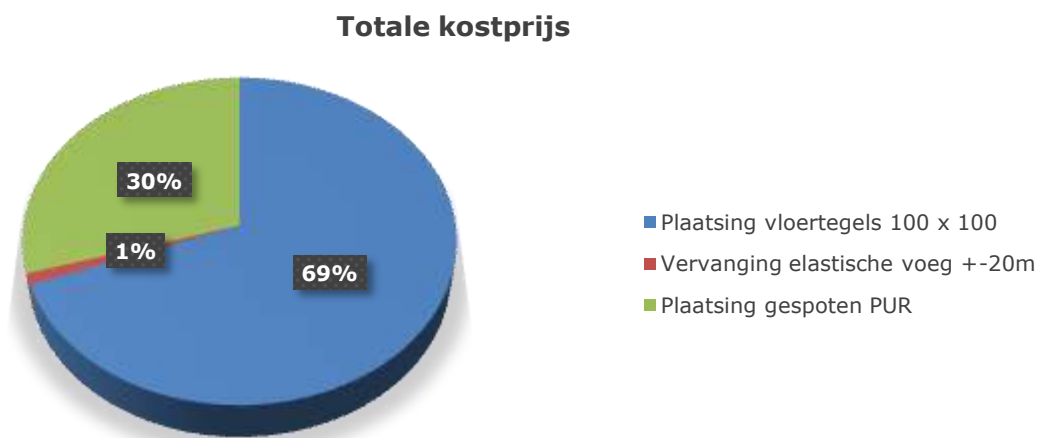
8.4.1 30 jaar onderhoudstermijn

De meest economische oplossing voor een vloer is:

- keramische vloertegels,
- gespoten PUR.

Tabel 19 Verdeling kosten 30 jaar vloer, beste optie 1000m²

Handeling	Cyclus (jaar)	Kostprijs
Plaatsing Keramische vloertegels 100 x 100		€ 45 000
Vervanging elastische voeg +-20m	12	€ 699
Plaatsing gespoten PUR		€ 19 250



Figuur 52 Verdeling kosten 30 jaar vloer, beste optie

8.4.2 50 jaar onderhoudstermijn

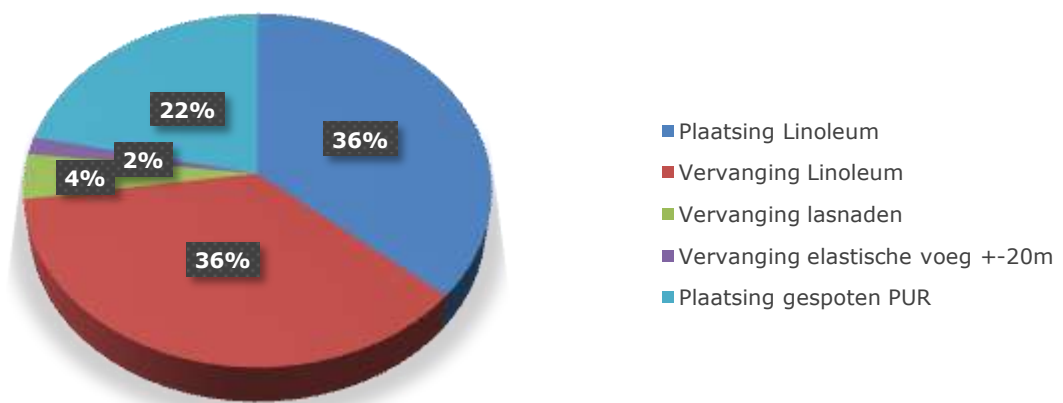
De meest economische oplossing voor een vloer is:

- linoleum,
- gespoten PUR.

Tabel 20 Verdeling kosten 50 jaar vloer, beste optie 1000m²

Handeling	Cyclus (jaar)	Kostprijs
Plaatsing Linoleum		€ 32 350
Vervanging Linoleum	30	€ 32 350
Vervanging lasnaden	15	€ 3 660
Vervanging elastische voeg +-20m	12	€ 1 398
Plaatsing gespoten PUR		€ 19 250

Totale kostprijs



Figuur 53 Verdeling kosten 50 jaar vloer, beste optie

9 Case study

De case study die behandeld wordt, gaat over de nieuwbouw voor het Vrij Innovatief Interactief Onderwijs in Tongeren, ook wel het VIIIO genoemd. Dit project wordt gerealiseerd door een samenwerking tussen de bouwbedrijven Kumpen en Cordeel.

Het gaat over de nieuwbouw van 6.674 m² klas- en vaklokalen, refter en technische ruimte en een sportzaal van 1.574m². In het project zit ook de aanleg van omgevingswerken waarvan 1.000 m² overdekte speelplaats, een open speelplaats van 1.500 m² en parkeerruimte van 2.420 m².

Dit project behoort tot de groep van SVM en wordt uitgevoerd volgens de dBM-formule waarbij de aannemer, naast de bouw, ook instaat voor het onderhoud gedurende 30 jaar. Het VIIIO bevindt zich in de Sint-Truidersteenweg 17 in Tongeren.

[27][28]



Figuur 54 VIIIO Tongeren [27]

Naam: VIIIO

Locatie: Tongeren

Opdrachtgever: NV DBFM Scholen van Morgen

Architect: ELD/CPA Scholenbouw THV

Periode: in uitvoering

Grootte: 6.674 m²

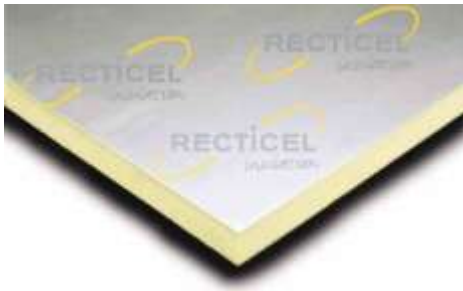
9.1 Materialen

9.1.1 Plat dak

Voor de opbouw van het plat dak kijken we enkel naar de keuze van isolatie en dakbedekking. De draagconstructie is niet van toepassing voor de vergelijking vermits deze geen onderhoud nodig heeft en er dus enkel moet gekeken worden naar de plaatsingskost en de toepassingsmogelijkheden. De gekozen dakisolatie voor het VIIIO in Tongeren is een PIR-plaat van 8 cm met een lambda waarde van 0,023 W/m K. De gekozen dakbedekking is een EPDM-dakfolie van 1,25 mm.



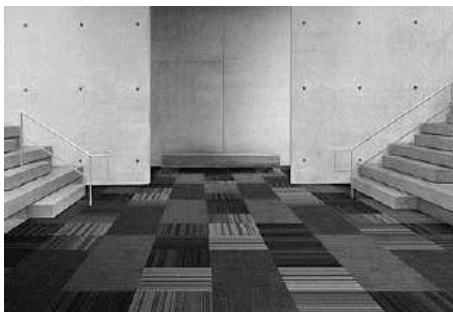
Figuur 55 EPDM dakbedekking [44]



Figuur 56 PIR-plaat [43]

9.1.2 Vloer

Bij de vloeropbouw kijken we om dezelfde reden ook enkel naar de isolatie en de vloerafwerking. Voor de isolatie is er gekozen voor gespoten PUR van 10 cm. Er zijn drie verschillende vloerafwerkingen in het gebouw, namelijk: keramische vloertegels, PU-gietvloer en tapijttegels.



Figuur 57 Tapijttegel [42]



Figuur 58 Keramische tegel [42]



Figuur 59 Gespoten PUR [45]



Figuur 60 PU gietvloer [46]

9.1.3 Gevel

De draagconstructie van de gevel, het binnenblad, bestaat uit metselwerk van betonstenen van 19 cm dik. De isolatie is een PIR-plaat van 10 cm met een lambda van 0,021 W/m K. Voor het buitenblad zijn er twee soorten. De eerste is metselwerk uit baksteen met afmeting 188 x 88 x 48. Hiervan zijn er twee soorten, namelijk één met een glad oppervlakte en een ander met grof oppervlakte. Dit laatste is enkel esthetisch belangrijk dus bij de vergelijking wordt hier geen onderscheid in gemaakt. De tweede toepassing is aluminium gevelbekleding van 0,75 mm dik.



Figuur 61 Aluminium gevelbekleding [48]



Figuur 62 Buitenblad baksteen [42]

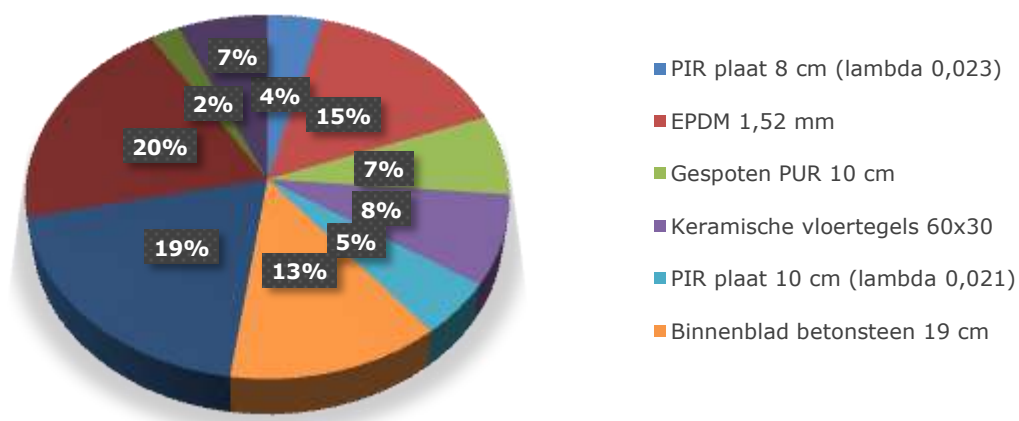


Figuur 63 Binnenblad betonsteen [49]

Tabel 21 Gegevens bestaande opbouw VIIIO

	Cyclus (jaar)	Hoeveelheid	Eenheid	Eenheidsprijs	Totaal 30 jaar [€]
Plat dak					
PIR plaat 8 cm (lambda 0,023)					€ 27 573,23
Plaatsing		822,10	m ²	33,54 €	27 573,23
EPDM 1,52 mm					€ 102 521,60
Plaatsing		822,10	m ²	36,00 €	29 595,60
Vervanging	30	822,10	m ²	60,00 €	49 326,00
Inspectie + reiniging	0,5	1	FH	400,00 €	23 600,00
Vloer					
Gespoten PUR 10 cm					€ 48 340,32
Plaatsing		2894,63	m ²	15,93 €	46 111,46
Schuren		2894,63	m ²	0,77 €	2 228,87
Keramische vloertegels 60x30					€ 54 539,48
Plaatsing		1623,74	m ²	32,89 €	53 404,81
Vervanging elastische voeg	12	32,47	m	17,47 €	1 134,67
PU gietvloer					€ 132 352,27
Plaatsing		1096,55	m ²	60,00 €	65 793,00
Vervanging	20	1096,55	m ²	60,00 €	65 793,00
Vervanging elastische voeg	12	21,93	m	17,47 €	766,27
Tapijttegels 50x50					€ 14 912,83
Plaatsing		174,34	m ²	41,75 €	7 278,70
Vervanging	20	174,34	m ²	43,09 €	7 512,31
Vervanging elastische voeg	12	3,49	m	17,47 €	121,83
Gevel					
PIR plaat 10 cm (lambda 0,021)					€ 32 638,41
Plaatsing		1485,59	m ²	21,97 €	32 638,41
Binnenblad betonsteen 19 cm					€ 88 435,05
Plaatsing		1607,91	m ²	55,00 €	88 435,05
Buitenblad baksteen 288x88x48					€ 131 680,32
Plaatsing		1401,60	m ²	93,95 €	131 680,32
Aluminium wandbekleding 0,75 mm					€ 44 611,60
Plaatsing		440,00	m ²	96,34 €	42 389,60
Reiniging	1	440,00	m ²	5,05 €	2 222,00
					€ 677 605,12

Totale kostprijs 30 jaar



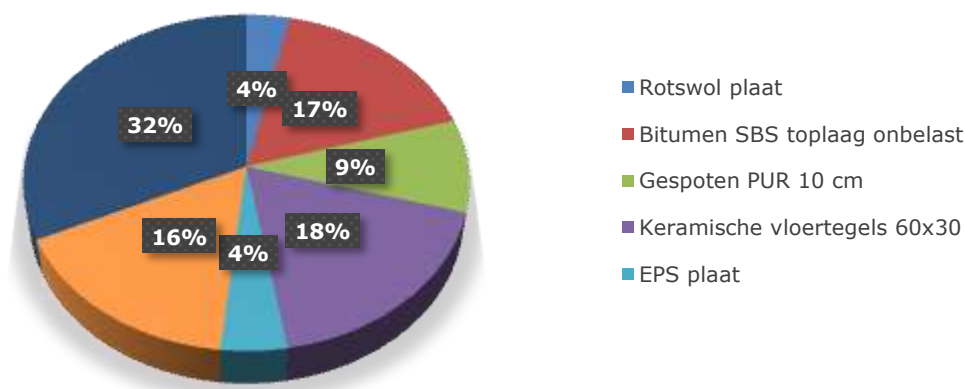
Figuur 64 Verdeling kosten VIIO 30 jaar

9.2 Alternatieve materialen

Tabel 22 Gegevens alternatief VIIO

	Cyclus (jaar)	Hoeveelheid	Eenheid	Eenheidsprijs	Totaal 30 jaar [€]
Plat dak					
Rotswol plaat				€	18 661,67
Plaatsing		822,10	m ²	22,70	€ 18 661,67
Bitumen SBS toplaag onbelast				€	91 941,17
Plaatsing		822,10	m ²	23	€ 18 908,30
Vervanging	30	822,10	m ²	60,13	€ 49 432,87
Inspectie + reiniging	0,5	1	FH	400,00	€ 23 600,00
Vloer					
Gespoten PUR 10 cm				€	48 340,32
Plaatsing		2894,63	m ²	15,93	€ 46 111,46
Schuren		2894,63	m ²	0,77	€ 2 228,87
Keramische vloertegels 60x30				€	97 227,15
Plaatsing		2894,63	m ²	32,89	€ 95 204,38
Vervanging elastische voeg	12	57,89	m	17,47	€ 2 022,77
Gevel					
EPS plaat				€	23 873,43
Plaatsing		1485,59	m ²	16,07	€ 23 873,43
Binnenblad betonsteen 19 cm				€	88 435,05
Plaatsing		1607,91	m ²	55,00	€ 88 435,05
Buitenblad baksteen 288x88x48				€	173 018,32
Plaatsing		1841,60	m ²	93,95	€ 173 018,32
					€ 541 497,11

Totale kostprijs 30 jaar



Figuur 65 Verdeling kosten alternatief VIIIO 30 jaar

9.3 Vergelijking

Voor de vergelijking van de kostprijs van de materialen van de bestaande opbouw en die van de voorgestelde alternatieven hebben we telkens de kostprijs van 1000m² oppervlakte vergeleken zodat de hoeveelheden hetzelfde zijn.

Een groot deel van de gekozen materialen bij het VIIIO waren de meest economische keuze. Echter een deel van de materiaalsoorten kunnen vervangen worden door goedkopere alternatieven. Door toepassing van deze vervangingen kan er op het totaal bedrag van gevel, vloer en dak met 30 jaar onderhoudstermijn € 136.108 bespaard worden. Hieronder een overzicht van de materialen en het voordeliger alternatief:

plat dak:

- PIR-plaat → rotswol plaat,
- EPDM → bitumen SBS.

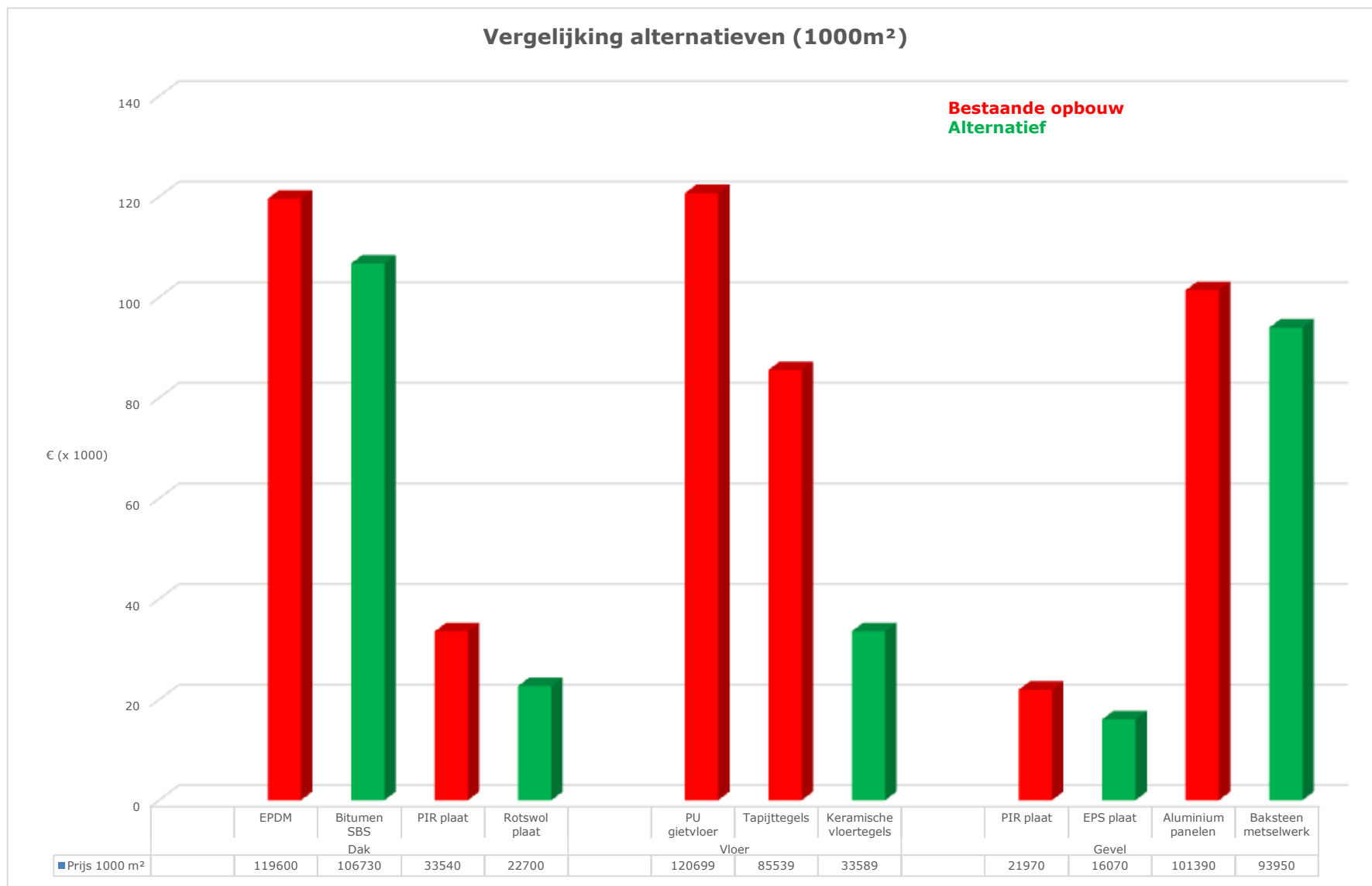
vloer:

- PU-gietvloer → keramische tegels,
- tapijttegels → keramische tegels.

gevel:

- PIR-plaat → EPS-plaat,
- aluminium panelen → baksteen metselwerk.

Er zijn natuurlijk, buiten het economische aspect, ook andere redenen voor een bepaalde materiaalkeuze. De keuze van de PU-gietvloer is wellicht omdat de sporthal deze vloerafwerking nodig heeft en deze gewoon verder getrokken wordt naar de gang en de kleedkamers. De tapijttegels zijn waarschijnlijk gekozen om een betere akoestiek te verkrijgen en om een huishoudelijke, warmere sfeer te creëren. De keuze voor de aluminium gevelpanelen is wellicht voor esthetische redenen, om wat variatie te hebben in de gevelbekleding. Onderstaande grafiek stelt een grafische vergelijking voor van de kostprijs van de bestaande materiaalkeuzen en het alternatief.



Figuur 66 Vergelijking alternatieven VIIO 1000m²

10 Besluit

10.1 Conclusie

De belangrijkste conclusie van dit onderzoek is dat er voldoende voorbereidingstijd voorzien moet worden bij projecten die werken op basis van een geïntegreerde aanpak met een onderhoudstermijn waarvan de verantwoordelijkheid bij de aannemer ligt. De keuze van de juiste materialen vergt namelijk veel opzoekings- en vergelijkingswerk. Er is ook gebleken dat dit bij het DBM-concept van Scholen van Morgen niet altijd het geval is. Het is op basis van het theoretische onderzoek in het eindwerk duidelijk dat bij het VIIO in Tongeren (case study) de kostprijs verminderd had kunnen worden met de keuze van andere, economisch optimalere materialen. Ook bij het werfbezoek bij het VIIO werd er door de projectleiding duidelijk aangegeven dat er te weinig voorbereidingstijd was om een bondige voorstudie te maken.

De maatgevende factor bij gelijkaardige projecten is de levensduur van het materiaal. De levensduur bepaalt of er tijdens het gekozen onderhoudstermijn een vervanging van het materiaal moet gebeuren. De kost van vervanging kan hoog oplopen en is bij de meeste gevallen duurder dan de plaatsing zelf omdat er ook afbraakwerken moeten gebeuren. Bij platte daken kan het zelfs zijn dat er technische installaties of dergelijke verwijderd en teruggeplaatst moeten worden. Bij hellende daken kunnen dit zonnepanelen zijn. Hierdoor kan de vervangingskost hoog oplopen en is het vaak beter om te kiezen voor materialen die de volledige onderhoudstermijn meegaan.

In dit onderzoek zijn de prijzen, levensduren en materialen bepaald voor een algemeen middelgroot project. Uiteraard zijn deze waarden afhankelijk van project tot project. De prijzen hangen af van de grootte van een project, de bereikbaarheid, gekozen fabrikant voor een materiaal... Er is getracht gebruik te maken van algemene richtprijzen voor een middelgroot project dat makkelijk bereikbaar is. Ook de levensduren en materiaalkeuzen zijn afhankelijk van de locatie waar het project gesitueerd is. De weersomstandigheden zijn namelijk van invloed op de levensduur. Er moet bijvoorbeeld ook afhankelijk van de windbelasting gekozen worden voor een belast of onbelast plat dak. Dit onderzoek geeft dus een bondige vergelijking, maar mag zeker niet letterlijk overgenomen worden voor elk project.

Het onderzoek houdt bij daken en vloeren enkel rekening met de isolatie en de afwerkingslagen. De draagstructuur en tussenlagen hebben een levensduur van 75+ en vragen dus geen onderhoud. De keuze hierbij hangt ook meer af van de belastingen die optreden en de toepassingsmogelijkheden. Bij de gevel wordt enkel de binnenwand, isolatie en buitenwand in rekening gebracht. Uiteindelijk kan er besloten worden wat de meest economisch materiaalkeuzen zijn voor de twee onderhoudstermijnen:

Tabel 23 Conclusie meest economische materiaalkeuzen

	30 jaar onderhoudstermijn	50 jaar onderhoudstermijn
Plat dak	bitumen SBS-toplaag	PVC-dakbekleding
	rotswol plaat	rotswol plaat
Hellend dak	betonnen dakpannen	keramische dakpannen
	glaswol	glaswol
Gevel	betonsteen metselwerk	betonsteen metselwerk
	EPS-plaat	EPS-plaat
	baksteen metselwerk	baksteen metselwerk
Vloer	vloertegels	linoleum
	gespoten PUR	gespoten PUR

10.2 Vooruitblik verder onderzoek

Er is nog voldoende ruimte om het onderzoek van deze masterproef uit te breiden. Zo kan er een vergelijking van de materialen gemaakt worden van andere en meer bouwonderdelen. Er kunnen per materiaalsoort ook meerdere alternatieven besproken worden vermits elk materiaal in verschillende varianten kan voorkomen.

Dit onderzoek is vooral uit het standpunt van de aannemer bekeken. Hierdoor werd de vergelijking opgesteld voor 30 en 50 jaar onderhoudstermijn omdat dit het meest relevant is. Maar het zou ook nuttig zijn om meer op basis van de milieu-impact materialen te kiezen. Zo kan er een project opgesteld worden dat meer ecologisch dan economisch verantwoord is.

Er zou meer wetenschappelijk onderzoek gedaan kunnen worden naar de levensduren van de materialen vermits dit de belangrijkste factor is in het onderzoek. De waarden die bekend zijn van levensduren en in dit onderzoek worden toegepast, komen voornamelijk uit de praktijkervaring. Dit is zeker niet negatief, maar het zou interessant zijn om meer objectieve, wetenschappelijke waarden te bekomen.

De twee topics BIM (Building Information Modeling) en DBM (Design, Build en Maintain) zijn aan hun opmars bezig en gaan in de toekomst meer en meer toegepast worden. De koppeling van het BIM-bestand en de materiaalkeuzen zou van in het begin kunnen gebeuren zodat er al meteen een onderhoudsplan opgesteld kan worden. Het BIM-bestand kan door elke partij gebruikt worden zodat deze meteen alle informatie bezitten en eventueel aanpassingen kunnen doen. Deze aanpassingen worden dan automatisch op alle vlakken aangepast. Een goede combinatie van het BIM en de aanduiding van de materialen hierbij zou veel efficiënter werken bij een project.

Bibliografie

- [1] WTCB, „De milieu-impact van bouwmaterialen en gebouwen - Available: http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=WTCB_Tijdschrift_2001_4_p3.pdf&lang=nl. [Geopend Februari 2015].
- [2] WTCB, „www.lirias.kuleuven.be,” Mei 2010. [Online]. Available: <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/286344/1/2010-05-18+ALBON+Bouwconceptenoppervlakedelfstoffen+duurzaamheid.pdf>. [Geopend Februari 2015].
- [3] K.U. Leuven, „Sustainability, Financial and Quality Evaluation of Dwelling types (SuFiQuaD),” 2012.
- [4] WTCB, „Levenscyclusanalyse-. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=64&lang=nl#more4>. [Geopend Februari 2015].
- [5] WTCB, „PPS Scholenbouw - Life cycle cost - Case study Onderhoudskosten,” 2010.
- [6] MSc Thesis, *The Success of Systems Engineering in Dutch Public Private Partnerships*, 2013.
- [7] Vlaams kenniscentrum PPS, „DBFM handboek,” Brussel, 2008.
- [8] J. Steenackers, *Aspects of modern management of office buildings*.
- [9] INCOSE, „www.incose.nl,” [Online]. Available: <https://www.incose.nl/kenniscentrum/intro-systems-engineering>. [Geopend Februari 2015].
- [10] Defense acquisition university press fort belvoir Virginia, *Systems engineering fundamentals*, Virginia, 2001.
- [11] Kenniscentrum PPS, *DBFM handboek*, 2005.
- [12] Vlaams kenniscentrum PPS, „www2.vlaanderen.be,” [Online]. Available: http://www2.vlaanderen.be/pps/PPS/pps_definitie.html. [Geopend Februari 2015].
- [13] Vlaams kenniscentrum PPS, „www2.vlaanderen.be,” [Online]. Available: http://www2.vlaanderen.be/pps/documenten/PPS_DBM.pdf. [Geopend Februari 2015].
- [14] Vlaamse confederatie bouw, „www.wegenbouw.be,” [Online]. Available: <http://ww0.wegenbouw.be/nieuwsbrief/2009/editie06/dbfm.pdf>. [Geopend Februari 2015].
- [15] K.U. Leuven, „www.kuleuven.be,” 2008. [Online]. Available: <http://www.kuleuven.be/traffic/dwn/E2008A.pdf>. [Geopend Februari 2015].
- [16] Noordhoff Uitgevers: risicomangement, „www.eboektekoop.nl,” 2012. [Online]. Available: http://www.eboektekoop.nl/cms/inkijk/9789001843816_h1.pdf. [Geopend Februari 2015].
- [17] CROW, „www.crow.nl,” [Online]. Available: http://www.crow.nl/getmedia/1e4212fe-a7a0-4940-b02c-68872a6f85aa/RISMAN_toelichting.aspx. [Geopend Februari 2015].
- [18] Arcadis, „Conditiemeting en risicosturing”.

- [19] NEN, *NEN 2767*, 2011.
- [20] Grontmij, Interviewee, [Interview]. Februari 2015.
- [21] Scholen van morgen, „www.scholenvanmorgen.be,” [Online]. Available: <http://www.scholenvanmorgen.be/nl/over-het-programma>. [Geopend Februari 2015].
- [22] Vlaamse bouwmeester ; Agion, „www.scholenbouwen.be,” [Online]. Available: <http://www.scholenbouwen.be/nieuws/start-dbfm-programma-scholen-van-morgen>. [Geopend Februari 2015].
- [23] *Persbericht: Scholen van morgen*, Brussel, 2010.
- [24] K. Lamens, „Scholen van Morgen zijn schoolvoorbeeld van hoe het niet moet,” *De Tijd*, 2014 September 2014.
- [25] „Panelgesprek Scholen van Morgen,” *Builders Facts*, editie 9, 2014.
- [26] S. v. d. Bosh, „DBFM(O) bij scholenbouw,” TU-Delft, 2007.
- [27] Kumpen, „www.Kumpen.be,” [Online]. Available: <http://www.kumpen.be/projecten/schoolgebouw-viio-%E2%80%93-tongeren>. [Geopend Mei 2015].
- [28] Scholen van Morgen, „www.scholenvanmorgen.be,” [Online]. Available: <http://www.scholenvanmorgen.be/nl/scholen/vrij-innovatief-interactief-onderwijs>. [Geopend Mei 2015].
- [29] Planmatigonderhoud, „www.planmatigonderhoud,” [Online]. Available: <http://www.planmatigonderhoud.nl>. [Geopend Mei 2015].
- [30] Grontmij, „<http://www.grontmij.be>,” [Online]. [Geopend Mei 2015].
- [31] Dewaele, „www.dewaele.be,” [Online]. Available: http://www.dewaele.be/nl/?utm_source=Livios&utm_medium=Website&utm_campaign=Editorial-hoe-ziet-de-wandopbouw-bij-houtskelet-eruit. [Geopend Mei 2015].
- [32] WTCB, „Houtskeletbouw een systeem in volle ontwikkeling - . Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact10&art=148> .
- [33] Belblock, „www.belblock.be,” [Online]. Available: <http://www.belblock.be/nl/thermische-isolatie-nl.html>. [Geopend Mei 2015].
- [35] SBR, *Levensduur van bouwproducten: Methode voor referentiewaarden*, Rotterdam, 2011.
- [36] J. V. Steenkiste, „Levensduur van bouwmaterialen voor massiefbouw,” Universiteit Gent, 2012.
- [37] WTCB, „Het platte dak opbouw, materialen, uitvoering en onderhoud,” Brussel, 2000.
- [38] i. E. Mahieu, *Thermische isolatie van bestaande platte daken* - Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=26>. [Geopend April 2015].
- [39] EPB, „U- en R-waarden vanaf 2015,” *Vlaanderen is energie*, 2015.
- [40] „Isolatie Verhoeven nv,” 2014. [Online]. Available: <http://www.isolatieverhoeven.be/nl-perliten-dak-dakdetails.asp>. [Geopend April 2015].

- [41] WTCB, „Thermische isolatie van hellende daken,” WTCB, 2014.
- [42] „Bestek VIIIO Tongeren”.
- [43] „Vandergucht,” [Online]. Available: <http://www.vandergucht.be/nl/platte-daken>. [Geopend April 2015].
- [44] „Saniteir vollens,” [Online]. Available: <http://www.saniteir-vollens.be/DAK-dakrubber.html>. [Geopend April 2015].
- [45] „Viapur,” [Online]. Available: <http://www.viapur.be/>. [Geopend April 2015].
- [46] „Multipox,” [Online]. Available: <http://www.multipox.nl/industriële-vloeren/pu-cementvloeren/>. [Geopend April 2015].
- [47] „Livios,” [Online]. Available: <http://www.livios.be/nl/bouwen-verbouwen-of-kopen/bouwtechnieken/houtskeletbouw/hoe-ziet-de-wandopbouw-bij-houtskelet-eruit/>. [Geopend April 2015].
- [48] „Blesservice,” [Online]. Available: <http://www.blsservice.nl/materialen/gevelplaten-3-2/nggallery/page/2>. [Geopend April 2015].
- [49] „Euroblok,” [Online]. Available: http://www.euroblok.nl/downloads/bouwtechniek/21_aanbouw_school.html. [Geopend April 2015].
- [50] „EKB bouwadvies,” [Online]. Available: <http://www.ekbouwadvies.nl/tabellen/lambda.asp>. [Geopend Maart 2015].
- [51] „Deskundige isoleren,” [Online]. Available: <http://www.deskundig-isoleren.be/eps.html>. [Geopend Maart 2015].
- [52] UPA-BUA, „Borderel van eenheidsprijzen,” Brussel, 2011.
- [53] *Database Grontmij*, Grontmij, 2015.
- [54] angeloleon, „www.angeloleon.be,” Mei 2015. [Online]. Available: <http://www.angeloleon.be/thermische-isolatie/thermische-isolatie-beelden>.

Bijlagen

Bijlage A Gegevenstabel plat dak	106
Bijlage B Gegevenstabel hellend dak.....	108
Bijlage C Gegevenstabel binnenblad gevel	110
Bijlage D Gegevenstabel buitenblad gevel.....	111
Bijlage E Gegevenstabel isolatie gevel	114
Bijlage F Gegevenstabel vloer	115

Bijlage A Gegevenstabel plat dak

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m ²)	Startpijs 1000m ²	Onderhouds- kosten (€)	Onderhouds- cyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
Dakbedekkingen														
	Bitumen													
		APP onbelast	40		30	20						115280		202230
		Plaatsing					20,33	20330				20330		20330
		Vervanging					70,95		70950	20	1	70950	2	141900
		Visuele inspectie + reiniging							400	0,5	60	24000	100	40000
		APP belast 5cm grind	40		30	20						138140		260490
		Plaatsing					32,83	32830				32830		32830
		Vervanging					76,93		76930	20	1	76930	2	153860
		Reiniging ballastlaag					1,46		1460	10	3	4380	5	7300
		Vervanging ballastlaag grind 5cm					26,5		26500	40	0	0	1	26500
		Visuele inspectie + reiniging							400	0,5	60	24000	100	40000
		SBS onbelast	40		30	20						107130		183260
		Plaatsing					23	23000				23000		23000
		Vervanging					60,13		60130	20	1	60130	2	120260
		Visuele inspectie + reiniging							400	0,5	60	24000	100	40000
		SBS belast 5cm grind	40		30	20						128380		238300
		Plaatsing					35,5	35500				35500		35500
		Vervanging					64,5		64500	20	1	64500	2	129000
		Reiniging ballastlaag					1,46		1460	10	3	4380	5	7300
		Vervanging ballastlaag grind 5cm					26,5		26500	40	0	0	1	26500
		Visuele inspectie + reiniging							400	0,5	60	24000	100	40000
	Kunststoffen													
		PVC onbelast	30	20								108000		124000
		Plaatsing					27	27000				27000		27000
		Vervanging					57		57000	30	1	57000	1	57000
		Visuele inspectie + reiniging							400	0,5	60	24000	100	40000
		PVC belast 5cm grind	30	30	30							137380		182800
		Plaatsing					39,5	39500				39500		39500
		Vervanging					69,5		69500	30	1	69500	1	69500
		Reiniging ballastlaag					1,46		1460	10	3	4380	5	7300
		Vervanging ballastlaag grind 5cm					26,5		26500	40	0	0	1	26500
		Visuele inspectie + reiniging							400	0,5	60	24000	100	40000
		EPDM onbelast	30	30	30							120000		136000
		Plaatsing					36	36000				36000		36000
		Vervanging					60		60000	30	1	60000	1	60000
		Visuele inspectie + reiniging							400	0,5	60	24000	100	40000

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m ²)	Startpijs 1000m ²	Onderhouds- kosten (€)	Onderhouds- cyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
		EPDM belast 5cm grind	30	30	30							149380		194800
		Plaatsing					48,5	48500				48500		48500
		Vervanging					72,5		72500	30	1	72500	1	72500
		Reiniging ballastlaag					1,46		1460	10	3	4380	5	7300
		Vervanging ballastlaag grind 5cm					26,5		26500	40	0	0	1	26500
		Visuele inspectie + reiniging							400	0,5	60	24000	100	40000
Isolatielagen														
	Belast													
		EPS plaat 13cm	75	40	75							42880		42880
		Plaatsing					42,88	42880				42880		42880
		XPS-plaat 12cm	75									22600		22600
		Plaatsing					22,6	22600				22600		22600
		PUR-plaat 12cm	75		75							30850		30850
		Plaatsing					30,85	30850				30850		30850
		PIR-plaat 10cm	75	40								27540		27540
		Plaatsing					27,54	27540				27540		27540
		Rotswol plaat 15cm	75	40	75							16700		16700
		Plaatsing					16,7	16700				16700		16700
Isolatielagen														
	Onbelast													
		EPS plaat 13cm	75	40	75							48880		48880
		Plaatsing					48,88	48880				48880		48880
		XPS-plaat 12cm	75									28600		28600
		Plaatsing					28,6	28600				28600		28600
		PUR-plaat 12cm	75		75							36850		36850
		Plaatsing					36,85	36850				36850		36850
		PIR-plaat 10cm	75	40								33540		33540
		Plaatsing					33,54	33540				33540		33540
		Rotswol plaat 15cm	75	40	75							22700		22700
		Plaatsing					22,7	22700				22700		22700

Oppervlakte dak 1000 m²

Bijlage B Gegevenstabel hellend dak

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m ²)	Startprijs 1000m ²	Onderhou- ds-kosten (€)	Onderhouds- -cyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
Dakbedekkingen														
	Steenachtige													
		Dakpan, beton	50	50	50							35000		86280
		<i>Plaatsing</i>					35	35000				35000		35000
		<i>Vervanging</i>					51,28		51280	50	0	0	1	51280
		Dakpan, keramisch	75	50	75							48000		48000
		<i>Plaatsing</i>					48	48000				48000		48000
		Vezelcementplaat (golfplaat)	35	18								120000		185000
		<i>Plaatsing</i>					40	40000				40000		40000
		<i>Vervanging</i>					50		50000	18	1	50000	2	100000
		<i>Reiniging</i>					15		15000	15	2	30000	3	45000
		Leien, natuursteen	75	48	75							130000		145000
		<i>Plaatsing</i>					115	115000				115000		115000
		<i>Reiniging</i>					15		15000	20	1	15000	2	30000
		Leien, vezelcement	35	48	35							98000		327000
		<i>Plaatsing</i>					68	68000				68000		68000
		<i>Vervanging</i>					214		214000	35	0	0	1	214000
		<i>Reiniging</i>					15		15000	15	2	30000	3	45000
	Metalen													
		Aluminium , profielplaat; gecoat	50									130000		285000
		<i>Plaatsing</i>					130	130000				130000		130000
		<i>Vervanging</i>					155		155000	50	0	0	1	155000
		Koperen felsdak	100	50	120							165000		165000
		<i>Plaatsing</i>					165	165000				165000		165000
		Zinken felsdak	40	25	40							178000		341000
		<i>Plaatsing</i>					148	148000				148000		148000
		<i>Vervanging</i>					148		148000	40	0	0	1	148000
		<i>Reiniging</i>					15		15000	15	2	30000	3	45000
	Bitumen													
		Bitumen, APP		50		20						70560		120790
		<i>Plaatsing</i>					20,33	20330				20330		20330
		<i>Vervanging</i>					50,23		50230	20	1	50230	2	100460
		Bitumen, SBS		50		20						74740		126480
		<i>Plaatsing</i>					23	23000				23000		23000
		<i>Vervanging</i>					51,74		51740	20	1	51740	2	103480

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m²)	Startpijs 1000m²	Onderhou- ds-kosten (€)	Onderhouds- cyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
		Bitumen, shingels	15	36	15							144930		205730
		<i>Plaatsing</i>					23,33	23330				23330		23330
		<i>Vervanging</i>					60,8		60800	15	2	121600	3	182400
	Divers													
		Riet	40	50	40							125000		258100
		<i>Plaatsing</i>					125	125000				125000		125000
		<i>Vervanging</i>					133,1		133100	40	0	0	1	133100
Isolatielagen														
		EPS plaat, 13cm	75		75							42590		42590
		<i>Plaatsing</i>					42,59	42590				42590		42590
		XPS plaat, 12cm	75									34950		34950
		<i>Plaatsing</i>					34,95	34950				34950		34950
		PUR plaat, 12cm	75		75							40550		40550
		<i>Plaatsing</i>					40,55	40550				40550		40550
		PIR plaat, 10cm	75									30390		30390
		<i>Plaatsing</i>					30,39	30390				30390		30390
		Glaswol deken/ plaat, 15cm	75		75							20850		20850
		<i>Plaatsing</i>					20,85	20850				20850		20850
		Rotswol deken /plaat, 15cm	75		75							22310		22310
		<i>Plaatsing</i>					22,31	22310				22310		22310

Oppervlakte dak 1000 m²

Bijlage C Gegevenstabel binnenblad gevel

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m ²)	Startprijs 1000m ²	Onderhouds- kosten (€)	Onderhouds- cyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
Binnenblad														
	Beton													
		Prefab dikte, 20cm	100+		120							136120		136120
		<i>Plaatsing</i>					136,12	136120				136120		136120
		In situ gestort dikte, 20cm	100+		120							136120		136120
		<i>Plaatsing</i>					136,12	136120				136120		136120
	Steenachtig													
		Betonsteen, metselwerk, dikte 14cm	100+		120							53380		53380
		<i>Plaatsing</i>					53,38	53380				53380		53380
		Cellenbetonblokken, gelijmd, dikte 15cm	100+		120							70980		70980
		<i>Plaatsing</i>					70,98	70980				70980		70980
		Snelbouw metselwerk, dikte 14cm	100+	75	120							60350		60350
		<i>Plaatsing</i>					60,35	60350				60350		60350
		Kalkzandsteen, metselwerk, dikte 14cm	100+		120							58070		58070
		<i>Plaatsing</i>					58,07	58070				58070		58070
		Kalkzandsteen, gelijmde blokken, dikte 15cm	100+		120							65140		65140
		<i>Plaatsing</i>					65,14	65140				65140		65140
		Kalkzandsteen, gelijmde elementen, dikte 15cm	100+		120							54940		54940
		<i>Plaatsing</i>					54,94	54940				54940		54940
Houtskeletbouw														
	Hout		75		75							95000		95000
		<i>Plaatsing</i>					95	95000				95000		95000

Oppervlakte dak 1000 m²

Bijlage D Gegevenstabel buitenblad gevel

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m ²)	Startprijs 1000m ²	Onderhoudskosten (€)	Onderhoudscyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
buitenblad														
	Steenachtig													
		Baksteen, metselwerk	100+	75	120							93950		102950
		Plaatsing					93,95	93950				93950		93950
		Reiniging					9		9000	35	0	0	1	9000
		Baksteen, metselwerk; gehydrofobeerd	100+	75	120							216050		306450
		Plaatsing					93,95	93950				93950		93950
		Hydrofoberen					20,35		20350	5	6	122100	10	203500
		Reiniging					9		9000	35	0	0	1	9000
		Leemsteen, metselwerk WF65	50		50							106320		285730
		Plaatsing					106,32	106320				106320		106320
		Vervanging					170,41		170410	50	0	0	1	170410
		Reiniging					9		9000	35	0	0	1	9000
		Leemsteen, gelijmd WF65	50		50							112430		297950
		Plaatsing					112,43	112430				112430		112430
		Vervanging					176,52		176520	50	0	0	1	176520
		Reiniging					9		9000	35	0	0	1	9000
		Leemsteen, dunbed WF65	50		50							113950		291990
		Plaatsing					113,95	113950				113950		113950
		Vervanging					178,04		178040	50	0	0	1	178040
		Reiniging					9		9000	35	0	0	1	9000
Bekledingen														
	Beton													
		Vezelcementplaat zichtbare bevestiging		50	25							222140		471900
		Plaatsing					185	185000				185000		185000
		Vervanging					225		225000	50	0	0	1	225000
		Reiniging					6,19		6190	5	6	37140	10	61900
	Steen													
		Arduin geschuurd	75	75	75							445700		479500
		Plaatsing					395	395000				395000		395000
		Reiniging					8,45		8450	5	6	50700	10	84500
		Natuursteen leien	40	48	40	75						150000		150000
		Plaatsing					150	150000				150000		150000
		Chinese graniet gezoet dikte 3cm	75		75							445700		479500
		Plaatsing					395	395000				395000		395000
		Reiniging					8,45		8450	5	6	50700	10	84500
		Keramik, mechanisch bevestigd	75		75							175000		175000
		Plaatsing					175	175000				175000		175000
	Hout													
		Europees zacht hout, gewolmaniseerd	30	24				0				308440		489280
		Plaatsing					88	88000				88000		88000
		Vervanging					113,6		113600	24	1	113600	2	227200

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Enheidsprijs (€/m²)	Startpijs 1000m²	Onderhoudskosten (€)	Onderhoudscyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
		Reiniging					5,6		5600	5	6	33600	10	56000
		Behandelen Lazuurlaag schuren					7,1		7100	3	10	71000	16	113600
		Europees hardhout, gewolmaniseerd	40				1,12		1120	12	2	2240	4	4480
		Plaatsing					95	95000				95000		95000
		Vervanging					120,6		120600	40	0	0	1	120600
		Reiniging					5,6		5600	5	6	33600	10	56000
		Behandelen Lazuurlaag schuren					7,1		7100	3	10	71000	16	113600
		Tropisch hardhout	60				1,12		1120	12	2	2240	4	4480
		Plaatsing					99,5	99500				99500		99500
		Vervanging					124,6		124600	60	0	0	0	0
		Reiniging					5,6		5600	5	6	33600	10	56000
		Behandelen Lazuurlaag schuren					7,1		7100	3	10	71000	16	113600
		Eik	60		60		1,12		1120	12	2	2240	4	4480
		Plaatsing					93,5	93500				93500		93500
		Vervanging					119,1		119100	60	0	0	0	0
		Reiniging					5,6		5600	5	6	33600	10	56000
		Behandelen Lazuurlaag schuren					7,1		7100	3	10	71000	16	113600
		Meranti, rabat	40	40	40		1,12		1120	12	2	2240	4	4480
		Plaatsing					69,85	69850				69850		69850
		Vervanging					95,45		95450	40	0	0	1	95450
		Reiniging					5,6		5600	5	6	33600	10	56000
		Behandelen Lazuurlaag schuren					7,1		7100	3	10	71000	16	113600
		Western Red Cedar, rabat	60	40	60		1,12		1120	12	2	2240	4	4480
		Plaatsing					144	144000				144000		144000
		Reiniging					5,6		5600	5	6	33600	10	56000
		Grenen, schroten		20								254340		408130
		Plaatsing					60,95	60950				60950		60950
		Vervanging					86,55		86550	20	1	86550	2	173100
		Reiniging					5,6		5600	5	6	33600	10	56000
		Behandelen Lazuurlaag schuren					7,1		7100	3	10	71000	16	113600
		Metaal					1,12		1120	12	2	2240	4	4480
		Staal, trapezium; thermisch verzinkt en gecoat	50	50	50							249500		458500
		Plaatsing					98	98000				98000		98000
		Vervanging					108		108000	50	0	0	1	108000
		Reiniging					5,05		5050	1	30	151500	50	252500
		Aluminium; geanodiseerd	30	50								256280		472060
		Plaatsing					104,78	104780				104780		104780
		Vervanging					114,78		114780	50	0	0	1	114780
		Reiniging					5,05		5050	1	30	151500	50	252500

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m ²)	Startprijs 1000m ²	Onderhoudskosten (€)	Onderhoudscyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
		Aluminium, profielplaat; gecoat	40	40	40							281500		522110
		<i>Plaatsing</i>					130	130000				130000		130000
		<i>Vervanging</i>					139,61		139610	40	0	0	1	139610
		<i>Reiniging</i>					5,05		5050	1	30	151500	50	252500
		Koperen felsgevel	100+	50	120							162960		162960
		<i>Plaatsing</i>					162,96	162960				162960		162960
		Zinken felsgevel	25	50	25							457370		716240
		<i>Plaatsing</i>					148	148000				148000		148000
		<i>Vervanging</i>					157,87		157870	25	1	157870	2	315740
		<i>Reiniging</i>					5,05		5050	1	30	151500	50	252500
	Kunststof													
		HPL-plaat, op regelwerk	25									287520		459200
		<i>Plaatsing</i>					95	95000				95000		95000
		<i>Vervanging</i>					130		130000	25	1	130000	2	260000
		<i>Reiniging</i>					5,67		5670	5	6	34020	10	56700
		<i>Herstelling 5%</i>					95		4750	5	6	28500	10	47500
		Polycarbonaat golfplaat	30	36								154930		180150
		<i>Plaatsing</i>					42,1	42100				42100		42100
		<i>Vervanging</i>					75		75000	30	1	75000	1	75000
		<i>Reiniging</i>					4,2		4200	5	6	25200	10	42000
		<i>Herstelling 5%</i>					42,1		2105	5	6	12630	10	21050
		Volkern kunststof		50								157520		327100
		<i>Plaatsing</i>					95	95000				95000		95000
		<i>Vervanging</i>					127,9		127900	50	0	0	1	127900
		<i>Reiniging</i>					5,67		5670	5	6	34020	10	56700
		<i>Herstelling 5%</i>					95		4750	5	6	28500	10	47500
Afwerkragen														
		Gevelbepleistering (silicone)		40								197140		346900
		<i>Plaatsing</i>					70	70000				70000		70000
		<i>Vervanging top laag</i>					45		45000	15	2	90000	3	135000
		<i>Reiniging</i>					6,19		6190	5	6	37140	10	61900
		<i>Vervanging</i>					90		80000	40	0	0	1	80000

Oppervlakte gevel 1000 m²

Bijlage E Gegevenstabel isolatie gevel

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m ²)	Startpijs 1000m ²	Onderhoudskosten (€)	Onderhoudscyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
Isolatielagen														
		Cellulose 19cm	30		30							39260		39260
		<i>Plaatsing</i>					14,63	14630				14630		14630
		<i>Vervanging</i>					24,63		24630	30	1	24630	1	24630
		Resolschuim plaat 9cm	75		75							22590		22590
		<i>Plaatsing</i>					22,59	22590				22590		22590
		EPS plaat 13cm	75		75							16070		16070
		<i>Plaatsing</i>					16,07	16070				16070		16070
		Glaswol deken/plaat 15cm	75		75							22200		22200
		<i>Plaatsing</i>					22,2	22200				22200		22200
		Rotswol deken/plaat 15cm	75		75							18570		18570
		<i>Plaatsing</i>					18,57	18570				18570		18570
		XPS plaat 12cm	75		75							20230		20230
		<i>Plaatsing</i>					20,23	20230				20230		20230
		PUR plaat 12cm	75		75							28030		28030
		<i>Plaatsing</i>					28,03	28030				28030		28030
		PIR plaat 10cm	75									21790		21790
		<i>Plaatsing</i>					21,79	21790				21790		21790

Oppervlakte gevel 1000 m²

Bijlage F Gegevenstabel vloer

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m²)	Startprijs 1000m²	Onderhoudskosten (€)	Onderhoudscyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
Vloerafwerkingen	Isolatielagen													
		EPS plaat, 10cm	75	40	75							43880		43880
		Plaatsing					28,1	28100				28100		28100
		Plaatsing Egalisatievloer					15,78	15780				15780		15780
		XPS plaat, 10cm	75									31920		31920
		Plaatsing					16,14	16140				16140		16140
		Plaatsing Egalisatievloer					15,78	15780				15780		15780
		PUR plaat, 10cm	75		75							40720		40720
		Plaatsing					24,94	24940				24940		24940
		Plaatsing Egalisatievloer					15,78	15780				15780		15780
		PIR plaat, 8cm	75	40								43220		43220
		Plaatsing					27,44	27440				27440		27440
		Plaatsing Egalisatievloer					15,78	15780				15780		15780
		Cellulair glas plaat, 13cm	100+									82340		82340
		Plaatsing					66,56	66560				66560		66560
		Plaatsing Egalisatievloer					15,78	15780				15780		15780
		Gespotten PUR, 10cm	75		75							19250		19250
		Plaatsing					19,25	19250				19250		19250
	Afwerkingen													
		Keramische vloertegels 100 x 100 mm		40	50							45698,8		143207,6
		Plaatsing					45	45000				45000		45000
		Vervanging					96,81		96810	40	0	0	1	96810
		Elastische voeg +-20m					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Keramische vloertegels 150 x 150 mm		40	50							54078,8		159967,6
		Plaatsing					53,38	53380				53380		53380
		Vervanging					105,19		105190	40	0	0	1	105190
		Elastische voeg +-20m					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Terrazzovloeren		50								341248,8		734307,6
		Plaatsing					340,55	340550				340550		340550
		Vervanging					392,36		392360	50	0	0	1	392360
		Elastische voeg +-20m					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Marmere composiet		75								158398,8		159097,6
		Plaatsing					157,7	157700				157700		157700
		Elastische voeg +-20m					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Natuursteen		75	75							254518,8		255217,6
		Plaatsing					253,82	253820				253820		253820
		Elastische voeg +-20m					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Kunstharstroofvloer 25mm		48								254208,8		508417,6
		Plaatsing					152,28	152280				152280		152280
		Vervanging					152,28		152280	48	0	0	1	152280
		Vervanginging nieuwe laag					34		34000	24	1	34000	2	68000

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m²)	Startprijs 1000m²	Onderhouds- kosten (€)	Onderhouds- cyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
		<i>Onderhoudsbeurt nieuwe toplaag</i>					22,41		22410	8	3	67230	6	134460
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Grindtapijt		40	40							286438,8		519297,6
		<i>Plaatsing</i>					125	125000				125000		125000
		<i>Vervanging</i>					125		125000	40	0	0	1	125000
		<i>Onderhoudsbeurt grindtapijt</i>					26,79		26790	5	6	160740	10	267900
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Epoxy gietvloer		40		20						187928,8		315857,6
		<i>Plaatsing</i>					60	60000				60000		60000
		<i>Vervanging</i>					60		60000	20	1	60000	2	120000
		<i>Onderhoudsbeurt nieuwe toplaag</i>					22,41		22410	8	3	67230	6	134460
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Tapijttegels 50*50		10								171718,8		258597,6
		<i>Plaatsing</i>					41,75	41750				41750		41750
		<i>Vervanging</i>					43,09		43090	10	3	129270	5	215450
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		PU gietvloer		20								120698,8		181397,6
		<i>Plaatsing</i>					60	60000				60000		60000
		<i>Vervanging</i>					60		60000	20	1	60000	2	120000
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Mipolamvloer		30								73138,8		75057,6
		<i>Plaatsing</i>					35	35000				35000		35000
		<i>Vervanging</i>					35		35000	30	1	35000	1	35000
		<i>Vervanging naden</i>					1,22		1220	15	2	2440	3	3660
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Marmoleumvloer		30								161718,8		197437,6
		<i>Plaatsing</i>					53,94	53940				53940		53940
		<i>Vervanging</i>					53,94		53940	30	1	53940	1	53940
		<i>Vervanging naden</i>					1,22		1220	15	2	2440	3	3660
		<i>Behandelen Marmoleumwaslaag</i>					8,45		8450	5	6	50700	10	84500
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Rubberen noppenvloer		10								260698,8		391397,6
		<i>Plaatsing</i>					65	65000				65000		65000
		<i>Vervanging</i>					65		65000	10	3	195000	5	325000
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Kunststofvloertegels		15								176558,8		235877,6
		<i>Plaatsing</i>					58,62	58620				58620		58620
		<i>Vervanging</i>					58,62		58620	15	2	117240	3	175860
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Vinylbekleding		20	15							114878,8		153637,6
		<i>Plaatsing</i>					38,06	38060				38060		38060
		<i>Vervanging</i>					38,06		38060	15	2	76120	3	114180
		<i>Elastische voeg +20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		PVC		25	15							150138,8		201057,6
		<i>Plaatsing</i>					49	49000				49000		49000
		<i>Vervanging</i>					49		49000	15	2	98000	3	147000

Elementnaam	Materiaal	Productnaam	Levensduur SBR (J.)	Levensduur Grontmij (J.)	Levensduur masterproef Ugent (J.)	Levensduur fabrikant (J.)	Eenheidsprijs (€/m²)	Startprijs 1000m²	Onderhouds- kosten (€)	Onderhouds- cyclus (J.)	Aantal	Totaal 30 jaar (€)	Aantal	Totaal 50 jaar (€)
		<i>Vervanging lasnaden</i>					1,22		1220	15	2	2440	3	3660
		<i>Elastische voeg +-20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Parketvloer (visgraat motief)		50								254118,8		470097,6
		<i>Plaatsing</i>					139	139000				139000		139000
		<i>Vervanging</i>					139		139000	50	0	0	1	139000
		<i>Onderhoudsbeurt schuren en nabehandelen</i>					19,07		19070	5	6	114420	10	190700
		<i>Elastische voeg +-20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Parketvloer (zachthout)		40	30							135858,8		136557,6
		<i>Plaatsing</i>					65,08	65080				65080		65080
		<i>Vervanging</i>					70,08		70080	30	1	70080	1	70080
		<i>Elastische voeg +-20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Parketvloer (hardhout)		60								155528,8		194367,6
		<i>Plaatsing</i>					97,62	97620				97620		97620
		<i>Onderhoudsbeurt schuren en nabehandelen</i>					19,07		19070	10	3	57210	5	95350
		<i>Elastische voeg +-20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Kurkvloer		20	15							106008,8		142477,6
		<i>Plaatsing</i>					33,77	33770				33770		33770
		<i>Vervanging</i>					35,77		35770	15	2	71540	3	107310
		<i>Elastische voeg +-20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6
		Linoleum (dikte 2mm)		30	20	30						67838,8		69757,6
		<i>Plaatsing</i>					32,35	32350				32350		32350
		<i>Vervanging</i>					32,35		32350	30	1	32350	1	32350
		<i>Vervanging lasnaden</i>					1,22		1220	15	2	2440	3	3660
		<i>Elastische voeg +-20m</i>					17,47		349,4	12	2	698,8	4	1397,6

Oppervlakte vloer 1000 m²

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Bepaling en optimalisatie van de total cost of ownership van bouwwerken

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

Jaar: **2015**

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,

Hermans, Hans

Vleugels, Rik

Datum: **30/05/2015**