

2012•2013  
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN  
*master in de toegepaste economische wetenschappen:  
handelsingenieur: operationeel management en logistiek*

Masterproef  
Kosteffectieve bijna-nulenergiewoningen: een haalbare kaart?

Promotor :  
Prof.dr.ir Steven VAN PASSEL

Copromotor :  
dr. ir. Griet VERBEECK

Yves Savelberg  
*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste  
economische wetenschappen: handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management  
en logistiek*

2012•2013

FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE  
WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:  
handelsingenieur: operationeel management en logistiek*

## Masterproef

Kosteffectieve bijna-nulenergiewoningen: een haalbare  
kaart?

Promotor :  
Prof.dr.ir Steven VAN PASSEL

Copromotor :  
dr. ir. Griet VERBEECK

Yves Savelberg

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste  
economische wetenschappen: handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management  
en logistiek*



## **Voorwoord**

Met deze masterproef rond ik mijn studie Handelsingenieur aan de Universiteit van Hasselt af. Aangezien ik van een uitdaging houd heb ik gekozen voor een thesis in de richting van mijn minor, Technolgie- Innovatie- en Milieumanagement. daarbij sluit het onderwerp nauw aan bij mijn interesses in zowel de economie enerzijds als de techniek anderzijds. De grote impact van gebouwen op het milieu is een zeer actueel en opkomend thema, maar er is echter nog maar weinig onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van dergelijke netto-nulenergiewoningen.

In de loop van het laatste jaar heb ik veel hulp gehad van mensen die ik bij deze wil bedanken. Allereerst wil ik mijn promotor Prof. dr.ir. Steven Van Passel bedanken voor de hulp bij de totstandkoming van deze masterproef en de gegeven begeleiding. Ook wil ik Prof.dr. ir. arch. Griet Verbeeck bedanken voor het aanbrengen van het onderwerp, de mogelijkheid te geven dit onderwerp te behandelen en de ondersteuning op architecturaal vlak. Als laatste gaat een bijzonder woord van dank uit naar Liesbeth Staepels voor de hulp en steun bij het creëren van de data.

Vervolgens wil ik mijn vader bedanken voor zowel de morele als financiële steun die het mogelijk gemaakt hebben mijn studies Handelsingenieur te volgen. Mijn vrienden en vriendin die de afgelopen vijf jaar steeds weer voor me klaar stonden om me te helpen en er voor gezorgd hebben dat ik een onvergetelijke tijd heb gehad, bedankt!

Yves Savelberg,

Mei, 2013



## **Samenvatting**

Verschillende feiten hebben aan de basis van deze eindverhandeling gelegen. Allereerst is er de nieuwe richtlijn van de Europese Unie die stelt dat tegen 2020 alle nieuwbouwwoningen bijna netto-nulenergiewoningen moeten zijn en tevens ook nog eens rendabel. Ten tweede is er het probleem rond het uitputten van de fossiele bronstoffen en de daarmee gepaard gaande negatieve effecten op het leefmilieu. Enkele jaren geleden bedroeg de hoeveelheid energie, geconsumeerd in gebouwen wereldwijd, 40% van het energiegebruik wereldwijd. Indien het energiegebruik in de woningsector een dusdanig grootaandeel blijft hebben, zal de concentratie aan broeikasgassen blijven toenemen en de opwarming van de aarde zich verder zetten. Het is dus van uitermate belang dat deze sector zijn uitstoot van broeikasgassen terugdringt om zodoende de effecten van de uitstoot te verminderen. Hierbij dient tevens aangemerkt te worden dat duurzame vormen van energieopwekking zich opdringen.

Een netto-nulenergiewoning is een bouwvorm die een antwoord poogt te bieden op beide gebeurtenissen. Deze bouwvorm wilt de vraag naar fossiele energie verminderen door zijn eigen energievraag te beperken en daarbij nog eens op jaarbasis te voorzien in zijn eigen energiebehoefte. Het bouwen van een dergelijke woning vereist een aanzienlijke financiële inspanning van de consument ten opzichte van een normale woning. In hoofdstuk 2 wordt er meer uitleg gegeven over de eisen waar een dergelijke "normale" EPB-gestandaardiseerde woning moet voldoen. Hoofdstuk 3 bespreekt de eisen voor een netto-nulenergiewoning. Het voordeel van dergelijke woning is dat ze minder/niet afhankelijk is van fossiele brandstoffen en de energieprijzen op de markt. Dit voordeel kan nog groter worden aangezien verwacht wordt dat de energieprijzen gaan stijgen in de toekomst. Hierdoor kan de investering in een netto-nulenergiehuis fikse besparingen opleveren.

De focus van deze eindverhandeling ligt op een levenscycluskostenanalyse van drie verschillende netto-nulenergiewoningen. Het berekeningsmodel kan opgesplitst worden in verschillende delen.

Het eerste deel omvat een kosten-baten analyse gebaseerd op een levenscycluskosten analyse over 30 jaar, zowel van de netto-nulenergiewoning als van het basishuis. Hierbij worden de verschillende kosten en baten van de investering in de netto-nulenergiewoning afgewogen. De belangrijkste kost is hoofdzakelijk het verschil in het initiële investeringsbedrag zelf, daarbij komt nog het verschil in kosten voor het jaarlijkse onderhoud, de kosten voor vervangingsinvesteringen in de jaarlijkse energiekosten en in de restwaarde van het gebouw. De jaarlijkse baten zijn de

besparingen op de energiefactuur voor zowel gas als elektriciteit. Subsidies die in het tweede deel van de LCCA worden toegevoegd vallen ook onder deze baten.

Het tweede deel omvat een gevoeligheidsanalyse die rekening houdt met de onzekerheid van een aantal variabelen die gebruikt zijn in de berekening van de LCC. Met behulp van het analyse programma Crystal Ball wordt de gevoeligheid van de basisoplossing door de verandering in deze variabelen onderzocht.

Dit berekeningsmodel wordt vervolgens toegepast op verschillende scenario's van drie verschillende woningen. De resultaten hiervan worden grondig besproken in hoofdstuk 6. Uit de simulaties van de drie verschillende huizen kwam geen eenduidige conclusie. Dit is vrij logisch aangezien het om drie totaal verschillende huizen gaat. De kleine rijwoning bleek op het gebied van kosten het efficiëntst te zijn. De halfopen- en de openwoning zijn momenteel nog niet rendabel en kosten op dertig jaar tijd nog meer geld dan een normale woning die voldoet aan de wetgeving.

Uit de sensitiviteitsanalyse, die uitgevoerd werd op alle drie de investeringen in de netto-nulenergiehuizen, bleek dat de gewogen gemiddelde kost van kapitaal een zeer grote invloed had op het economisch rendement van de investering. Tevens bleek ook de toekomstige verwachte stijging van de energieprijzen een aanzienlijke invloed te hebben op het rendement. Om de investering in netto-nulenergiehuizen zo rendabel mogelijk te maken is het ook belangrijk opzoek te gaan naar een zo efficiënt mogelijke investering in de schil van het huis. Alsook moet onderzoek gedaan worden naar de economisch meest efficiëntste installaties. Slechts dan zal het mogelijk zijn de investeringen in de toekomst terug te verdienen door besparingen op onder andere de energiefactuur.

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b> .....	i
<b>Samenvatting</b> .....	iii
<b>Inhoudsopgave</b> .....	v
<b>Lijst tabellen</b> .....	viii
<b>Lijst figuren</b> .....	ix
<b>Verklarende woordenlijst</b> .....	xi
<b>Inleiding</b> .....	1
<b>Hoofdstuk 1: Probleemstelling</b> .....	3
1.1.    Praktijkprobleem.....	3
1.1.1.    Wereldwijde klimaatproblematiek.....	3
1.1.2.    Europese klimaatrichtlijnen.....	5
1.1.3.    Vlaamse klimaatproblematiek.....	6
1.2.    Centrale onderzoeksvraag.....	8
1.3.    Onderzoekopzet.....	9
<b>Hoofdstuk 2: Energieprestatieregelgeving</b> .....	11
2.1.    EPB-eisen model woning.....	12
2.1.1.    Maximaal K-peil.....	13
2.1.2.    Maximale U- en Minimale R-waarden.....	13
2.1.3.    Maximaal E-peil.....	14
2.2.    Netto-nulenergiehuis.....	15
2.2.1.    Definitie.....	15
2.2.2.    Standaarden.....	17
<b>Hoofdstuk 3: Financiële steunmaatregelen</b> .....	29
3.1.    Federale overheid.....	29
3.1.1.    Ecocheques.....	29
3.1.2.    Groene leningen.....	29
3.1.3.    Belastingvermindering voor dakisolatie.....	30
3.2.    Vlaamse overheid.....	30
3.2.1.    Warmtekrachtcertificaten voor micro-warmtekrachtkoppelinginstallatie.....	30
3.2.2.    Korting op onroerende voorheffing voor verlaagd E-peil.....	31



3.2.3.	Groenestroomcertificaten voor fotovoltaïsche zonnepanelen.....	31
3.3.	Provincie.....	31
3.4.	Gemeente.....	31
3.5.	Netbeheerder.....	31
3.5.1.	Premie nieuwbouwwoning.....	32
<b>Hoofdstuk 4: Methodologie</b>	.....	<b>33</b>
4.1	Kosten- batenanalyse.....	33
4.2	Economische Methodes.....	34
4.2.1	Verdisconteren.....	34
4.2.2	Inflatie.....	37
4.2.3	Terugverdientijd.....	38
4.2.4	Verdisconteerde terugverdientijd.....	39
4.2.5	NCW.....	39
4.2.6	Interne rendement.....	40
4.3	Levenscyclus kostenanalyse.....	41
4.4	Onzekerheid en risicoanalyse.....	42
<b>Hoofdstuk 5: Gevalstudie</b>	.....	<b>45</b>
5.1	Initiële investering.....	45
5.1.1.	Verkenning dataset.....	46
5.1.2	LCCA EPB-gestandaardiseerde woning.....	49
5.1.3	LCCA lage en netto-nulenergiewoningen.....	51
5.1.4	Investeringskost.....	55
5.1.5	Vergelijking netto-nulenergiehuis.....	61
5.2.	Risico en onzekerheid.....	66
5.2.1.	Sensitiviteitsanalyse.....	66
5.2.2.	Monte Carlo simulatie.....	72
5.3.	Implementatie financiële steunmaatregelen.....	78
5.3.1.	LCCA.....	79
5.3.2.	LCCA alle WP2.20 woningen.....	80
5.3.3.	Terugverdientijd WP2.20.....	80
5.3.4.	Verdisconteerde terugverdientijd WP2.20.....	81
5.3.5.	NCW- methode WP2.20.....	81

5.4.	Risico en onzekerheid met subsidies.....	81
5.4.1.	Sensitiviteitsanalyse .....	81
5.4.2.	Monte Carlo analyse.....	83
<b>Hoofdstuk 6:</b>	<b>Conclusie en Suggesties.....</b>	<b>87</b>
6.1.	Algemene conclusie.....	87
6.2.	Aanbevelingen .....	89
<b>Lijst van geraadpleegde werken.....</b>		<b>91</b>
<b>Bijlage:</b> .....		<b>97</b>
Bijlage I:	Ventilatiesystemen .....	98
Bijlage II:	Berekening verschil in LCC .....	101
Bijlage III:	Vergelijking LCC inclusief subsidies.....	104
Bijlage IV:	Terugverdientijd en verdisconteerde terugverdientijd .....	107

## Lijst tabellen

Tabel 1: Standaarden .....	18
Tabel 2: Bouwkundige maatregelen.....	28
Tabel 3: Beschrijving woningen .....	49
Tabel 4: LCC Basishuis WP2.20 .....	50
Tabel 5: Isolatie vormen .....	56
Tabel 6: Optimale combinatie parameters .....	58
Tabel 7: Verdeling investeringskosten .....	60
Tabel 8: Verdeling investeringskosten schil .....	60
Tabel 9: Verdeling investeringskosten installaties .....	60
Tabel 10: Vergelijkende LCC .....	62
Tabel 11: Variabelen sensitiviteitsanalyse .....	66
Tabel 12: Sensitiviteisanalyse van de LCC WP2.20 .....	67
Tabel 13: Sensitiviteisanalyse van de LCC WP2.10 .....	69
Tabel 14: sensitiviteisanalyse van de LCC WP2.13 .....	71
Tabel 15: Parameters Monte Carlo simulatie.....	74
Tabel 16: Tornado diagram WP2.13 .....	78
Tabel 17: vergelijkende LCC met subsidie WP2.13 .....	79
Tabel 18: Sensitiviteisanalyse van de LCC met subsidie WP2.20 .....	81
Tabel 19: sensitiviteisanalyse van de LCC met subsidie WP2.10 .....	82
Tabel 20: Sensitiviteisanalyse van de LCC met subsidie WP2.13 .....	82
Tabel 19: Tornado diagram incl. subsidie.....	85

## Lijst figuren

Figuur 1: Finaal energieverbruik.....	7
Figuur 2: CO <sub>2</sub> uitstoot.....	8
Figuur 3: Trias Energetica.....	12
Figuur 4: Warmtepomp.....	24
Figuur 5: Zonneboiler.....	25
Figuur 6: Warmtekrachtcertificaten.....	30
Figuur 7: E-peil i.f.v. netto-energiebehoefte.....	47
Figuur 8: E-peil WP2.10 i.f.v. netto-energiebehoefte (incl. zonnepanelen en zonneboiler).....	48
Figuur 9: Totale geactualiseerde LCC WP2.20 (1).....	52
Figuur 10: Totale geactualiseerde LCC WP2.20 (2).....	52
Figuur 11: Totale geactualiseerde LCC WP2.10 (1).....	53
Figuur 12: Totale geactualiseerde LCC WP2.10 (2).....	53
Figuur 13: Totale geactualiseerde LCC WP2.13 (1).....	54
Figuur 14: Totale geactualiseerde LCC WP2.13 (2).....	54
Figuur 15: Totale investeringskost WP2.20.....	55
Figuur 16: Totale investeringskost WP2.10.....	58
Figuur 17: Totale investeringskost LCC WP2.13.....	59
Figuur 18: Sensitiviteit energieprijis WP2.20.....	68
Figuur 19: Sensitiviteit WACC WP2.20.....	68
Figuur 20: Sensitiviteit WACC WP2.10.....	70
Figuur 21: Sensitiviteit energieprijis WP2.10.....	70
Figuur 22: Sensitiviteit WACC WP2.13.....	71
Figuur 23: Sensitiviteit energieprijis WP2.13.....	72
Figuur 24: Kansverdeling LCC WP2.20.....	75
Figuur 25: Kansverdeling LCC WP2.10.....	76
Figuur 26: Kansverdeling LCC WP2.13.....	77
Figuur 27: Invloed subsidie op totale LCC WP2.20.....	80
Figuur 28: Kansverdeling WP2.20 LCC incl. subsidie.....	83
Figuur 29: Kansverdeling WP2.10 LCC incl. subsidie.....	84
Figuur 30: Kansverdeling WP2.13 LCC incl. subsidie.....	85



## Verklarende woordenlijst

Nulenergiewoning: In België wordt in het Staatsblad (22 september 2010) een nulenergiewoning als volgt gedefinieerd:

*"een woning die gelegen is in een Lidstaat van de Europese Economische Ruimte en die aan de volgende voorwaarden voldoet:*

*De totale energievraag voor ruimteverwarming en koeling blijft beperkt tot 15 kWh/m<sup>2</sup> geklimatiseerde vloeroppervlakte;*

*Bij een luchtdichtheidsproef (overeenkomstig de norm NBN EN 13829) met een druk verschil tussen binnen- en buitenomgeving van 50 Pascal is het luchtverlies niet groter dan 60% van het volume van de woning per uur;*

*De resterende energievraag voor ruimteverwarming en koeling in deze woning wordt volledig gecompenseerd door ter plaatse opgewekte hernieuwbare energie."*

Primaire energie is energie van hernieuwbare en niet hernieuwbare bronnen welke geen conversie of transformatieproces ondergaan heeft (Eceee, 2010).

Geleverde energie is energie uitgedrukt in de eenheid van de energiedrager, geleverd aan de technische systemen van het gebouw doorheen de systeemgrens om te voldoen aan het gebruik van (bijvoorbeeld verwarming, koeling, ventilatie, warm water, licht, toepassingen...) of om elektriciteit te produceren (EN 15603, 2008).

### Systeemgrens:

*Fysieke grens:* Dit omvat een gebouw of een groep van gebouwen; de fysieke grens bepaalt dus of een hernieuwbare energiebron "on-site" of "off-site" is (Sartori, Napolitano, & voss, 2011).

*Balansgrens:* bepaalt welke energievormen (verwarming, koeling, ventilatie, warmwater, licht...) opgenomen worden in de balans (Sartori et al., 2011).

Geëxporteerde energie: dit is energie uitgedrukt in de eenheid van de energiedrager, geleverd door de technische systemen van het gebouw, over de systeemgrens heen (EN 15603, 2008).

Netto geleverde energie: dit is de geleverde energie zonder de geëxporteerde energie, beiden uitgedrukt in dezelfde eenheid (EN 15603, 2008).

NZEB balans: dit is de voorwaarde waaraan voldaan is wanneer het gewogen aanbod gelijk is aan of groter is dan de gewogen vraag over een bepaalde tijdsperiode, meestal een jaar (Sartori et al., 2011).

Gewogen aanbod/ vraag: dit is de som van alle geleverde/geëxporteerde energie, verkregen door het sommeren van alle energiedragers, vermenigvuldigd met hun respectievelijke wegingsfactoren (Sartori et al., 2011).

Rationeel energiegebruik (REG): is evenveel (of meer) doen met minder energie (KU Leuven).

Passiefhuis-Platform (PHP): Het is een VZW samengesteld uit toonaangevende instellingen uit de bouwwereld. Zij vertonen stuk voor stuk engagement met betrekking tot energiebesparing en duurzame technologische ontwikkeling. PHP is een zelfstandige organisatie die neutraal is en niet gebonden is aan leveranciers of andere groeperingen. Het Passiefhuis-Platform stelt zich tot doel de bouw van energiezuinige gebouwen, gebaseerd op het Passiefhuis-concept, te stimuleren. Het platform wenst hiertoe enerzijds bedrijven bij elkaar te brengen die begaan zijn met dit onderwerp en hun te ondersteunen bij de ontwikkeling van Passiefhuis-technologie. Anderzijds wil het PassiefHuis-platform aan alle geïnteresseerde partijen zoveel mogelijk informatie verstrekken (Passiefhuis-PlatformVZW, 2013b).

Emission Trading System (ETS): Sinds 2005 heeft de Europese Unie een markt ontwikkeld van rechten voor de uitstoot van broeikasgassen (Emission Trading System) voor bepaalde industriële bedrijven met veel emissies, waarvan een groot aantal chemische bedrijven zijn. De sectoren die niet aan ETS onderworpen zijn, zijn huishoudens, transport, KMO's...

Energie Prestatie Binnenklimaat (EPB): De eisen op het vlak van energieprestatie en binnenklimaat. In Vlaanderen geldt vanaf 1 januari 2006 de energieprestatieregelgeving. Het doel van de energieprestatieregelgeving is om energiezuinige, comfortabele gebouwen te realiseren in Vlaanderen, in nieuwbouw of via renovatie. Op termijn kan daarmee een aanzienlijke energiebesparing worden gerealiseerd, wat gunstig is voor het leefmilieu en de portemonnee.

Lekdebiet: In een EPB-berekening wordt er normaal gerekend met een lekdebiet (warme lucht die men kwijt geraakt via allerlei kieren en spleten in het gebouw) van  $12\text{m}^3/\text{h}$  per  $\text{m}^2$  verliesoppervlak. Het lekdebiet kan worden opgemeten met behulp van een blowerdoortest. De Belgische norm NBN D 50-001 Ventilatievoorzieningen in woongebouwen beveelt een lekdebiet aan van maximaal  $n50$  van (Leefmilieu Brussel, 2010):

- $3\text{ m}^3/\text{h.m}^3$  als de ventilatie van het gebouw gebeurt met een mechanisch systeem met dubbele stroom;
- $1\text{ m}^3/\text{h.m}^3$  als de ventilatie van het gebouw gebeurt met een mechanisch systeem met dubbele stroom en warmteterugwinning.

Levenscycluskostenanalyse (LCCA)

Levenscycluskost (LCC)





## **Inleiding**

De laatste decennia is de globale opwarming van de aarde een steeds groter wordend probleem. Fossiele grondstoffen geraken meer en meer uitgeput en broeikasgassen, zoals CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>, worden nog altijd teveel uitgestoten. De Europese Unie heeft om deze reden als doelstelling de uitstoot van broeikasgassen tegen 2020 met 20% te verminderen; tegen 2050 wordt een reductie beoogd van 50% ten opzichte van het basis jaar 1990 (European Commission, 2011).

De residentiële sector is een sector waar nog veel ruimte voor verbetering te vinden is. Enkele jaren geleden bedroeg de hoeveelheid energie, geconsumeerd in gebouwen, 40% van het energiegebruik wereldwijd. Daarnaast stond de sector in voor 36% van Europa's CO<sub>2</sub> uitstoot (European Commission, 2011). Het energiegebruik en de uitstoot van de residentiële sector bevatten zowel direct, on-site gebruik, alsook indirect gebruik van fossiele brandstoffen via elektriciteit, warmtenetten en inwendige energie van de constructiematerialen (IEA, 2011). Volgens het Internationaal Energie Agentschap is dit een van de redenen waarom er meer dan vooruitgang in energie-efficiëntie van gebouwen nodig is om de effecten van de uitstoot van broeikasgassen en het tekort van grondstoffen tegen te gaan.

Aldus Kolokotsa et al. (2010) wordt het geleidelijk aan geaccepteerd dat verscheidene maatregelen en veranderingen aan gebouwen een wezenlijke besparing op het vlak van energie met zich mee kunnen brengen. Deze acceptatie leidt er toe dat er vandaag de dag steeds meer en hogere standaarden gesteld worden aan de energieprestatie van een gebouw (Kolokotsa, Rovas, Kosmatopoulos, & Kalaitzakis, 2010).

De Europese Unie (EU) legt verschillende doelstellingen aan haar lidstaten op. Daarom hebben bijna alle landen van de Europese Unie de laatste jaren hun standaarden voor energie-efficiëntie verscherpt. Alsook zijn er veel gediversifieerde meetinstrumenten en labels ontwikkeld door verschillende instanties. Een van deze doelstellingen is ingevoerd op 19 mei 2010 en heeft als doel dat ten laatste eind 2020 alle nieuwbouwwoningen in de EU lidstaten bijna-energie neutrale woningen zijn. Voor publieke gebouwen moet dit al tegen 2018 gerealiseerd zijn. Bovendien stelt de EU dat deze woningen kosteneffectief moeten zijn en dat het eventuele energieverbruik van het gebouw gecompenseerd moet worden door het ter plaatse opwekken van hernieuwbare energie (Ampe & Van Cauter, 2011).

Het netto-nulenergiehuisconcept wil vandaag de dag een oplossing bieden voor het veranderende klimaat en de stijgende energieprijzen door het slinken van de fossiele brandstofvoorraad. Een nulenergie woning is niet de facto een passiefhuis waar de energie

opgewekt wordt met hernieuwbare bronnen. Ook andere bouwsystemen zijn mogelijk. Zo kan in principe van een iets minder goed geïsoleerde woning of een woning waar gekozen wordt voor natuurlijke ventilatie, ook een nulenergiewoning gemaakt worden, als er maar genoeg hernieuwbare energie (wind, biomassa, zonnepanelen, ...) wordt voorzien. Aangezien mensen die gaan bouwen vaak beslissingen nemen uit financieel oogpunt kan de overheid het energiezuinig bouwen stimuleren met behulp van fiscale voordelen en premies. Welke toepassing van hernieuwbare energie het (kosten)efficiëntst is om de beperkte resterende energiebehoefte op te vangen moet per geval worden bekeken.

In december 2010 heeft de Vlaamse regering beslist strengere energieprestatie-eisen (E-peil) te stellen aan nieuwbouwwoningen. Het vereiste E-peil daalt van E80 in 2010 naar E60 in 2014. Deze strengere norm volgt uit een onderzoek dat uitwijst dat het economisch optimum voor woningen vandaag rond de E40 – E50 ligt (Vlaams Energieagentschap, 2013d).

Uit cijfers van het Vlaamse Energieagentschap blijkt dat het gemiddelde energieprestatiepeil van nieuwbouwwoning in de jaren 2006, 2007, 2008 een dalende trend vertoonde. Gedurende die periode mocht volgens de regelgeving gebouwd worden met een E-peil van maximaal E100. Maar in de praktijk werd gemiddeld 20% energiezuiniger gebouwd dan de eis. Het gemiddelde E-peil was voor een vergunningsaanvraag van 2006, 2007 en 2008, gedaald van respectievelijk E86, tot E82 en verder naar E80 (Vlaams Energieagentschap, 2010).

Het is dus misschien het onderzoeken waard of een bijna netto-nulenergiewoning een interessantere economische optie kan zijn/worden dan een traditioneel nieuwbouwhuis.

De doelstelling van deze masterproef is na te gaan of het bouwen van kosteneffectieve netto-nulenergiewoningen economisch rendabel is. Hiervoor wordt via een scenario-analyse voor drie concrete woningen na gegaan wat de randvoorwaarden zijn om tot een haalbare kosteneffectieve bijna-nulenergiewoning te komen. De beperking tot slechts drie netto-nulenergiewoningen heeft te maken met de beperkte tijdsduur voor deze masterproef. Op die manier is het de bedoeling er achter te komen of de doelstelling die Europa gesteld heeft realistisch is. Met andere woorden: willen mensen investeren in dergelijk type van huizen.

# Hoofdstuk 1: Probleemstelling

## 1.1. Praktijkprobleem

### 1.1.1. Wereldwijde klimaatproblematiek

In het wereldenergiesysteem zullen fossiele brandstoffen een dominerende plaats blijven innemen met ongeveer 90% van de totale energievoorziening in 2030. Olie blijft de belangrijkste energiebron (34%), gevolgd door kolen (28%). Bijna twee derde van de toename van de kolenproductie tussen 2000 en 2030 zal uit Azië afkomstig zijn. Aardgas zal naar verwachting in 2030 goed zijn voor een kwart van de wereldenergievoorziening, een toename die grotendeels voor rekening komt van de elektriciteitsproductie. In de EU zal aardgas na olie, maar vóór steenkool en bruinkool de op een na belangrijkste energiebron worden. Kernenergie en hernieuwbare energiebronnen zouden samen goed zijn voor iets minder dan 20% van de energievoorziening van de EU (Europa, 2010).

Omdat fossiele brandstoffen een dominerende rol blijven spelen, wordt verwacht dat de wereldwijde emissie van CO<sub>2</sub> sneller zal toenemen dan het energieverbruik (gemiddeld 2,1% per jaar). In 2030 zal de mondiale emissie van CO<sub>2</sub> meer dan het dubbele bedragen van het niveau in 1990. In de EU zal de emissie naar verwachting in 2030 zijn toegenomen met 18% ten opzichte van 1990, in de VS met ongeveer 50%. Terwijl de emissies van de ontwikkelingslanden in 1990 30% van het totaal vertegenwoordigden, zullen deze landen in 2030 verantwoordelijk zijn voor meer dan de helft van de mondiale CO<sub>2</sub>-emissie (Europa, 2010).

De residentiële sector kan nog een behoorlijk bijdrage leveren aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen en kan op zijn beurt helpen om de uitputting van de fossiele brandstoffen uit te stellen. Het is namelijk een sector waar nog veel ruimte voor verbetering is. Enkele jaren geleden bedroeg de hoeveelheid energie, geconsumeerd in gebouwen wereldwijd, 40% van het energiegebruik wereldwijd. Indien het energiegebruik in de woningsector zo een aanzienlijk aandeel blijft hebben zal de concentratie aan broeikasgassen blijven toenemen en zal de opwarming van de aarde zich verder zetten.

De uitstoot van broeikasgassen kan worden verminderd door het huidige consumptiepatroon aan te passen. Hierdoor moet minder aanspraak gemaakt worden op bepaalde energiebronnen zoals fossiele brandstoffen. Daarnaast wordt het de laatste jaren steeds minder aantrekkelijk om afhankelijk te zijn van fossiele brandstoffen. Wanneer de prijs en de evolutie van een vat ruwe olie over de laatste 50 jaar bekeken wordt, kan er best begonnen worden in 1973. In dat jaar was er voor het eerst spraken van een oliecrisis. De prijs van een vat ruwe olie, die

voordien onder de 20\$ per vat lag, verdubbelde op twee jaar tijd tot boven de 40\$ per vat. Enkele jaren later, tijdens de eerste Golfoorlog, schoot de prijs nog verder de hoogte in tot een waarde van 75\$ per vat. Daarna daalde de prijs gestaag gedurende de volgende 10 jaar. Maar vanaf "9/11" 2001 is de prijs opnieuw de hoogte in geschoten en haalde het bijna een prijs van 100\$ per vat ruwe olie in 2007. Aangezien nog een substantieel deel van de gebouwen in België verwarmd worden met stookolie, heeft de hoge olieprijs een aanzienlijke invloed op de energiefactuur en het energieverbruik in de residentiële sector. De meifuture voor een vat ruwe olie sloot 30 maart 2012 op de New York Mercantile Exchange zelfs \$0,24 hoger op \$103,02 (Dow Jones Newswires, 2012). Een verhoging van de efficiëntie van gebouwen zou dus een aanzienlijke besparing op de energiefactuur kunnen opleveren.

Het besef dat het energieverbruik, van onder andere gebouwen, de komende jaren aanzienlijk moet dalen om de impact op het klimaat te verminderen, groeit wereldwijd. Om echter onafhankelijk te worden van fossiele brandstoffen dringt het gebruik van hernieuwbare energiebronnen zoals zonne-energie en windenergie zich op.

In de jaren negentig steeg de bezorgdheid van de Verenigde Naties omtrent het veranderende klimaat. Daarom werd het Klimaatverdrag, dat een raamverdrag is, in 1992 afgesloten in Rio de Janeiro. De concrete doelstelling van het verdrag is "het stabiliseren van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer op een zodanig niveau, dat een gevaarlijke menselijke invloed op het klimaat wordt voorkomen". Het klimaatverdrag dat in werking trad op 21 maart 1994, bood enkel een algemeen kader. Hoe deze emissiereductie exact verwezenlijkt moest worden, wordt niet duidelijk gespecificeerd.

Om deze reden werd in 1997 in de Japanse stad Kyoto het Kyotoverdrag afgesloten. Het is een protocol dat valt onder het klimaatverdrag en de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen regelt. In het verdrag zijn de 36 deelnemende industrielanden overeengekomen om de uitstoot van broeikasgassen zoals koolstofdioxide, methaan, lachgas, ... tussen 2008-2012 met gemiddeld 5,2% te verminderen ten opzichte van het niveau in 1990. De reductiepercentages verschillen van land tot land, ook bij de individuele lidstaten van Europa. In België wordt de doelstelling nog eens verder opgesplitst in de gewesten. Het Vlaamse Gewest zou de uitstoot van zijn broeikasgassen met ongeveer 5.2% moeten verminderen. Het Waals Gewest zou zo zijn uitstoot met 7.5% moeten reduceren en het Brussels Gewest mag haar uitstoot verhogen met 3.475%. Dit zijn de doelstellingen voor de periode 2008-2012 in vergelijking met het basisjaar 1990 (Vlaamse overheid, 2006). De ontwikkelingslanden kregen geen reductieverplichtingen door dit Protocol. Zij moeten wel een

emissie-inventaris uitwerken zoals de industrielanden (Departement leefmilieu en energie, 2013).

Na het afsluiten van het Kyotoverdrag zijn nog verschillende andere klimaatconferenties georganiseerd om de acties te bepalen die verschillende landen na 2012 moeten ondernemen om de verdere opwarming van de aarde te voorkomen. Tijdens de klimaatconferentie van Kopenhagen (2009) werd er onderhandeld over een nieuw klimaatverdrag om het Kyoto-protocol na 2012 op te volgen. De conferentie eindigde niet in een juridisch bindend akkoord. Er werden slechts niet-bindende maatregelen tegen de klimaatverandering overeengekomen tussen de VS, China en enkele opkomende economieën. Er werd afgesproken een fonds op te richten voor arme landen die kampen met de gevolgen van klimaatverandering, alsook wordt ernaar gestreefd om de opwarming van de aarde te beperken tot 2 graden Celsius.

Op de klimaatconferentie van Cancún (2010) werd er opnieuw gesproken over een opvolger voor het Kyoto-protocol. Deze keer werd er wel een akkoord bereikt en werd er een juridisch bindend VN-document opgesteld. Alle landen kwamen overeen dat de wereldtemperatuur maximaal met 2 graden mag stijgen. Daarnaast zijn er afspraken gemaakt over CO<sub>2</sub>-reductiecijfers en over bestrijding van ontbossing. Over het verlengen van het Kyoto-protocol werd nog geen overeenstemming bereikt.

Pas op de klimaatconferentie van Doha (2012) werd er een overkomst bereikt met betrekking tot de verlenging van het Kyoto-protocol. De deelnemende landen hebben besloten dit protocol uit 1997 te verlengen (Milieuloket, 2012).

### **1.1.2. Europese klimaatrichtlijnen**

In het kader van het Kyoto-protocol werd op 19 mei 2010 de richtlijn 2010/31/EU betreffende de energieprestatie van gebouwen van het Europese parlement en de raad goedgekeurd. Deze richtlijn heeft als doel de energieprestatie van gebouwen en gebouwunits te verbeteren. Daarnaast vervangt het de oude richtlijn 2002/91/EG. Op 18 juni 2010 werd deze richtlijn gepubliceerd in het Publicatieblad van de Europese Unie. Het bevat vier verplichtingen die aan de lidstaten van de Europese Unie worden opgelegd (Europese Unie, 2010).

- Vaststelling van de minimumeisen inzake energieprestatie teneinde kostenoptimale niveaus te bereiken. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen nieuwe en bestaande woningen.

- Doelstelling: bijna-energie neutrale gebouwen. Vanaf 31 december 2020 moeten alle nieuwe gebouwen bijna-energie neutrale gebouwen zijn. Voor nieuwe gebouwen waarin overheidsinstanties zijn gehuisvest die eigenaar zijn van deze gebouwen is dat vanaf 31 december 2018.
- Opstellen lijst financiële stimulansen en marktbelemmeringen.
- Opzetten van een systeem van energieprestatiecertificaten voor gebouwen.

### **1.1.3. Vlaamse klimaatproblematiek**

Het klimaatdossier behoort in België tot een gedeeld takenpakket tussen de federale overheid en de gewesten. De federale overheid beschikt over belangrijke beleidsinstrumenten voor fiscaliteit en productbeleid. De gewesten zijn bevoegd voor het beleid rond rationeel energiegebruik (REG), hernieuwbare energie, milieuwetgeving en klimaataspecten in de domeinen mobiliteit, woonbeleid en landbouw. Om deze reden wordt het Vlaamse klimaatplan bekeken.

Volgens de Europese regelgeving moet de Belgische uitstoot van de niet-ETS-sectoren met 15% dalen tussen 2013 en 2020 t.o.v. 2005. Deze doelstelling moet nog verdeeld worden tussen de gewesten en de federale overheid.

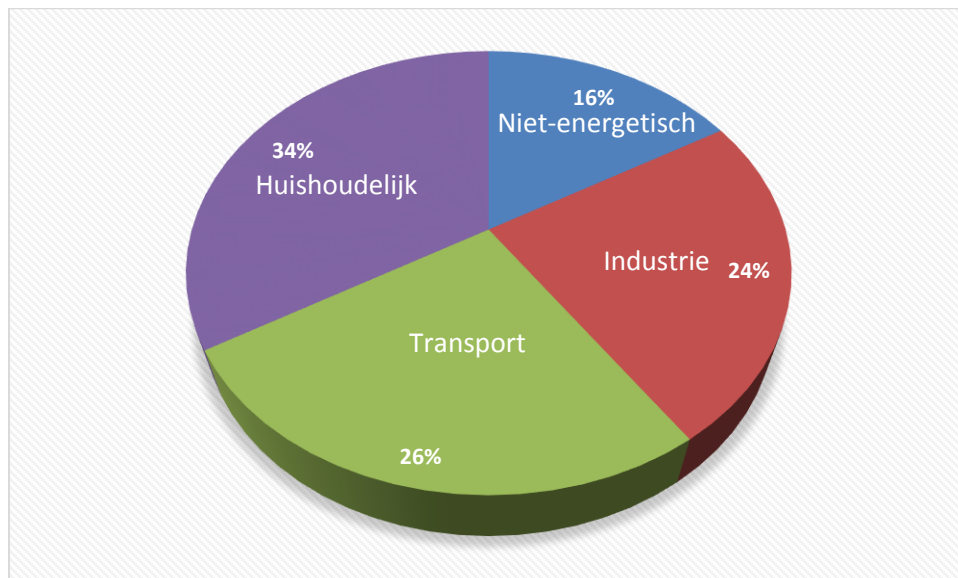
Als eerste luik van het Vlaams Klimaatbeleidsplan (VKP), heeft het Vlaams Mitigatieplan (VMP) het doel om de uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen tussen 2013 en 2020 te reduceren en zo de klimaatverandering tegen te gaan. Daarnaast wordt er ook een basis gelegd voor de noodzakelijke emissiereducties richting 2050. Op 1 februari 2013 werd het eerste ontwerp van het VMP principieel goedgekeurd door de Vlaamse Regering. Het plan bevat ook een beleid voor, zowel residentieel als tertiair (Departement leefmilieu en energie, 2013).

De stijging van het aantal gebouwen en individuele wooneenheden en de groeiende vraag naar comfort hebben een stijging in het finaal energieverbruik (beschikbare hoeveelheid energie voor de eindverbruiker) in gebouwen tot gevolg. Zo steeg het finaal energieverbruik sinds 1990 met 36%. De laatste jaren kan er echter een daling geconstateerd worden, maar deze komt nog niet onder het niveau van 1990 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2011).

Beslissingen over het type isolatie, oriëntering... hebben gevolgen voor het energieverbruik voor de hele levensduur van gebouwen. Om deze reden wordt het beleid voor gebouwen gericht op maatregelen van rationeel energiegebruik (REG). Dit beleid wordt gevoerd met behulp van een aantal type-instrumenten. Een daarvan is de energieprestatieregelgeving die

eisen oplegt aan nieuwbouwwoningen en grondige renovaties, zowel voor de residentiële als tertiaire gebouwen (Departement leefmilieu en energie, 2013).

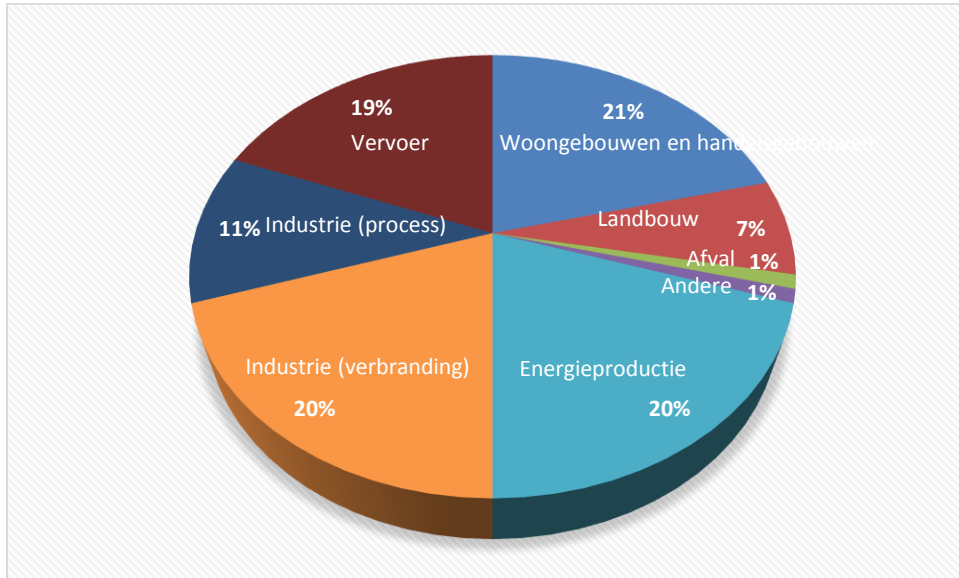
Uit gegevens van de FOD Economie, K.M.O, Middenstand en Energie (2009) blijkt dat de huishoudelijke sector instaat voor 33,5% van het finale energieverbruik (*figuur 1*), en dus de grootste verbruiker is. Daarnaast blijkt ook uit gegevens van FOD Economie, K.M.O, Middenstand en Energie (2008) dat woon- en handelsgebouwen instaan voor 21% van de uitstoot van broeikasgassen in België (*figuur 2*). Hoewel de bouw een groot aandeel heeft in de uitstoot van broeikasgassen, beschikt de sector over een aanzienlijk potentieel in de strijd tegen het broeikaseffect en de klimaatverandering via een verbetering van de energieprestatie. Een betere energie-efficiëntie in gebouwen leidt bovendien niet alleen tot een vermindering van de broeikasgassen, maar ook tot een lagere energiefactuur en een minder grote energieafhankelijkheid van de Belgische economie, terwijl de economische bedrijvigheid en de tewerkstelling stijgen (FOD Economie, 2008). Dit hoge uitstoot percentage is te wijten aan de overwegend oude woningen in België. Bovendien is een groot aantal van de bestaande woningen niet goed genoeg geïsoleerd, wat een groot verlies op het vlak van energie-efficiëntie met zich mee brengt.



**Figuur 1: Finaal energieverbruik**

<bron:[http://statbel.fgov.be/nl/binaries/1585-11-01%20De%20energiemarkt%20in%202009\\_tcm325-140066.pdf](http://statbel.fgov.be/nl/binaries/1585-11-01%20De%20energiemarkt%20in%202009_tcm325-140066.pdf)>





**Figuur 2: CO<sub>2</sub> uitstoot**

<bron:[http://economie.fgov.be/nl/binaries/belgian\\_economy\\_2008\\_nl\\_tcm325-77527.pdf](http://economie.fgov.be/nl/binaries/belgian_economy_2008_nl_tcm325-77527.pdf)>

## 1.2. Centrale onderzoeksvraag

Aan de hand van bovenstaande probleemstelling kan de centrale onderzoeksvraag worden afgeleid:

***Onder welke randvoorwaarden is het mogelijk om tot een reële kosteneffectieve nulenergiewoning te komen?***

Om bovenstaande centrale onderzoeksvraag te beantwoorden, zal er gebruikt gemaakt worden van verschillende scenario-analyses die toegepast zullen worden op drie concrete woningen. Zo zal concreet de invloed bestudeerd worden van verschillende variabelen die al dan niet een invloed hebben op het realiseren van een kosteneffectieve nulenergiewoning. Het onderzoek wordt dus toegespitst op een nulenergiewoning en niet een bijna-nulenergiewoning. De reden hiervoor is dat bij het opstellen van de target van Europa "bijna" onvoldoende gedefinieerd is en hierdoor ook geen eenduidig antwoord op de onderzoeksvraag gegeven kan worden.

Allereerst is het belangrijk te weten waaraan een woning moet voldoen om te kunnen/mogen spreken over een nulenergiewoning en wat deze woning onderscheidt van de andere woningen. Hierbij zal worden gekeken naar de wettelijke vereisten. De eerste deelvraag kan als volgt worden geformuleerd:

1. *Aan welke voorwaarden moeten voldaan zijn om te spreken van een nulenergiewoning en welke technieken zijn hier voor nodig?*

Vervolgens is het essentieel te weten welke factoren een invloed hebben op de realiseerbaarheid van een kosteneffectieve nulenergiewoning. Hierbij dient ook een onderscheid gemaakt te worden tussen factoren die gecontroleerd kunnen worden en factoren die niet gecontroleerd kunnen worden. Zo komt men bij de tweede deelvraag:

*2. Welken factoren hebben al dan niet een invloed op het bereiken van een kosteneffectieve nulenergiewoning?*

Alsook worden er verschillende subsidies en belastingsverminderingen toegekend door de overheid (Vlaams Energieagentschap, 2012). Deze zouden een invloed kunnen hebben op het economisch optimaal resultaat. Dit is het onderwerp van de derde deelvraag:

*3. In welke mate beïnvloedt overheidssteun de haalbaarheid van een nulenergiehuis?*

In België heeft Vlaanderen zelf, zoals die EU voorschrijft, een definitie opgesteld voor netto-nulenergiewoningen. Of deze eisen economisch optimaal zijn is niet gekend. Dit leidt tot deelvraag vier.

*4. Is de Vlaamse definitie voor een netto-nulenergiehuis optimaal; zo nee, waar zou de norm best liggen?*

### **1.3. Onderzoeksopzet**

Om een antwoord te vinden op de centrale onderzoeksvraag en de bovenstaande deelvragen werd deze eindverhandeling opgedeeld in verschillende hoofdstukken.

*Hoofdstuk 2* bespreekt de regelgeving die geldt zowel voor een EPB-gestandaardiseerde woning enerzijds als een netto-nulenergiehuis anderzijds. Hiervoor werd een literatuuronderzoek uitgevoerd om uiteindelijk de eerste deelvraag te kunnen beantwoorden en een idee te krijgen van de vereiste van beide type woningen.

In *hoofdstuk 3* worden de verschillende types subsidies en steunmaatregelen, die door de overheden en netbeheerders in België worden geven, in beschouwing genomen

*Hoofdstuk 4* gaat over de verschillende economische methodes die in hoofdstuk 6 op de drie verschillende woningen zullen worden toegepast.

In *hoofdstuk 5* wordt allereerst besproken of het economisch rendabel is in netto-nulenergieversies van de drie verschillende woningen te investeren of dat het goedkoper is gewoon te investeren in een EPB-gestandaardiseerde versie van de woning. Nadat dit onderzocht is, worden de financiële steunmaatregelen geïmplementeerd in de berekeningen

en wordt er gekeken welke invloed dit heeft op het resultaat. Voor beide investeringsanalyses wordt nog eens het risico en de onzekerheid bestudeerd. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van een sensitiviteitsanalyse en Monte Carlo simulaties.

In *hoofdstuk 6*, het hoofdstuk worden verschillende conclusies getrokken en wordt er gepoogd een aantal aanbevelingen te geven.

## Hoofdstuk 2: Energieprestatieregelgeving

Naar aanleiding van het Vlaams Klimaatplan en voortvloeiend uit de verplichtingen van de Europese richtlijn 2002/91/EC is de energieprestatieregelgeving opgesteld in Vlaanderen. Deze regelgeving werd oorspronkelijk gevormd door het EPB-decreet van 22 december 2006. Dit decreet verving het Energieprestatiedecreet van 7 mei 2004; het besluit van de Vlaamse regering van 11 maart 2005. Momenteel staat de regelgeving vermeld in het energiedecreet van 8 mei 2009 en het energiebesluit van 10 november 2010. Het formuleert minimumeisen voor de energieprestatie van zowel nieuwbouw als bestaande woningen en worden ook wel de EPB-eisen genoemd (Vlaams Energieagentschap, 2013b).

De EPB-eisen verschillen naar gelang de bestemming (wonen, kantoor en school, industrie of een andere specifieke bestemming) en naar gelang het aard van het werk (nieuwbouw, herbouw, ontmanteling, ...). Stapsgewijs verstrengen de EPB-eisen om de doelstellingen van de klimaatconferenties te halen. De meest recente aanscherping van de eisen dateert van 1 januari 2012.

De energieprestatieregelgeving heeft als doelstelling energiezuinige, comfortabele gebouwen te realiseren in Vlaanderen, in nieuwbouw of via renovatie. Op termijn kan daarmee een aanzienlijke energiebesparing worden gerealiseerd, wat gunstig is voor het leefmilieu en de financiële toestand van de Vlamingen. Alle gebouwen waarvoor vanaf 1 januari 2006 een aanvraag om te bouwen of verbouwen wordt ingediend, moeten een bepaald niveau van thermische isolatie, energieprestatie (isolatie, energiezuinige verwarmingsinstallatie, ventilatie, ...) en een gezond binnenklimaat behalen (Vlaams Energieagentschap, 2013b).

Bij de constructie van een netto-nulenergiehuis dient er bij de implementatie van de verschillende maatregelen rekening gehouden te worden met de Trias Energetica.

Dit principe van **Trias Energetica** kan opgesplitst worden in drie verschillende stappen (TUDelft):

- Stap 1. Beperk het energieverbruik door beperking van de vraag naar verwarming, koeling en verlichting (Verbeeck, 2012).
  - o *Verwarming en koeling*: De behoefte aan energie hangt af van de balans tussen warmteverliezen en warmtewinsten. Een juiste balans tussen isolatie, ventilatie, bezonning en optimale gebruikmaking van thermische massa zijn vereist (Optimaal isoleren, luchtdicht bouwen, warmteterugwinning).
  - o *Verlichting*: De behoefte hangt af van de hoeveelheid daglicht.

- Stap 2. Gebruik duurzame energiebronnen voor het dekken van de energiebehoefte.
  - o *Verwarming en koeling*: Gebruik van zonne-energie, bodemwarmte, ...
  - o *Verlichting*: Daglichtbenutting, elektriciteit uit zonne-energie, ...
- Stap 3. Gebruik eindige energiebronnen efficiënt en effectief (hoog rendement).
  - o *Verwarming en koeling*: Meest efficiënte ketel of warmtepomp of koeltechniek gebruiken, correct dimensioneren, correct installeren en inregelen, ...
  - o *Verlichting*: zuinige lampen, daglichtsturing, aanwezigheidsdetectie, juiste plaatsing kunstverlichting, ...



**Figuur 3: Trias Energetica**  
 <Bron: [www.renewable-energy-now.org](http://www.renewable-energy-now.org)>

Het principe van deze Energetica biedt een denkwijze bestaande uit 3 stappen die in die volgorde leiden tot een zo duurzaam mogelijke energievoorziening voor het gebouw. Stap 1 moet dus eerst toegepast worden alvorens stap 2 toegepast wordt (Nenco, 2012).

### 2.1. EPB-eisen model woning

De energieprestatieregelgeving legt zes verschillende types eisen op, gegroepeerd in drie categorieën (eisen op vlak van thermische isolatie; energieprestatie-eisen en eisen op het vlak van het binnenklimaat). De strengheid van de eisen is afhankelijk van de datum waarop de bouwvergunningaanvraag is ingediend. Indien er vanuit gegaan wordt dat voor de bestudeerde nieuwbouwwoning de bouwvergunningaanvraag ingediend is na 1 januari 2013,

moet het huis voldoen aan de volgende zes eisen van de energieprestatieregelgeving in Vlaanderen (Bonnarens, 2010).

### **2.1.1. Maximaal K-peil**

Het K-peil is een maat voor het globaal isolatiepeil van een woning. Hoe lager het K-peil, hoe beter het gebouw is geïsoleerd en hoe minder warmte er dus via de schil van het gebouw kan ontsnappen. Het K-Peil wordt berekend aan de hand van de verschillende U-waarden van de verschillende onderdelen van het gebouw en de compactheid van de woning (beschermde volume / warmteverliesoppervlak). Hoe compacter de woning, hoe lager het K-peil, als de andere parameters dezelfde blijven. In de energieprestatieregelgeving geldt een maximaal K-peil K40 voor woningen waarbij de stedenbouwkundige vergunning aangevraagd is vanaf 1 januari 2012 (Vlaams Energieagentschap, 2013c). De K-peileis geldt, in tegenstelling tot de E-peileis, voor het gebouw als geheel (Bonnarens, 2010).

### **2.1.2. Maximale U- en Minimale R-waarden**

De energieprestatieregelgeving legt maximale warmtedoorgangscoefficienten (U-waarden) op aan de scheidingsconstructies (muur, vloer, dak, raam, deur, ...). Voor bepaalde scheidingsconstructies gelden minimale warmteweerstanden (R-waarden), in plaats van maximale U-waarden. De U-waarde van milieu tot milieu is het omgekeerde van de totale warmteweerstand R ( $U = 1/R$ ).

De U-waarde is handig om op een kwantitatieve manier te beschrijven hoe goed een constructiedeel geïsoleerd is. Bij de berekening van de U-waarde wordt niet alleen de isolatielaag in rekening gebracht maar ook verschillende andere onderdelen (Dubolimburg).

Meer specifiek geeft de U-waarde het warmteverlies aan dat per m<sup>2</sup>, per uur en per temperatuurverschil van 1° Celsius tussen binnen- en buitenmuur overgaat van de lucht in een binnenruimte naar de buitenlucht. Hoe lager de U-waarde (uitgedrukt in W/m<sup>2</sup>K), hoe beter de isolerende werking van het constructieonderdeel (Passiefhuis-PlatformVZW).

Voor niet-transparante delen van een gebouw zoals vloeren, muren en daken gelden de volgende U-waarden (Vlaams Energieagentschap, 2013c):

- Muren niet in contact met de grond:  $U < 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Muren in contact met de grond:  $U < 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Daken en plafonds:  $U < 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Vloeren in contact met de buitenomgeving:  $U < 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Voor transparante bouwdelen en schrijnwerk gelden andere prestatie-eisen:

- U-waarde van buitenschrijnwerk (frame):  $U_f < 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- U-waarde van beglazing (glass):  $U_g < 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- U-waarde van het gehele raam (window):  $U_w < 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Aan de hand van bovenstaande U-waardes kan een architect de vereiste isolatiediktes berekenen. De benodigde dikte van het isolatiemateriaal is afhankelijk van het type materiaal wat er gebruikt wordt.

### **2.1.3. Maximaal E-peil**

Het E-peil is een maat voor de energieprestatie van een woning en de vaste installaties ervan onder normale omstandigheden, een maat voor het karakteristieke jaarlijks primair energieverbruik. De energieprestatieregelgeving vermeldt een E-peil van E60 voor huizen waarvan de stedenbouwkundige vergunning aangevraagd is vanaf 1 januari 2014. Voor stedenbouwkundige vergunningen die worden aangevraagd voor 31 december 2013 geldt een E-peileis van E70. Hoe lager het E-peil, hoe minder energie het gebouw nodig heeft voor verwarming, warmwater, elektriciteit, ... (Habitos, 2011). Het E-peil hangt af van de compactheid, de thermische isolatie, de luchtdichtheid, de ventilatie, de koelinstallatie, de verwarmingsinstallatie en het systeem voor warmwatervoorziening (Bonnarens, 2010).

Het energieverbruik kan verder geminimaliseerd worden door een zeer goede luchtdichtheid van het gebouw, op deze manier gaat er geen onnodige warmte via ongecontroleerde openingen. De luchtdichtheid van een gebouw kan getest worden met behulp van een luchtdichtheidsproef (Norm = NBN EN 13829) waarbij een drukverschil van 50 Pascal gecreëerd wordt tussen de binnen en buitenomgeving. De luchtverliezen bij dit drukverschil wordt ook wel de n50-waarde genoemd. Typische zwakke plekken in de luchtdichtheid bij de reguliere bouw zijn: aansluitingen van buiten- met binnenwanden, daken of vloeren; het buitenschrijnwerk, de rolluiken en de aansluiting met de ruwbouw; allerhande doorgangen van riolerings- en ventilatiebuizen; ... (Passiefhuis-PlatformVZW, 2011).

#### ***2.1.3.1. Maximale netto-energiebehoefte voor verwarming***

Sinds 2012 geldt een nieuwe eis voor woongebouwen die een stedenbouwkundige aanvraag of melding doen vanaf 1 januari 2012. Sinds deze datum moet de netto-energiebehoefte voor verwarming in elke wooneenheid beperkt zijn tot 70 kWh/m<sup>2</sup>. Dit kan op verscheidene manieren bereikt worden. Er kan beter thermisch geïsoleerd worden, de ventilatieverliezen

kunnen beperkt worden (efficiëntere ventilatiesystemen en luchtdichtbouwen) en warmtewinsten kunnen optimaal benut worden.

### ***2.1.3.2. Minimale ventilatie***

Er gelden minimale ventilatie-eisen die afhangen van zowel de 'aard van het werk' alsook van de 'bestemming', en zelfs van de functie van de ruimte (Vlaams Energieagentschap, 2013c):

- Bij een deelproject 'verbouwing' moeten er enkel voor de droge ruimten (niet-was en of douche plaatsen) waar ramen vervangen worden, minimale toevoeropeningen voorzien worden;
- Bij andere werkzaamheden moet een volledig ventilatiesysteem geïnstalleerd worden.

Een woongebouw dient over ventilatievoorzieningen te beschikken die toelaten om aan de ventilatie-eisen voor woongebouwen te voldoen. Algemeen geldt dat het nominaal debiet kleiner is dan  $3,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ .

### ***2.1.3.3. Beperking van oververhitting***

Het risico op oververhitting van woongebouwen moet zoveel mogelijk worden beperkt, zodat minder energie nodig is om het gebouw te koelen. Dit is ook interessant in het opzicht van een laag E-peil. Om oververhitting te vermijden dient reeds in de ontwerpfase aandacht besteed te worden aan de oriëntatie van de vensters en de zonnetoetredingsfactor van de beglazing. Daarnaast dient ook rekening gehouden te worden met de effectieve zonwering aan de vensters en de beschaduwing van vensters door luifels. De bouwwijze heeft ook een significante invloed op het risico op oververhitting. Zo heeft een lichte bouwwijze (houtskelet, ...) minder thermische capaciteit (de warmte die het kan opslaan) dan een massiefbouw, wat sneller kan leiden tot oververhitting. Materialen met een hogere thermische capaciteit zijn beter in staat warmte op te slaan in hun massa (Vlaams Energieagentschap, 2013c).

Een gebouw voldoet aan de energieprestatieregelgeving indien aan alle zes van de hier boven beschreven eisen is voldaan.

## **2.2. Netto-nulenergiehuis**

### **2.2.1. Definitie**

De herziening van de Europese Richtlijn (richtlijn 2010/31/EU betreffende de energieprestatie van gebouwen) op 19 mei 2010 stelt dat vanaf 31 december 2020 alle nieuwe gebouwen bijna-energie neutrale gebouwen moeten zijn. Dit brengt verschillende consequenties met zich mee. Ten eerste zullen gebouwen energiezuiniger moeten worden en zullen bovenstaande



eisen, in de loop van de jaren, strenger moeten worden gemaakt. Daarnaast zal een groot aandeel van het resterende energieverbruik in nieuwe gebouwen geleverd moeten worden door hernieuwbare energie.

De EU eis stelt voorop dat een netto-nulenergiehuis allereerst aan dezelfde vereisten voor netto-energiebehoefte en luchtdichtheid als een passiefhuis moet voldoen. Daarnaast wordt de energie nodig om deze energiebehoefte te dekken, (maximaal 15kWh/m<sup>2</sup> vloeroppervlakte per jaar) opgewekt met behulp van hernieuwbare energiebronnen zoals fotovoltaïsche panelen of warmtepompen.

Er kan gesteld worden dat een bijna netto-nulenergiehuis een gebouw is met een zeer hoge energieprestatie. De zeer lage hoeveelheid energie die nodig is, moet worden gedekt door energie die is opgewekt, op het terrein of in de omgeving zelf, met hernieuwbare energiebronnen. De Europese Commissie geeft in zijn eisen niet aan wat een minimaal of maximaal aanvaardbaar niveau is. Dit moet zelf worden ingevuld door elk van de lidstaten. De lidstaten beslissen dus zelf wat voor hen precies een "zeer hoge energieprestatie" is (Kurnitski et al., 2010).

Als netto-nulenergiehuizen gezien worden als zeer energie efficiënte gebouwen, dan zou eenvoudiger gezegd kunnen worden dat netto-nulenergiehuizen lage energiewoningen zouden moeten zijn. Maar zoiets is makkelijker gezegd dan gedefinieerd aangezien er in Europa geen overeenstemming is over wat een lage energiewoning is. Dit kan er toe leiden dat slecht ontworpen gebouwen aan de definitie van netto-nulenergie huizen kunnen voldoen door heel grote energieopwekkingsystemen te plaatsen (Sartori et al., 2010).

Het probleem dat wordt aangehaald door Sartori et al. (2010) wordt vermeden door de in België opgestelde definitie. Het hoofdkenmerk van deze definitie is dat in eerste instantie een woning moet worden gerealiseerd die slechts een beperkte vraag naar energie heeft en dat in tweede instantie de hoeveelheid gebruikte energie gedurende een bepaald jaar, in dat zelfde jaar terug opgewekt wordt. Op deze manier wordt op het einde van het jaar een balanstotaal van nul bereikt.

In eigen woorden omschreven luidt de Belgische definitie als volgt. *"Een huis in België is een netto-nulenergiehuis wanneer het streeft naar een energievraag dat lager is dan 15 kWh/m<sup>2</sup>.a en een luchtverlies niet groter dan 60% bij een drukverschil tussen binnen- en buitenomgeving van 50 Pascal. Deze resultaten worden bereikt door het invoeren van verschillende energie besparende maatregelen. Het gebruik van koeling en verwarming wordt verder vermeden en*

*de rest van de benodigde energie wordt op gewekt met hernieuwbare energie bronnen opdat een E-peil van 0 bereikt wordt."*

### **2.2.2. Standaarden**

Voor het behalen van een door PHP afgeleverd nulenergiecertificaat, dient een woning te voldoen aan de passiefhuisstandaard. Daarnaast dient ook worden aangetoond dat de netto-energiebehoefte (van  $\leq 15$  kWh/m<sup>2</sup> per jaar) volledig wordt gecompenseerd door ter plaatse opgewekte, hernieuwbare energie. Het PHP-platform beschouwt drie potentiële technieken als "ter plaatse geproduceerde hernieuwbare energie": een warmtepomp, thermische zonnepanelen die warm water produceren en fotovoltaïsche panelen die elektriciteit produceren. Biomassa en windenergie komen in de regel niet in aanmerking als "ter plaatse geproduceerde hernieuwbare energie" omdat zij niet op de bouwplaats zelf worden geproduceerd (Passiefhuis-PlatformVZW, 2013d).

De wetgeving erkent echter nog andere bronnen van ter plaatse geproduceerde hernieuwbare energie. Dit is terug te vinden in de Vlaamse energieprestatieregelgeving. Naast de drie vormen die het PHP-platform erkent, kan er volgens de wetgeving ook gebruik gemaakt worden van biomassa, stadsverwarming en -koeling ofwel een deelname in een project voor productie van hernieuwbare energie, waarvoor de vergunningen verleend werden na 01/01/2014 (Vlaams Energieagentschap, 2013a).

Voor elk van die systemen gelden een aantal voorwaarden om te garanderen dat het systeem voldoende hernieuwbare energie produceert (kwantitatieve voorwaarde), op een efficiënte wijze (kwalitatieve voorwaarde). De kwalitatieve en kwantitatieve voorwaarden worden in *tabel 1* schematisch weergegeven (Vlaams Energieagentschap, 2013a).

<b>systeem</b>	<b>kwalitatieve voorwaarde</b>	<b>kwantitatieve voorwaarde</b>
<b>Zonneboiler</b>	Helling: tussen 0° en 70° Oriëntatie: oost – zuid - west	Oppervlakte van de collector is minstens 0,02 m <sup>2</sup> per m <sup>2</sup> bruikbare vloeroppervlakte van de woning
<b>PV-installatie</b>	Helling: tussen 0° en 70° Oriëntatie: oost – zuid - west	De opbrengst (zoals berekend volgens EPB-berekeningsmethodiek) is minstens 7 kWh (vanaf 2016: minstens 10 kWh) per m <sup>2</sup> bruikbare vloeroppervlakte van de woning.
<b>Biomassa</b>	Rendement, volgens K.B. van 12/10/2010 $\geq 85\%$ Emissieniveaus (CO en fijn stof) < grenswaarden uit fase III van K.B. van 12/10/2010	Toegepast als hoofdverwarming (dekt minstens 85% van de warmtevraag)
<b>Warmtepomp</b>	Seizoensprestatiefactor (SPF) > 4	Toegepast als hoofdverwarming (dekt minstens 85% van de warmtevraag)
<b>Stadsverwarming en -koeling</b>	Minstens 45% uit hernieuwbare energiebronnen	/
<b>Participatie in project voor productie van hernieuwbare energie, waarvoor de vergunningen verleend werden na 01/01/2014</b>	Project produceert minstens 7 kWh per m <sup>2</sup> bruikbare vloeroppervlakte van alle participaties samen	Participatie bedraagt minstens 20 € per m <sup>2</sup> bruikbare vloeroppervlakte van de woning.

**Tabel 1: Standaarden**

<Bron: <http://www.energiesparen.be/epb/groeneenergie>>

Aangezien een netto-nulenergiehuis in België moet voldoen aan nagenoeg dezelfde standaarden als een passiefhuis wordt eerst de constructiestandaard van een passiefhuis besproken. Daarna worden verschillende soorten bronnen aangehaald voor ter plaatste geproduceerde hernieuwbare energie.

Bij de bouw van een netto-nulenergiehuis dient er rekening gehouden te worden met verschillende punten zoals de schikking van de ruimtes in het gebouw, de ruimtelijke schikking in het landschap en de compactheid.

- *Schikking van ruimtes*

Enorme hoeveelheden energie kunnen bewaard blijven door ruimtes strategisch te plaatsen. Door de woonruimtes in functie van de zon te plaatsen, kunnen verwarmingskosten verminderen en kan het wooncomfort worden verhoogd. Opslagruimtes, garages en andere ruimtes kunnen bijvoorbeeld best aan de noordelijke zijde van het gebouw geplaatst worden. Deze ruimtes, die niet zoveel verwarming vereisen, hebben minder baat bij de passieve opwarming die ze aan de zuidkant zouden genieten. De ruimtes die het meeste licht en warmte nodig hebben, zouden dus best aan de zuidkant geplaatst worden.

Warme ruimtes, die geïsoleerd en luchtdicht zijn, zouden best gescheiden worden van de natte en koude ruimtes zoals bergingen, kelders, garage, ... Daarnaast zouden de natte ruimtes ook best gegroepeerd worden, zodat de leidingen en ventilatiekanalen kort bij elkaar kunnen liggen en zodoende minder energie (warmte) verloren kan gaan.

- *Ruimtelijke schikking in het landschap*

Een juiste schikking in het landschap kan ervoor zorgen dat er in de zomer minder energie naar koeling moet gaan en in de winter minder energie naar verwarming. Dit kan bereikt worden door bijvoorbeeld bomen aan de oost en west kant van het gebouw te plaatsen. Zij leveren in de zomer schaduw en in de winter houden zij koude wind tegen.

- *Compactheid*

Compact bouwen betekent de woning op zo een manier bouwen dat het bewoonbare volume binnen een zo klein mogelijke buitenoppervlakte heeft. Hoe kleiner de muuroppervlakte die in contact komt met de buitenlucht, hoe minder warmte er via deze weg verloren kan gaan. Een bol heeft de meest compacte vorm, maar daar deze niet praktisch is en moeilijk te bouwen, wordt vaak de kubus vorm verkozen. Rijwoningen zijn in het algemeen compacter dan vrijstaande woningen. Momenteel is er nog geen specifieke eis voor de compactheid van een netto-nulenergiehuis. De invloed van de compactheid wordt daarentegen wel meegerekend in het niveau van thermische isolatie en energieprestatie van een gebouw (Vlaams Energieagentschap, 2010).

Naast de bovenstaande aandachtspunten wordt er, indien energiebesparende maatregelen bij een bestaand gebouw ingevoerd worden, een bepaalde volgorde aangeraden. Dit opdat de invoering van deze maatregelen economisch aantrekkelijker kunnen zijn in een bepaalde volgorde (micro economisch gezien). Uit een onderzoek van vijf referentiegebouwen in België bleek dat, afhankelijk van het beschikbare budget en de achterliggende motivatie (beperkte investering, economische winst op lange termijn), de implementatie van energiebesparende maatregelen gespreid kunnen worden in de tijd. Hoewel veel van deze maatregelen onafhankelijk van elkaar kunnen worden ingevoerd, wordt er toch aangeraden een bepaalde volgorde voor de invoering van energiebesparende maatregelen te volgen. Beginnend met de meest effectieve en duurzame maatregelen (Verbeeck & Hens, 2004).

1. Isolatie van het dak;
2. Isolatie van de vloer indien mogelijk;

3. Beter isolerende beglazing;
4. Efficiënter verwarmingssysteem;
5. Hernieuwbare energievoorziening.

#### ***2.2.2.1. Beperken van warmteverliezen door te isoleren***

Om het energieverbruik tot een minimum terug te dringen is een geoptimaliseerde isolatielaag nodig (Xella). Isolatie verbetert de weerstand tegen warmtestromen uit het gebouw. Dit laat toe dat het gebouw minder snel opwarmt in de zomer en warm blijft in de winter (Kadam, 2001). Uit praktijkvoorbeelden van passiefhuizen blijkt dat de isolatie in de wanden momenteel kan variëren van 15 tot 40 cm, afhankelijk van het gebruikte isolatiemateriaal, oriëntatie, compactheid, ... Doorgaans is er zo'n 20 cm isolatie nodig in de vloer, 25 à 35 cm in de muren en 40 à 45 cm in het dak. De ramen bestaan uit drievoudige beglazing met thermisch onderbroken schrijnwerk (Passiefhuis-PlatformVZW, 2013c).

Een minimum isolatiedikte wordt er echter niet opgelegd, wel een streefwaarde voor de maximale U-waarde voor vloer, muur en dak, buitenschrijnwerk en beglazing (Vlaams Energieagentschap, 2013c):

- U-waarde van vloeren, muren, daken < 0,15 W/m<sup>2</sup>K
- U-waarde van buitenschrijnwerk < 0,8 W/m<sup>2</sup>K
- U-waarde van beglazing < 0,8 W/m<sup>2</sup>K
- Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt < 0,01 W/m<sup>2</sup>K

#### ***2.2.2.2. Beperken van warmteverliezen door luchtdicht bouwen***

Het energieverbruik kan verder geminimaliseerd worden door een zeer goede luchtdichtheid van het gebouw, zodat het geen onnodige warmte kan verliezen via ongecontroleerde openingen. De norm is, zoals reeds eerder in de gehanteerde definitie vermeld, dat het luchtverlies niet groter mag zijn dan 60% van het volume van de woning per uur. Dit kan getest worden met behulp van een luchtdichtheidsproef (Norm = NBN EN 13829) waarbij een drukverschil van 50 Pa gecreëerd wordt tussen de binnen en buitenomgeving. De luchtverliezen bij dit drukverschil wordt ook wel de n50-waarde genoemd. Typische zwakke plekken in de luchtdichtheid bij de reguliere bouw zijn: aansluitingen van buiten- met binnenwanden, daken of vloeren; het buitenschrijnwerk, de rolluiken en de aansluiting met de ruwbouw; allerhande doorgangen van riolerings- en ventilatiebuizen; (Passiefhuis-PlatformVZW, 2013c).

### ***2.2.2.3. Maximaliseren van warmtewinsten***

Om het verwarmingsverbruik in een netto-nulenergiehuis te beperken, moeten niet alleen warmteverliezen vermeden worden, maar moet ook de warmtewinst zo groot mogelijk worden gemaakt. Passieve warmtewinst bestaat hoofdzakelijk uit warmte die afkomstig is van de zon, maar ook elektrische apparaten, verlichting en de mensen zelf geven warmte af. In een nulenergiehuis wordt superisolerend glas geplaatst en zijn bovendien de glasvlakken best naar het zuiden gericht. Zo vangen de ramen tijdens het stookseizoen meer warmte op. Voor de beglazing gelden de volgende bouwkundige maatregelen: U-waarde van beglazing  $< 0,8$  W/m<sup>2</sup>K; g-waarde van beglazing  $> 50$  %; U-waarde van buitenschrijnwerk  $< 0,8$  W/m<sup>2</sup>K.

Zonwering zorgt ervoor dat het huis niet te warm wordt tijdens de zomer. Grote glasoppervlakte zonder afdoende bescherming tegen zonnestraling kunnen leiden tot oververhitting.

### ***2.2.2.4. Luchtkwaliteit optimaliseren***

Aangezien netto-nulenergiehuizen zo luchtdicht mogelijk gebouwd worden, is er onvoldoende natuurlijke ventilatie. Daarom dient de luchtkwaliteit gewaarborgd te worden door het gebruik van een ventilatiesysteem (al dan niet met warmteterugwinning). Er zijn vier verschillende types ventilatiesystemen die in de *bijlage I* kort beschreven worden. Ventilatiesystemen C en D worden hoofdzakelijk toegepast in netto-nulenergiehuizen. Deze systemen worden gecombineerd met een warmterecuperatiesysteem. De warmte van de afgevoerde lucht wordt zo overgedragen op de verse aangevoerde lucht. Op deze manier kan tot 90% van de warmte die zich in de vervuilde lucht bevindt, worden gerecupereerd en terug in de woning gebracht worden (Passiefhuis-PlatformVZW, 2013a). PHP vermeldt de twee bouwkundige maatregelen: efficiënte gelijkstroomventilator  $\eta < 0,45$  W/(m<sup>3</sup>h) en rendement warmterecuperatie  $> 75$ %.

### ***2.2.2.5. Hernieuwbare energievoorziening***

Zoals eerder aangehaald voorziet de wet verschillende potentiële technieken voor "ter plaatse geproduceerde hernieuwbare energie" om de overblijvende energiebehoefte te dekken. Dit zijn systemen die gebruik maken van hernieuwbare energiebronnen, zoals zon, aarde en wind. Er wordt gesproken over hernieuwbare grondstoffen aangezien ze in tegenstelling tot fossiele brandstoffen onuitputtelijk zijn.

Als bronnen van energie voor een netto-nulenergiehuis zijn verschillende mogelijke technieken. Op de eerste plaats zijn er fotovoltaïsche panelen voor het opwekken van energie. Daarnaast is er de mogelijkheid tot het plaatsen van een zonneboiler. De zonneboiler gebruikt zonnecollectoren voor het opwarmen van het sanitair water. Als derde is er de warmtepomp

die de warmte of koude buiten het huis gebruikt om de temperatuur binnen te laten stijgen of dalen. Het gebruik van biomassa is een vierde mogelijkheid. Een vijfde en laatste mogelijkheid is de aansluiting op een stadsverwarming- en/of koelingsnet.

#### 2.2.2.5.1. Warmtepomp

Elke warmtepomp, ongeacht het model, kan beschouwd worden als een installatie waarin een geschikte werkvloeistof verdampt wordt door de onttrekking en de opname van warmte uit de omgeving (lucht, water, bodem). Met behulp van bijkomende energie wordt de verdampte werkvloeistof samengedrukt en op een hogere temperatuur gebracht. Eenmaal op hogere druk en temperatuur wordt de warmte afgegeven aan het verwarmingssysteem (woningverwarming, sanitair warmwater). De warmtepomp pompt dus warmte van een laag naar een hoog temperatuur niveau. Afhankelijk van het werkingsprincipe en de aard van de bijkomende energie kunnen warmtepompen onderverdeeld worden in **compressiewarmtepompen** (arbeidgedreven) en **sorptiewarmtepompen** (warmtegedreven).

**Compressiewarmtepompen** staan technologisch het verst en zijn daarom ook het wijdst verspreid. Deze werken op dezelfde manier als een koelkast, maar in de omgekeerde richting (verwarmen in plaats van koelen). De druk- en temperatuursverhoging van de verdampte werkvloeistof wordt gerealiseerd door een mechanische compressor, meestal elektrisch aangedreven. In principe kunnen compressiewarmtepompen ook met aardgas, diesel of biogas aangedreven worden. Voor de aandrijving van de compressor wordt dan een verbrandingsmotor gebruikt.

**Sorptiewarmtepompen** werken volgens een fysisch-chemisch proces waarbij de verdampte werkvloeistof door een andere vloeistof wordt opgenomen (absorptie). Daarbij komt warmte vrij. Om de stoffen opnieuw te scheiden is bijkomende warmte nodig. Deze bijkomende warmte is meestal afkomstig van een aardgasbrander (gasabsorptie-warmtepomp). Binnenkort worden er ook warmtepompen op basis van stookolie verwacht.

De winstfactor (of COP) van een warmtepomp wordt berekend door de afgegeven warmte aan het verwarmingssysteem te delen door de gebruikte bijkomende energie. Voor een elektrische compressiewarmtepomp is dit laatste het elektrisch verbruik van de compressor. Voor gaswarmtepompen is dit het gasverbruik. Door dit verschil in definitie is het niet mogelijk de COP van een elektrisch aangedreven warmtepomp direct te vergelijken met de COP van een gaswarmtepomp.

Ter illustratie: een elektrisch aangedreven warmtepomp heeft een gemiddelde COP van ongeveer 4, terwijl een gasabsorptiewarmtepomp een COP van ongeveer 1,5 heeft. Hoe groter

het temperatuurverschil tussen de warmtebron en het verwarmingssysteem, hoe hoger het energieverbruik van de warmtepomp, hoe lager de winstfactor. Hoe dichter de temperatuur van de warmtebron en het verwarmingssysteem bij elkaar liggen, hoe hoger de winstfactor, hoe lager het energieverbruik van de warmtepomp (Vlaamse Overheid, 2013).

De temperatuur van de warmtebron is bepalend voor de winstfactor: de opbrengst van de warmtepomp. De keuze van warmtebron is daarom heel belangrijk. De meest gebruikte warmtebronnen zijn grond, grondwater en buitenlucht (Vlaamse Overheid, 2013).

### **Grond**

- Temperatuur: op 1 meter onder de grond tussen 4 en 17 °C, afhankelijk van het seizoen;
  - Onttrekking van warmte: horizontaal in de bodem ingegraven buizen netwerk. De vloeistof in de buizen leidt de warmte naar de warmtepomp;
  - Winstfactor: schommelt naar gelang van de grondtemperatuur;
- Temperatuur: op 5 à 7 meter diepte van 10 tot 12 °C, de seizoensinvloed is bijna verdwenen;
  - Onttrekking van warmte: verticaal geboord buizen net;
  - winstfactor: bijna gelijk gedurende het seizoen.

### **Grondwater**

- temperatuur: constant 10 à 14 °C;
- onttrekking van warmte: het opgepompte water geeft zijn warmte af in de warmtepomp en wordt weer in de grond gepompt;
- winstfactor: hoog en gelijk gedurende het volledige stookseizoen.

### **Buitenlucht**

- temperatuur: wisselend;
- onttrekking van warmte: rechtstreeks aan buitenlucht (warmtepomp staat buiten);
- winstfactor: wisselend, afhankelijk van de buitentemperatuur.

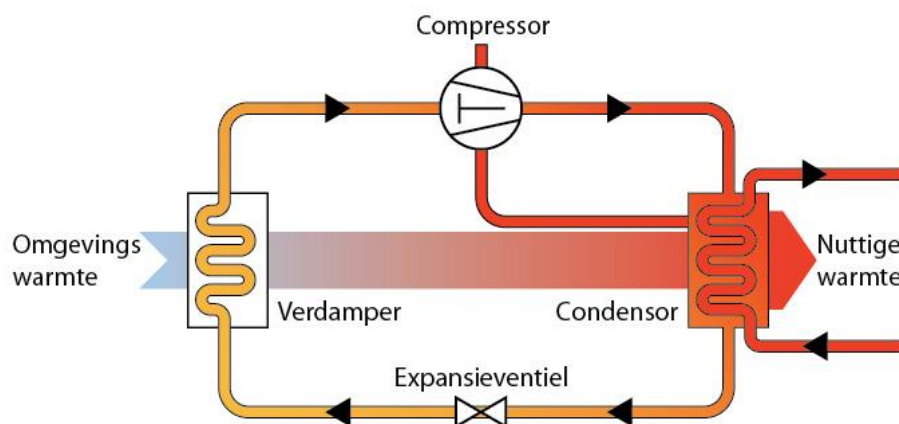
De temperatuur van het verwarmingssysteem bepaalt eveneens de winstfactor. Een veel gebruikte methode om een woning te verwarmen, is een centraal verwarmingssysteem met een watertemperatuur van 90 °C (vertrektemperatuur) à 70 °C (retourtemperatuur). Moderne



verwarmingssystemen op lage temperatuur hebben een watertemperatuur van maximaal 55 °C. Bij een warmtepomp ligt de maximumtemperatuur liefst op 35 °C en maximaal op 45 °C. Om een woning te verwarmen op die lage temperatuur, is voldoende isolatie en een verwarmingssysteem met een groot oppervlak nodig. Daarom wordt een warmtepomp bijna steeds gekoppeld aan vloerverwarming, muurverwarming of plafondverwarming. Die vormen van verwarming verhogen het comfort in huis door een gelijkmatige temperatuur en weinig luchtbeweging of tocht. Een rechtstreekse verbinding van de vloerverwarming (muurverwarming of plafondverwarming) aan de warmtebron (grond of water) maakt koelen in de zomer mogelijk zonder de warmtepomp in te schakelen, dus met een laag energiegebruik. Een omkeerbare warmtepomp (bijvoorbeeld airconditioning) kan in de zomer de woning koelen door de woning zelf als warmtebron (lucht) te gebruiken en de overtollige warmte aan de omgeving af te geven. Hierbij gebruikt de warmtepomp ongeveer evenveel energie als bij verwarming. Dit is geen energiezuinige oplossing en wordt daarom niet aangemoedigd (Vlaamse Overheid, 2013).

Zo'n 65 à 80% van de vrijgegeven energie neemt de warmtepomp op uit de omgeving en moet dus niet worden betaald. De warmtepomp laat toe de woning te verwarmen met beduidend minder energie en zal ook veel minder koolstofdioxide uitstoten (Nenco, 2012).

Bij een goed functionerende warmtepomp zou het aandeel dat uit de omgeving onttrokken wordt minstens 4 keer zo groot moeten zijn. In dat geval zal er per vijf eenheden warmte die door de warmtepomp gegenereerd wordt er slechts één worden betaald (COP = 5). COP of winstfactor is de verhouding tussen de opbrengst en het verbruik (Junior Chamber International, 2012). De warmtepompen die gebruik maken van geothermische energie hebben ongeveer een COP van 4,5 à 5 (Nenco, 2012).

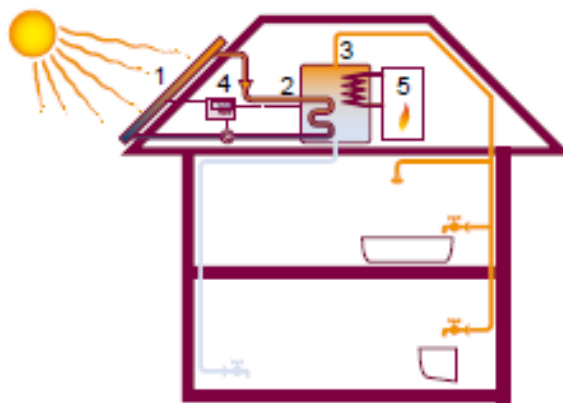


**Figuur 4: Warmtepomp**  
<Bron: (Nenco, 2012)>

#### 2.2.2.5.2. Zonneboiler

Een zonneboiler verwarmt het sanitair water op een milieuvriendelijke manier, door gebruik te maken van zonlicht. Een zonneboiler kan op jaarbasis gemiddeld de helft van het bad- en douchewater verwarmen. Er bestaan ook systemen die warmwater leveren voor vloerverwarming.

In een zonnecollector, op het dak, zit een donkere metalen plaat. Die plaat slorpt warmte op uit daglicht. Een glazen plaat bovenop de metalen plaat zorgt ervoor dat de warmte niet kan ontsnappen. De gevangen warmte straalt door naar een buizenstelsel tussen de platen. De speciale vloeistof in de buizen wordt heet en staat warmte af aan het koude leidingwater in de boiler. Het water kan gemakkelijk 60°C worden. Is de zon wat minder sterk, dan springt de gewone warmwaterinstallatie bij om het water op een ideale temperatuur te brengen.



**Figuur 5: Zonneboiler**

<Bron: <http://www.energiesparen.be>>

#### 2.2.2.5.3. Fotovoltaïsche panelen

Fotovoltaïsche panelen zetten licht om in elektriciteit, die onmiddellijk gebruikt kan worden. Met een net gekoppelde installatie kan het teveel aan geproduceerde stroom afgegeven worden aan het elektriciteitsnet. 's Nachts of in periodes wanneer de panelen niet voldoende elektriciteit opwekken kan er terug stroom afgetapt worden van het net. Het voordeel is dat de installatie niet noodzakelijk evenveel stroom moet kunnen produceren dan dat er op piekmomenten nodig is.

Fotovoltaïsche panelen (ook PV-panelen of zonnepanelen genoemd) bevatten zonnecellen die meestal gemaakt zijn uit silicium. De bovenzijde van de cel is negatief geladen, de onderzijde positief. Van zodra er zonlicht invalt, komt de stroom opgang van de voorkant van de zonnecel,

via een elektrische toepassing, naar de metalen achterkant van de zonnecel. Panelen uit monokristallijn silicium hebben het hoogste rendement (Vlaams Energieagentschap, 2013a).

#### 2.2.2.5.4. Biomassa

Biomassa is momenteel een van de toonaangevende bronnen van groene energie. Het staat in voor bijna drie vierde van de groene stroomproductie. In België geldt de volgende definitie voor Biomassa (Organisatie voor duurzame energie, 2001):

*" producten, bestaande uit plantaardige materialen of delen daarvan van landbouw of bosbouw, die kunnen worden gebruikt om de energie-inhoud terug te winnen, alsmede de volgende afvalstoffen:*

- *plantaardig afval van land- en bosbouw;*
- *plantaardig afval van voedingsmiddelenindustrie;*
- *vezelachtig plantaardig afval afkomstig van het sorteren, ziften en wassen bij de rauwe pulp en de papierproductie;*
- *houtafval, met uitzondering van: houtafval dat als gevolg van een behandeling met houtbeschermingsmiddelen of door het aanbrengen van een bescherming laag gehalogeneerde organische verbindingen dan wel zware metalen kan bevatten, met inbegrip van dergelijk houtafval afkomstig van bouw- en sloopafval;*
- *kurkafval."*

Het gebruik van bio-energie levert netto gezien geen bijkomende CO<sub>2</sub>-uitstoot. Bij de omzetting van de biomassa naar elektriciteit wordt er evenveel CO<sub>2</sub> uitgestoten als door de bomen, planten is opgenomen tijdens de levensduur. Momenteel wordt er steeds meer overgeschakeld naar pellets. Dit zijn houten korrels, gemaakt op basis van houtafval. Ze zijn uitermate geschikt als brandstof voor centraleverwarmingketels, de moderne hout kachels en speksteenkachels. Het voordeel van deze methode is dat er tot 40% op de energie factuur bespaard kan worden. Een nadeel is wel dat de aangepaste ketels een extra investering vereisen. Daarnaast moet er gezorgd worden voor een opslagruimte voor de pellets (Livios, 2013; Vlaams Energieagentschap, 2013a).

#### 2.2.2.5.5. Stadsverwarming

Een warmtenet is een ondergronds leidingsysteem waarmee, met behulp van warmwater, warmte naar de afnemers wordt getransporteerd. Het bespaart alleen op primaire energie en reduceert slechts enkel CO<sub>2</sub>-uitstoot indien er gebruik wordt gemaakt van duurzame bronnen

of restwarmte. Deze restwarmte kan bijvoorbeeld afkomstig zijn van een bestaande afvalverbrandingsinstallatie (Energiezuinige bedrijventerreinen, 2013).

#### ***2.2.2.6. Hoog rendement huishoudapparaten***

Niet alleen de verwarming van een huis kost geld, ook de aanwezigheid van toestellen, verlichting, installaties, ... brengen energiekosten met zich mee. Om het totale elektriciteitsverbruik te verminderen, wordt gekozen voor energie-efficiënte huishoudapparaten met het A+ label. Op deze manier kan de elektriciteitsconsumptie tot 50% worden verminderd zonder dat de gebruik moet inboeten aan comfort. Vaak vereisen deze apparaten initieel een hogere investering, maar het betaalt zich terug in de vorm van energiebesparingen in de toekomst. Daarnaast kan er enorm veel energie bespaard worden door het beperken van de stand-by stand (Passiefhuis-PlatformVZW, 2011; Test Aankoop, 2012).

Het gebruik van TL-verlichting kan het verbruik van energie voor verlichting met 75% reduceren. Daarnaast heeft deze vorm van verlichting nog het voordeel dat dit type lampen een veel langere levensduur heeft als de standaard gloeilampen (10000uur ↔ 2000uur). Een bijkomend voordeel is dat bij warmweer de lamp minder warmte afgeeft. De traditionele spaarlamp gebruikt daarentegen slechts 13 tot 15% minder elektriciteit dan de klassieke gloeilamp (Test Aankoop, 2010). Dit is beduidend minder wanneer dit vergeleken wordt met de TL-verlichting.

Er zijn dus verschillende maatregelen die genomen kunnen worden om tot een netto-nulenergiehuis te komen. Hierboven zijn de maatregelen in de gewenste volgorde via de Trias Energetica beschreven. 5.2.1.- 5.2.4. zijn maatregelen die de energievraag van het gebouw beperken. 5.2.5 gaat over het gebruik van duurzame energiebronnen en 5.2.6. beschrijft het zo efficiënt mogelijk gebruik van fossiele brandstoffen.

### 2.2.2.7. Samenvatting bouwkundige maatregelen

In tabel 2 worden de bouwkundige maatregelen nog eens schematisch weergegeven.

<b>Maatregel</b>	<b>Bouwkundige maatregel</b>
<b>1. Isolatie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• U-waarde van vloeren, muren, daken &lt; 0,15 W/m<sup>2</sup>K</li><li>• U-waarde van buitenschrijnwerk &lt; 0,8 W/m<sup>2</sup>K</li><li>• U-waarde van beglazing &lt; 0,8 W/m<sup>2</sup>K</li><li>• Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt &lt; 0,01 W/mK</li></ul>
<b>2. Luchtdichtheid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• n50-waarde ≤ 0,6 h<sup>-1</sup></li></ul>
<b>3. Warmtewinsten</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• U-waarde van beglazing &lt; 0,8 W/m<sup>2</sup>K</li><li>• g-waarde van beglazing &gt; 50 %</li><li>• U-waarde van buitenschrijnwerk &lt; 0,8 W/m<sup>2</sup>K.</li></ul>
<b>4. Ventilatie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• efficiënte gelijkstroomventilator <math>\eta &lt; 0,45 \text{ W}/(\text{m}^3\text{h})</math></li><li>• rendement warmterecuperatie &gt; 75%</li></ul>
<b>5. Hernieuwbare energie voorziening</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Warmtepomp</li><li>• Zonneboiler</li><li>• Fotovoltaïsche panelen</li></ul>
<b>6. Hoogrendement huishoudapparaten</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A+ Label</li></ul>

Tabel 2: Bouwkundige maatregelen

## **Hoofdstuk 3: Financiële steunmaatregelen**

De economische rendabiliteit van een netto-nulenergiehuis is afhankelijk van twee factoren. Enerzijds betaalt de woning zich terug door de lagere energiefactuur. Anderzijds geven de verschillende overheidsinstanties (de federale, Vlaamse en lokale overheid) en de netbeheerders financiële steun voor energiebesparende investeringen. In het onderstaande hoofdstuk zullen deze verschillende types steunmaatregelen, waarvoor een conventionele woning en netto-nulenergiehuis in aanmerking komen, worden besproken. Er wordt vanuit gegaan dat het huis gebouwd wordt in 2013, alsook de facturen worden betaald in 2013.

### **3.1. Federale overheid**

Hieronder worden de subsidies voor nieuwbouwhuizen besproken die door de Federale overheid worden gegeven.

#### **3.1.1. Ecocheques**

Heel wat werknemers in Vlaanderen ontvangen Ecocheques. Deze zijn geschikt om energiebesparende investeringen mee te betalen. De volgende zaken komen hiervoor in aanmerking:

- Aankoop en/of plaatsing van producten en diensten die genieten van federale fiscale vermindering met het oog op energiebesparing;
- Producten en diensten die in één van de gewesten in aanmerking komen voor regionale subsidies;
- Aankoop van producten die bestemd zijn voor de isolatie van woningen;
- Aankoop van spaarlampen, TL lampen en LEDverlichting;
- Elektrische apparaten die uitsluitend werken op zonne-energie of op handmatig geproduceerde energie.

Vanaf 2010 mag elke werknemer voor maximum 250 euro aan ecocheques ontvangen. Een ecocheque wordt in beginsel toegekend op basis van een collectieve arbeidsovereenkomst (cao), hetzij van de sector, hetzij van het bedrijf (Vlaams Energieagentschap, 2013a).

#### **3.1.2. Groene leningen**

De groene lening die uitsluitend diende voor het financieren van welbepaalde energiebesparende uitgaven, krijgt vanaf aanslagjaar 2013 een nieuwe regeling. Vanaf dan wordt het percentage van de belastingvermindering voor de intresten die voor een groene lening worden betaald verlaagd tot 30% ( i.p.v. 40%) (Ministerie van Financien, 2013).

### 3.1.3. Belastingvermindering voor dakisolatie

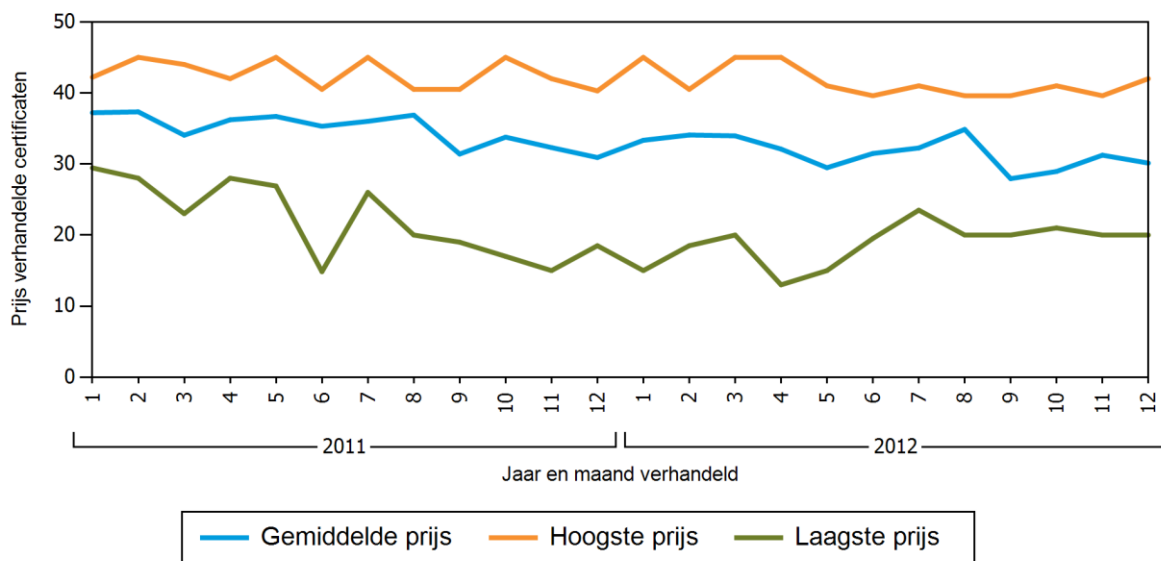
Sinds 2003 kunnen belastingplichtigen voor een aantal energiebesparende uitgaven een belastingvermindering krijgen. In 2013 zal enkel nog de uitgave voor dakisolatie in aanmerking komen voor de belastingvermindering. De betalingsdatum van de factuur bepaalt het inkomstenjaar voor de fiscale aangifte. Enkel woningen die al minstens 5 jaar in gebruik zijn komen in aanmerking. Nieuwbouwwoningen komen niet meer in aanmerking voor deze vorm van steunmaatregel.

## 3.2. Vlaamse overheid

Steunmaatregelen die aangeboden worden door de Vlaamse overheid voor nieuwbouwwoningen worden hieronder samengevat.

### 3.2.1. Warmtekrachtcertificaten voor micro-warmtekrachtkoppelinginstallatie

De Vlaamse overheid biedt warmtekrachtcertificaten aan bij de plaatsing van een micro-WKK. De Vlaamse Regulator voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) kent warmtekrachtcertificaten toe voor de warmtekrachtbesparing die wordt gerealiseerd. De waarde van zo'n certificaat is marktafhankelijk (met een vaste minimumprijs van 27 euro per 1000 kWh bespaarde primaire energie). De laatste 2 jaren bedroeg de gemiddelde prijs van de warmtekrachtcertificaten €33,2425.



**Figuur 6: Warmtekrachtcertificaten**  
<Bron: VREG <http://www.vreg.be>>

### **3.2.2. Korting op onroerende voorheffing voor verlaagd E-peil**

De Vlaamse overheid biedt een vermindering van de onroerende voorheffing aan. Deze vermindering wordt toegekend op basis van een verplicht EPB-certificaat. De vermindering wordt alleen toegekend voor nieuwbouwwoningen. Deze vermindering vangt aan in het jaar dat volgt op het jaar waarin het E-peil werd toegekend aan het gebouw. Sinds 1 januari 2013 wijzigt de wetgeving, het financieel voordeel wordt groter maar de voorwaarden ook strenger. Op basis van het E-peil krijgen de onderstaande woningen financiële steun:

- Gebouwen met een maximaal E-peil van 50 krijgen 50% korting op de onroerende voorheffing gedurende 5 jaar.
- Gebouwen met een maximaal E-peil van 30 krijgen 100% korting op de onroerende voorheffing gedurende 5 jaar (netto-nulenergiehuizen vallen onder deze categorie).

### **3.2.3. Groenestroomcertificaten voor fotovoltaïsche zonnepanelen**

Voor de installatie van fotovoltaïsche panelen wordt door de Vlaamse overheid groenestroomcertificaten toegekend. Voor PV-installaties die in januari 2013 in dienst genomen worden, kunnen na 4348kWh een groenestroomcertificaat van €93 ontvangen. Halfjaarlijks wordt herrekend welke steun noodzakelijk is (Vlaams Energieagentschap, 2013a). Momenteel geldt een recht van 15 jaar voor wat betreft groenestroomcertificaten.

Andere hernieuwbare energiebronnen dan zonne-energie en WKK, kunnen ook groenestroomcertificaten opleveren. Deze certificaten treden inwerking bij de installatie en lopen gedurende 10 jaar. De Vlaamse distributienetbeheerders betalen standaard bedragen per mWh voor een groenestroomcertificaat.

## **3.3. Provincie**

Momenteel voor netto-nulenergiehuizen geen steunmaatregelen.

## **3.4. Gemeente**

Premies en belastingverminderingen zijn ook afhankelijk van de gemeente waarin het huis gebouwd wordt. zo geven plusminus 60 gemeenten in Vlaanderen een extra premie voor het plaatsen van fotovoltaïsche systemen. En daarbij geven nog eens plusminus 150 gemeenten in Vlaanderen een extra premie voor het plaatsen van een zonneboiler. De hoogte en de voorwaarde hiervoor zijn gemeente afhankelijk.

## **3.5. Netbeheerder**

De Vlaamse netbeheerders Eandis en Infrax zijn verplicht om bij hun afnemers energiebesparing te stimuleren, onder andere door een aantal energiebesparende



maatregelen financieel te ondersteunen. Deze netbeheerders geven steeds dezelfde premies aan dezelfde voorwaarden.

Hieronder zullen de verschillende premies van de netbeheerders die van toepassing zijn op het standaard huis en het netto-nulenergiehuis besproken worden. De verschillende voorwaarden zullen niet specifiek besproken worden in deze eindverhandeling.

### **3.5.1. Premie nieuwbouwwoning**

Nieuwbouwwoningen kunnen in aanmerking komen voor verschillende premies.

- Indien de bouwaanvraag na 01/01/2012 gebeurde, krijgt men een premie van €1400 +€ 40/punt ten opzichte van E50, indien  $E \leq E50$  en het een nieuwbouwwoning betreft.
- Als de  $E \leq E40$  dan is de premie €1800 + €50/punt ten opzichte van E40.
- Daarnaast kan een premie ontvangen worden van €550 per vierkante apparatuur oppervlakte, tot 50% van de factuur met een maximum van €2750 per geplaatste installatie, voor het plaatsen van een zonneboiler (Eandis, 2013).

Een netto-nulenergiewoning met een E-peil van 0 ontvangt dus al een premie van **€3800**. Daarnaast wordt in de simulatie geadviseerd voor de installatie van een kleine zonneboiler (Plusminus 5 vierkante meter). De geeft recht op nog eens extra **€2750**.

## Hoofdstuk 4: Methodologie

### 4.1 Kosten- batenanalyse

Aan de hand van een kosten-baten analyse (CBA) kan een afweging gemaakt worden tussen verschillende alternatieven van een netto-nulenergiehuis. Deze techniek is ontwikkeld om investeringen in projecten en producten te evalueren. De methode kan toegepast worden op eender welke beslissing die een herverdeling van middelen in de maatschappij betreft. Het helpt beslissers te laten kiezen tussen alternatieve projecten. Een belangrijke factor van CBA is dat de evaluatie ervan gebaseerd is op monetaire waarden. Dit wil niet zeggen dat er slechts enkel de financiële kosten opgenomen worden in de berekening. Er worden ook nog niet in geld uitgedrukte invloeden opgenomen in de CBA door deze invloeden te valideren in monetaire termen (Moons, 2003).

Beslissingen op basis van deze CBA kunnen op een vrij eenvoudige manier gemaakt worden. Als we willen beslissen of we al dan niet gaan investeren in alternatief A dan is de regel: doe A als de voordelen groter zijn dan die van het volgende beste alternatief. En niet anders. De 'voordelen van het volgende beste alternatief' worden 'kosten' genoemd van A (Moons, 2003).

Om een volledige CBA uit te voeren, moeten zes stappen gevolgd worden (Moons, 2003):

1. Definiëring van het project en de relevante populatie
2. Identificatie van de relevante impacts
3. Taxatie van relevante kosten en baten in monetaire termen
4. Samenvoeging van baten en kosten na verdiscontering
5. Vergelijking van het in totaal verdisconteerde voordelen met de totaal verdisconteerde kosten om zo de netto contante waarde te berekenen
6. Sensitiviteitanalyse op belangrijke parameters zoals de discontovoet, levensduur van het project, ...

Aangezien het doel van een investering in een netto-nulenergiehuis is dat het op lange termijn rendabel is, dient er rekening te worden gehouden met verschillende toekomstige kasinstromen en kasuitstromen. Een voorbeeld van een kasinstroom is de kasinstroom van de energiebesparing. Voorbeelden van kasuitstromen zijn het toenemend energieverbruik en onderhoud en herstellingen.

Bij de kosten- baten analyse gaat alleen rekening gehouden worden met de kasstromen die verschillen tussen de verschillende scenario's van een bepaald huis.

## 4.2 Economische Methodes

Om de investering in een netto-nulenergiehuis te evalueren zal gebruik gemaakt worden van onderstaande economische methodes.

### 4.2.1 Verdisconteren

Verdisconteren is het bepalen van de verwachte waarde van toekomstige kasstromen in termen van kasstromen vandaag. Deze eindverhandeling wil de hierboven aangehaalde kasstromen vergelijken. Het vergelijken is slechts mogelijk indien de kasstromen verdisconteerd worden, aangezien ze zich niet op hetzelfde tijdstip voordoen. De huidige waarde van de totale investering hangt niet enkel en alleen maar af van de verwachte toekomstige kasstromen maar ook van de looptijd en de discontovoet (Mercken, 2004).

De **looptijd** wordt bepaald door de economische levensduur van de investering. Hiervoor kan er gekeken worden naar de economische levensduur van de verschillende deelinvesteringen zoals ramen, deuren, daken, isolatie, ... Maar in deze studie wordt er voor gekozen om te kijken naar gebruiksduur door de personen die de investering in een netto-nulenergiehuis maken. Dit komt overeen met een gebruiksduur van 30 jaar; één generatie (Verbeeck & Hens, 2004).

De **discontovoet** is het minimale rendement dat de investeerder vereist, namelijk de kapitaalkost. Kapitaalkost verwijst aan de ene kant naar de minimale vereiste opbrengstvoet voor nieuwe investeringsprojecten, maar aan de andere kant ook naar de opbrengstvoeten die de kapitaalverschaffers verwachten te bekomen op de door hen verstrekte geldmiddelen (Laveren, Engelen, Limère, & Vandemaele, 2002).

De **kapitaalkost** is hier gelijk aan de gewogen gemiddelde kapitaalkost (GGK; weighted average cost of capital, WACC). Bij het gebruik van deze kapitaalkost wordt er vanuit gegaan dat het project gefinancierd wordt uit een pool van middelen. In het eenvoudigste geval bestaat deze pool uit één soort vreemd vermogen en één soort eigenvermogen. De GGK is dan het aandeel van het eigenvermogen ten opzichte van het totale vermogen vermenigvuldigd met de kost van het eigenvermogen en het aandeel van het vreemd vermogen ten opzichte van het totale vermogen vermenigvuldigd met de kost van het vreemd vermogen (Mercken, 2004).

$$GGK = \frac{EV}{TV}r_i + \frac{VV}{TV}r_v$$

In deze eindverhandeling wordt er vanuit gegaan dat de gehele investering gefinancierd wordt met het eigenvermogen van de persoon die de netto-nulenergiewoning wenst te bouwen. De gemiddelde gesimuleerde investeringskost van een netto-nulenergiehuis bedraagt al snel €20.000 meer dan de investering in een EPB gestandaardiseerde woning. Deze extra investering zou dus in aanmerking kunnen komen voor een groene lening, maar het is echter zo dat de meeste banken slechts tot een bepaald maximum bedrag een groene lening verstrekken. Hiervoor is gekeken naar drie verschillende banken: BNP Paribas Fortis, KBC en Argenta. Deze banken geven respectievelijk een groene lening tot €33.000, €40.000 en €30.000. Het gemiddeld bedrag van de groene lening bedraagt dus €34333. Dat betekent dat er maximaal 14,34% van de investering gefinancierd kan worden met een groene lening (Argenta, 2013; BNP Paribas Fortis, 2013; KBC, 2013).

De kapitaalkost van het **eigen vermogen** wordt berekend aan de hand van de volgende formule (Mercken, 2004):

$$r_i = r_f + (r_m - r_f) \cdot \beta_{\text{bouw}}$$

Hierbij:

- $r_i$  = risicodragend kapitaal
- $r_f$  = risicovrije investering
- $r_m$  = verwachte marktrendement
- $\beta_{\text{bouw}}$  = systematisch sectorrisico

Voor de benadering van de risicovrije rentevoet wordt de interest op de Belgische staatsobligaties genomen met een looptijd van 30 jaar. Staatsobligaties zijn nagenoeg risicovrij en zijn een zeer solide vorm van beleggen. De gemiddelde rente van een staatsobligatie met een looptijd van 30 jaar bedraagt op 07/01/2013 3,04% (BelgoStat, 2013).

De bèta van een sector geeft het systematisch risico weer. Het systematisch risico heeft te maken met de correlatie tussen het rendement van een bepaald soort belegging en het marktrendement. Een grote bèta houdt grotere fluctuaties en dus groter risico in, wat beloond moet worden met een hoger rendement (Mercken, 2004). De New York University: Stern School of Business heeft in 2012 een lijst gepubliceerd met de gemiddelde bètas van verschillende sectoren. Hier kan terug gevonden worden dat de bèta voor de sector 'homebuilding' gelijk is aan 1,02 en de bèta van de sector 'building materials' gelijk is aan

0,89 (New York University: Stern School of Business 2012). Hieruit volgt dat het systematisch risico gelijkgesteld kan worden aan het gewogen gemiddelde van de bèta van de sector 'building materials' en de bèta van de sector 'homebuilding'. Dit geeft een bèta voor het systematisch risico van 0,955. Er wordt gekozen voor een gewogen gemiddelde van de bèta's aangezien er inderdaad geïnvesteerd wordt in de bouwsector, maar ook in bouwmaterialen zoals isolatie.

Het verwachte markttrendement kan worden bepaald door het rendement in een portefeuille van aandelen van verschillende ondernemingen te nemen die in verscheidene sectoren actief zijn. Het verwachte markttrendement van beursgenoteerde bedrijven binnen de BEL20 bedraagt 15,14273% (Beursduivel.be, 2013).

Hieruit volgt dat de kost van het eigen vermogen gelijk is aan:

$$r_i = 0,0304 + 0,955 * (0,1514273 - 0,0304) = 0,14598 = 14,60\%$$

De kost van het **vreemd vermogen**, rekening houdend met belastingen, is de interestvergoeding die voor het vreemd vermogen wordt betaald.

$$r_v = (1-b)r_v^*$$

Het belastingpercentage voor de inkomensbelasting is in België afhankelijk van de inkomenscategorie. Indien het inkomen hoger is dan het belastingvrij minimum (minimaal €6430), is het belastbaar. De categorie met een netto jaarlijks belastbaar inkomen van €18.730 - €34.330 betaalt 45% belasting (PortaalBelgium.be, 2013).

Om de interestvergoeding te bepalen die voor het vreemd vermogen moet worden betaald, zijn de interestvoeten voor een groene lening bij drie Belgische banken geraadpleegd. De reële interestvoet bij BNP Paribas Fortis bedraagt 4,50%, bij Argenta 2,80% en bij KBC 5,66% (Argenta, 2013; BNP Paribas Fortis, 2013; KBC, 2013). Hieruit kan een gemiddelde interestvoet worden berekend:

$$\frac{(4,50\% + 2,80\% + 5,66\%)}{3} = 4,32\%$$

De kost voor het financieren met vreemd vermogen bedraagt dus:  $r_v = 4,32 * (1 - 0,45) = 2,376\%$

Er wordt ervoor gekozen om ongeveer het grootste deel van de investering met eigenvermogen te financieren. Slechts enkel de extra investering die nodig is voor een netto-nulenergiehuis wordt gefinancierd met vreemd vermogen. Geschat wordt dat de WP2.13

woning €134699 gaat kosten en dit €19596 meer is dan voor en EPB-gestandaardiseerde woning.

De gewogen gemiddelde kapitaalkost (GGK) bedraagt bijgevolg

$$\begin{aligned} \text{GGK} &= 0,8566 \times 14,60\% + 0,1434 \times 2,376\% \\ &= \mathbf{12.85\%} \end{aligned}$$

De berekende discontovoet is zeer verschillend van de in de literatuur gebruikte discontovoet. Zo gebruiken verschillende auteurs verschillende discontovoeten, die gelegen zijn tussen de 3% en 6 % voor de berekening van de investeringen in nulenergiehuizen (Kurnitski et al., 2011; Sadineni, France, & Boehm, 2011; Silva, Almeida, & Mesquita, 2013). De lagere discontovoet kan verklaard worden doordat de auteurs gebruik maken van een sociale discontovoet. Het drukt in principe de tijdsvoorkeur uit van de samenleving voor de huidige waarden in plaats van de toekomstige. Over hoe deze sociale discontovoet bepaald moet worden, bestaat er in de literatuur geen eensgezindheid. Daarnaast merkt De Clercq (2006) op dat er zware methodologische bezwaren zijn wanneer de baten en kosten zich uitstrekken over meer dan 1 generatie. De vraag stelt zich of de huidige generatie bijvoorbeeld het recht heeft kosten door discontering in waarde te verminderen omdat zij slechts door de volgende generaties worden gedragen (De Clercq, 2006)?

Een mogelijke kritiek op bovenstaande benadering van de discontovoet op basis van de gewogen gemiddelde kost is dat verondersteld mag worden dat de sociale discontovoet lager is dan de private discontovoet. De reden hiervoor moet gezocht worden in het feit dat de maatschappij meer belang hecht aan de toekomst dan individuele gezinnen en bedrijven. Daarom kan er logischerwijs verondersteld worden dat de maatschappij meer rekening houdt met de toekomstige generaties. Als er een te hoge discontovoet wordt gekozen, wordt de actuele waarde van de milieubaten voor de toekomstige generaties verwaarloosbaar klein (Ochelen & Putzeijs, 2008).

#### **4.2.2 Inflatie**

Met inflatie wordt verwezen naar een verhoging van het algemene prijspeil. De inflatie treft alle componenten van de kasstromen op gelijke wijze en kan ofwel via de kasstromen, ofwel via de kapitaalkost verwerkt worden. De rentevoet moet naast een vergoeding voor de tijd ook een vergoeding voor het verlies aan koopkracht opleveren. De toegepaste rentevoet is dus de prijs van het geld die ook zal stijgen als het algemene prijspeil stijgt.

In de case wordt een inflatievoet gebruikt die gelijk is aan een gewogen gemiddelde van de inflatie van de laatste 2 jaar (Mercken, 2004). Hieruit volgt een verwachte inflatie van 2,88%.

De inflatie dient goed te worden onderscheiden van specifieke prijsverhogingen voor welbepaalde aankopen, verkopen of kostenelementen. De ververwachten specifieke prijsveranderingen zullen op de gewone manier in de kasstromen worden verwerkt. Daarom wordt de verwachte prijsstijging van gas en elektriciteit rechtstreeks verwerkt in de energieprijzen (Mercken, 2004). Een verwachte lineaire prijsstijging van 4,205% per jaar wordt gehanteerd in de 3 cases. Dit percentage is gebaseerd op een gewogen gemiddelde van de laatste 20 jaar.

#### **4.2.3 Terugverdiëntijd**

De terugverdiëntijd wordt gebruikt als eerste criterium voor de beoordeling van de investering. De terugverdiëntijd van een conventionele investering wordt gedefinieerd als de tijd die nodig is om de oorspronkelijke investering terug te verdienen via inkomende (of niet uitgaande) kasstromen van het project. Wanneer er de keuze is tussen verschillende projecten, dan kiest men uiteraard voor het project met de kortste terugverdiëntijd indien het keuzecriterium de terugverdiëntijd is (Mercken, 2004). De methode geeft inzicht in de verhouding tussen de investering in een energiebesparende maatregel (minus eventuele toegewezen subsidies of andere fiscale voordelen) en de jaarlijkse kostenbesparingen (Ministerie van infrastructuur en milieu, 2013). In deze eindverhandeling komt dit overeen met de verhouding van de initiële investering van het netto-nulenergiehuis minus eventuele financiële steun van de overheid op de jaarlijkse kasopbrengsten ten gevolge van de energiebesparing.

Wanneer de terugverdiëntijd kleiner of gelijk is aan de levensduur van de investering, in dit geval 30 jaar, dan zou op basis van dit criteria het project moeten worden aanvaard. Indien echter de terugverdiëntijd langer is dan de levensduur van het project, dan zou ervoor geopteerd moeten worden dit project niet uit te voeren (Mercken, 2004).

Het is een erg eenvoudige, bekende en populaire methode die daarnaast enige aanduiding van risico geeft. In het algemeen zal een korte terugverdiëntijd geruststellender zijn dan een langere terugverdiëntijd.

De methode van de terugverdiëntijd heeft echter wel enkele nadelen. Eerst en vooral houdt deze methode geen rekening met de tijds waarde van het geld. Ook wordt er geen rekening gehouden met de inkomende kasstromen die vallen na de terugverdiëndatum. Bijgevolg worden beslissingen best niet enkel en alleen op basis van dit criterium genomen en worden bovenstaande nadelen in het achterhoofd gehouden.

In een aantal situaties kan de terugverdientijd echter nuttige informatie verstrekken voor de besluitvorming. Op de eerste plaats bij huishoudens waarbij liquiditeit belangrijk is. Indien bijvoorbeeld mensen wensen geld beschikbaar te hebben voor nieuwe energiezuinige trends in de bouwsector. In dit geval zou een rendabel en langdurig project beslag kunnen leggen op liquide middelen. Daarnaast is de methode ook nuttig voor projecten die onderhevig zijn aan jaarlijkse snelle technologische veranderingen, veranderende voorkeur van consumenten en modeverschijnselen (Laveren et al., 2002).

#### 4.2.4 Verdisconteerde terugverdientijd

De verdisconteerde terugverdientijd (VTT; DPB, discounted payback) is een variant op de bovenstaande terugverdientijd waarbij rekening gehouden wordt met de tijdswaarde van het geld. Een andere benaming voor deze methode is de break-even leeftijd. Met andere woorden de DPB van een project is de tijd die nodig is om de NCW van de kasstromen van negatief naar positief te brengen. Projecten met een DPB die kleiner is dan de levensduur van het project worden aanvaard, andere worden verworpen. Deze methode heeft als voordeel op de terugverdientijd dat het rekening houdt met de tijdswaarde van het geld en daarnaast ook een indicatie geeft over de snelheid waarmee het in het vooruitzicht gestelde voordeel zou worden bereikt. Wel houdt het nog altijd geen rekening met de kasstromen die vallen na de verdisconteerde terugverdientijd (Mercken, 2004).

$$\text{DPB annuïteit} = \frac{\ln\left(\frac{K}{K-r*I_0}\right)}{\ln(1+r)}$$

#### 4.2.5 NCW

Bij de Netto Contante Waarde-methode wordt de huidige waarde van de kasstromen van het project berekend door de kasstromen te verdisconteren tegen een gekende kapitaalkost (of vereist rendement)  $r$ . Indien de NCW negatief is wordt het project verworpen, indien positief aanvaard (Mercken, 2004).

De NCW van een conventionele investering  $I_0$ , in jaar 0, met constante jaarlijkse inkomende netto kasstromen  $K$ , een gebruiksduur van  $n$  jaar en een kapitaal kost  $r$  bedraagt:

$$\text{NCW}_r = a_{n/r} * K - I_0$$

Of:

$$\text{NCW} = \sum_{t=0}^n \frac{At}{(1+k)^t}$$

met:



- A = kasstroom
- k = Vereiste rendement
- n = Looptijd

De gewogen gemiddelde kapitaalkost van 12,85% die hierboven berekend is, is het vereiste rendement.

De NCW-methode heeft verschillende voordelen. De tijdswaarde van het geld wordt opgenomen in de berekening, alsook alle relevante kasstromen. Het is bruikbaar voor alle soorten investeringen en het geeft een uitkomst in actuele monetaire termen. Maar er zijn ook nadelen verbonden aan deze methode. Een link met liquiditeit is er niet en het risico van de investering wordt enkel weergegeven via de rendementseis. Daarnaast kan slechts de NCW-waarde van een investering berekend worden nadat de kapitaalkost gekend is (Mercken, 2004).

#### 4.2.6 Interne rendement

Het interne rendement (IRR) van een project kan gedefinieerd worden als de discontovoet waarbij de NPV van de kasstromen afkomstig van het project gelijk is aan 0. Het interne rendement is een percentage in tegenstelling tot de NPV welke een absoluut bedrag geeft.

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{VOKSt}{(1 + IRR)^t} - I_0 = 0$$

Waarbij:

- $VOKS_t$  = vrije operationele kasstromen na belastingen
- $I_0$  = Initiële investeringsbedrag
- N = economische levensduur van het project
- t = tijdsindex voor de perioden
- IRR = interne rendement

Het bekomen interne rendementspercentage moet vervolgens vergeleken worden met het vereiste rendement (k) van de particuliere bouwer. Hieruit volgen de volgende beslissingsregels: Als het  $IRR > k$  dan wordt het project aanvaard. Indien echter  $IRR < k$  dan wordt het project verworpen (Laveren et al., 2002).

Voor de investering in een netto-nulenergiehuis kan de volgende Net Present Value (NPV) formule gebruikt worden. Er wordt vanuit gegaan dat investeringen in de energiezuinigheid van het gebouw nu plaats vinden, maar ook in de toekomst door vervangingsinvesteringen. Daarnaast wordt er vanuit gegaan dat de investeringen resulteren in constante jaarlijkse energiebesparingen gedurende de levensduur van het gebouw (Verbeeck, 2007).

$$NPV = - \left[ I_0 + \sum_{j-x,y,z} \frac{I_j(1+r_I)^j}{(1+a)^j} + \sum_{i=1}^n \frac{K_M(1+r_M)^i}{(1+a)^i} \right] + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta K_E(1+r_E)^i}{(1+a)^i} + R_0$$

Met:

$I_0$  = De initiële investering

$I_j$  = De vervangingsinvestering van product j op tijdstip x, y of z

$K_E$  = Jaarlijkse energiekost

$\Delta K_E$  = Verandering in de jaarlijkse energiekost

$K_M$  = Jaarlijkse onderhoudskost

$n$  = Levensduur van het project

$R_0$  = Residuele waarde van het gebouw op het einde van het project

$r_i$  = verandering van de investeringskost boven de inflatie

$r_E$  = verandering van de energiekost boven de inflatie

$r_M$  = verandering van de onderhoudskost boven de inflatie

$a$  = Discontovoet, gecorrigeerd voor inflatie

### 4.3 Levenscyclus kostenanalyse

Aan de hand van een Levenscycluskostenanalyse (LCCA) worden verschillende energie-efficiënte aspecten van het netto-nulenergiehuis bestudeerd. LCCA is een analytische methode om de meest economische oplossing te kiezen uit verschillende projecten. De methode wordt vooral toegepast in de bouwindustrie (Wong, Perera, & Eames, 2010). Deze analyse houdt rekening met de kosten van de bouw, gebruik, onderhoud en afbraak van het project om tot een evaluatie van het project te komen. Het is een nuttig instrument om verschillende alternatieven te vergelijken die voldoen aan de gewenste eisen (Kansal & Kadambari, 2010). Er kunnen zeven hoofdstappen onderscheiden worden bij LCCA:

1. Formulering van het probleem

2. Identificatie van alternatieven

3. Bepaling van assumpties en parameters
4. Tijd- en kostbenadering van elk alternatief
5. Verdiscontering naar huidige waarde
6. Bepaling en vergelijking van de LCC van elk van de alternatieven
7. Keuze uit alternatieven

In formule vorm kan de LCCA als volgt weergegeven worden:

$$LCCA = I + R + E + OM \& R - S$$

De levenscycluskost is dus de som van de initiële kost (I), de netto contante waarde van de vervangingskost (R), energie kost (E) en operationele, onderhouds- en herstellkost (OM&R), min de aanwezige restwaarde (S) (Kansal & Kadambari, 2010). Een nadeel van deze methode is wel dat veel parameters nog onzeker zijn op het moment van de analyse. Ze zullen daarom bij nadering bepaald moeten worden. Enkele voorbeelden: de eigenlijke levensduur van het gebouw (Assumptie 30 jaar), geplande en ongeplande onderhoudskosten, extra gebruikskosten, ... (Sternier, 2000). Deze methode zal worden gebruikt om de LCC van het netto-nulenergiehuis te bepalen. Zodoende kan het een indicatie geven over de economische optimale keuze. Opgemerkt dient te worden dat bij de berekening van de LCC de kosten voor afbraak buitenbeschouwing gelaten

#### **4.4 Onzekerheid en risicoanalyse**

Bij het gebruik van bovenstaande methodes zoals onder andere de LCCA wordt er geen aandacht besteed aan de onzekerheid van de gebruikte gegevens. Hierdoor zijn de resultaten en de hierop gebaseerde investeringsbeslissingen niet 100% zeker. De kosten en baten zijn gebaseerd op actuele of geschatte gegevens die tijdens de levensduur van het project kunnen veranderen. Het bestaan van deze onzekerheid moet ook opgenomen worden in de investeringsanalyse.

Allereerst wordt met een sensitiviteitsanalyse nagegaan welke invloed bepaalde parameters hebben op de basisoplossing van de investeringsanalyse en hoe gevoelig de oplossing is voor de verandering in bepaalde variabelen. Er wordt dus gekeken wat het effect is van de verandering in één bepaalde parameter op de NCW van het project.

Vervolgens is het belangrijk naast de sensitiviteitsanalyse, waar slechts de gevoeligheid van één bepaalde parameter wordt onderzocht, te kijken naar de invloed van gelijktijdige

veranderingen van verschillende parameterwaardes. Hiervoor kan een Monte Carlo analyse gebruikt worden. Dit is een erkende methode om de onzekerheid van verschillende parameters uit te drukken in de onzekerheid van een project.

De essentie van een Monte Carlo-simulatie is dat er experimenten worden uitgevoerd waarbij op basis van toevallig gekozen waarden van de gekozen parameters een scenario wordt samengesteld waarvoor de NCW wordt berekend. Door ditzelfde experiment meerdere keren uit te voeren wordt uiteindelijk een waarschijnlijkheidsverdeling verkregen (Mercken, 2004).

Een Monte Carlo simulatie kan opgedeeld worden in 5 stappen (Mercken, 2004):

1. Identificatie van de parameters;
2. Bepaling van de waarschijnlijkheidsverdeling voor de parameters;
3. Toevallige keuze van een parameterswaarde op basis van een toevalsgetallen-generator, en dit voor elke parameter;
4. Berekenen van de NCW van het toevallig samengestelde scenario;
5. Verzamelen van de experimentele gegevens en verwerken tot een kansverdeling van de doelvariabelen.

Voor alle drie de huizen zal een Monte Carlo simulatie uitgevoerd worden van 20 000 runs. Hiervoor wordt het software pakket Crystal Ball gebruikt.



## Hoofdstuk 5: Gevalstudie

### 5.1 Initiële investering

Bij de initiële investering wordt slechts rekening gehouden met de kosten die verschillen tussen de EPB-gestandaardiseerde woning en het netto-nulenergiehuis. Kosten die gemaakt worden voor beide huizen worden niet opgenomen in de investeringsanalyse aangezien deze kosten elkaar opheffen bij de berekening.

De kostprijzen worden gehaald uit een dataset van het IWT TETRA onderzoeksproject BEP2020: Betrouwbare energieprestaties van woningen- naar een robuuste en gebruiksonafhankelijke performantie (1/10/2011 - 30/9/2013). De kostprijsverschillen tussen beide types huizen zullen hieronder worden opgesomd en toegelicht.

In de eindverhandeling is er voor gekozen om drie type huizen te gebruiken en hiervan zowel verschillende EPB-gestandaardiseerde woningen van te modelleren als verschillende netto-nulenergiewoningen.

Er is gekozen voor drie verschillende huizen omdat eigenschappen zoals compactheid, vloeroppervlakte en het type van bebouwing een invloed hebben op de resultaten van de investeringsanalyse. Rijwoningen hebben bijvoorbeeld minder isolatiemateriaal nodig. Dit omdat twee muren verbonden zijn aan aangrenzende rijwoningen. Die aangrenzende muren moeten niet zo dik geïsoleerd worden als de muren die niet aan een aangrenzend gebouw liggen. De besparing op isolatiemateriaal heeft een invloed op de investeringskost van de schil.

- WP2.20

De WP2.20 woning is een rijwoning met het type constructie 'massief'. Het heeft een compactheid (Volume/ warmteverliesoppervlakte) van 1,72m en het bruto vloeroppervlakte bedraagt 93 m<sup>2</sup>.

- WP2.10

De WP 2.10 is een halfopen gebouw met een houtskelet. Daarnaast heeft het een compactheid van 1,52m en een bruto vloeroppervlakte van 196 m<sup>2</sup>.

- WP2.13

De WP2.13 is een vrijstaand gebouw met een houtskelet. Het heeft een compactheid van 1,44m en een vloeroppervlakte van 336 m<sup>2</sup>.

Het gekozen **basisscenario** voor iedere woning is een EPB-gestandaardiseerde versie van die specifieke woning. Dit is een woning die net aan de EPB-eisen voor een woning met een stedenbouwkundige aanvraag in 2013 voldoet. De EPB-eisen zijn de volgende:

- Thermische isolatie: K40
- Energieprestatie: E70
- Netto-energiebehoefte: Maximaal 70 kWh/m<sup>2</sup>

Een woning wordt in de dataset gedefinieerd als netto-nulenergiehuis wanneer de woning een E-peil van 0 heeft en zijn netto-energiebehoefte terug gebracht is naar minimaal 30 kWh/m<sup>2</sup>. Er wordt wel telkens een link getrokken met de Vlaamse definitie voor een netto-nulenergiehuis waarbij de norm 15 kWh/ m<sup>2</sup> is. Uit deze selectie wordt het huis gekozen met de laagste LCC, aangezien beoogd wordt te kijken of het economisch haalbaar is en dus rendabel om een netto-nulenergiehuis te bouwen.

Eerst wordt een globaal beeld geschetst van de positie van de huizen die voldoen aan de definitie van een netto-nulenergiehuis in Vlaanderen ten opzichte van de andere gesimuleerde netto-nulenergiehuizen. Onder deze andere netto-nulenergiehuizen worden de netto-nulenergiehuizen verstaan die een netto-energiebehoefte hebben die groter is dan 15 kWh/ m<sup>2</sup>. Er wordt een visualisatie gemaakt van de netto-energiebehoefte van de huizen ten opzichte van het E-peil, de totale initiële investeringskosten en de totale geactualiseerde kosten.

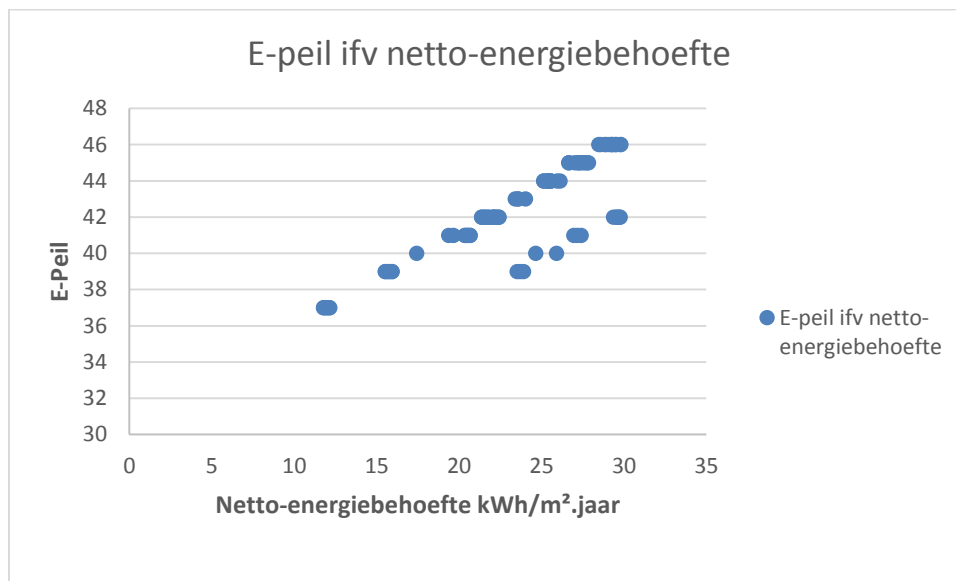
### 5.1.1. Verkenning dataset

#### 5.1.1.1. WP2.20

Voor alle drie de woningen worden er om te beginnen zo'n 700 versies van de woning gesimuleerd met elk hun specifieke combinatie van isolatie materialen, isolatie diktes, ventilatie systemen enzovoort. Hieruit worden de woningen geselecteerd die een netto-energiebehoefte hebben die onder de 30kWh/m<sup>2</sup> per jaar ligt.

De simulatie van de WP2.20 woning levert een twaalfstal huizen op die voldoen aan de definitie van een netto-nulenergiehuis. De totale energievraag voor ruimteverwarming en -koeling blijft bij deze gesimuleerde versies van de huizen beperkt tot 15 kWh/m<sup>2</sup> geklimatiseerde vloeroppervlakte. Daarnaast heeft het huis een E-peil van 0. Het K- en E-peil van deze huizen liggen dus ver onder de norm die opgesteld wordt door de wetgever (<K40 en <E70).

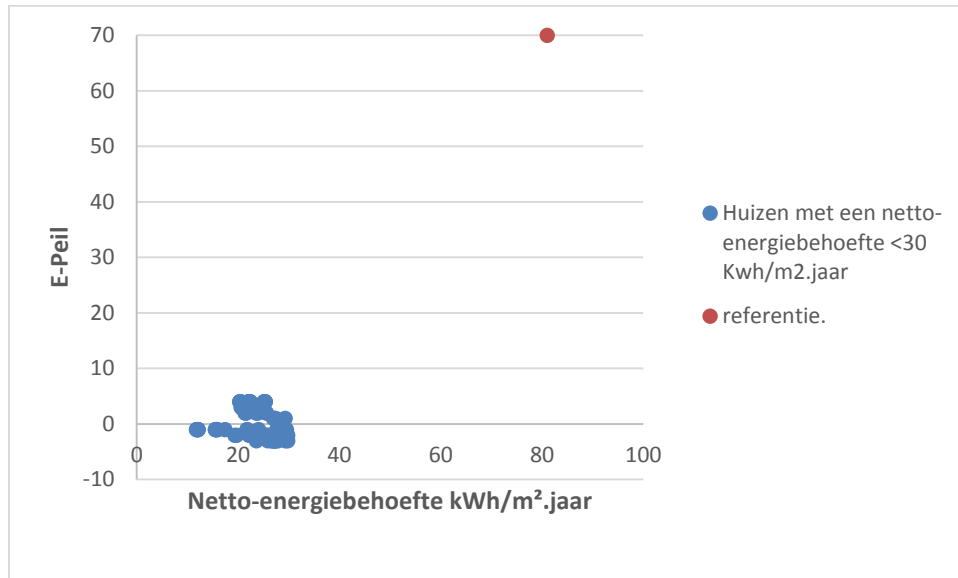
Allereerst worden de scenario's van de huizen geselecteerd die een netto-energiebehoefte voor verwarming en koeling hebben die lager is dan 30 kWh/m<sup>2</sup> jaar. Op deze manier kan het effect van meer of minder investeringen in bouwkundige maatregelen worden waargenomen. *Figuur 7* toont dat hoe lager de netto-energiebehoefte van het huis is hoe lager het E-peil is. Deze waarden worden bereikt indien er gebruikt gemaakt wordt van een condensatieketel. Hoewel de netto-energiebehoefte voor sommige woningen lager is dan 15 kWh/m<sup>2</sup> jaar is het E-peil van de woningen nog niet gelijk aan nul. Een bijkomende eigenschap van een nulenergiehuis is dat het een E-peil heeft van 0 (Prof. dr. ir. arch. Griet Verbeeck, 2013).



**Figuur 7: E-peil i.f.v. netto-energiebehoefte**

De verdere verlaging van het E-peil kan wordt verkregen door de resterende energievraag te minimaliseren. Het minimaliseren van de resterende energievraag wordt op zijn beurt verkregen door toepassing van energie-efficiëntere installaties. De definitie van een netto-nulenergiehuis zegt dat de resterende energievraag opgewekt moet worden met hernieuwbare energiebronnen. Daarom wordt er gekozen voor een PV-systeem en een zonneboiler. Zij zullen in de resterende energievraag voorzien. Bij de berekening is enkel rekening gehouden met de energievraag voor verwarming aangezien de energievraag voor koeling verwaarloosbaar is. Voor een dergelijke kleine vraag naar koeling wordt in werkelijkheid geen koelingsstelsel geïnstalleerd. Indien de hernieuwbare energiebronnen in het model worden geïncorporeerd, wordt *figuur 8* verkregen.





**Figuur 8: E-peil WP2.10 i.f.v. netto-energiebehoefte (incl. zonnepanelen en zonneboiler)**

Na de installaties van de PV-panelen en een zonneboiler kan het E-peil en de netto-energiebehoefte van de woning teruggebracht worden tot 0. Er is slechts gekozen voor een kleine zonneboiler met een oppervlakte van 5,04m<sup>2</sup> en enkel dat aantal zonnepanelen te plaatsen dat nodig is om tot een E-peil van 0 te komen. Of dit echter een economisch verantwoorde investering is, wordt in de volgende paragraaf onderzocht.

Een identieke werkwijze is gebruikt voor de WP2.10 en de WP2.13 woning. Voor de WP2.10 woning, die een halfopen bebouwing is, worden er allereerst een 55-tal woningen met een netto-energiebehoefte lager dan 30 kWh/m<sup>2</sup> per jaar gesimuleerd. Hiervan hebben er zes een netto-energiebehoefte kleiner dan 15 kWh/m<sup>2</sup> en voldoen aan de Vlaamse definitie voor een netto-nulenergiehuis.

Voor het vrijstaand huis WP2.13 bereikt er ondanks de zeer goede isolatie en luchtdichtheid geen enkele vorm een netto-energiebehoefte die lager ligt dan 15kWh/m<sup>2</sup>. Dit is een teken dat het zeer moeilijk is om aan de Vlaamse definitie van een netto-nulenergiehuis te voldoen indien het gaat over een vrijstaand gebouw. Toch zijn er 48 andere woningen die een netto-energiebehoefte lager dan 30kWh/m<sup>2</sup> hebben. Ondanks dat de netto-nulenergiebehoefte van deze huizen niet kleiner is dan 15kWh/m<sup>2</sup>, worden deze toch aangemerkt als netto-nulenergiehuizen.

#### **5.1.1.2. Conclusie**

Van alle drie de woningen zijn verschillende versies netto-nulenergiehuizen gesimuleerd. Het E-peil van deze woningen schommelt rond 0. Met andere woorden deze woningen voorzien,

zoals een netto-energiehuis beaamd, in hun eigen energievoorziening. De maatregelen die genomen worden om tot de netto-nulenergiehuizen te komen zijn:

- Het terugdringen van de energiebehoeften door extra isolatie en luchtdichtheid
- Net voldoende zonnepanelen om aan de resterende energievraag te voldoen.
  - Piekvermogen: 195W
  - Grootte panelen: 1m60x0.80m
  - Omvormer: centraal
- Kleine zonneboiler met een oppervlakte van 5,04m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem C+, D of D+

Woning	Woningtype	simulaties	<30kWh/m <sup>2</sup>	<15kWh/m <sup>2</sup>
WP2.10	Halfopen	700	48	0
WP2.13	Open	700	55	6
WP2.20	Rijwoning	700	85	12

Tabel 3: Beschrijving woningen

### 5.1.2 LCCA EPB-gestandaardiseerde woning

Om te beoordelen welke combinatie (bijvoorbeeld: meer isolatie en minder PV-panelen of meer PV-panelen en minder isolatie) er best gekozen wordt, wordt een levenscyclus kostenanalyse uitgevoerd.

De levenscycluskost is, zoals in hoofdstuk 5 al aangegeven, de som van de initiële kost (I), de netto contante waarde van de vervangingskost (R), energie kost (E) en operationele, onderhouds- en herstellkost (OM&R), min de aanwezige restwaarde (S) (Kansal & Kadambari, 2010). Omdat onzekerheid een nadeel van deze methode is, wordt er naderhand een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd. Momenteel wordt bij de berekening uitgegaan van het feit dat de energieprijzen lineair stijgen met 4,205%. Dit volgt uit een gemiddelde van de maandelijkse energieprijsstijgingen van de laatste drie jaar (BelgoStat, 2012). De kost van kapitaal wordt gelijk gesteld aan de berekende gewogen gemiddelde kost.

$$LCC = I + R + E + OM \& R - S$$

Voor het basisscenario van de WP2.20 wordt de berekening hier als voorbeeld verder uitgewerkt. De berekeningen voor alle scenario's gebeuren analoog in Excel. De berekeningen van de basiscenario's van de WP2.10 en WP2.13 woning zijn terug te vinden in *bijlage 2*. De kosten voor elk specifiek scenario worden in een Excel-file berekend. Vervolgens worden de kosten uitgedrukt in geldtermen vandaag. Zodat er een eenduidige vergelijking gemaakt kan worden. Bij de berekeningen wordt abstractie gemaakt van de financiële steun die van de

overheid ontvangen kan worden. Dit omdat onder andere subsidies zeer volatiele kunnen zijn en afhankelijk zijn van de geografische situering en de eigenschappen van het huis zelf.

Bij de investeringsanalyse wordt onder andere rekening gehouden met dezelfde factoren die het Vlaamse Energieagentschap hanteert bij de berekening van zijn correctiefactor (Vlaams Energieagentschap, 2013a)

<b>LCCA</b>	
	<b>Basisscenario</b>
<b>Totale geactualiseerde extra kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>39593</b>
<b>Totale extra investeringskosten (I), € (incl. BTW)</b>	<b>28242</b>
Investeringskosten schil, € (incl. BTW)	20729
Investeringskosten installaties, € (incl. BTW)	7513
<b>Geactualiseerde vervangingskosten (R), € (incl. BTW)</b>	<b>1468</b>
<b>Geactualiseerde restwaarde (S), € (incl. BTW)</b>	<b>797</b>
Restwaarde schil, € (incl. BTW)	8115
Restwaarde installaties, € (incl. BTW)	4649
R <sub>d</sub> (30) disconteringsvoet, -	0,0624
<b>Geactualiseerde jaarlijkse kosten (OM &amp; R), € (incl. BTW)</b>	<b>2872</b>
Jaarlijkse kosten installaties, € (incl. BTW)	296,71
f <sub>pv</sub> (30) present value factor, -	9,6796
<b>Geactualiseerde jaarlijkse energiekosten (E), € (incl. BTW)</b>	<b>7807</b>
Jaarlijks energieverbruik gas, kWh	8727
Totale jaarlijkse energiekosten gas, € (incl. BTW)	571
f <sub>pv</sub> (30) present value factor gas, -	10,9504
Jaarlijks energieverbruik elektriciteit, kWh	659
Totale jaarlijkse energiekosten elektriciteit, € (incl. BTW)	141,48
f <sub>pv</sub> (30) present value factor elektriciteit, -	10,9504

**Tabel 4: LCC Basishuis WP2.20**

- Een gemiddelde aankoopprijs van een referentie-installatie van 5 kW, incl. 6% BTW (nu €9 000)
- Mogelijke kosten voor de vervanging van de omvormer, na gemiddeld 12 jaar (nu €1250)

Tabel 3 toont hoe de totale extra geactualiseerde kost berekend wordt met behulp van een levenscyclus kostenanalyse. Het basisscenario kost ongeveer €39593 euro. Dit zijn enkel de specifieke kosten voor de schil en de installaties van het huis in het basisscenario. Kosten die gelijk zijn voor alle scenario's zijn in de berekening niet opgenomen.

Alle kosten die gemaakt worden, zijn uitgedrukt in geldtermen vandaag. Hiervoor wordt de disconteringsvoet gebruikt en een present value factor berekend. Zij zijn gebaseerd op de in *hoofdstuk 4* berekende discontovoet.

- Berekening disconteringsvoet (Mercken, 2004):  $R_d(30) = \frac{1}{(1+r)^{30}}$
- Berekening present value factor (Mercken, 2004):  $f_{pv}(30) = \frac{1-(1+r)^{-30}}{r}$

De verdisconteringsvoet wordt gebruikt om de verschillende kasstromen in de periodes 1 tot en met 30 uit te drukken in geldtermen vandaag, zoals bijvoorbeeld toegepast bij de restwaarde. Bij de energiekosten is er gekozen voor de present value factor. De reden hiervoor is dat er hier gesproken kan worden over een annuïteit. Dit is een rij van gelijke bedragen die met gelijke tussenpauzes worden ontvangen of uitgegeven (Mercken, 2004).

Door alle kosten die gemaakt worden, tijdens de levensduur van de woning, op te nemen in de berekening kan er een goede vergelijking gemaakt worden tussen de scenario's. Het voordeel van deze berekeningswijze is dat de kosten niet worden afgeschoven op de gebruiksduur na de initiële investering. Een nadeel is echter wel dat de berekening afhankelijk is van veel onzekere factoren, zoals die interestvoet, inflatie, energieprijzen, ...

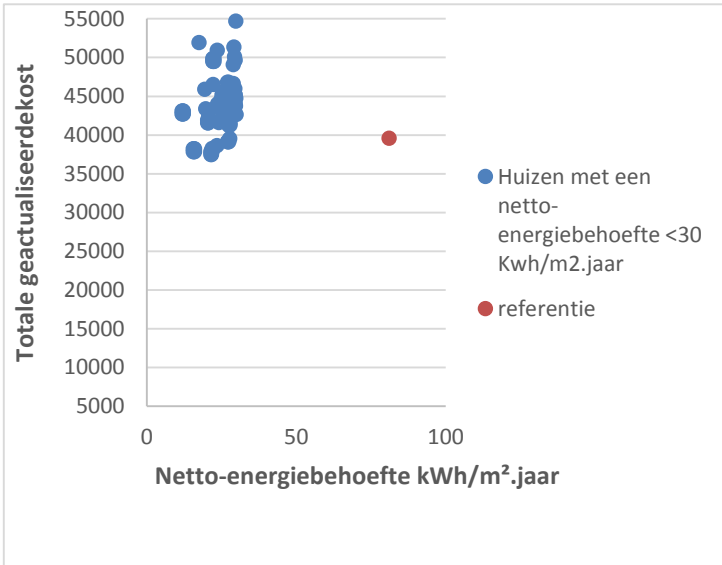
### 5.1.3 LCCA lage en netto-nulenergiewoningen

#### 5.1.3.1 WP2.20

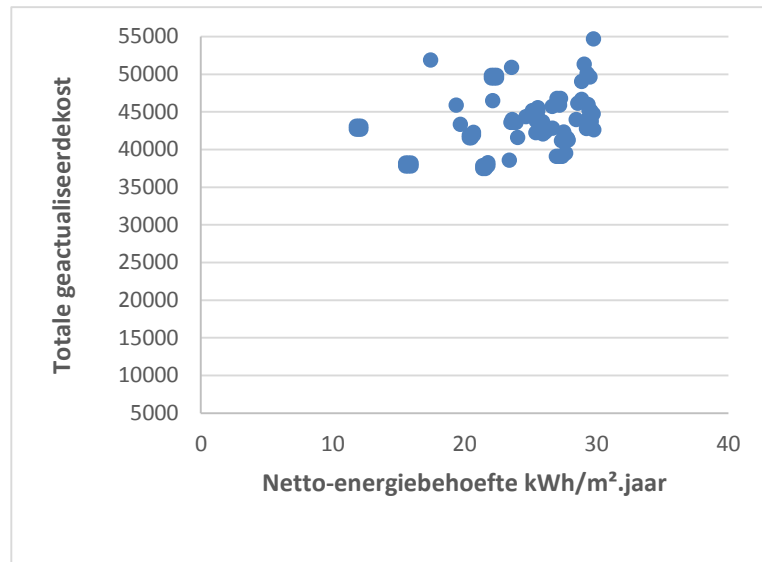
Om van het basisscenario naar een netto-nulenergiewoning te gaan dient allereerst het energieverbruik te worden verminderd. Daarvoor moet de schil beter geïsoleerd te worden. Er worden 700 verschillende versies van het huis gesimuleerd met verschillende isolatiediktes, isolatiematerialen, systemen, ... Dit levert 85 huizen op met een netto-energiebehoefte lager dan 30 kWh/m<sup>2</sup>. In onderstaande grafiek worden de totale geactualiseerde kosten weergegeven. *Figuur 9* toont dat er voor hetzelfde huis netto-nulenergiewoningen bestaan die een lagere totale geactualiseerde LCC hebben dan het basisscenario. Door een weloverwogen keuze voor bepaalde types van materialen kan een lagere totaalcost (over 30 jaar) bereikt worden. Daarnaast hebben deze woningen nog eens een aanzienlijk lagere netto-energiebehoefte. Enkele versies, die voldoen aan de definitie van een netto-nulenergiewoning, hebben zelfs een lagere totale geactualiseerde kost dan het basisscenario.

Wanneer de huizen met een lage netto-energiebehoefte meer in detail bekeken worden, kan geconstateerd worden dat er verschillende versies van het huis bestaan met ongeveer eenzelfde totale geactualiseerde LCC. De netto-energiebehoefte van deze huizen verschillen

wel significant. Dit duidt er op dat door een optimale keuze van materialen de netto-energiebehoefte teruggedrongen kan worden tegen een minimale meerkost.



**Figuur 9: Totale geactualiseerde LCC WP2.20 (1)**



**Figuur 10: Totale geactualiseerde LCC WP2.20(2)**

Als van een netto-energie behoefte van 30 kWh/m<sup>2</sup> naar een netto-energiebehoefte van 21kWh/m<sup>2</sup> wordt gegaan, kan dit zonder dat de levenscycluskost gaat stijgen. Indien naar een nog lagere netto-energiebehoefte wordt gegaan, gaat de totale LCC terug stijgen. Doch blijft de LCC van huizen met een netto-energiebehoefte tussen de 21 kWh/m<sup>2</sup> en 10 kWh/m<sup>2</sup> nog altijd kleiner dan bij een woning met een netto-energiebehoefte van 30 kWh/m<sup>2</sup>. Dit blijkt uit een optimalisatie in Excel. Hiervoor is de minimale totale geactualiseerde levenscycluskost berekend bij een zo laag mogelijke netto-energiebehoefte kWh/m<sup>2</sup> per jaar. Daarnaast kan dit minimale punt grafisch benaderd worden in de bovenstaande grafiek.

Het kost met andere woorden amper meer om aan de Vlaamse definitie van een netto-nulenergiehuis te voldoen (15 kWh/m<sup>2</sup>) ten opzichte van het economische optimum voor de WP2.20 woning bij 21,36 kWh/m<sup>2</sup>. Vanaf dit economisch optimum worden de kosten groter dan de toekomstige baten. Op basis van de resultaten van de WP2.20 woning zou er geconcludeerd kunnen worden dat de Vlaamse definitie voor een netto-nulenergiehuis niet helemaal economische efficiënt is gekozen. De eis van netto-energiebehoefte voor warmte en koeling zou momenteel voor dit huis tussen de 15 en de 21,36 kWh/m<sup>2</sup> moeten liggen. De keuze voor een hogere netto-energiebehoefte kan verklaard worden door het feit dat er een stijgende trend zichtbaar is indien de netto-energiebehoefte verlaagd wordt onder de 15

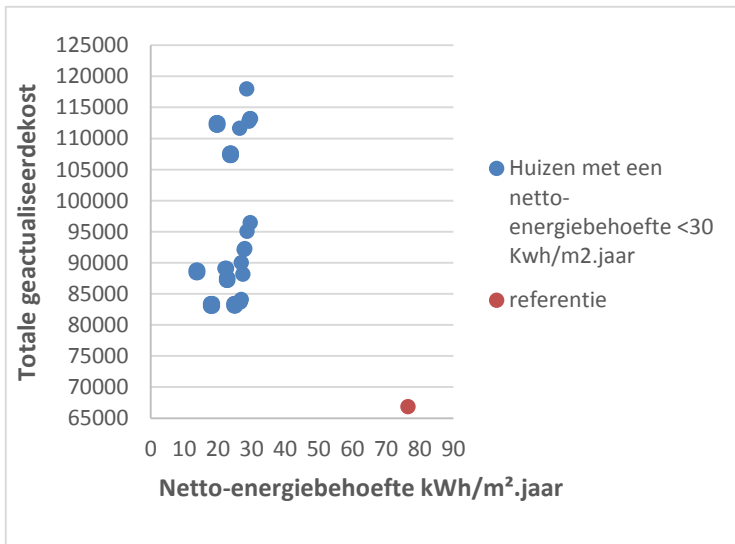
kWh/m<sup>2</sup>. De resterende energiebehoefte zou dan opgewekt moeten worden met hernieuwbare energiebronnen om bij een netto-energieverbruik van 0 uit te komen

Uit het feit dat er mogelijkheden zijn waarbij de totale geactualiseerde kost kleiner is dan in het basisscenario en hun E- en K-peil ver onder de norm liggen, kan afgeleid worden dat de huidige wetgeving (E70 – K40) zich niet in het economisch optimum bevindt voor de WP2.20 woning. Er kan momenteel aangeraden worden meer te isoleren dan er door de wet wordt opgelegd. Deze extra investering zal in de toekomst een voldoende grote energiebesparing opleveren indien de huidige energieprijzen constant blijven of stijgen.

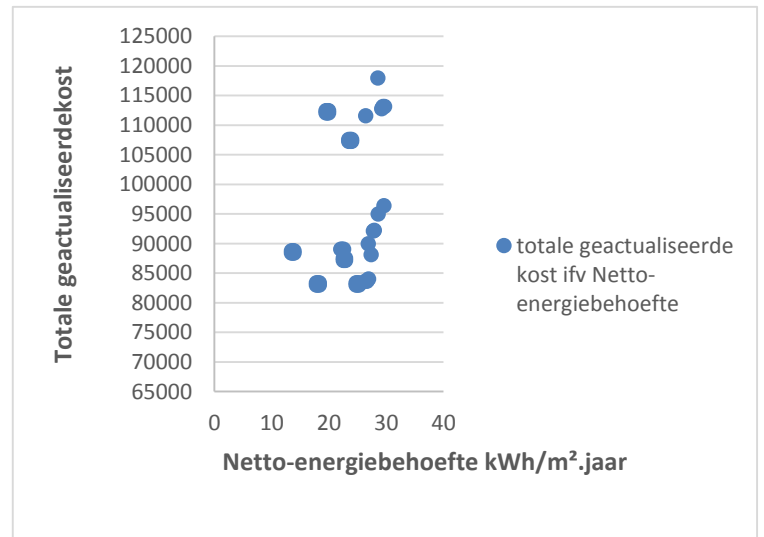
### 5.1.3.2 WP2.10

Voor alle versies van de WP2.10 woning wordt ook de LCC berekend in Excel. Vervolgens wordt de LCC uitgedrukt in geldtermen vandaag. Dit levert *figuur 11 en 12* op.

De referentiewaarden, aangegeven in het rood, bevinden zich lager dan alle andere totale geactualiseerde LCC. Dit duidt erop dat de gesimuleerde huizen met een lagere netto-energiebehoefte een hogere LCC hebben dan het basisscenario. Dit in tegenstelling tot de WP2.20 woning waarbij er slechts enkele versies een hogere LCC hadden dan de referentie woning. Deze hogere LCC kan te wijten zijn aan verschillende factoren die verderop besproken zullen worden. Extra investeringen die gemaakt worden in de netto-nulenergiehuizen verdienen zich niet terug in de loop van de levensduur.



Figuur 11: Totale geactualiseerde LCC WP2.10 (1)



Figuur 12: Totale geactualiseerde LCC WP2.10 (2)

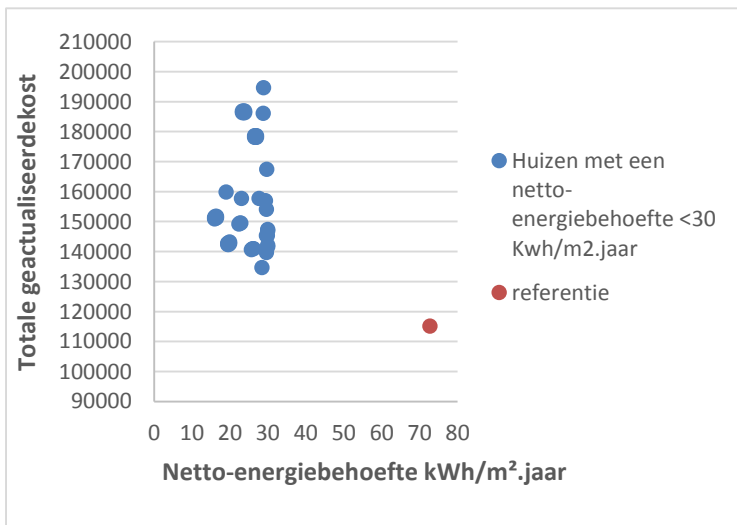
Indien abstractie gemaakt wordt van het basisscenario wordt *figuur 14* verkregen. Als er toch voor gekozen wordt het energieverbruik van de WP2.10 woning minstens terug te dringen tot 30 kWh/m<sup>2</sup> en daarna de resterende energie op te wekken met hernieuwbare energiebronnen,

kunnen verschillende dingen vastgesteld worden: ten eerste kan gezien worden dat voor ongeveer eenzelfde geactualiseerde LCC verschillende netto-energiebehoefte bekomen kunnen worden: [ $\pm 17 \text{ kWh/m}^2$  en  $\pm 27 \text{ kWh/m}^2$ ]. Een optimale keuze van materialen en installaties kan leiden tot een lagere LCC en een hogere energie-efficiëntie. Ten tweede toont zowel de grafiek alsook de optimalisatie in Excel, een minimale LCC bij een netto-energiebehoefte van  $17,82 \text{ kWh/m}^2$ . Dus de WP2.10 woning bereikt zijn minimale LCC bij een lagere netto-energiebehoefte dan de WP2.20 woning.

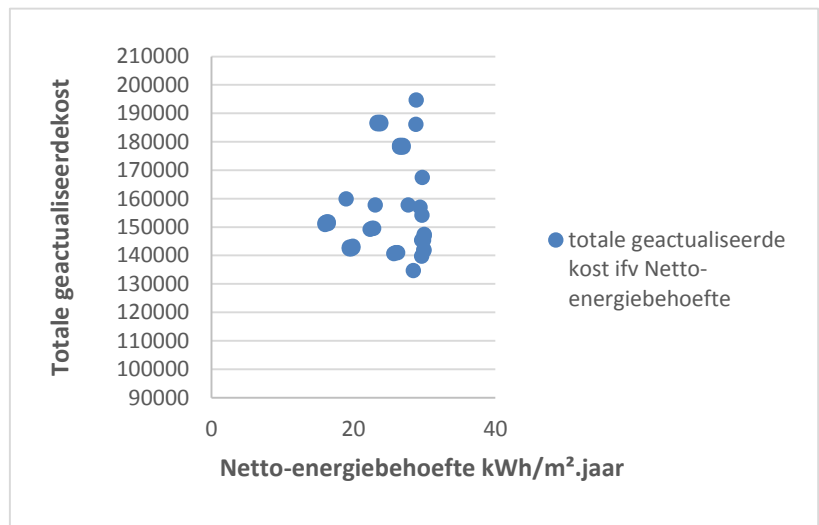
Uit de resultaten van deze woning kan dus ook geconcludeerd worden dat het op 30 jaar tijd goedkoper is te investeren in een netto-nulenergiehuis met een netto-energiebehoefte van  $17,82 \text{ kWh/m}^2$  dan deze terug te dringen onder de  $15 \text{ kWh/m}^2$  zoals de Vlaamse definitie voorschrijft. Daarnaast dient wel opgemerkt te worden dat, voor de versies van het huis die voldoen aan de definitie, de LCC van deze versies veel hoger is dan deze van het basisscenario. Met andere woorden de huidige minimum normen (E-peil, K-peil, ...) voor standaardwoningen zijn economisch aantrekkelijker aangezien er in verhouding initieel niet zo een grote uitgave nodig is. Hierbij komt nog dat de LCC kost van deze standaardwoning beduidend lager ligt op lange termijn. Mits de omstandigheden gelijk zijn aan de omstandigheden die verondersteld zijn in de simulatie, bedraagt het minimale verschil tussen een netto-nulenergiehuis en het basisscenario meer dan €17000.

### 5.1.3.3 WP2.13

Als de totale geactualiseerde LCC van verschillende versie van woning WP2.13 berekend worden, ontstaat *figuur 13*.



**Figuur 13: Totale geactualiseerde LCC WP2.13 (1)**



**Figuur 14: Totale geactualiseerde LCC WP2.13 (2)**

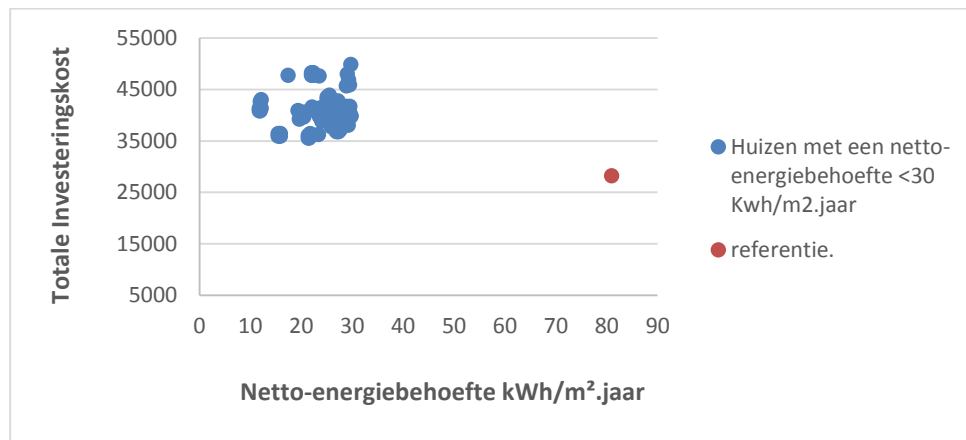
Net zoals bij de WP2.10 woning ligt bij de WP2.13 woning de totale geactualiseerde LCC van het basishuis aanzienlijk lager dan dat van de netto-nulenergiewoningen. Bovendien gaat het hier om netto-nulenergiewoningen die niet voldoen aan de vereiste van 15kWh/m<sup>2</sup>. Maar er kan vastgesteld worden dat de minimale LCC stijgt wanneer de netto-energiebehoefte daalt tot onder de 30kWh/m<sup>2</sup>. Verwacht kan worden dat indien onder de 15kWh/m<sup>2</sup> wordt gegaan, deze stijgende trend in de LCC zich voort zal zetten. Op het eerste zicht lijkt het bouwen van een netto-nulenergieversie van de WP2.13 woning dus niet aantrekkelijk. De consument dient een aanzienlijke investering te doen als hij een netto-nulenergiehuis wilt bouwen dat aan de wet voldoet.

*Figuur 14* maakt abstractie van het basishuis. Hierdoor is duidelijk te zien dat de laagste LCC bereikt wordt bij een waarde van 28kWh/m<sup>2</sup>, wat een pak hoger is dan bij de WP2.10 en de WP2.20 woning. In dit geval is er een meerkost verbonden aan het terugdringen van de netto-energiebehoefte die zich tevens niet terugverdient tijdens de levensduur van het huis. Dit is een aanleiding te onderzoeken door welke gemaakte investeringen het niet rendabel is te investeren in een lagere netto-energiekost.

#### 5.1.4 Investeringskost

##### 5.1.4.1 WP2.20

Om echter tot deze lagere netto-energiebehoefte te komen is er initieel een grotere investering nodig die zich gedeeltelijk terug verdient door de lagere energiefactuur tijdens de levensduur van het gebouw.



**Figuur 15: Totale investeringskost WP2.20**

De totale investeringskost bestaat uit investeringen in de schil van het gebouw en investering in installaties. Onder investeringen in de schil van het gebouw worden de investeringen in ramen, deuren, isolatie en luchtdichtheid verstaan. Investeringen in installaties zijn investeringen in PV-panelen, zonneboiler, ventilatiesysteem, ... Het grootste gedeelte van de



specifieke investering van de scenario's is de investering in de schil. De investering in de schil is gemiddeld 70% van de extra investeringskost. De andere 30% gaat naar de installaties. *Tabel 8* toont de verdere opdeling van de investeringskosten van de schil. Isolatie is de grootste kostenpost voor de investeringen in de schil.

Aangezien de isolatiekost een behoorlijk aandeel heeft, is het ook hier aangewezen de keuze te maken voor de meest optimale economische materialen. Uit de dataset bleek de 'goedkoopste' combinatie het meest geschikt te zijn.

Om de **vloer** te isoleren, is er gekozen voor het PIR/PUR Materiaal. Beide types zijn producten op basis van petrochemische grondstoffen en gelijken op elkaar. Ze hebben als voordeel dat ze een groot isolerend vermogen hebben en slechts geringe diktes voldoende zijn voor goede thermische isolatie. Kostprijs voor 10 cm PIR/PUR = 24,08 €/m<sup>2</sup>.

In de **gevel** wordt gebruik gemaakt van XPS-isolatiemateriaal. XPS is een kunststof dat uit styreen wordt geproduceerd. Ook dit materiaal heeft een goede isolatiewaarde en is uitermate geschikt voor de isolatie van gevels (P Geens Consultant BVBA). Kostprijs voor 10cm XPS = 25,36 €/m<sup>2</sup>

Het **dak** wordt geïsoleerd met MW (Minerale wol). Kostprijs voor 10cm MW = 6,05 €/m<sup>2</sup>.

Voor het **plafond** wordt gebruik gemaakt van EPS of geëxpandeerd polystyreen. Dit materiaal is eerder bekend als piepschuim of isomo. Het is wederom een kunststof materiaal dat uit restproducten van aardolie wordt verworven. Het materiaal heeft een zeer lage Lambdawaarde en is zeer licht. Dit maakt het uitermate geschikt om het in het plafond te verwerken. Kostprijs voor 10 cm EPS = 19,54 €/m<sup>2</sup>.

	isolatie plat dak	isolatie hellend dak	isolatie vloerbuiten	isolatie vloergrond	isolatie vloerkelder	isolatie plafond	isolatie muur	isolatie kelder
<b>Goedkoopste combinatie</b>	MW	MW	PIR/PUR	PIR/PUR	PIR/PUR	EPS	PIR/PUR	MW
<b>Duurste combinatie</b>	XPS	PIR/PUR	MW	XPS	XPS	XPS	XPS	PIR/PUR

**Tabel 5: Isolatie vormen**

Het is evident dat indien een zo laag mogelijke netto-energiebehoefte het doel is, er een optimale isolatielaag voorzien moet zijn. Toch is enkel optimaal isoleren economisch gezien niet altijd de beste oplossing. Daarom worden ook de maatregelen die leiden tot een meest optimale netto-energiebehoefte in de volgende alinea's besproken.

Naast het isoleren van het dak, de muren, de vloer, de ramen, ... zijn er nog andere parameters die een invloed hebben op de netto-energiebehoefte van een woning. Bijvoorbeeld het lekdebiet, het type ventilatiesysteem, het rendement van de warmteterugwinning, de constructiewijze van het gebouw, type isolatie materialen, de U-waardes van deze materialen, zonnewering, ... Als een netto-nulenergiewoning economisch rendabel dient te zijn, moet er een optimale combinatie van alle parameters gekozen worden. De geïntegreerde oplossing van de parameters moet bijgevolg optimaal zijn en niet enkel de op zichzelf staande parameters.

De optimale combinaties van de verschillende parameters van de drie huizen zijn zeer gelijkend op elkaar. Allereerst zijn de gebruikte isolatiematerialen voor de verschillende onderdelen identiek. Deze materialen komen overeen met de meest goedkope versie van de materialen, die reeds hierboven besproken is. De U-waardes, voor de isolatie van de verschillende onderdelen van de schil, zijn afhankelijk van het doel dat nagestreefd wordt. Indien een zo laag mogelijke netto-energiebehoefte nagestreefd wordt, worden zo laagmogelijke U-waardes gekozen. Als economische optimaliteit het doel is dan liggen de U-waardes voor de verschillende onderdelen net iets hoger.

In de WP2.20 en de WP2.10 woning wordt er gekozen voor een ventilatie systeem van het type D met een zeer hoge warmteterugwinningsgraad (0,95) en in de WP2.13 woning voor het type C+.

De constructiewijze is voor alle drie de woningen "massief" bouw. Aangezien een houtskelet een negatieve invloed bleek te hebben op de LCC van het gebouw.

In het optimale scenario wordt de luchtdichtheidsgraad zo gekozen dat het net voldoet aan de wetgeving ( $n_{50}$ -waarde  $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ ). De woning extra luchtdicht maken, zou een dalende effect hebben op de netto-energiebehoefte. Maar aangezien er een economische optimalisatie wordt nagestreefd wordt er gekozen voor 0,60 voor de woningen.

Daarnaast wordt er in alle gevallen een zonneboiler (Opp:  $5,04\text{m}^2$ ) geplaatst en dat aantal zonnepanelen dat nodig is om de resterende energiebehoefte te dekken. Hierbij wordt geen rekening gehouden met wat economisch optimaal was aangezien aan de netto-energiebehoefte voldaan moet worden.

*Tabel 6* geeft de gebruikte waardes van de verschillende parameters in het geval van economische optimalisatie en minimalisering van de netto-energiebehoefte. Om aan de huidige wetgeving voor een netto-nulenergiehuis te voldoen zijn de laagste U-waardes nodig.

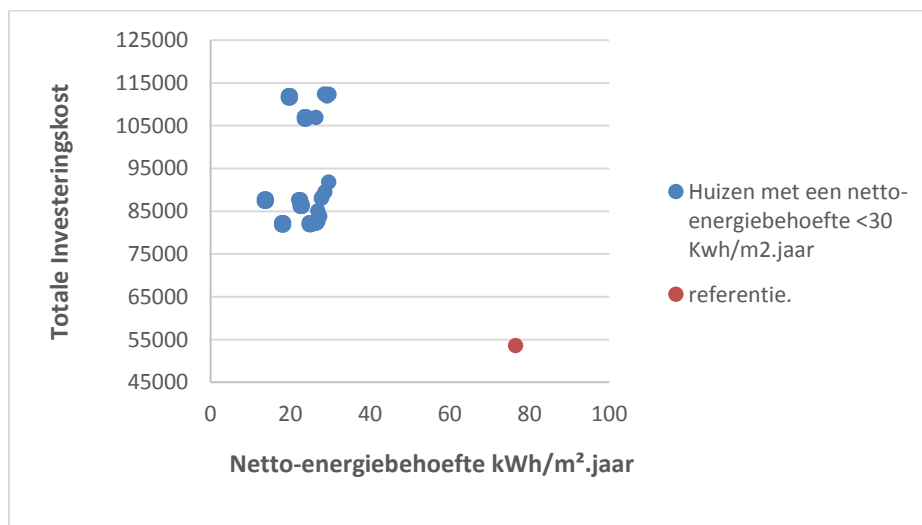
Slechts dan wordt een netto-energiebehoefte onder de 15kWh/m<sup>2</sup> bereikt. Indien een economisch optimale netto-nulenergiewoning het doel is dan liggen de U-waardes iets hoger.

Parameter	WP2.20		WP2.10		WP2.13	
	Economisch optimum	Netto-energiebehoefte minimaal	Economisch optimum	Netto-energiebehoefte minimaal	Economisch optimum	Netto-energiebehoefte minimaal
Lekdebiet n <sub>50</sub>	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45
Type ventilatie	D+	D	D+	D	C+	D
Rendement wtw	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0,95
U <sub>DAK</sub>	0,15	0,1	0,15	0,1	0,65	0,1
U <sub>VLOER</sub>	0,15	0,1	0,15	0,1	0,30	0,1
U <sub>VLOERKELDER</sub>		/	0,15	0,1	0,19	0,1
U <sub>DEUR</sub>	1,2	0,8	1,2	0,8	1,2	0,8
U <sub>MUUR</sub>	0,15	0,1	0,15	0,1	0,15	0,1
U <sub>RAAM</sub>		0,7		0,7		0,7
Constructie		Massief		Massief		Massief

Tabel 6: Optimale combinatie parameters

#### 5.1.4.2 WP2.10

De levenscyclus kostenanalyses toonde aan dat de LCC van WP2.10 huizen met een veel lagere netto-energiebehoefte beduidend hoger lag dan in het basisscenario. Een extra investering is dus vereist om een lagere energiebehoefte te creëren. *Figuur 16* laat zien dat het basishuis een totale investeringskost heeft die €28000 lager ligt dan de laagste investeringskost van een netto-nulenergiehuis.



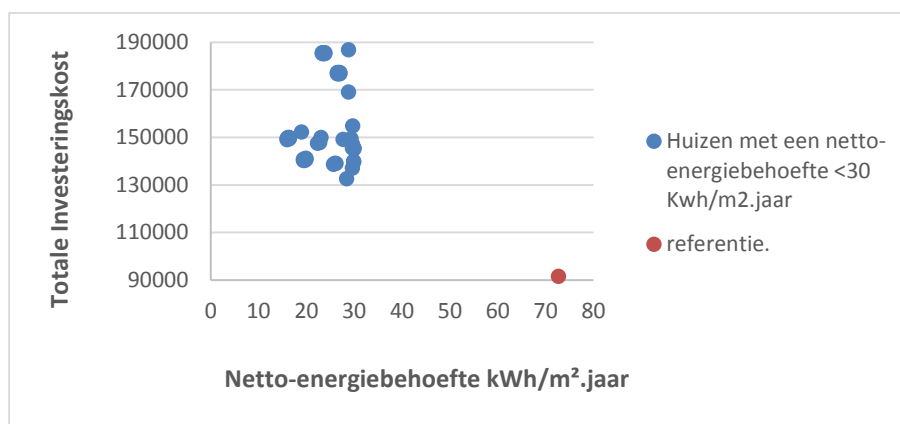
Figuur 16: Totale investeringskost WP2.10

Aangezien de totale investeringskost een aanzienlijk deel uit maakt van de LCC van het gebouw wordt deze nog eens verder bekeken. Wederom wordt de opdeling gemaakt in de investeringskosten van de schil en die van installaties. De investeringskost van de schil telt voor 76,3% van de totale investering. Het aandeel voor de investeringskosten van installaties bedraagt 23,7% (Tabel 9). In vergelijking met de rijwoning WP2.20 is het aandeel van de investeringskosten van de schil 6,3% groter. Dit zou onder andere verklaard kunnen worden doordat de bijkomende gevel, die niet verbonden is een aangrenzend huis, extra geïsoleerd dient te worden. Het extra isoleren en het oplossen van zogenaamde koudebruggen brengen meer kosten met zich mee. Koudebruggen zijn gebreken in het ontwerp en/of de uitvoering van de isolerende bouwschil, gekenmerkt door een lokale onderbreking van het isolerend karakter. Op deze plaats is de warmtestroming dus bijzonder dicht, wat zich vertaalt in lagere oppervlaktetemperaturen dan elders op de wand (Brussels instituut voor milieubeheer, 2010).

Indien echter de verdeling van de investeringskosten van de schil bekeken wordt, kan vastgesteld worden dat het aandeel van de investeringskosten van isolatie slechts 23,4% bedraagt voor de WP2.10 woning in vergelijking tot 31,7% bij de WP2.20 woning en dus lager uitvalt. In absolute waarden is de kost voor isolatie toch nog een pak groter dan in de rijwoning. Een aanzienlijk groter aandeel wordt ingenomen door het ventilatiesysteem. Dit vereist een veel grotere hap uit het aandeel van de totale investeringskost in de schil, meer specifiek 28,3%.

#### 5.1.4.3 WP2.13

Een extra investering is vereist om van de WP2.13 woning een lage energiewoning te maken en vervolgens nog eens een netto-nulenergiewoning. Hiervoor zijn investeringen in luchtdichtheid, isolatie en installaties nodig.



**Figuur 17: Totale investeringskost LCC WP2.13**

Zoals verwacht laat *figuur 17* zien dat er een aanzienlijk grotere investering nodig is voor de netto-nulenergiewoningen. Tussen de totale investeringskost van het basishuis en de totale

investeringskost van het netto-nulenergiehuis met de laagste LCC zit een verschil van meer dan €40000. Een andere opmerking die gemaakt kan worden is dat *figuur 17* en *figuur 13* een gelijkaardige vorm aannemen. €12000 meer dan bij de WP2.10 woning. Een mogelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de investeringskost een aanzienlijke rol speelt in de LCC van de gebouwen.

Verdeling investeringskosten	WP2.20	WP2.10	WP2.13
Aandeel investeringskosten schil	0,699	0,763	0,777
Aandeel investeringskosten installaties	0,301	0,237	0,223

Tabel 7: Verdeling investeringskosten

Verdeling investeringskosten schil	WP2.20	WP2.10	WP2.13
Aandeel investeringskosten isolatie	0,317	0,234	0,173
Aandeel investeringskosten ramen	0,199	0,135	0,162
Aandeel investeringskosten ventilatie	0,194	0,283	0,221
Aandeel investeringskosten luchtdichtheid	0,073	0,092	0,062
Aandeel resterende investeringskosten	0,217	0,256	0,382

Tabel 8: Verdeling investeringskosten schil

Verdeling investeringskosten installaties	WP2.20	WP2.10	WP2.13
Zonnewering	0,279	/	/
Ventilatiesysteem	0,087	0,169	0,163
Fotovoltaïsche panelen	0,337	0,555	0,657
Zonneboiler	0,297	0,275	0,179

Tabel 9: Verdeling investeringskosten installaties

De verdeling van de investeringskost is vrij gelijkend op die van de andere huizen. Wel kan er geconstateerd worden dat het aandeel 'resterende investeringskosten' stijgt ten opzichte van de andere investeringskosten. Dit omvat onder andere het lekdebiet, de kosten van het dak, ...

#### 5.1.4.4 Conclusie

In alle drie de huizen vertegenwoordigt de investeringskost een belangrijke deel van de LCC. Meer dan 70% van de investeringen gebeurt in de schil van het gebouw, de rest dient om de installaties te financieren. Naarmate het oppervlakte van het huis groter wordt en er meer fotovoltaïsche panelen nodig zijn om in de resterende energievraag te voorzien, kan er vastgesteld worden dat de fotovoltaïsche panelen een aanzienlijk aandeel van de investeringskosten in installaties gaan vertegenwoordigen. Desalniettemin is de investeringskost een belangrijke parameter en heeft het een beduidende invloed op de LCC van het gebouw.

### 5.1.5 Vergelijking netto-nulenergiehuis

In deze paragraaf wordt het netto-nulenergiehuis met de laagste LCC vergeleken met het basishuis. Zodoende kan er bekeken worden of er de mogelijkheid bestaat om tot een rendabel netto-nulenergiehuis te komen.

#### 5.1.5.1 LCCA

##### 5.1.5.1.1 WP2.20

In *bijlage II* worden de kosten van het basisscenario en het meest efficiënte netto-nulenergiehuis langs elkaar gezet. Het laat zien dat de totale kost gedurende de levenscyclus van het gebouw voor een netto-nulenergiehuis lager ligt dan bij een huis dat net voldoet aan de wetgeving. Er is echter initieel een grotere investering vereist, maar deze verdient zich terug naarmate de jaren vorderen. Op lange termijn kan de investering in een netto-nulenergiehuis WP2.20 rendabeler zijn.

##### *WP2.10*

Om de rendabiliteit van een investering in een netto-nulenergiehuis WP2.10 na te gaan, wordt, zoals bij de WP2.20 woning, het netto-nulenergiehuis met de laagste geactualiseerde LCC op 30 jaar vergeleken met het basishuis.

Opvallend is dat een omvangrijk bedrag meer geïnvesteerd moet worden om tot een netto-nulenergiehuis te komen. Daar staat wel tegenover dat tijdens de levensduur van het gebouw een groter bedrag bespaard wordt op de energiefactuur. Maar deze besparingen, die in de loop van de jaren worden gerealiseerd, wegen niet op tegen de enorme investering die er gemaakt moet worden. De LCC van het basishuis is nog altijd lager dan die van het netto-nulenergiehuis. Op basis van de LCCA zal niet gekozen worden voor het netto-nulenergiehuis aangezien dit huis meer kost dan het basishuis.

##### 5.1.5.1.2 P2.13

De LCCA in *tabel 9* laat zien dat het verschil in LCC tussen de meest efficiëntste netto-nulenergieversie van de WP2.13 woning uit de simulatie en het basishuis zeer groot is. Een opvallende kost is de totale investeringskost. Dit is al eerder grafisch afgeleid uit de grafieken en wordt hier bevestigd. Er moet een aanzienlijk minimale investering van €41127 gedaan worden om tot een E-peil van 0 te komen. Dit is een investering die zich in de loop van de levensduur niet helemaal terug verdient. Er wordt namelijk slechts €22550 bespaard op de energiefactuur. Volgens de LCCA zou er niet geïnvesteerd moeten worden in een netto-nulenergiehuis WP2.13.

	<b>ΔWP2.20</b>	<b>ΔWP2.10</b>	<b>ΔWP2.13</b>
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>-626</b>	<b>17320</b>	<b>19596</b>
<b>Totale investeringskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>8216</b>	<b>28728</b>	<b>41127</b>
Investeringskosten schil, € (incl. BTW)	6013	8735	11387
Investeringskosten installaties, € (incl. BTW)	2203	19994	29740
<b>Geactualiseerde vervangingskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>254</b>	<b>1238</b>	<b>624</b>
<b>Geactualiseerde restwaarde, € (incl. BTW)</b>	<b>-53</b>	<b>291</b>	<b>438</b>
Restwaarde schil, € (incl. BTW)	2907	4044	5641
Restwaarde installaties, € (incl. BTW)	-4649	-2145	1370
<b>Geactualiseerde jaarlijkse kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>-1237</b>	<b>564</b>	<b>833</b>
Jaarlijkse kosten installaties, € (incl. BTW)	-127	58	86
<b>Geactualiseerde jaarlijkse energiekosten (gas + elektriciteit), € (incl. BTW)</b>	<b>-7807</b>	<b>-12652</b>	<b>-22550</b>

Tabel 10: Vergelijkende LCC

### 5.1.5.1.3 Conclusie

De conclusies van de LCCA zijn niet eenduidig voor alle drie de woningen. Voor het rijhuis, de WP2.20 woning, is de LCC net iets lager dan bij het basisscenario waardoor de voorkeur uitgaat naar een netto-nulenergiewoning. De LCC van de netto-nulenergievorm van de halfopen woning en het vrijstaand huis ligt daarentegen een pak hoger. Hierdoor krijgt het basishuis de voorkeur. Afhankelijk van welk type woning er gebouwd wordt is het al dan niet aantrekkelijk als netto-nulenergiewoning. Een aanzienlijk verschil tussen de huizen zit in de investering van de installaties. Door de grotere bewoonbare oppervlakte zijn er extra zonnepanelen nodig om aan de resterende energievraag te voldoen, ook zal het ventilatiesysteem duurder kunnen uitvallen.

### 5.1.5.2 Terugverdientijd

#### 5.1.5.2.1 WP2.20

Bij de aanvang van de bouw wordt er €8216 meer geïnvesteerd in het netto-nulenergiehuis. Deze investering leidt tot jaarlijks een besparing van €571 op de gasrekening en €142 op de elektriciteitsrekening. Totaal wordt er jaarlijks €713 bespaard op de energiefactuur. Daarnaast liggen de jaarlijkse kosten €127 lager in het scenario van het netto-nulenergiehuis. Hieruit volgt dat de terugverdientijd gelijk is aan:

$$\frac{€8216}{€840,72} = 9,77 \text{ jaar.}$$

De terugverdientijd is kleiner dan de verwachte levensduur van het project (30 jaar). Op basis van deze methode kan er geconcludeerd worden dat het economisch zinvol is te investeren in een netto-nulenergiehuis.

#### 5.1.5.2.2 WP2.10

Bij de terugverdientijd wordt bekeken na hoeveel jaar de initiële investering is terugverdiend. In *bijlage IV* kan afgelezen worden dat er een extra investering gebeurt van €3242. Dit leidt tot een besparing van €1155 per jaar op de energie factuur. Alsook vallen de jaarlijkse kosten €58 hoger uit. Dit samen genomen levert de volgende terugverdientijd op:

$$\frac{€28728}{€1097} = 26,19 \text{ Jaar.}$$

De bekomen terugverdientijd is net lager dan de werkelijke gebruiksduur van het project. Op basis van de methode van de terugverdientijd wordt de investering aanvaard.

#### 5.1.5.2.3 WP2.13

Uit *tabel 9* wordt de initiële investering van €41227 gehaald. De kasinstromen bedragen €444 per jaar door de besparing op de elektriciteitsfactuur en €1614 per jaar door de besparing op de gasfactuur. Als kasuitstroom is er de jaarlijkse kost €86.

$$\frac{€41227}{€1972} = 20,85 \text{ Jaar.}$$

De terugverdientijd is weer kleiner dan de verwachte levensduur van het projecten leidt tot een aanvaarding op basis van deze methode.

#### 5.1.5.2.4 Conclusie

Op basis van de terugverdientijdmethode worden alle drie de projecten aanvaard. Dit is in tegenstelling tot de resultaten van de LCC analyse. Hierbij werd enkel de investering WP2.20 naar voor geschoven als een goede investering. Er moet echter opgepast worden met het resultaat dat bekomen is met de terugverdientijdmethode aangezien er geen rekening wordt gehouden met de tijds waarde van het geld.

#### 5.1.5.3 Verdisconteerde terugverdientijd

De verdisconteerde terugverdientijd is de tijd die nodig is om de initiële investeringskost terug te verdienen door de netto cashflows die het project genereert, waarbij rekening gehouden wordt met de tijds waarde van geld. Met andere woorden: er wordt berekend hoeveel tijd er



nodig is om de contante waarde van de kasstromen van negatief naar positief te brengen (Mercken, 2004).

De gebruikte discontovoet is gelijk aan de berekende GGK in *hoofdstuk 4* (12,85%); de energieprijzen worden verwacht te stijgen met 4,205%.

#### 5.1.5.3.1 WP2.20

De verdisconteerde terugverdientijd leidt tot eenzelfde conclusie als de terugverdientijd. De verdisconteerde terugverdientijd is lager dan de verwachte levensduur van het gebouw. In *Bijlage IV* worden de gecumuleerde verdisconteerde netto cashflows na belastingen weergegeven. De tabel toont dat er tussen jaar 23 en 24 over wordt gegaan van een negatieve naar een positieve gecumuleerde cashflow. Dit betekent dat na 24 jaar de initiële extra investeringsuitgave wordt terugverdiend. Interpolatie geeft een terugverdientijd van jaar 23 jaar en 350 dagen. De verkregen terugverdientijd is kleiner dan de verwachte levensduur van het huis. Hieruit volgt dat het project wordt aanvaard op basis van de verdisconteerde terugverdientijd methode.

#### 5.1.5.3.2 WP2.10

De verdisconteerde terugverdientijd wordt berekend in *bijlage IV* en bereikt na 30 jaar geen positieve waarde. In tegenstelling tot de gewone terugverdientijd wordt het project op basis van de verdisconteerde terugverdientijd verworpen.

#### 5.1.5.3.3 WP2.13

Indien rekening gehouden wordt met de tijdswaarde van het geld bij de berekening van de terugverdientijd voor de WP2.13 wordt de investering verworpen. Na dertig jaar wegen de inkomende kasstromen niet op tegen de initiële investering en de uitgaande kasstromen. Dit blijkt uit de berekeningen in *bijlage IV*.

#### 5.1.5.3.4 Conclusie

De conclusies van de verdisconteerde terugverdientijd komen overeen met die van de LCCA. Door de in rekening bringende tijdswaarde van het geld wordt slechts enkel de investering in een netto-nulenergiehuis WP2.20 aanvaard als een rendabele investering. In de andere 2 types netto-nulenergiehuizen zou volgens de verdisconteerde terugverdientijd methode niet geïnvesteerd moeten worden.

### 5.1.5.4 NCW-methode

#### 5.1.5.4.1 WP2.20

Indien bij de berekening van de NCW-waarde enkel rekening gehouden wordt met de energiebesparing als kasontvangsten en alle jaarlijkse kosten, wordt het volgende verkregen.

$$NCW = \sum_{t=0}^{30} \frac{At}{(1+0,1285)^t} = \text{€}1863$$

De NCW van het project is positief. Dit wil zeggen dat het project ook wordt aanvaard op basis van de netto contante waarde methode.

#### 5.1.5.4.2 WP2.10

Bij de calculatie van de NCW-waarde worden de besparingen op de elektriciteits- en gasfactuur als enige kasontvangsten beschouwd. Daarnaast worden alle jaarlijkse kosten verdisconteerd en opgenomen in de berekening. Dit geeft de volgende negatieve NCW:

$$NCW = \sum_{t=0}^{30} \frac{At}{(1+0,1285)^t} = \text{€}-13905$$

Op basis van dit resultaat wordt de investering in een WP2.10 netto-nulenergiewoning niet aanvaard, de NCW ligt ver onder 0.

#### 5.1.5.4.3 WP2.13

$$NCW = \sum_{t=0}^{30} \frac{At}{(1+0,1285)^t} = \text{€}-1915$$

De NCW van het project is negatief. Op basis van de NCW methode wordt het project verworpen. De baten wegen niet op tegen de kosten die gemaakt moeten worden om een netto-nulenergiehuis te maken van de WP2.13 woning.

#### 5.1.5.4.4 Conclusie

Uit de uitvoering van de NCW-methode volgt dat het investeren in een netto-nulenergie woning van het type WP2.10 en WP2.13 niet rendabel is. De WP2.20 woning heeft daarentegen wel een positieve NCW. Dit resultaat komt overeen met zowel de LCCA als de verdisconteerde terugverdiëntijd.

#### 5.1.5.5 *Interne rendement*

Het interne rendement (IR) geeft de waarde weer die de discontovoet moet aannemen om op een netto-contante waarde van 0 uit te komen. Het IR geeft weer hoe hoog de kapitaalkost mag oplopen totdat het niet langer economisch verantwoord is te investeren in het netto-nulenergiehuis (Mercken, 2004). Het IRR rendement van de huidige investering in een netto-nulenergiehuis WP2.20 bedraagt ongeveer 16,232%. Bij deze verdisconteringsvoet bereikt de investering een NCW gelijk aan 0.

## 5.2.Risico en onzekerheid

### 5.2.1. Sensitiviteitsanalyse

De in het vorige hoofdstuk besproken investeringsanalyse werd gebaseerd op een discontovoet van 12,85% en op energieprijzen voor gas en elektriciteit van respectievelijk 0,0655 euro/kWh (incl. BTW) en 0,2145 euro/kWh (incl. BTW). Deze drie variabelen zijn zeer gevoelig en fluctueren in de tijd. Er kan verwacht worden dat veranderingen van deze parameters, invloed heeft op de resultaten van de investeringsanalyse. Daarnaast zal hoofdzakelijk de discontovoet en de prijs van gas een invloed hebben op de investeringsanalyse. De invloed van de elektriciteitsprijs zal minder zijn.

In dit hoofdstuk is het de bedoeling na te gaan wat het effect is op de uitkomst van de investeringsanalyse indien de discontovoet en de energieprijzen wijzigen. Er wordt vanuit gegaan dat alle andere prijzen, voor de materialen en de verschillende systemen constant blijven. Het doel van deze eindverhandeling is namelijk de economische rendabiliteit van het gehele netto-nulenergiehuis te bestuderen.

Een wijziging in de bovenstaande variabelen heeft geen invloed op de kasinstromen en kasuitstromen op tijdstip nul. De kasinstromen en kasuitstromen, alsook de restwaarde en de jaarlijkse onderhoudskosten die plaats vinden na jaar nul, worden hier echter wel door beïnvloed. Een wijziging in de discontovoet heeft immers een invloed op de waardering van de kasstromen. Een verandering in de energieprijzen heeft, naast de verandering van de discontovoet, een invloed op de kasinstromen die te danken zijn aan de energiebesparingen.

Variabelen		
Discontovoet	12,85	%
Elektriciteitsprijs	0,2145	Euro/kWh
Gasprijs	0,0655	Euro/kWh

Tabel 11: Variabelen sensitiviteitsanalyse

In *tabel 12* wordt het totale kostenverschil, uitgedrukt in euro, gedurende de gehele levenscyclus tussen het basisscenario (de EPB-gestandaardiseerde woning) en het netto-nulenergiehuis, weergegeven. Een positieve waarde in de tabel betekent dat de kosten voor het basisscenario lager zijn dan de kosten voor het meest rendabele netto-nulenergiehuis. Bij de analyse wordt er vanuit gegaan dat de energieprijzen voor gas en elektriciteit proportioneel stijgen en dalen.

Bij de huidige berekening is er gebruikt gemaakt van een puur economische verdisconteringsvoet (12,85%). In de literatuur wordt echter vaker een sociale interestvoet

gehanteerd tot zelfs 3% (Kurnitski et al., 2011; Sadineni et al., 2011; Silva et al., 2013). Daarom gaat de discontovoet in deze sensitiviteitsanalyse variëren tussen 12,85% en 3%.

De wereldvraag naar energie zal naar verwachting tussen 2000 en 2030 met ongeveer 1,8% per jaar toenemen (Europa, 2010). Verwacht wordt dat ook de energieprijzen de komende jaren gaan stijgen door de toenemende vraag naar energie. Ook de schaarste aan eindige energiebronnen hebben een opwaartse invloed op de energieprijzen.

In de simulatie is met deze opwaartse invloed op de energieprijzen rekening gehouden. Zo wordt er een lineaire stijging van de energieprijzen geïncorporeerd in het model. De lineaire stijging is gebaseerd op stijging van de energieprijzen in de laatste 20 jaar en levert een verwachte stijging van de energieprijzen van 4,205%. Dit stijgingspercentage zal eerder aan de lage kant liggen aangezien de laatste jaren de energieprijzen veel harder stijgt. De gemiddelde stijging van de energieprijzen gedurende de laatste 10 jaar is ongeveer 5,7% per jaar (BelgoStat, 2012). Daar er onzekerheid bestaat, over de grootte van de procentuele stijging van de energiekosten, wordt het effect van een grotere of kleinere jaarlijkse stijging van de energiekosten.

#### 5.2.1.1. WP2.20

Procentuele stijging energieprijzen						
Discontovoet[%]		50%*(x)	75%*(x)	(x)=4,205%	150%*(x)	200%*(x)
	12,85		744	108	-627	-2474
11		-667	-1487	-2443	-4885	-8299
9		-2741	-3845	-5148	-8530	-13358
7		-5659	-7185	-9007	-13812	-20810
5		-9865	-12033	-14647	-21655	-32055
3		-16082	-19244	-23098	-33585	-49428

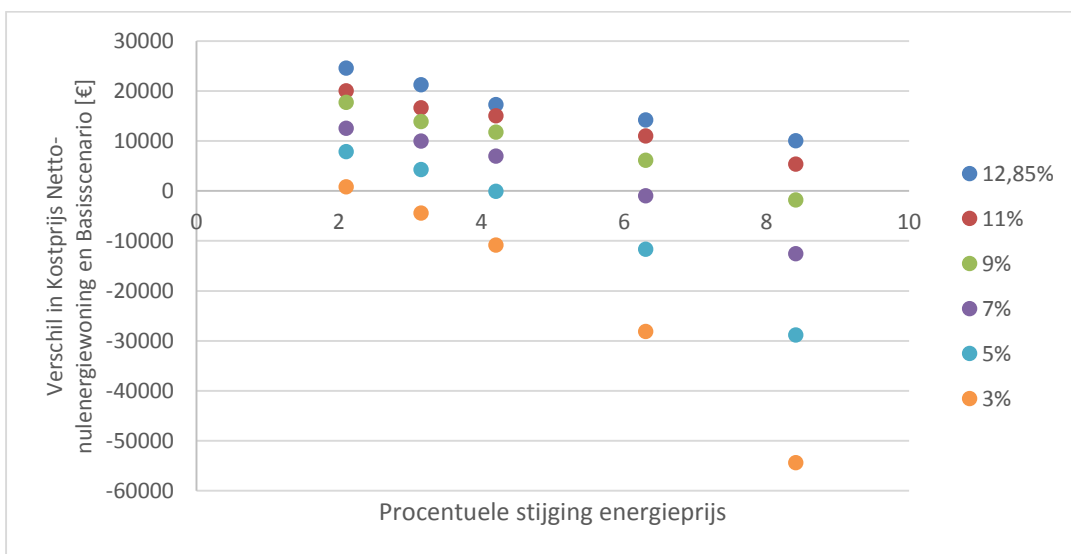
Tabel 12: Sensitiviteitsanalyse van de LCC WP2.20

Tabel 12 toont dat de LCC van het netto-nulenergiehuis economisch aantrekkelijker wordt naarmate het vereiste rendement voor kapitaal verlaagt en de energieprijzen voor gas en elektriciteit stijgen. De meest optimale waarde in deze tabel bevindt zich in de rechter onderhoek. Dit is wanneer het vereiste rendement daalt tot 3% en de energieprijzen voor gas en elektriciteit zouden verdubbelen. Aan de andere kant is het aantrekkelijker te investeren in een EPB gestandaardiseerde woning indien het vereiste rendement stijgt en de gas- en elektriciteitsprijzen dalen.

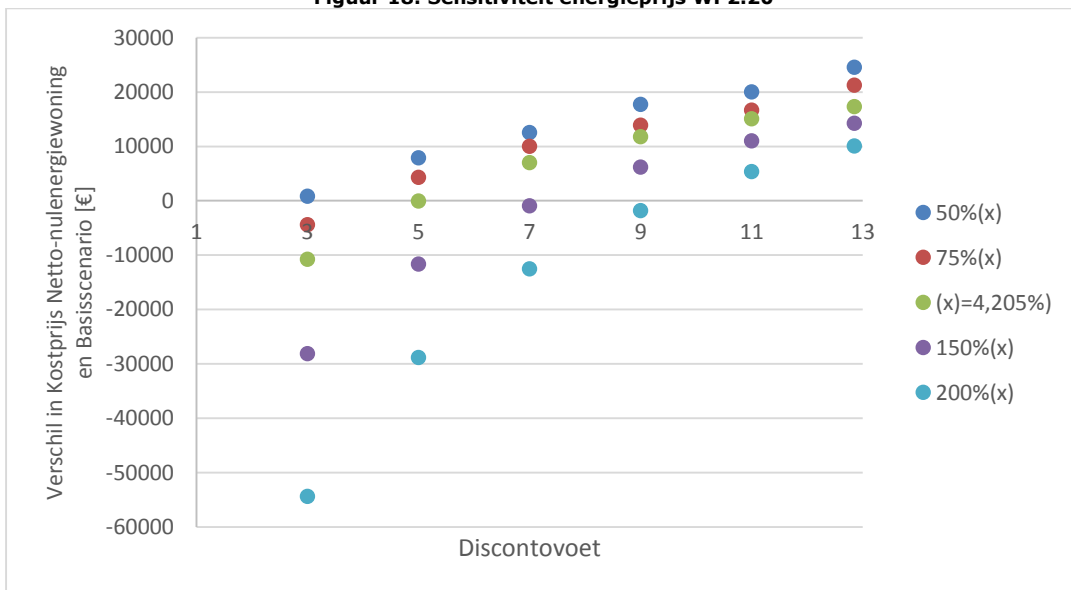
De grootte van de impact van beide variabelen kan afgeleid worden uit de tabel. Zo blijkt de discontovoet een grotere invloed te hebben op de LCC dan de procentuele stijging van de

energieprijs. De daling van de LCC langs de horizontale as is minder snel dan de daling langs de verticale as.

Hogere energieprijzen hebben een positieve invloed op de investeringskost van een netto-nulenergiehuis. *Figuur 18* laat een duidelijk dalende trend zien in de extra kosten van een netto-nulenergiehuis ten opzichte van het basisscenario. Hoe hoger de procentuele stijging van de energiekost, hoe aantrekkelijker het netto-nulenergiehuis. Dit kan verklaard worden door het grotere terugverdieneffect dat ontstaat uit dezelfde investering. Daarnaast kan ook duidelijk vastgesteld worden dat hoe lager het vereiste rendement is hoe aantrekkelijker de investering in een netto-nulenergiehuis wordt.



**Figuur 18: Sensitiviteit energieprij WP2.20**



**Figuur 19: Sensitiviteit WACC WP2.20**

In *figuur 18* wordt duidelijk dat de investering aantrekkelijker wordt wanneer het vereiste rendement daalt. Daarnaast toont het dat bij de huidige energieprijzen er scenario's mogelijk zijn die aantrekkelijker zijn dan het basisscenario en op lange termijn een lagere levenscycluskost met zich meebrengen. Hiervoor moet er wel gezocht worden naar de meest optimale combinaties van isolatie en installaties. Maar het is volgens deze simulatie mogelijk een netto-nulenergiehuis te bouwen met een lagere levenscycluskost dan die van een EPB-gestandaardiseerde woning. Naast de verandering van de discontovoet werden alle andere variabelen in deze grafiek constant gehouden.

### 5.2.1.2. WP2.10

Onder de huidige economische omstandigheden die in dit onderzoek als basisscenario worden gebruikt, is het investeren in een nulenergieversie van de WP2.10 economisch niet interessant. Maar aangezien deze variabelen slechts een schatting zijn van de werkelijke waarde en de mogelijk bestaat dat deze waardes over de loop van de jaren variëren wordt er een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd. Wederom worden de zelfde variabelen opgenomen als bij de sensitiviteitsanalyse van de WP2.20 woning. Namelijk de discontovoet en de procentuele stijging van de energieprijzen van elektriciteit en gas. Deze variabelen worden weergegeven in *tabel 11*.

Procentuele stijging energieprijzen						
		50%*(x)	75%*(x)	(x)=4,205%	150%*(x)	200%*(x)
Discontovoet [%]	12,85	24588	21302	17320	14264	10073
	11	20040	16683	15101	11061	5411
	9	17772	13944	11788	6193	-1796
	7	12567	10041	7027	-924	-12504
	5	7889	4303	-23	-11619	-28828
	3	831	-4401	-10778	-28132	-54346

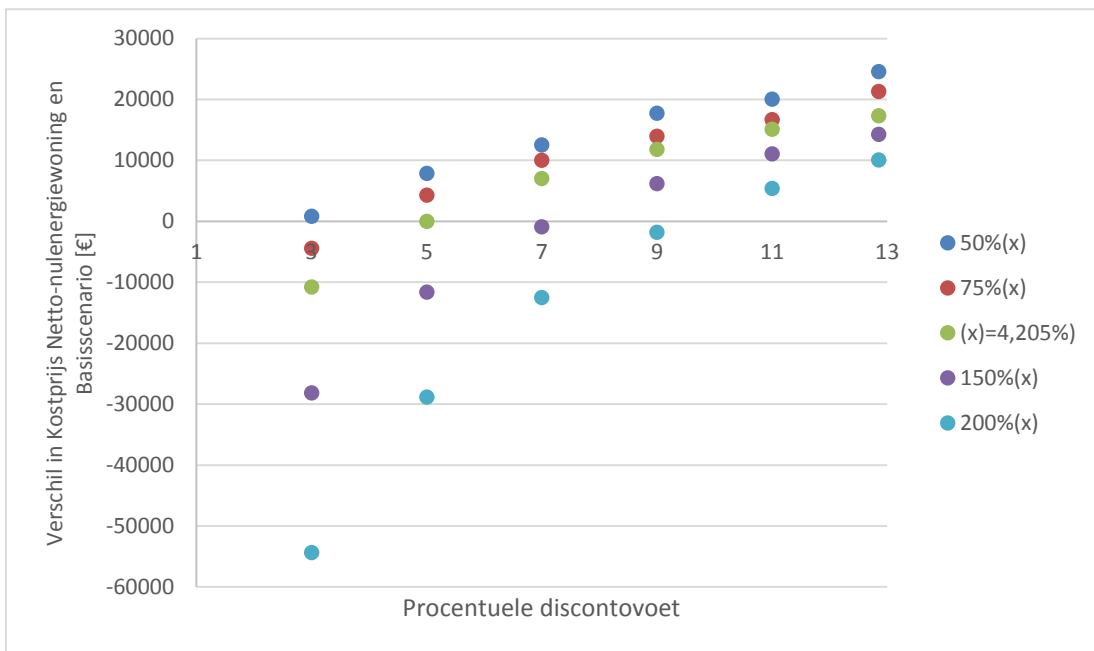
Tabel 13: Sensitiviteitsanalyse van de LCC WP2.10

Uit bovenstaande sensitiviteitsanalyse kan er vastgesteld worden dat de netto-nulenergievorm van de WP2.10 woning een stuk minder aantrekkelijk is dan de WP2.20 woning. Onder deze assumpties is in meer dan de twee derde van de scenario's de LCC van de netto-nulenergie woning groter dan de LCC van het basishuis. Slechts indien de discontovoet daalt en/of de gas en elektriciteitsprijzen stijgen, wordt het netto-nulenergiehuis aantrekkelijker. Het tegelijk afspeken van een daling in de discontovoet en een stijging van de energieprijzen speelt in het voordeel van het netto-nulenergiehuis.

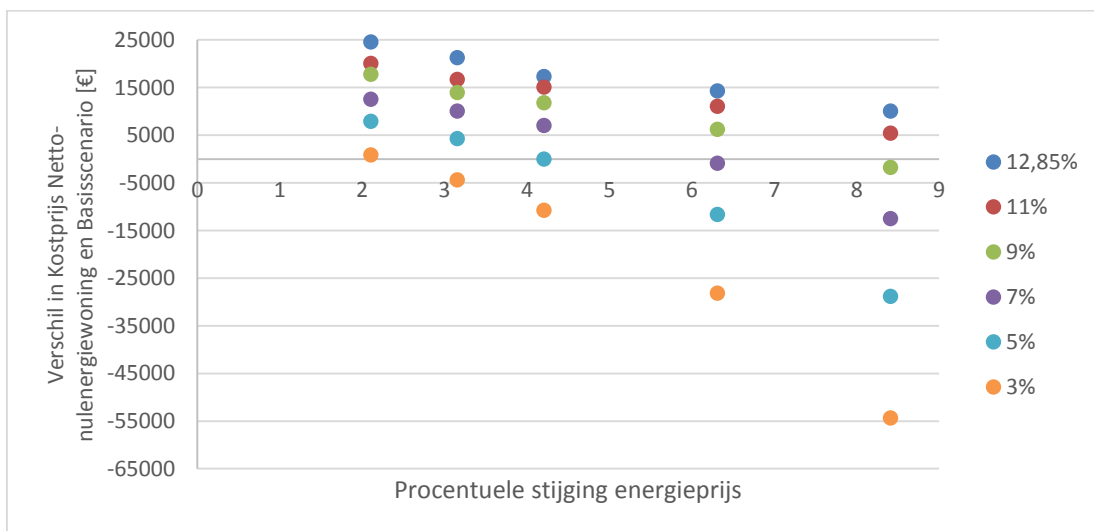
*Figuur 20* toont het effect van de discontovoet voor de verschillende scenario's van energieprijzen. Zoals in *tabel 13* werden er 5 verschillende scenario's voor de procentuele stijging van de energieprijzen gesimuleerd voor elke discontovoet. Er is een duidelijke stijgende

trend te zien wanneer de discontovoet stijgt. Met andere woorden het bouwen van een netto-nulenergiehuis wordt minder aantrekkelijk naarmate de discontovoet stijgt. Wanneer het vereiste rendement daalt onder de 9% is het mogelijk een rendabel netto-nulenergiehuis te bouwen mits de energieprijzen gaan stijgen.

Daarenboven laat *figuur 21* nog eens zien dat hoe sneller energieprijzen stijgen hoe aantrekkelijker een netto-nulenergieversie van de WP2.10 woning wordt. Dit kan verklaard worden door het grotere terugverdieneffect wat er ontstaat. Om echt helemaal rendabel te worden moet ook de kapitaalkost dalen onder de 9%.



**Figuur 20: Sensitiviteit WACC WP2.10**



**Figuur 21: Sensitiviteit energieprijzen WP2.10**

### 5.2.1.3. WP2.13

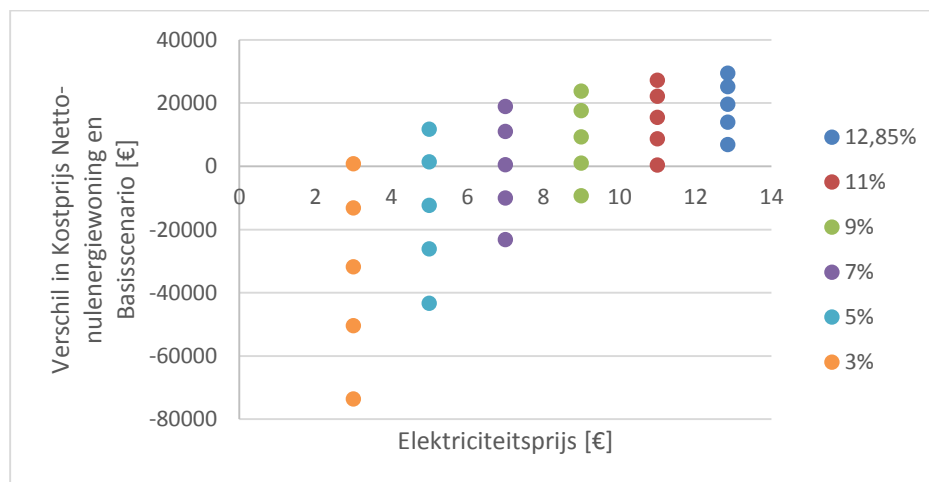
Procentuele stijging energieprijis						
Discontovoet [%]	50%*(x)	75%*(x)	(x)=4,205%	150%*(x)	200%*(x)	
	12,85	29461	25233	19596	13959	6911
11	27193	22162	15454	8746	360	
9	23806	17591	9305	1017	-9340	
7	18936	11047	529	-9989	-23137	
5	11730	1411	-12346	-26104	-43302	
3	756	-13186	-31776	-50365	-73603	

Tabel 14: sensitiviteisanalyse van de LCC WP2.13

Uit het sensitiviteitsonderzoek van de WP2.13 woning blijkt dat de woning onder juist dezelfde omstandigheden als de WP2.10 woning een negatieve LCC krijgt. Indien het verschil negatief is, wil dit zeggen dat de LCC voor het netto-nulenergiehuis lager is dan de LCC van het basishuis. Dit is slechts het geval wanneer de WACC daalt en/of de energieprijzen stijgen.

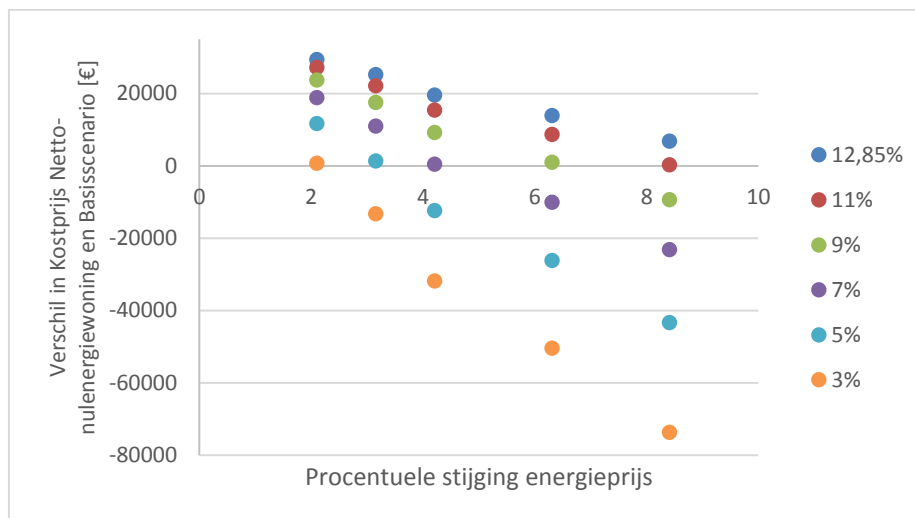
Figuren 22 en 23 tonen de zelfde trends als bij de twee andere huizen. Hoe lager de WACC is hoe aantrekkelijker het netto-nulenergiehuis is en de mensen geneigd zijn er in te investeren. Indien echter de WACC gelijk is aan de economische WACC (12,85%) gaat een rationele consument hier niet in investeren.

Een snellere stijging van de energieprijzen speelt natuurlijk in het voordeel van de netto-nulenergiehuizen aangezien op deze manier de investeringen zich sneller terugverdienen. Dit wordt weer gegeven door de dalende trend van *figuur 25*. Hoe hoger de procentuele stijging van de energieprijzen hoe kleiner het verschil wordt tussen de twee huizen.



Figuur 22: Sensitiviteit WACC WP2.13





**Figuur 23: Sensitiviteit energieprij WP2.13**

#### 5.2.1.4. Conclusie

Het verschil in de LCC wordt groter en groter naarmate dat de bewoonbare oppervlakte van de netto-nulenergiehuizen stijgt. Hierdoor moeten de parameters steeds verder in de gunstige richting evalueren voordat de LCC van het netto-nulenergiehuis kleiner is dan de LCC van het basishuis. Uit de sensitiviteitsanalyse van de WP2.20 woning bleek dat zelfs onder de basisassumpties het scenario van het netto-nulenergiehuis aantrekkelijk was. Voor de WP2.10 en WP2.13 woning is dit niet het geval. Voordat de netto-nulenergieversies van de twee woningen positief worden, is er een grotere stijging van de energiekost nodig of een lagere discontovoet.

#### 5.2.2. Monte Carlo simulatie

Na de sensitiviteitsanalyse waarbij de impact van verschillende individuele parameters werd nagegaan, wordt er gekeken naar de simultane verandering van de verschillende parameterwaardes. Bij de uitvoering van de Monte Carlo simulatie worden de vijf grote stappen, beschreven door R. Mercken (2004), gevolgd. Deze stappen werden reeds besproken in hoofdstuk 5.

##### 1. Identificatie parameters

De levenscycluskost is de doelvariabele waarvan de gevoeligheid wordt onderzocht. Eerst en vooral worden dezelfde parameters als bij de sensitiviteitanalyse gekozen om de gevoeligheid te bepalen. Daarnaast worden nog een paar extra variabelen gebruikt:

- De gewogen gemiddelde kapitaalkost
- De procentuele stijging van de energieprij
- De inflatie

- De investeringskost

De variabelen zullen evalueren voor zowel het basishuis als het netto-nulenergiehuis. Er wordt wel telkens dezelfde kansverdeling verondersteld.

## *2. Bepaling kansverdeling parameters*

De kansverdelingen van de hierboven geïdentificeerde parameters zijn niet exact gekend. Een eenvoudige, pragmatische oplossing voor dit probleem kan verkregen worden door te werken met de drie management ramingen (basisverwachting, optimistisch en pessimistisch) en hier een bepaalde verdeling op toe te passen (Mercken, 2004).

### ***De gewogen gemiddelde kapitaalkost (GGK)***

Particulieren weten vaak niet wat de werkelijke waarde is van de kapitaalkost. Bij de reeds eerder gemaakte berekeningen is er gebruik gemaakt van een puur economische kapitaalkost. Aangezien er aan netto-nulenergiehuizen ook een sociaal aspect verbonden is en de kapitaalkost voor deze situaties een pak lager ligt, zal de parameter toegelaten worden tot 75% lager te gaan dan zijn maximale waarde. En dit in een lineaire lijn.

### ***De prijsstijging van gas en elektriciteit***

De gas- en elektriciteitsprijs wordt verwacht sneller te stijgen door de uitputbaarheid van de grondstoffen. Dit brengt een scheve driehoeksverdeling met zich mee. Omwille van de grote vraag naar energie en de uitputbaarheid ervan, kan de snelheid van de prijsstijging van gas en elektriciteit verdubbelen. Een maximale versnelling van 100% wordt verwacht. Daarnaast wordt de kans dat er zich een daling van de stijging van de energieprijzen voordoet zeer klein geschat, aangezien er vanuit mag gegaan worden dat de energieprijzen blijven stijgen. Daarom wordt een kleine daling van 10% toegelaten.

Idem aan de prijs van gas. Ook hier wordt gebruikt gemaakt van een scheve driehoeksverdeling met een maximale versnelling van 100% en een maximale vertraging van 10%.

### ***De inflatie***

Sinds de economische crisis in 2008 is de inflatie een stuk volatieler geworden. Gemiddeld schommelt de waarde tussen de 1% en 4% (FOD Economie, 2013). Daarom is een scheve driehoeksverdeling een toepasbare verdeling. De meest waarschijnlijke waarde ligt rond de

3%, deze waarde wordt ook gebruikt in de investeringsanalyse. De minimumwaarde kan 66% lager liggen en de maximale waarde kan 33% hoger liggen.

### **De investeringskost**

Vermits de kostprijzen van de gebruikte materialen voor onder andere de schil van het gebouw niet met 100% zeker zijn, wordt een risicomarge ingebouwd. De investeringskost wordt besproken met een driehoeksverdeling. Hierbij zijn drie waarden van belang: de basisverwachting (de meest waarschijnlijke waarden), de optimistische waarde (de minimumwaarde) en de pessimistische waarde (de maximum waarde). De basisverwachting is de investeringskost die berekend wordt bij de investeringsanalyse. Voor de optimistische en pessimistische waarde wordt een marge van 10% genomen op de basisverwachting. De waarden van de investeringskost kunnen dus 10% boven of onder de meest waarschijnlijke waarde vallen.

Tabel 15 vat de vier parameters met hun verschillende waarden nog eens samen.

<b>Parameter</b>	<b>Meest waarschijnlijke waarde</b>	<b>Minimumwaarde</b>	<b>Maximumwaarde</b>	<b>Verdeling</b>
<b>GGK</b>	/	3,2125%	12,85%	Triangulair
<b>%stijging energiekost</b>	3,785%	4,205%	8,41%	Triangulair
<b>Inflatie</b>	2,885%	0,952%	3,837%	Triangulair
<b>Investeringskost</b>	€36 458	€32 812	€40 104	Triangulair

**Tabel 15: Parameters Monte Carlo simulatie**

### *3. Toevallige keuze parameterswaarden*

De Monte Carlo simulatie is gebaseerd op toevallig gekozen waarden van de parameter. De kans dat de toevallig gekozen waarde wordt getrokken, wordt bepaald door de toegepaste verdeling.

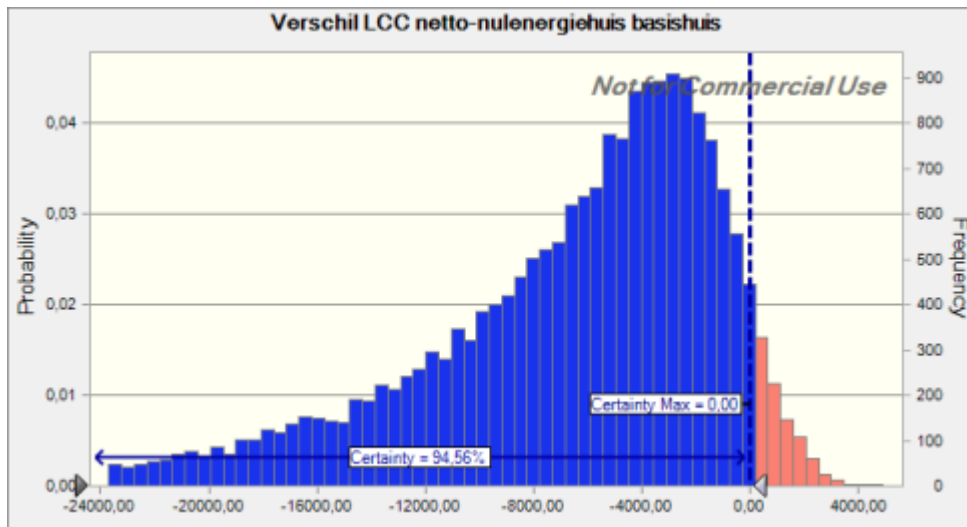
### *4. Berekenen NCW van het toevallig samengestelde scenario*

In deze stap wordt de simulatie uitgevoerd. Dit betekent dat voor een willekeurige parametercombinatie de NCW van het project berekend wordt.

### *5. Opstelling kansverdeling NCW*

Tijdens het uitvoeren van de trails wordt er 20000 keer een waarde berekend voor de LCC van het project met een willekeurig samengestelde parametercombinatie. Deze 20000 LCC's kunnen worden weergegeven met een kansverdeling.

### 5.2.2.1. WP2.20



Figuur 24: Kansverdeling LCC WP2.20

Indien het in de volgende paragrafen gaat over de levenscycluskost (LCC) dan gaat het over het verschil in LCC tussen het meest economische netto-nulenergiehuis WP2.20 en het basishuis WP2.20. De voorspelde LCC ligt tussen de -€41026 en +€4860. De berekende waarde uit het basisscenario onderschat met andere woorden lichtjes de voordelen van een netto-nulenergiehuis. De kans dat het verschil in LCC groter wordt dan €0 is meer dan 94,6%. Dit aanzienlijke aandeel kan hoofdzakelijk verklaard worden door het feit dat verwacht wordt dat de energieprijzen de komende 30 jaar sneller zullen stijgen dan in het basisscenario en daarbij kan de gewogen gemiddelde kost van kapitaal nog eens dalen tot 3%. Indien van deze assumpties wordt uitgegaan, gaan de investeringen in isolatie en energiezuinigheid meer renderen.

Als vervolgens gekeken wordt welke parameters de meeste invloed hebben op de LCC blijkt het dat 79,5% van de variantie in de LCC verklaard wordt door de Weighted Average Cost of Capital (WACC). Uit onderstaand Tornado Chart blijkt dat voor een WACC een waarde van 79,5% wordt verkregen. Dit wil zeggen dat bij een hogere gewogen gemiddelde kost van kapitaal de WACC gaat stijgen. De verwachte stijging van de WACC zal in het nadeel spelen van het netto-nulenergiehuis aangezien de investering meer moet renderen omwille van het hogere rendement dat geëist wordt.

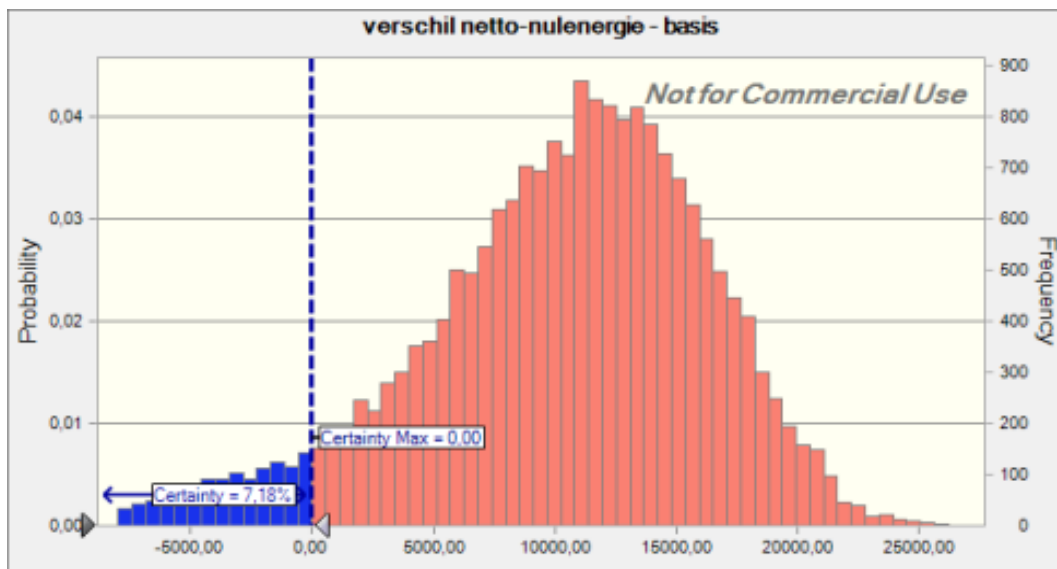
Daarnaast heeft het stijgingspercentage van de energieprijs een redelijke grote invloed op de LCC met een percentage van -9,5. In principe heeft een stijging van de stijgingspercentage in de energieprijs een daling in de LCC tot gevolg, ceteris paribus alle andere variabelen. Een stijging van dit stijgingspercentage heeft een versnelling van het terugverdieneffect tot gevolg en heeft bijgevolg een dalende invloed op de LCC.

Daarnaast hebben de investeringskosten in de schil van het basishuis en het netto-nulenergiehuis een grote invloed op de LCC met een respectievelijke percentage van -3,1 en +5,5. Er is sprake van een tegengesteld teken omwille van hun tegengestelde invloeden op de LCC. Dit komt doordat de LCC van het netto-nulenergiehuis verminderd wordt met de LCC van het basishuis. In principe heeft een stijging van de investeringskost van een huis een stijging in de LCC van het huis tot gevolg, ceteris paribus alle andere variabelen.

Het Tornado diagram laat duidelijk zien welke variabele een grote invloed hebben op de sensitiviteit van de LCC. De hierboven besproken variabelen hebben een aanzienlijke invloed, de andere variabelen hebben verhoudingsgewijs minder invloed, maar daarom zijn deze niet altijd minder belangrijk.

#### 5.2.2.2. WP2.10

Voor de Monte Carlo simulatie van de WP2.10 woning wordt op een identieke manier gewerkt als voor de WP2.20 woning. Dezelfde assumpties worden gehanteerd en de vijf toegepaste stappen blijven dezelfde.



**Figuur 25: Kansverdeling LCC WP2.10**

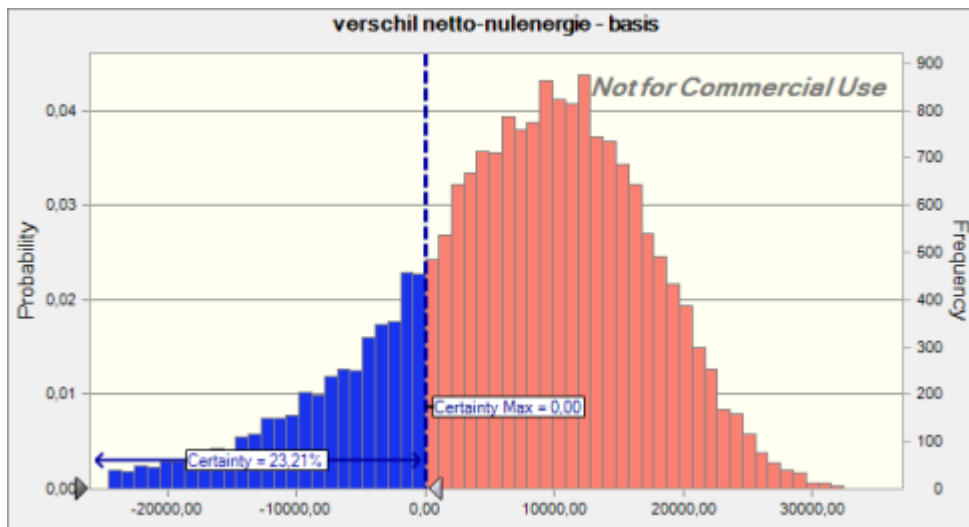
Ondanks dat de variatie in de parameters in rekening wordt genomen en de mogelijkheid bestaat dat de energieprijzen sneller gaan stijgen en de investeringskosten te hoog ingeschat zijn, blijft het verschil in de LCC tussen de twee woningen in meer dan 90% van de gevallen positief. Dit wil zeggen dat onder zo goed als alle gesimuleerde omstandigheden de LCC van het netto-nulenergiehuis groter is dan die van het basishuis. Een rationeel persoon zal er dus niet voor opteren een netto-nulenergiehuis WP2.10 te bouwen.

De parameters die een belangrijke invloed hebben op de LCC blijven identiek aan de invloedparameters de WP2.20 woning. De impact percentages veranderen daarentegen wel. De impact van de WACC halveert bijna ten opzichte van de invloed van de WACC in de WP2.20.

Tegenstaande aan de daling van de WACC staat een stijging van het stijgingspercentage van de energieprijzen. Deze stijging kan verklaard worden door het feit dat de WP2.10 woning een grotere woning is en een grotere resterende netto-energiebehoefte heeft waarop de energieprijzen een beduidende invloed heeft.

Wederom heeft de investeringskost van de schil van het basishuis en het netto-nulenergiehuis een invloed met een respectievelijk percentage van -13,2% en +19,1%. Het hogere percentage kan ook weer verklaard worden door de hogere investeringskost die nodig is om een WP2.10 woning te bouwen.

### 5.2.2.3. WP2.13



Figuur 26: Kansverdeling LCC WP2.13

Uit de Monte Carlo analyse betreffend het verschil in de LCC van het netto-nulenergiehuis WP2.13 en het basishuis WP2.13, blijkt dat de kans dat het verschil in LCC kleiner gaat zijn dan 0, groter is dan voor de WP2.10 woning. In 23,31% van de gesimuleerde scenario's is de LCC van het basishuis groter dan die van het netto-nulenergiehuis. Dit kan verklaard worden door het hogere rendement van de investeringen. Indien de energieprijzen sneller gaan stijgen dan in het basisscenario, zal het netto-nulenergiehuis zich sneller terugverdienen. Aangezien de netto-nulenergiebehoefte bij dit type van huis zeer groot is, heeft de snellere stijging van de energieprijzen een groter effect. Daarbij komt dat de WP2.13 woning nog eens een grotere woning is dan de andere twee.

Een andere verklarende factor voor het hogere aantal scenario's met een negatieve LCC dan bij de WP2.10 woning is de investeringskost. Een investering in een netto-nulenergieversie van de WP2.13 woning kost gemiddeld slechts 25% meer dan voor de WP2.10 woning, terwijl de additionele investering bijna een verdubbeling in besparing op de energiefactuur met zich mee brengt. Dit versterkt door een snellere stijging van de energieprijzen waardoor de LCC lager worden.

De extra kosten verbonden aan het bouwen van een netto-nulenergiehuis worden, ondanks dat er rekening gehouden is met de kansverdeling van de invloedvariabelen, in meer dan 75% van de gevallen niet terugverdiend. De rationele consument zal ook hier weer het basishuis verkiezen boven dat van een netto-nulenergiehuis.

Parameter	WP2.20	WP2.10	WP2.13
<b>Investeringskosten schil netto-nulenergiehuis</b>	5,5%	19,1%	17,9%
<b>%stijging energieprijz</b>	-9,5%	19,9%	-20,8%
<b>Investeringskosten schil basishuis</b>	-3,1%	-13,2%	-13,9%
<b>Investeringskosten installaties netto-nulenergiehuis</b>	0,6%	2,6%	2,0%
<b>WACC</b>	79,5%	43,7%	41,4%

**Tabel 16: Tornado diagram WP2.13**

#### 5.2.2.4. Conclusie

Alle drie de huizen hebben plusminus dezelfde verdeling maar de gemiddeldes liggen op verschillende plaatsen. De WP2.20 woning is de enige woning waarbij het gemiddelde LCC negatief is en de voorkeur uit gaat naar de netto-nulenergiewoning. De WP2.10 en WP2.13 hebben beiden een gemiddelde LCC die positief is. De LCC voor het netto-nulenergiehuis is respectievelijk gemiddeld €10034 en €6427 groter dan voor het basishuis.

In alle drie de gevallen bepaald de WACC een belangrijke aandeel van de variantie in de LCC. Daarbij komen nog drie andere parameters die een aanzienlijk deel van de variantie in de LCC verklaren. De parameters zijn: de procentuele stijging van de energieprijz en de investeringskosten in de schil van het basis- en netto-nulenergiehuis.

### 5.3. Implementatie financiële steunmaatregelen

In hoofdstuk 3 werden de verschillende types steunmaatregelen, waarvoor een netto-nulenergiehuis in aanmerking komt, al besproken. In het model worden de volgende steunmaatregelen geïmplementeerd:

- Groene stroomcertificaten: €93 per 4348 kWh en dit gedurende 15 jaar
- Subsidie voor een zonneboiler: €2750 (eenmalig)
- Subsidie voor een E-peil van 0: €3800 (eenmalig)

### 5.3.1. LCCA

#### 5.3.1.1. WP.20

Verondersteld wordt dat de subsidies voor de zonneboiler en de subsidie voor het E-peil van 0 ontvangen worden bij de aanvang van jaar 1. De groene stroomcertificaten worden geleidelijk aan verdiend, evenredig met de elektriciteitsproductie.

Er wordt verwacht dat de financiële steunmaatregelen het netto-nulenergiehuis nog aantrekkelijker maken. De totale geactualiseerde levenscycluskost van het netto-nulenergiehuis lag voor de subsidies echter al onder dat van het basisscenario.

Het basisscenario blijft onveranderd, aangezien het niet in aanmerking komt voor de subsidies. Het netto-nulenergiehuis wordt nu aantrekkelijker door de additionele subsidie van €6853. In totaal liggen de totale geactualiseerde kosten, nog eens €7479 lager dan in het basisscenario.

#### 5.3.1.2. WP2.10

De verkregen subsidies worden in *bijlage III* toegevoegd aan de LCCA van de WP2.10. Er kan vastgesteld worden dat de subsidies in het voordeel van het netto-nulenergiehuis werken. Ze zorgen ervoor dat de woning iets aantrekkelijker wordt, maar de LCC blijft nog altijd hoger dan dat van het basishuis. Aangezien het gekozen netto-nulenergiehuis, het netto-nulenergiehuis was met de laagste LCC zullen alle andere varianten een nog hogere LCC blijven hebben. Zij zullen dus volgens de LCCA ook niet economisch rendabel zijn.

#### 5.3.1.3. WP2.13

Net zoals bij de WP2.10 woning spelen de subsidies in het voordeel van het netto-nulenergiehuis maar deze subsidies zijn niet genoeg om de LCC van het netto-nulenergiehuis onder die van het basishuis te brengen. Op basis van deze LCC zou voor de WP2.13 woning een additionele financiële steun nodig zijn van €12171 opdat de consument onverschillig zou zijn tussen beide vormen van bebouwing.

Tabel 17 vat nog eens de LCC na subsidies voor de drie verschillende woningen samen.

	$\Delta$ WP2.20	$\Delta$ WP2.10	$\Delta$ WP2.13
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW)</b>	-626	17320	19596
<b>Geactualiseerde subsidies, €</b>	6853	7185	7425
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW en Subsidies)</b>	-7480	10135	12171

Tabel 17: vergelijkende LCC met subsidie WP2.13

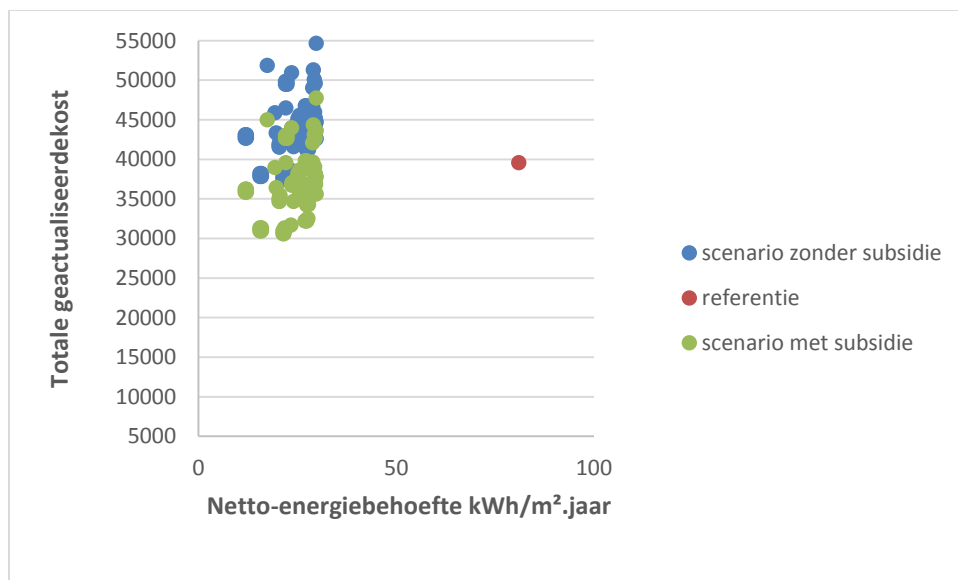


#### 5.3.1.4. Conclusie

De resultaten van de LCCA, met incorporatie van de subsidies, veranderen niets aan de beslissingen die reeds eerder genomen zijn. De financiële steunmaatregelen maken logischerwijs alle woningen aantrekkelijker. Slechts enkel de rijwoning heeft een verschil in LCC die kleiner is dan 0. Enkel bij dit gebouw gaat de voorkeur naar een netto-nulenergieversie. De andere twee woningen brengen een extra LCC mee van ongeveer €9000 en €12000.

#### 5.3.2. LCCA alle WP2.20 woningen

Als dezelfde berekening wordt uitgevoerd voor alle 85 huizen met een netto-energiebehoefte die lager is dan 30kWh/m<sup>2</sup> per jaar dan bekomen we onderstaande grafiek. *Figuur 27* toont zowel het scenario vóór de implementatie van de subsidies als na de implementatie. Er kan geconstateerd worden dat er een bijna lineaire verplaatsing omlaag plaatsvindt. Door het toekennen van de subsidies worden veel meer scenario's van dit huis aantrekkelijker dan het basisscenario aangezien veel punten onder of gelijk met het basisscenario liggen. Ze hebben echter wel een beduidend lagere netto-energiebehoefte.



**Figuur 27: Invloed subsidie op totale LCC WP2.20**

#### 5.3.3. Terugverdientijd WP2.20

Initieel wordt er €8216 meer geïnvesteerd in het netto-nulenergiehuis. Deze investering leidt tot jaarlijks een besparing op de energiefactuur van €713. De jaarlijks kosten liggen €127,4 lager in het scenario van het netto-nulenergiehuis. Daarnaast worden nog eens subsidies gegeven. Dit levert een terugverdientijd op van slechts 2 jaar.

#### 5.3.4. Verdisconteerde terugverdientijd WP2.20

De verdisconteerde terugverdientijd is aanzienlijk korter bij het scenario met subsidies indien er vanuit wordt gegaan dat de subsidies voor de zonneboiler en het E-peil van 0 ontvangen worden in het begin van jaar 1. Er wordt dan een verdisconteerde terugverdientijd gevonden van slechts 4 jaar. In tegenstelling tot de gunstige verdisconteerde terugverdientijd van de WP2.20 woning zijn de verdisconteerde terugverdientijden van de WP2.10 en de WP2.13 woning groter dan 30 jaar.

#### 5.3.5. NCW- methode WP2.20

Om de NCW van de investering te berekenen, wordt de som genomen van de verdisconteerde kasstromen, verminderd met de netto- investeringskost. Er wordt dan een NCW van €8246 bekomen. Hieruit volgt dat een investering in een netto-nulenergiehuis, met in rekening genomen de subsidies die verkregen kunnen worden, economisch verantwoord is.

### 5.4. Risico en onzekerheid met subsidies

Idem als in 6.2 wordt in deze paragraaf de onzekerheid van bepaald variabelen, die in de bovenstaande berekeningen gebruikt zijn, in rekening gebracht. De verschillende parameters die gebruikt zijn in de Monte Carlo simulatie in paragraaf 6.2 zullen hier wederom gebruikt worden. Daarnaast worden dezelfde vijf stappen gevolgd. Dit resulteert in de volgende kansverdelingen van de LCC voor de drie woningen.

#### 5.4.1. Sensitiviteitsanalyse

##### 5.4.1.1. WP2.20

In de meeste combinaties, voor het in rekening brengen van de subsidies, was het verschil in LCC reeds negatief. Na het ontvangen van subsidies gaat volgens de sensitiviteitsanalyse in alle gevallen de voorkeur uit naar het bouwen van een netto-nulenergiewoning. Zelfs indien de discontovoet hoog is en/of de energieprijzen minder snel stijgen.

Procentuele stijging energieprijz						
		50%*(x)	75%*(x)	(x)=4,205%	150%*(x)	200%*(x)
Discontovoet[%]	12,85	-6109	-6745	-7480	-9327	-11860
	11	-7520	-8340	-9296	-11738	-15152
	9	-9594	-10698	-12001	-15383	-20211
	7	-12512	-14038	-15860	-20665	-27663
	5	-16718	-18886	-21500	-28508	-38908
	3	-22935	-26097	-29951	-40438	-56281

Tabel 18: Sensitiviteitsanalyse van de LCC met subsidie WP2.20

#### 5.4.1.2. WP2.10

De sensitiviteitsanalyse voor de WP2.10 woning levert een tabel op waarbij de LCC €7185 lager ligt in vergelijking met de tabel zonder subsidie. Uiteraard spelen de subsidies zoals eerder gezegd in het voordeel van het netto-nulenergiehuis. Mits de andere variabelen gunstig evalueren gaan consumenten

Procentuele stijging energieprijz						
Discontovoet[%]		50%*(x)	75%*(x)	(x)=4,205%	150%*(x)	200%*(x)
	12,85		17403	14117	10135	7079
11		12855	9498	7916	3876	-1774
9		10587	6759	4603	-992	-8981
7		5382	2856	-158	-8109	-19689
5		704	-2882	-7208	-18804	-36013
3		-6354	-11586	-17963	-35317	-61531

Tabel 19: sensitiviteitsanalyse van de LCC met subsidie WP2.10

eerder kiezen voor dit type bebouwing. Bij de WP2.10 woning kan vastgesteld worden dat, desondanks de subsidie, de consument niet gaat investeren in een netto-nulenergie woning indien de discontovoet hoog is (12,85%).

#### 5.4.1.3. WP2.13

De sensitiviteitstabel van de WP2.13 woning laat op zijn beurt zien dat onder dezelfde omstandigheden als bij de WP2.10 woning het investeren in een netto-nulenergie woning aantrekkelijk is. De invoering van subsidies maakt onder verschillende omstandigheden energiewoningen aantrekkelijker. Doch onder de huidige gebruikte basisassumpties zijn de subsidies nog onvoldoende.

Procentuele stijging energieprijz						
Discontovoet[%]		50%*(x)	75%*(x)	(x)=4,205%	150%*(x)	200%*(x)
	12,85		22036	17808	12171	6534
11		19768	14737	8029	1321	-7065
9		16381	10166	1880	-6408	-16765
7		11511	3622	-6896	-17414	-30562
5		4305	-6014	-19771	-33529	-50727
3		-6669	-20611	-39201	-57790	-81028

Tabel 20: Sensitiviteitsanalyse van de LCC met subsidie WP2.13

#### 5.4.1.4. Conclusie

De financiële steunmaatregelen, die gegeven worden door onder andere de overheid, hebben een positief effect op het verschil in de LCC. Voor de rijwoning WP2.20 zou er gesteld kunnen worden dat de subsidies te hoog liggen aangezien onder alle omstandigheden, zelfs onder de omstandigheden die slechter zijn dan de huidige, het verschil in LCC negatief is. De netto-

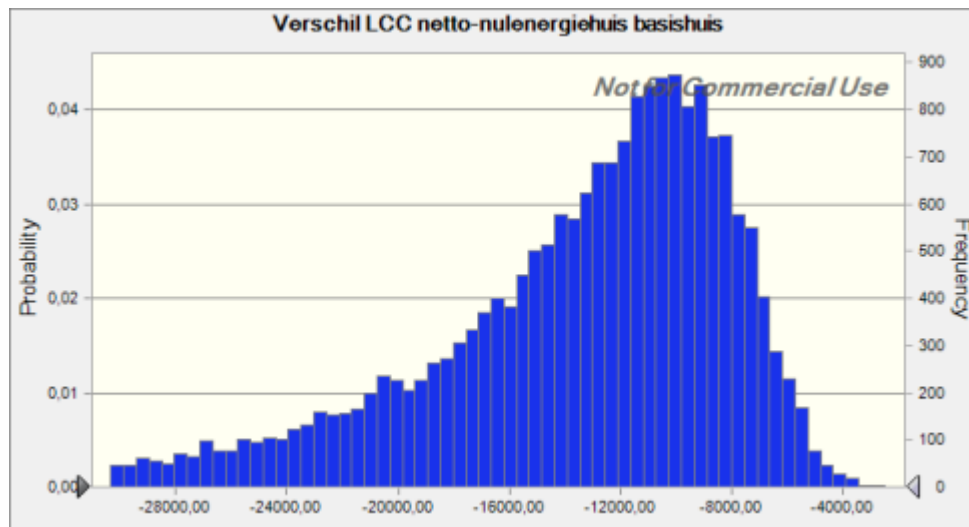
nulenergieversie van de WP2.20 zal onder alle gesimuleerde omstandigheden verkozen worden boven het basishuis WP2.20. Bij de WP2.10 en WP2.13 woningen zal slechts onder gunstigere omstandigheden van de discontovoet en/of de energieprijzen gekozen worden voor een netto-nulenergieversie van dat huis. Slechts een positieve combinatie van de variabelen en de subsidies zetten consumenten aan eerder te investeren in een netto-nulenergiehuis.

## 5.4.2. Monte Carlo analyse

### 5.4.2.1. WP2.20

Een conclusie die getrokken kan worden uit de kansverdeling van de WP2.20 woning is dat er vastgesteld kan worden dat alle waarden van de LCC kansverdeling negatief zijn indien subsidies in rekening worden gebracht. Dit wil zeggen dat, voor alle gesimuleerde waarden die de variabelen kunnen aannemen, de LCC van het netto-nulenergiehuis lager gaat zijn dan die van het basishuis.

Het Tornado diagram (*tabel 19*) ziet er min of meer hetzelfde uit als voordat de subsidies in rekening gebracht werden. Dezelfde variabelen zijn in ongeveer dezelfde mate verantwoordelijk voor de variantie in de LCC. De WACC heeft ook hier een uitgesproken invloed op de kansverdeling van de LCC. Daarnaast spelen de procentuele stijging van de energieprijzen en de investeringskosten van de schil van beide huizen een belangrijke rol.



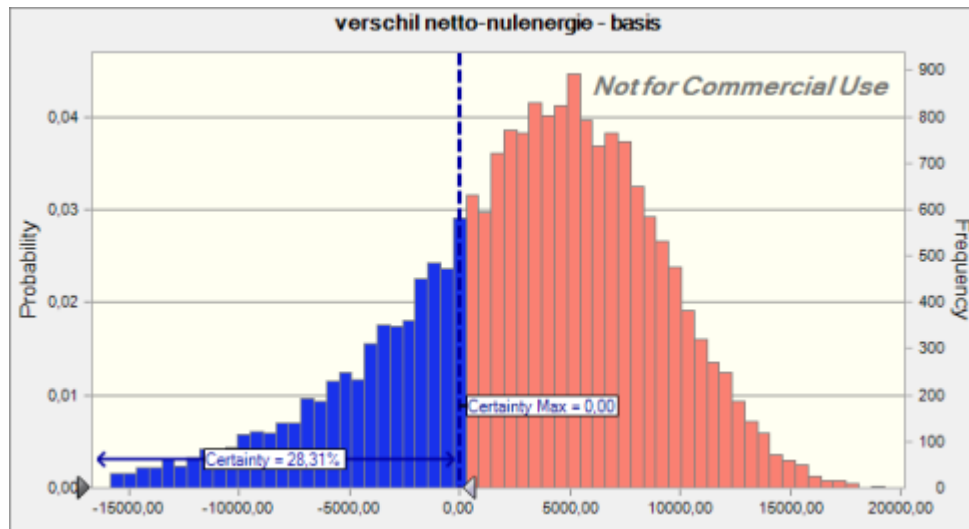
Figuur 28: Kansverdeling WP2.20 LCC incl. subsidie

### 5.4.2.2. WP2.10

De verdeling van de LCC voor de WP2.10 woning laat zien dat 72% van de gesimuleerde LCC boven de 0 liggen. Dit wil zeggen dat in 28% van de simulaties de LCC van de gesubsidieerde netto-nulenergiehuis onder die van het basishuis zal liggen. Gemiddeld zal de LCC van het netto-nulenergiehuis €2639 hoger zijn. Indien de overheid het bouwen van deze gebouwen

wilt stimuleren zullen er extra subsidies nodig zijn. Ook is het behoud van groene leningen belangrijk, zodoende gaan mensen eerder geneigd zijn geld te lenen om te investeren in deze extra investeringen die in de loop van de levensduur van het gebouw worden terugverdiend.

De parameters die een belangrijke invloed hebben op de LCC kost blijven onveranderd. Daarnaast blijft hun aandeel van de verklaring van de variantie in de LCC zo goed als hetzelfde.

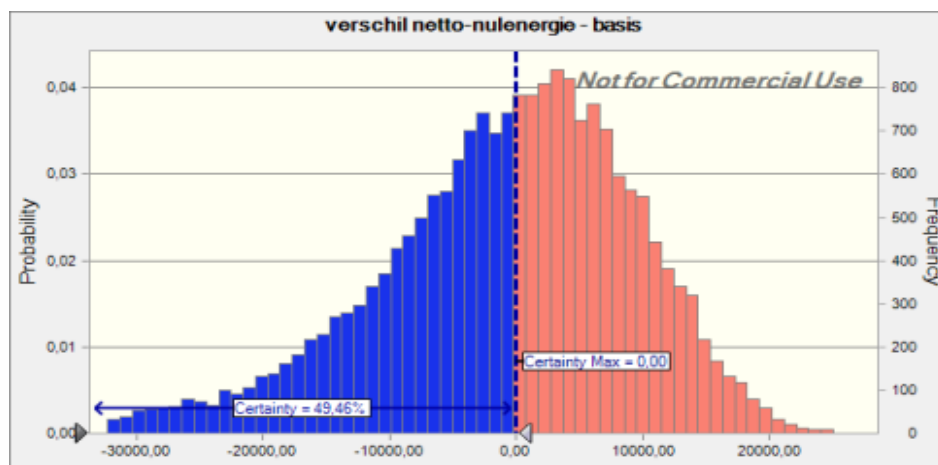


Figuur 29: Kansverdeling WP2.10 LCC incl. subsidie

#### 5.4.2.3. WP2.13

Mits inachtneming van de subsidies ligt de LCC voor bijna de helft van de simulaties onder nul. Het netto-nulenergiehuis WP2.13 heeft 50% kans goedkoper te zijn op 30 jaar dan het basishuis. Gemiddeld zal een persoon die een netto-nulenergiehuis bouwt over 30 jaar een €1300 goedkoper zijn dan bij een normaal huis. De kans op een LCC die negatief is, is bijna dubbel zo groot als bij de WP2.10 woning. Dit kan, zoals reeds eerder aangehaald, verklaard worden door het feit dat een investering in een netto-nulenergieversie van de WP2.13 woning gemiddeld slechts 25% meer kost dan voor de WP2.10 woning. En dat terwijl de additionele investering bijna een verdubbeling in besparing op de energiefactuur met zich mee brengt. Er zijn bij deze woning dus tekenen van schaalvoordelen.

Zoals bij de WP2.10 woning blijven de variabelen en het aandeel van de variabelen die de variantie in de LCC verklaren, bijna identiek.



Figuur 30: Kansverdeling WP2.13 LCC incl. subsidie

Parameter	WP2.20	WP2.10	WP2.13
Investeringskosten schil netto-nulenergiehuis	5,4%	19,1%	17,1%
%verandering energiekost	-9,3%	19,2%	-22,1%
Investeringskosten schil basishuis	-3,4%	-13,5%	-13,0%
Investeringskosten installaties netto-nulenergiehuis	0,7%	2,5%	2,6%
WACC	79,3%	43,3%	41,4%

Tabel 19: Tornado diagram incl. subsidie

#### 5.4.2.4. Conclusie

Uit bovenstaande bespreking omtrent de investering in een **WP2.20** woning, al dan niet met subsidie, kan gesteld worden dat het in de meeste gevallen optimaal is te investeren in een netto-nulenergiehuis onder de gemaakte assumpties. Bij de berekening van de LCC viel de LCC van het netto-nulenergiehuis lager uit dan de LCC van het basishuis en uit de sensitiviteitsanalyse bleek dat er slechts een geringe kans was dat het basishuis op 30 jaar goedkoper zal uitvallen dan het netto-nulenergiehuis. De output van Crystal Ball toonde aan dat de WACC, de procentuele prijsstijging van energie en de investeringskosten van de schil, de belangrijkste parameters waren.

Economische evaluatiemethodes zoals de NCW, de terugverdientijd, de verdisconteerde terugverdientijd, ... spreken in het voordeel van een netto-nulenergiehuis.

Daarbij kan er gesteld worden dat op dit moment de subsidies voor dit huis overbodig zijn. Mits de juiste combinatie van verschillende bouwmaterialen, is het onder de huidige assumpties in het model mogelijk een netto-nulenergiehuis te bouwen dat rendabel is zonder de financiële steun. Of op zijn minst toch even duur als een normale woning. Het behouden van groene leningen die gebruikt kunnen worden voor de financiering van dergelijke projecten is hiervoor wel een uitstekend alternatief. Dit verlaagt vermoedelijk de drempel voor mensen om te investeren in netto-nulenergiehuizen.

In slechts enkele gevallen wordt daarentegen gekozen voor de netto-nulenergieversie van de **WP2.10** en de **WP2.13** woning. Hiervoor moet wel een combinatie van de meeste variabelen zeer gunstig uitvallen. De kans hierop is echter aanzienlijk kleiner dan bij de WP2.20 woning. Daarom zal op dit moment een puur economisch redenerende consument waarschijnlijk een EPB-gestandaardiseerde versie van de woning verkiezen boven een netto-nulenergieversie. Voor deze twee versies spelen subsidies wel een belangrijke rol. De subsidies maken beide woningen een stuk aantrekkelijker en brengen de gemiddelde gesimuleerde LCC dicht bij 0. Voor de WP2.10 woning is nog een kleine €2000 extra nodig om de consumenten indifferent te maken om te kiezen tussen een basisversie of een netto-nulenergieversie van dit gebouw. Voor de WP2.13 woning zijn de subsidies toereikend. Hier ligt de gemiddelde gesimuleerde LCC lager dan 0.

## Hoofdstuk 6: Conclusie en Suggesties

### 6.1. Algemene conclusie

Hoewel uit bovenstaand onderzoek geen eenduidig antwoord komt over de haalbaarheid van netto-nulenergiehuizen in zijn geheel, kan er wel een onderscheid gemaakt worden in het type woning. Afhankelijk van het type woning is het vandaag de dag mogelijk een rendabel netto-nulenergiehuis te bouwen.

Van de bestudeerde **rijwoning** kunnen verschillende netto-nulenergieversies gemaakt worden die een lagere LCC hebben, over 30, jaar dan een versie van de rijwoning die net voldoet aan de huidige wetgeving. Hiervoor is initieel wel een extra investering vereist. Maar deze investering verdient zich terug door de besparing die gerealiseerd wordt op de energiefactuur. De lagere LCC is ook te danken aan het feit dat een rijwoning slechts twee buitenmuren heeft waarlangs energie verloren kan gaan. Een kleiner aantal buitenmuren leidt tot een lagere nood aan isolatiemateriaal en het levert een grotere besparing op de energiekost met een kleinere investering. Hierbij komt nog eens dat de rijwoning slechts een bruto woonbaar oppervlakte had van 93m<sup>2</sup>. Een combinatie van beide factoren leidt tot een rendabel netto-energiehuis.

De meest efficiëntste netto-nulenergieversie van de **halfopen woning** bleek onder de basisassumpties nog niet economisch rendabel te zijn. Zelfs met de huidige steun van de overheid is een aanzienlijke investering van de consument vereist. Deze is zo groot dat het zich slechts gedeeltelijk terugverdient met de besparingen op de energiefactuur. Naast de extra isolatie die nodig is, is er een extra grote investering nodig in de ventilatiesystemen alsook in de systemen die nodig zijn om te voorzien in de energievoorziening. Naast het type woning is ook de oppervlakte van de woning (196m<sup>2</sup>) mede oorzaak van de hogere investeringskosten.

Voor de derde bebouwingsvorm, de **vrijstaande woning**, kon het zelfde vastgesteld worden als voor de halfopen woning. Zowel de investeringskosten voor de schil als voor de installaties liggen een stuk hoger voor beide bebouwingsvormen. Daartegenover staat wel dat er een grotere besparing op de energiekost gerealiseerd wordt. Indien er gerekend wordt met de economische WACC is dit echter onvoldoende om de investering op 30 jaar terug te verdienen.. Indien echter de parameters, zoals de WACC, de procentuele energiestijging en de investeringskosten in een gunstige richting evalueren, dan zal de WP2.13 rendabel kunnen worden.



Naar de toekomst toe is het belangrijk dat architecten die een netto-nulenergiehuis willen ontwerpen opzoek gaan naar de optimale combinatie van materialen en installaties. Het is zo dat, mits het gebruik van de juiste combinatie van materialen en installaties, een optimaal resultaat bereikt kan worden tegen een lagere kostprijs. Hierbij moet er niet enkel gekeken worden naar de grootte van de investeringen die gemaakt dienen te worden, maar ook naar de kostenbesparingen die in de toekomst gerealiseerd worden.

Naast de optimale combinatie van materialen en installaties is het belangrijk allereerst de vraag naar energie te verminderen. Doch dient er niet gestreefd te worden naar een zo laag mogelijk energieverbruik aangezien dan de kosten de baten kunnen overtreffen. Ook hiervoor dient een economisch optimum berekend te worden. Voor de drie netto-nulenergiehuizen die hierboven besproken zijn, was het economisch gunstiger de netto-energiebehoefte minder ver te verlagen dan in de praktijk mogelijk was. De economisch optimale U-waardes lagen hoger dan wanneer er een minimale netto-energiebehoefte werd nagestreefd.

Indien de energieprijzen, zoals verwacht, blijven stijgen tot 2020 en verder en de WACC van de consumenten lager ligt dan de gebruikte economische WACC, dan bestaat de mogelijkheid om voor alle drie de type woningen bijna nu al tot een rendabele netto-nulenergiewoning te komen. Als daarbij nog eens een economy of scale en een economy of scope ontstaat, waardoor de investeringskosten dalen, is het mogelijk dat netto-nulenergiehuizen tegen 2020 economisch rendabel zijn.

Uit het onderzoek bleek ook dat de eis van een maximale netto-energiebehoefte van 15kWh/m<sup>2</sup>, die gesteld wordt door de Vlaamse definitie, niet economisch optimaal is. De intentie om eerst de energievraag te verminderen alvorens de rest met alternatieve energie op te wekken sluit aan bij Trias Energetica. De economische optima van de drie bestudeerde huizen lagen op 21,36; 17,82 en 28kWh/m<sup>2</sup>. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de norm aan de strenge kant ligt en hij best hoger zou liggen indien een economisch optimum nagestreefd wordt. Een versoepeling van deze norm zou vermoedelijk meer mensen aanzetten tot het bouwen van een netto-nulenergiehuis.

Uit de case van deze drie huizen kan geconcludeerd worden dat het mogelijk is een rendabele netto-nulenergiewoning te bouwen mits de parameters geoptimaliseerd worden. Indien echter nu al naar netto-nulenergiehuizen zou worden overgestapt, zou ervoor compactere en kleinere woningen, rijwoningen, gekozen moeten worden. In dat geval zouden de baten reeds opwegen tegen de kosten. Voor grotere vrijstaande woningen is nog technologische alsook economische vooruitgang nodig.

## 6.2. Aanbevelingen

Vandaag de dag zijn de subsidies in België niet afgesteld op netto-nulenergiewoningen. Allereerst moet de consument een aanzienlijk bedrag investeren om een dergelijke woning te bouwen. Daarom is het belangrijk de groene leningen, waartoe nu de mogelijkheid is, te behouden. Daarbij komt dat elke woning anders is en andere investeringen en kosten met zich mee brengt. Voor de ene woning is de subsidie overbodig en voor de andere is de subsidie te weinig.

Daarom zou het goed zijn om de financiële steunmaatregelen af te stemmen op de investeringen om zo de kostprijs van de investeringen te drukken. Deze investeringssubsidie heeft naar mijn inzien verschillende voordelen. Op de eerste plaats wordt de subsidie aangepast aan de nodige investering en voorkomt het over- of onder subsidiëring. Als tweede zet het de mensen aan eerder te investeren, aangezien de investering zich op deze manier sneller terugverdient. Er dient wel opgelet te worden dat bij de investering steeds eerst opzoek wordt gegaan naar de optimale combinatie van materialen en installaties.

Een tegenargument van deze investeringssubsidie zou kunnen zijn dat door een dergelijke vorm van subsidiëring mensen geneigd zullen zijn grotere woningen te bouwen en dit vanuit het standpunt dat de overheden het verschil wel zullen subsidiëren. Toch denk ik dat wanneer de overheid netto-nulenergiehuizen voor 2020 wil promoten extra subsidiëring nodig gaat zijn. Zonder een wetgeving, die de bouwheren verplicht bijna netto-nulenergiehuizen te bouwen, zullen mensen grotere woningen blijven bouwen. Indien echter die wetgeving er is, dan zal er eerder gekozen worden voor een compactere woning zoals de WP2.20 aangezien deze rendabel is op lange termijn.

Naast de Vlaamse definitie is er momenteel weinig informatie te vinden over netto-nulenergiehuizen en zijn vereisten. Om deze reden zou het goed zijn als er meer informatie door de overheid of zijn partners werd aangeboden over dit type van bouwen. Zeker omdat het in de toekomst het doel is naar deze bouwvorm toe te gaan.

Als laatste zou een soort van tool of programma ontwikkeld kunnen worden om een kost optimale netto-nulenergiewoning te creëren. Dit zou een handig hulpmiddel voor architecten kunnen zijn. Zo kunnen de architecten zien welke materialen geschikt en welke eigenschappen optimaal zijn voor een specifieke woning zodat een optimaal resultaat bereikt wordt.



## Lijst van geraadpleegde werken

- Ampe, P., & Van Cauter, L. (2011). Optimalisatie en kostenbeheersing van nul-energie massief- en passiefbouw voor betaalbare en sociale woningbouw Retrieved 13 - 04 - 2012, 2012, from <http://pure.hogent.be/portal/nl/projects/optimalisatie-en-kostenbeheersing-van-nulenergie-massief-en-passiefbouw-voor-betaalbare-en-sociale-woningbouw%28e68d994a-e376-436a-9566-e294fe0f78f6%29.html>
- Argenta. (2013). Groene lening Retrieved 07/01/2013, 2013, from [http://www.argenta.be/nl/acties/batibouw/?utm\\_source=extern\\_bankshopper&utm\\_medium=banner&utm\\_content=2012nl&utm\\_campaign=batibouw](http://www.argenta.be/nl/acties/batibouw/?utm_source=extern_bankshopper&utm_medium=banner&utm_content=2012nl&utm_campaign=batibouw)
- BelgoStat. (2012). Energieprijzen Retrieved 07/11/2012, 2012, from <http://www.nbb.be/belgostat/PresentationLinker?TableId=607000039&Lang=N>
- BelgoStat. (2013). Rente Staatsobligaties Retrieved 07/01/2013, 2013, from <http://www.nbb.be/belgostat/PublicatieSelectieLinker?LinkID=960000090|910000082&Lang=N&Config=true&prop=treeview>
- Beursduivel.be. (2013). 12-maands rendement Retrieved 07/01/2013, 2013, from <http://www.beursduivel.be/producten.rendement?index=BEL20>
- BNP Paribas Fortis. (2013). Groene lening Retrieved 07/01/2013, 2013, from <https://www.bnpparibasfortis.be/portal/Start.asp>
- Bonnarens, M. (2010). Het ABC van de energieprestatieregelgeving Retrieved 05-02-2013, 2013
- Brussels instituut voor milieubeheer. (2010). Praktische handleiding voor de duurzame bouw en renovatie van kleine gebouwen. 14.
- De Clercq, M. (2006). *Economie toegelicht* (Vol. 13de druk). Antwerpen: Garant.
- Departement leefmilieu en energie. (2013). Internationaal beleidskader Retrieved 04-02-2013, 2013, from <http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/klimaatbeleid/internationaal-beleidskader>
- Dow Jones Newswires. (2012). De olieprijs is vrijdag licht hoger gesloten en noteert over het gehele eerste kwartaal van 2012 4.2% hoger Retrieved 14 - 04 - 2012, 2012, from <http://pure.hogent.be/portal/nl/projects/optimalisatie-en-kostenbeheersing-van-nulenergie-massief-en-passiefbouw-voor-betaalbare-en-sociale-woningbouw%28e68d994a-e376-436a-9566-e294fe0f78f6%29.html>
- Dubolimburg. Isolatiebegrippen: -waarde, U-waarde, R-waarde, K-peil, LEW, PH.
- Eandis. (2013). Premies 2013 - Overzicht folder Retrieved 25-03-2013, 2013, from [http://www.eandis.be/eandis/partner/p\\_premies\\_2013.htm](http://www.eandis.be/eandis/partner/p_premies_2013.htm)

Eceee. (2010). EPBD recast approved 19 May 2010 Retrieved 13 - 04 - 2012, 2012, from [http://www.eceee.org/buildings/EPBD\\_Recast](http://www.eceee.org/buildings/EPBD_Recast)

EN 15603. (2008). Energy performance of buildings Retrieved 05 - 05 -2012, 2012, from <http://products.ihs.com/cis/Doc.aspx?AuthCode=&DocNum=287462>

Energieagentschap, V. (2013). Ventilatie Systemen Retrieved 08/01/2012, 2013, from [http://www.energiesparen.be/zuinig\\_met\\_energie/ventilatie/natuurlijke\\_toevoer\\_en\\_natuurlijke\\_afvoer](http://www.energiesparen.be/zuinig_met_energie/ventilatie/natuurlijke_toevoer_en_natuurlijke_afvoer)

Energiezuinige bedrijventerreinen. (2013). *Warmtenet*. Retrieved from <http://www.energiezuinigebedrijventerreinen.nl/index.aspx?id=1>.

Europa. (2010). Mondiale perspectieven voor energie, technologie en Klimaatbeleid voor 2030 Retrieved 30/01/2013, 2013, from [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/key\\_messages\\_nl.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/key_messages_nl.pdf)

European Commision. (2011). performance of buildings: Italy is to comply with EU legalization Retrieved 12 - 04 -2012, 2012, from <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/11/1100&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

Europese Unie. (2010). RICHTLIJN 2010/31/EU VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 19 mei 2010 betreffende de energieprestatie van gebouwen (herschikking). *Publicatieblad van de Europese Unie*, 153, 13-35.

FOD Economie. (2008). Panorama van de Belgische economie 2008. 108-109.

FOD Economie. (2013). Evolutie van de inflatie in België Retrieved 2-04-2013, 2013, from <http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/economie/consumptieprijzen/inflatie/>

Habitos. (2011). E-Peil Retrieved 17/10/2012, 2012, from <http://habitos.be.msn.com/nl/duurzaam-wonen/e-peil-8376/>

IEA. (2011). Towards net zero energy solar buildings Retrieved 16 - 04 - 2012 2012, from <http://www.iea-shc.org/task40/index.html>

J.K.StorkAir. (2012). Ventilatie Systemen Retrieved 08/01/2013, 2013, from <http://www.ventilatie.com/JE-STORK-BE/NL/Ventilatie/Service/Informatie/Ventilatiesysteem-Ventilatiesystemen/page.aspx/60>

Junior Chamber International. (2012). Warmtepompen: werking en rendabiliteitsstudie Retrieved 30/09/2012, 2012, from <http://www.jcikh.be/warmtepompen>

Kadam, S. (2001). Zero Net Energy Buildings: Are they Economically Feasible? *Sustainable Energy*.

- Kansal, R., & Kadambari, G. (2010). Green buildings: an assessment of life cycle cost *The IUP journal of infrastructure*, 8, 50 - 57.
- KBC. (2013). Groene lening, 2013, from <https://www.kbc.be/QSR/Public/PersonalLoanSimulation/Simulation>.
- Kolokotsa, D., Rovas, D., Kosmatopoulos, E., & Kalaitzakis, K. (2010). A roadmap towards intelligent net zero- and positive energy buildings *Solar Energy*, 85, 3067 - 3084.
- KU Leuven. (03-01-2013). Rationeel energiegebruik Retrieved 04-02-2013, 2013, from <http://www.kuleuven.be/energie>
- Kurnitski, J., Allard, F., Braham, D., Goeders, G., Heiselberg, P., Jagemar, L., . . . Virta, M. (2010). How to define nearly net zero energy buildings nZEB.
- Kurnitski, J., Saari, A., Kalamees, T., Vuolle, M., Niemela, J., & Tark, T. (2011). Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Buildings*, 43(11), 3279-3288.
- Laveren, E., Engelen, P., Limère, A., & Vandemaele, S. (2002). *Handboek Financieel beheer (H9 & H14)*.
- Leefmilieu Brussel. (2010). *Infofisches duurzaam gebouw*. Retrieved from [http://app.leefmilieubrussel.be/handleiding\\_duurzaam\\_gebouw/\(S\(Ifknwla5raq0y44550wpf2zg\)\)/docs\\_NL/ENE10\\_NL.pdf](http://app.leefmilieubrussel.be/handleiding_duurzaam_gebouw/(S(Ifknwla5raq0y44550wpf2zg))/docs_NL/ENE10_NL.pdf).
- Livos. (2013). Wat is biomassa? Retrieved 5-03-2013, 2013, from [http://www.livos.be/nl/\\_build/\\_tech/\\_sour/\\_biom/8701.asp?content=Wat is biomassa?](http://www.livos.be/nl/_build/_tech/_sour/_biom/8701.asp?content=Wat is biomassa?)
- Mercken, R. (2004). *De investeringsbeslissing: een beleidsgerichte analyse*. Antwerpen - Apeldoorn.
- Milieuloket. (2012). Klimaatconferenties Retrieved 01-02-2013, 2013, from <http://www.milieuloket.nl/9353000/1/j9vvhurbs7rzkq9/vhurdyxq2n77>
- Ministerie van Financien. (2013). Groene lening Retrieved 14-02-2013, 2013, from <http://www.minfin.fgov.be/portail2/nl/fiscal-budgetary-measures/spokesperson-11-12-23-01.htm>
- Ministerie van infrastructuur en milieu. (2013). Terugverdiertijden Retrieved 07/01/2013, 2013, from <http://www.infomil.nl/onderwerpen/duurzame/energie/uniforme-leidraad/terugverdiertijden>
- Moons, E. (2003). The development and application of economic valuation techniques and their use in environmental policy – A survey Retrieved 27 - 04 - 2012, 2012, from <http://www.econ.kuleuven.be/ete/downloads/ETE-WP-2003-07.PDF>

- Nenco. (2012). Hoe intergreert u hernieuwbare energie in uw woning Retrieved 27/09/2012, 2012, from <http://www.nenco.be/duurzame-energie/algemeen-duurzame-energie/trias-energetica/>
- New York University: Stern School of Business (2012). Betas by Sector Retrieved 07/01/2013, 2013, from [http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/Betas.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html)
- Ochelen, S., & Putzeijs, B. (2008). *Milieubeleidskosten Begrippen en berekeningsmethoden*. Vlaanderen: Retrieved from [http://www.lne.be/themas/beleid/milieueconomie/downloadbare-bestanden/ME2\\_rapport%20Milieukosten.pdf](http://www.lne.be/themas/beleid/milieueconomie/downloadbare-bestanden/ME2_rapport%20Milieukosten.pdf).
- Organisatie voor duurzame energie. (2001). *Biomassa*. Retrieved from [http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/brochure\\_biomassa.pdf](http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/brochure_biomassa.pdf).
- P Geens Consultant BVBA. Isolatie deskundige Retrieved 25/02/2013, 2013, from <http://www.deskundig-isoleren.be/xps.html>
- Passiefhuis-PlatformVZW. Waarvoor staat een u-waarde?
- Passiefhuis-PlatformVZW. (2011). Wat is een Passiefhuis? Retrieved 18/10/2012, 2012, from <http://www.passiefhuisplatform.be/artikel/warmteverliezen-beperken-door-zeer-goede-luchtdichtheid-van-het-gebouw>
- Passiefhuis-PlatformVZW. (2013a). Luchtkwaliteit waarborgen Retrieved 06-02-2013, 2013, from <http://www.passiefhuisplatform.be/artikel/luchtkwaliteit-waarborgen-door-ventilatie-met-warmteterugwinning?tid=tertiaire-gebouwen-0>
- Passiefhuis-PlatformVZW. (2013b). Voorstelling Retrieved 06-02-2013, 2013, from <http://www.passiefhuisplatform.be/voorstelling>
- Passiefhuis-PlatformVZW. (2013c). Warmteverliezen beperken door ver doorgedreven isolatie Retrieved 06-02-2013, 2013, from <http://www.passiefhuisplatform.be/artikel/warmteverliezen-beperken-door-ver-doorgedreven-isolatie>
- Passiefhuis-PlatformVZW. (2013d). Wat is een nulenergiewoning? Retrieved 06-02-2013, 2013, from <http://www.passiefhuisplatform.be/faq/wat-een-nulenergiewoning>
- PortaalBelgium.be. (2013). Belastingen Retrieved 07/01/2013, 2013, from [http://www.belgium.be/nl/belastingen/inkomstenbelastingen/particulieren\\_en\\_zelfstandigen/aangifte/vestiging\\_van\\_de\\_aanslag/](http://www.belgium.be/nl/belastingen/inkomstenbelastingen/particulieren_en_zelfstandigen/aangifte/vestiging_van_de_aanslag/)
- Sadineni, S. B., France, T. M., & Boehm, R. F. (2011). Economic feasibility of energy efficiency measures in residential buildings. *Renewable Energy*, 36(11), 2925-2931.

- Sartori, I., Candanedo, J., Geier, S., Lollini, R., Garde, F., Athienitis, A., & Pagliano, L. (2010). Comfort and Energy Efficiency Recommendations for Net Zero Energy Buildings.
- Sartori, I., Napolitano, A., & voss, K. (2011). Net zero energy buildings : A consistent defenition framework *Energy and Buildings*, 48, 220 - 232.
- Silva, P. C. P., Almeida, M., & Mesquita, L. B. V. (2013). Development of prefabricated retrofit module towards nearly zero energy buildings. *Energy and Buildings*, 56, 115-125.
- Sterner, E. (2000). Life-cycle costing and its use in the Swedish building sector. *Building research & information*, 28(387 - 393).
- Test Aankoop. (2010). Spaarlampen stellen teleur op vlak van levensduur en ontstekingsnelheid Retrieved 06-03-2013, 2013, from <http://www.test-aankoop.be/woning-energie/energie/persbericht/spaarlampen-stellen-teleur-op-vlak-van-levensduur-en-ontstekingsnelheid>
- Test Aankoop. (2012). A+ Label Retrieved 07-02-2013, 2013, from <http://www.test-aankoop.be/familie-privé/koelkasten-en-diepvriezers/nieuws/a-is-minimum-voor-koelkasten-en-diepvriezers>
- TUDelft. Trias energetica Retrieved 11-09-2012, 2012, from [www.tudelft.nl](http://www.tudelft.nl)
- Verbeeck, G. (2007). *Optimisation of extremely low energy residential buildings*. Doctoraat, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven.
- Verbeeck, G. (2012). Trias Energetica [Powerpoint].
- Verbeeck, G., & Hens, H. (2004). Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable. *Energy and Buildings*, 37, 747-754.
- Vlaams Energieagentschap. (2010). Vlaamse nieuwbouw veel energiezuiniger dan 4 jaar geleden! Retrieved 30/1/2013, 2013, from <http://www.energiesparen.be/node/1869>
- Vlaams Energieagentschap. (2012). Energie sparen: subsidies Retrieved 5 - 05 - 2012, 2012, from <http://www.energiesparen.be>
- Vlaams Energieagentschap. (2013a), from <http://www.energiesparen.be>
- Vlaams Energieagentschap. (2013b). Energieprestatieregelgeving Retrieved 04-02-2013, 2013, from <http://www.energiesparen.be/epb/energieprestatieregelgeving>
- Vlaams Energieagentschap. (2013c). EPB-eisen vanaf 2013. Retrieved from
- Vlaams Energieagentschap. (2013d). Tweerjaarlijkse evaluatie energieprestatieregelgeving 2013.
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2011). MIRA Indicatorrapport 2011 (pp. 33 - 41).



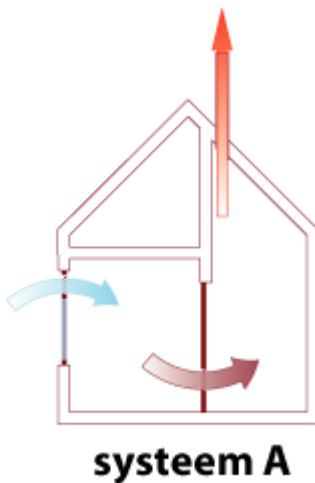
- Vlaamse overheid. (2006). Het Vlaamse klimaatbeleidsplan 2006- 2012 Retrieved 12 - 04 - 2012, 2012, from [http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/vlaams-klimaatbeleidsplan-2006-2012/vkp\\_2006-2012\\_def.pdf](http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/vlaams-klimaatbeleidsplan-2006-2012/vkp_2006-2012_def.pdf)
- Vlaamse Overheid. (2013). *Premies en goedkope leningen voor energiebesparing in Vlaanderen*. Retrieved from [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be).
- Wong, I. L., Perera, S., & Eames, P. C. (2010). Goal directed life cycle costing as a method to evaluate the economic feasibility of office buildings with conventional and TI-facades *Construction management and economics*, 28, 715 - 735.
- Xella. Passief bouwen, actief besparen. Retrieved from [http://www.xella.be/nl/docs/Passief\\_bouwen\\_actief\\_besparen.pdf](http://www.xella.be/nl/docs/Passief_bouwen_actief_besparen.pdf)

**Bijlage:**

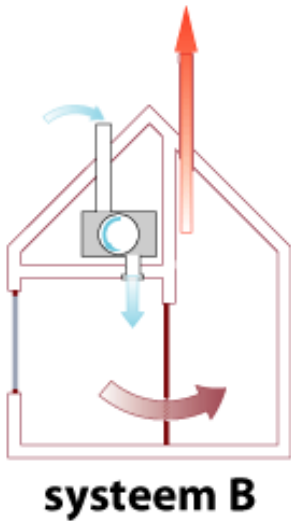
## Bijlage I: Ventilatiesystemen

Er kunnen momenteel vier types ventilatiesystemen onderscheiden worden (A,B,C en D).

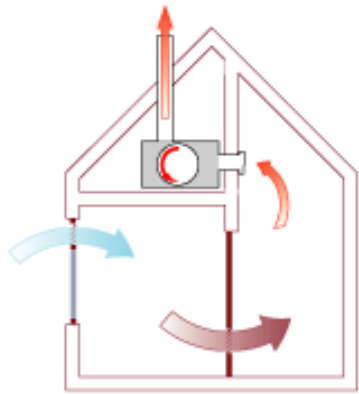
1. Het meest eenvoudige ventilatiesysteem is het ventilatiesysteem A. Hierbij wordt de lucht op natuurlijke wijze aan- en afgevoerd. Er wordt geen ventilator gebruikt. De toevoer van lucht gebeurt via regelbare roosters in de muren en/of ramen van het gebouw. De vervuilde lucht wordt vervolgens afgevoerd via een regelbaar rooster en verticale kanalen tot boven de daknok (J.K.StorkAir, 2012). Ventilatiesysteem A is het goedkoopste van de vier en het heeft weinig onderhoud nodig. Het systeem is eenvoudig te installeren en verbruikt geen stroom tijdens zijn werking. Een nadeel is dat het systeem een soort van schouweffect creëert op basis van de winddruk en de luchtdruk. Bijgevolg is het debiet zeer moeilijk regelbaar. Bij veel wind kunnen hierdoor grote warmteverliezen optreden, wat de energiezuinigheid niet te goeden komt. Daarom zal dit systeem ook niet gebruikt worden in een netto-nulenergiehuis (Energieagentschap, 2013).



2. Het tweede ventilatiesysteem is het ventilatiesysteem B waarbij de lucht op een mechanische wijze wordt aangevoerd. De lucht wordt door elektrische ventilatoren de droge ruimtes ingezogen. De doorstroming van de lucht verloopt via roosters in de binnenmuren of -deuren, of langs spleten onder de deuren. Afvoer van vervuilde lucht gebeurt op dezelfde manier als bij systeem A. Dit systeem heeft als voordeel dat ze instaat, is beter normen te halen in alle weersomstandigheden. Wel kan het energieverbruik door het gebruik van ventilatoren behoorlijk oplopen(Energieagentschap, 2013).

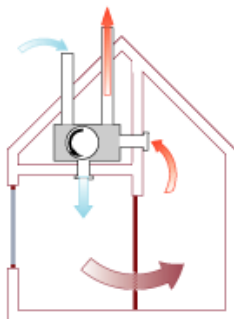


3. Systeem C staat voor een natuurlijke toevoer van lucht en een mechanische afvoer. Er is hier een toevoer van verse lucht via natuurlijke toevoerroosters in vensters of muren zoals bij systeem A. De doorstroming kan dan weer gebeuren via roosters in binnenwanden of -deuren, of langs spleten onder de binnendeuren. De afvoer van vervuilde lucht, in natte ruimtes, gebeurt mechanisch met behulp van elektrische ventilatoren. Dit systeem geeft meer keuze in de plaats van de afvoeropeningen. Daarnaast kan het systeem gebruikt worden voor korte, intensieve ventilatie door het debiet van de ventilatoren tijdelijk te verhogen. Om het energieverbruik voor het ventileren te beperken kiest men best voor energiezuinige ventilatoren(Energieagentschap, 2013).



**system C**

4. Bij het vierde en laatste type ventilatiesysteem, ventilatiesysteem D, is er spraken van zowel mechanische toevoer als mechanische afvoer van lucht. De verse lucht wordt met behulp van elektrische ventilatoren aan de droge ruimtes toegevoerd. De vervuilde lucht, in natte ruimtes, wordt op zijn beurt mechanisch verwijderd door elektrische ventilatoren. Het systeem laat toe mits een extra investering in warmteterugwinning een groot gedeelte van de warmte van de afgevoerde lucht te recupereren en zodoende te hergebruiken om de koude binnen komende lucht te verwarmen. Op deze manier kan er minimaal en gecontroleerd geventileerd worden met 70 tot 90% minder energieverlies (afhankelijk van het rendement van de warmte wisselaar)(Energieagentschap, 2013).



**system D**

## Bijlage II: Berekening verschil in LCC

WP2.20	Basisscenario	Nulenergiehuis	Δ
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>39593</b>	<b>38967</b>	<b>-626</b>
<b>Totale investeringskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>28242</b>	<b>36458</b>	<b>8216</b>
Investeringskosten schil, € (incl. BTW)	20729	26742	6013
Investeringskosten installaties, € (incl. BTW)	7513	9716	2203
<b>Geactualiseerde vervangingskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>1468</b>	<b>1722</b>	<b>254</b>
<b>Geactualiseerde restwaarde, € (incl. BTW)</b>	<b>797</b>	<b>850</b>	<b>-53</b>
Restwaarde schil, € (incl. BTW)	8115	11022	2907
Restwaarde installaties, € (incl. BTW)	4649	2588	-4649
R <sub>d</sub> (30) disconteringsvoet, -	0,0624	0,0624	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>2872</b>	<b>1635</b>	<b>-1237</b>
Jaarlijkse kosten installaties, € (incl. BTW)	296	169	-127
f <sub>pv</sub> (30) present value factor, -	9,6796	9,6796	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse energiekosten (gas + elektriciteit), € (incl. BTW)</b>	<b>7807</b>	<b>0</b>	<b>-7807</b>
Jaarlijks energieverbruik gas, kWh	8727		
Jaarlijkse energiekosten gas, € (incl. BTW)	571		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor gas, -	10,9504		
Jaarlijks energieverbruik elektriciteit, kWh	659		
Jaarlijkse energiekosten elektriciteit, € (incl. BTW)	141,48		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor elektriciteit, -	10,9504		

<b>WP2.10</b>	<b>Basisscenario</b>	<b>Nulenergiehuis</b>	<b>Δ</b>
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>66831</b>	<b>84151</b>	<b>17320</b>
<b>Totale investeringskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>53623</b>	<b>82351</b>	<b>28728</b>
Investeringskosten schil, € (incl. BTW)	51477	60212	8735
Investeringskosten installaties, € (incl. BTW)	2145	22139	19994
<b>Geactualiseerde vervangingskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>521</b>	<b>1759</b>	<b>1238</b>
<b>Geactualiseerde restwaarde, € (incl. BTW)</b>	<b>1399</b>	<b>1690</b>	<b>291</b>
Restwaarde schil, € (incl. BTW)	20264	24308	4044
Restwaarde installaties, € (incl. BTW)	2145	2769	-2145
R <sub>d</sub> (30) disconteringsvoet, -	0,0624	0,0624	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>1168</b>	<b>1732</b>	<b>564</b>
Jaarlijkse kosten installaties, € (incl. BTW)	120,62	179	58
f <sub>pv</sub> (30) present value factor, -	9,6796	9,6796	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse energiekosten (gas + elektriciteit), € (incl. BTW)</b>	<b>12652</b>	<b>0</b>	<b>-12652</b>
Jaarlijks energieverbruik gas, kWh	14544		
Jaarlijkse energiekosten gas, € (incl. BTW)	952		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor gas, -	10,9504		
Jaarlijks energieverbruik elektriciteit, kWh	946		
Jaarlijkse energiekosten elektriciteit, € (incl. BTW)	203		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor elektriciteit, -	10,9504		

<b>WP2.13</b>	<b>Basisscenario</b>	<b>Nulenergiehuis</b>	<b>Δ</b>
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>115103</b>	<b>134699</b>	<b>19596</b>
<b>Totale investeringskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>91568</b>	<b>132695</b>	<b>41127</b>
Investeringskosten schil, € (incl. BTW)	87427	98814	11387
Investeringskosten installaties, € (incl. BTW)	4141	33881	29740
<b>Geactualiseerde vervangingskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>1424</b>	<b>2048</b>	<b>624</b>
<b>Geactualiseerde restwaarde, € (incl. BTW)</b>	<b>2733</b>	<b>3171</b>	<b>438</b>
Restwaarde schil, € (incl. BTW)	39633	45274	5641
Restwaarde installaties, € (incl. BTW)	4141	5511	1370
R <sub>d</sub> (30) disconteringsvoet, -	0,0624	0,0624	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>2295</b>	<b>3128</b>	<b>833</b>
Jaarlijkse kosten installaties, € (incl. BTW)	237	323	86
f <sub>pv</sub> (30) present value factor, -	9,6796	9,6796	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse energiekosten (gas + elektriciteit), € (incl. BTW)</b>	<b>22550</b>	<b>0</b>	<b>-22550</b>
Jaarlijks energieverbruik gas, kWh	24653		
Jaarlijkse energiekosten gas, € (incl. BTW)	1614		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor gas, -	10,9504		
Jaarlijks energieverbruik elektriciteit, kWh	2073		
Jaarlijkse energiekosten elektriciteit, € (incl. BTW)	444		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor elektriciteit, -	10,9504		



### Bijlage III: Vergelijking LCC inclusief subsidies

WP2.20	Basisscenario	Nulenergiehuis	Δ
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>39593</b>	<b>32114</b>	<b>-7479</b>
<b>Totale investeringskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>28242</b>	<b>36458</b>	<b>8216</b>
Investeringskosten schil, € (incl. BTW)	20729	26742	6013
Investeringskosten installaties, € (incl. BTW)	7513	9716	2203
<b>Geactualiseerde vervangingskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>1468</b>	<b>1722</b>	<b>254</b>
<b>Geactualiseerde restwaarde, € (incl. BTW)</b>	<b>797</b>	<b>850</b>	<b>53</b>
Restwaarde schil, € (incl. BTW)	8115	11022	2907
Restwaarde installaties, € (incl. BTW)	4649	2588	-4649
R <sub>d</sub> (30) disconteringsvoet, -	0,0624	0,0624	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>2872</b>	<b>1635</b>	<b>-1237</b>
Jaarlijkse kosten installaties, € (incl. BTW)	296	169	-127
f <sub>pv</sub> (30) present value factor, -	9,6796	9,6796	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse energiekosten (gas + elektriciteit), € (incl. BTW)</b>	<b>7807</b>	<b>0</b>	<b>-7807</b>
Jaarlijks energieverbruik gas, kWh	8727		
Jaarlijkse energiekosten gas, € (incl. BTW)	571		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor gas, -	10,9504		
Jaarlijks energieverbruik elektriciteit, kWh	659		
Jaarlijkse energiekosten elektriciteit, € (incl. BTW)	141,48		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor elektriciteit, -	10,9504		
<b>Geactualiseerde subsidies, €</b>	<b>0</b>	<b>6853</b>	<b>6853</b>
Groene stroomcertificaten, €		303	
Subsidie zonneboiler, €		2750	
Subsidie E0, €		3800	

<b>WP2.10</b>	<b>Basisscenario</b>	<b>Nulenergiehuis</b>	<b>Δ</b>
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>66831</b>	<b>76966</b>	<b>10135</b>
<b>Totale investeringskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>53623</b>	<b>82351</b>	<b>28728</b>
Investeringskosten schil, € (incl. BTW)	51477	60212	8735
Investeringskosten installaties, € (incl. BTW)	2145	22139	19994
<b>Geactualiseerde vervangingskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>521</b>	<b>1759</b>	<b>1238</b>
<b>Geactualiseerde restwaarde, € (incl. BTW)</b>	<b>1399</b>	<b>1690</b>	<b>291</b>
Restwaarde schil, € (incl. BTW)	20264	24308	4044
Restwaarde installaties, € (incl. BTW)	2145	2145	624
$R_d(30)$ disconteringsvoet, -	0,0624	0,0624	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>1168</b>	<b>1732</b>	<b>564</b>
Jaarlijkse kosten installaties, € (incl. BTW)	120,62	179	58
$f_{pv}(30)$ present value factor, -	9,6796	9,6796	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse energiekosten (gas + elektriciteit), € (incl. BTW)</b>	<b>12652</b>	<b>0</b>	<b>-12652</b>
Jaarlijks energieverbruik gas, kWh	14544		
Jaarlijkse energiekosten gas, € (incl. BTW)	952		
$f_{pv}(30)$ present value factor gas, -	10,9504		
Jaarlijks energieverbruik elektriciteit, kWh	946		
Jaarlijkse energiekosten elektriciteit, € (incl. BTW)	203		
$f_{pv}(30)$ present value factor elektriciteit, -	10,9504		
<b>Geactualiseerde subsidies, €</b>	<b>0</b>	<b>7185</b>	<b>7185</b>
Groene stroomcertificaten, €		635	
Subsidie zonneboiler, €		2750	
Subsidie E0, €		3800	

<b>WP2.13</b>	<b>Basisscenario</b>	<b>Nulenergiehuis</b>	<b>Δ</b>
<b>Totale geactualiseerde kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>115103</b>	<b>134699</b>	<b>12171</b>
<b>Totale investeringskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>91568</b>	<b>132695</b>	<b>41127</b>
Investeringskosten schil, € (incl. BTW)	87427	98814	11387
Investeringskosten installaties, € (incl. BTW)	4141	33881	29740
<b>Geactualiseerde vervangingskosten, € (incl. BTW)</b>	<b>1424</b>	<b>2048</b>	<b>624</b>
<b>Geactualiseerde restwaarde, € (incl. BTW)</b>	<b>2733</b>	<b>3171</b>	<b>438</b>
Restwaarde schil, € (incl. BTW)	39633	45274	5641
Restwaarde installaties, € (incl. BTW)	4141	5511	1370
R <sub>d</sub> (30) disconteringsvoet, -	0,0624	0,0624	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse kosten, € (incl. BTW)</b>	<b>2295</b>	<b>3128</b>	<b>833</b>
Jaarlijkse kosten installaties, € (incl. BTW)	237	323	86
f <sub>pv</sub> (30) present value factor, -	9,6796	9,6796	
<b>Geactualiseerde jaarlijkse energiekosten (gas + elektriciteit), € (incl. BTW)</b>	<b>22550</b>	<b>0</b>	<b>-22550</b>
Jaarlijks energieverbruik gas, kWh	24653		
Jaarlijkse energiekosten gas, € (incl. BTW)	1614		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor gas, -	10,9504		
Jaarlijks energieverbruik elektriciteit, kWh	2073		
Jaarlijkse energiekosten elektriciteit, € (incl. BTW)	444		
f <sub>pv</sub> (30) present value factor elektriciteit, -	10,9504		
<b>Geactualiseerde subsidies, €</b>	<b>0</b>	<b>7425</b>	<b>7425</b>
Groene stroomcertificaten, €		875	
Subsidie zonneboiler, €		2750	
Subsidie E0, €		3800	

## Bijlage IV: Terugverdiëntijd en verdisconteerde terugverdiëntijd

Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Investeringskosten (€)</b>	-8216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Vervangingskosten (€)</b>																
	Basisscenario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	196,12
	Netto-nulenergie woning	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14
	Vershil	-91,14	-91,1	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	-91,1	-91,14	-91,1	-91,1	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	104,98
	Verdisconteerd verschil	-83,09	-75,8	-69,06	-62,97	-57,41	-52,34	-47,7	-43,5	-39,7	-36,2	-32,96	-30,05	-27,4	-24,98	26,232
<b>Restwaarde (€)</b>																
	Basisscenario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Netto-nulenergie woning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vershil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Verdisconteerd verschil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Jaarlijkse kosten (€)</b>																
	Basisscenario	296,71	296,7	296,7	296,7	296,71	296,71	296,7	296,71	296,7	296,7	296,71	296,71	296,71	296,71	296,71
	Netto-nulenergie woning	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169
	Vershil	127,71	127,7	127,7	127,7	127,71	127,71	127,7	127,71	127,7	127,7	127,71	127,71	127,71	127,71	127,71
	Verdisconteerd verschil	116,43	106,2	96,78	88,23	80,439	73,336	66,86	60,956	55,57	50,67	46,192	42,113	38,394	35,003	31,912
<b>energieverbruik (€)</b>																
	Basisscenario	713,01	713	713	713	713,01	713,01	713	713,01	713	713	713,01	713,01	713,01	713,01	713,01
	Netto-nulenergie woning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vershil	713,01	713	713	713	713,01	713,01	713	713,01	713	713	713,01	713,01	713,01	713,01	713,01
	Verdisconteerd verschil	658,39	608	561,4	518,4	478,66	442	408,1	376,87	348	321,3	296,72	273,99	253	233,62	215,73
<u>Terugverdiëntijd</u>	-8216	749,58	749,6	749,6	749,6	749,58	749,58	749,6	749,58	749,6	749,6	749,58	749,58	749,58	749,58	945,7
<b>Gecumuleerde cashflow (€)</b>																
		-7466	-6717	-5967	-5218	-4468	-3719	-2969	-2219	-1470	-720	29,38	778,96	1528,5	2278,1	3223,8
<u>Verdisconteerde terugverdiëntijd</u>	-8216	691,73	638,3	589,1	543,6	501,7	463	427,3	394,32	363,9	335,8	309,95	286,05	264	243,65	273,87
<b>Gecumuleerde cashflow (€)</b>																
		-7524	-6886	-6297	-5753	-5251	-4788	-4361	-3967	-3603	-3267	-2957	-2671	-2407	-2163	-1890
<b>Verdisconteringsvoet</b>																
		0,9117	0,8312	0,7578	0,6909	0,6299	0,5742	0,5235	0,4773	0,4352	0,3967	0,3617	0,3298	0,3006	0,2741	0,2499
<b>Verdisconteringsvoet energiekost</b>																
		0,9234	0,8527	0,7873	0,7270	0,6713	0,6199	0,5724	0,5286	0,4881	0,4507	0,4162	0,3843	0,3548	0,3277	0,3026

Jaar		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
<b>Investeringskosten (€)</b>																	
<b>Vervangingskosten (€)</b>	Basisscenario					5728										8291,5	
	Netto-nulenergie woning	91,14	91,14	91,14	2058,07	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	91,14	8588,2	91,14
	Verschil	-91,14	-91,14	-91,14	3669,66	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	-91,14	-296,7	-91,14
	Verdisconteerd verschil	-18,93	-17,26	-15,73	577,5682284	-13,08	-11,92	-10,87	-9,91	-9,035	-8,237	-7,51	-6,847	-6,242	-18,53	-18,93	
<b>Restwaarde (€)</b>																	
	Basisscenario															12764	
	Netto-nulenergie woning															11022	
	Verschil															1742,1	
	Verdisconteerd verschil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108,78	
<b>Jaarlijkse kosten (€)</b>																	
	Basisscenario	297	296,71	296,7	296,7	296,7	296,71	296,71	296,7	296,71	296,7	296,7	296,71	296,71	296,71	296,71	
	Netto-nulenergie woning	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	
	Verschil	128	127,71	127,7	127,7	127,7	127,71	127,71	127,7	127,71	127,7	127,7	127,71	127,71	127,71	127,71	
	Verdisconteerd verschil	29,1	26,525	24,18	22,05	20,1	18,325	16,707	15,23	13,887	12,66	11,54	10,523	9,5939	8,7467	7,9743	
<b>energieverbruik (€)</b>																	
	Basisscenario	713	713,01	713	713	713	713,01	713,01	713	713,01	713	713	713,01	713,01	713,01	713,01	
	Netto-nulenergie woning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Verschil	713	713,01	713	713	713	713,01	713,01	713	713,01	713	713	713,01	713,01	713,01	713,01	
	Verdisconteerd verschil	199	183,94	169,8	156,8	144,8	133,73	123,48	114	105,29	97,22	89,78	82,898	76,548	70,684	65,269	
<u>Terugverdientijd</u>		749,58	749,58	749,58	749,58	4510,38	749,58	749,58	749,58	749,58	749,58	749,58	749,58	749,58	749,58	2286,1	
<b>Gecumuleerde cashflow (€)</b>		3973,4	4723	5472,6	6222,1	10732,52	11482	12232	12981	13731	14480	15230	15980	16729	17479	19765	
<u>Verdisconteerde terugverdientijd</u>		207,53	191,53	176,77	163,15	742	138,98	128,27	118,39	109,27	100,85	93,081	85,911	79,295	73,188	163,49	
<b>Gecumuleerde cashflow (€)</b>		-1682	-1491	-1314	-1151	-408	-269,2	-140,9	-22,51	86,76	187,61	280,69	366,6	445,9	519,08	682,58	
<b>Verdisconteringsvoet</b>		0,2278	0,2077	0,1894	0,1726	0,1574	0,1435	0,1308	0,1193	0,1087	0,0991	0,0904	0,0824	0,0751	0,0685	0,0624	
<b>Verdisconteringsvoet energiekost</b>		0,2794	0,2580	0,2382	0,2200	0,2031	0,1876	0,1732	0,1599	0,1477	0,1364	0,1259	0,1163	0,1074	0,0991	0,0915	

Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<b>Investeringskosten (€)</b>	- 2872 8																
<b>Vervangingskosten (€)</b>	Basisscenario															1696	
	Netto-nulenergie woning	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	
	Verschil	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	1605
	Verdisconteerd verschil	-83	-76	-69	-63	-58	-52	-48	-44	-40	-36	-33	-30	-27	-25	401	
<b>Rest waarde (€)</b>	Basisscenario																
	Netto-nulenergie woning																
	Verschil																
	Verdisconteerd verschil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Jaarlijkse kosten (€)</b>	Basisscenario	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	
	Netto-nulenergie woning	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	
	Verschil	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	
	Verdisconteerd verschil	-53	-48	-44	-40	-37	-33	-31	-28	-25	-23	-21	-19	-18	-16	-15	
<b>Energieverbruik (€)</b>	Basisscenario	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	
	Netto-nulenergie woning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Verschil	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	
	Verdisconteerd verschil	1067	985	910	840	776	716	661	611	564	521	481	444	410	379	350	
<b>Verdisconteerde terugverdientijd (€)</b>	-28728	930	861	796	737	681	630	583	539	499	461	427	395	365	338	736	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		27798	26937	26141	25404	24723	24093	23510	22970	22472	22010	21584	21189	20824	20486	19751	
<b>Verdisconteringsvoet</b>		0,912	0,831	0,758	0,691	0,630	0,574	0,524	0,477	0,435	0,397	0,362	0,330	0,301	0,274	0,250	
<b>Verdisconteringsvoet energiekost</b>		0,923	0,853	0,787	0,727	0,671	0,620	0,572	0,529	0,488	0,451	0,416	0,384	0,355	0,328	0,303	

Jaar		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Investeringskosten (€)</b>																
<b>Vervangingskosten (€)</b>	Basisscenario					8252										9056
	Netto-nulenergie woning	91	91	91	91	2058	91	91	91	91	91	91	91	91	91	9169
	Verschil	-91	-91	-91	-91	6194	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-91	-113
	Verdisconteerd verschil	-21	-19	-17	-16	975	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-8	-7	-6	-7
<b>Rest waarde (€)</b>																
	Basisscenario															2078
	Netto-nulenergie woning															26513
	Verschil															-24435
	Verdisconteerd verschil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1526
<b>Jaarlijkse kosten (€)</b>																
	Basisscenario	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
	Netto-nulenergie woning	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179
	Verschil	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58	-58
	Verdisconteerd verschil	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-8	-7	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4
<b>Energieverbruik (€)</b>																
	Basisscenario	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155
	Netto-nulenergie woning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Verschil	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155	1155
	Verdisconteerd verschil	323	298	275	254	235	217	200	185	171	158	145	134	124	115	106
<b>Verdisconteerde terugverdientijd (€)</b>		310	286	264	244	1524	208	192	178	164	152	140	130	120	111	-1316
		289	267	247	228	1200	195	181	167	154	143	132	122	113	104	-1431
<b>Verdisconteringsvoet</b>		-19462	-19195	-18948	-18720	-17519	-17324	-17144	-16977	-16822	-16680	-16548	-16426	-16313	-16209	-17639
<b>Verdisconteringsvoet energiekost</b>		0,228	0,208	0,189	0,173	0,157	0,143	0,131	0,119	0,109	0,099	0,090	0,082	0,075	0,068	0,062

Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Investeringskosten (€)</b>	-41127															
<b>Vervangingskosten (€)</b>	Basisscenario															196
	Netto-nulenergie woning															1566
	Verschil															-1370
	Verdisconteerd verschil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-342
<b>Rest waarde (€)</b>	Basisscenario															
	Netto-nulenergie woning															
	Verschil															
	Verdisconteerd verschil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Jaarlijkse kosten (€)</b>	Basisscenario	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237
	Netto-nulenergie woning	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323
	Verschil	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
	Verdisconteerd verschil	78	71	65	59	54	49	45	41	37	34	31	28	26	24	21
<b>Energieverbruik (€)</b>	Basisscenario	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058
	Netto-nulenergie woning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Verschil	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058	2058
	Verdisconteerd verschil	1900	1755	1620	1496	1382	1276	1178	1088	1004	928	856	791	730	674	623
<b>Verdisconteerde terugverdientijd (€)</b>	-41127	1979	1826	1686	1556	1436	1325	1223	1129	1042	962	888	819	756	698	302
		-39148	-37322	-35636	-34081	-32645	-31320	-30097	-28968	-27926	####	-26077	-25258	-24502	-23804	-23502
<b>Verdisconteringsvoet</b>		0,912	0,831	0,758	0,691	0,630	0,574	0,524	0,477	0,435	0,397	0,362	0,330	0,301	0,274	0,250
<b>Verdisconteringsvoet energiekost</b>		0,923	0,853	0,787	0,727	0,671	0,620	0,572	0,529	0,488	0,451	0,416	0,384	0,355	0,328	0,303



Jaar	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Investeringskosten</b>															
<b>Vervangingskosten</b>	Basisscenario														
	Netto-nulenergie woning														
	Verschil														
	Verdisconteerd verschil														
<b>Rest waarde</b>	Basisscenario														
	Netto-nulenergie woning														
	Verschil														
	Verdisconteerd verschil														
<b>Jaarlijkse kosten</b>	Basisscenario														
	Netto-nulenergie woning														
	Verschil														
	Verdisconteerd verschil														
<b>energieverbruik</b>	Basisscenario														
	Netto-nulenergie woning														
	Verschil														
	Verdisconteerd verschil														
<u>Verdisconteerde terugverdientijd</u>															
<b>Verdisconteringsvoet</b>															
<b>Verdisconteringsvoet energiekost</b>															

## Auteursrechtelijke overeenkomst

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

**Kosteffectieve bijna-nulenergiewoningen: een haalbare kaart?**

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen:  
handelsingenieur-operationeel management en logistiek**

Jaar: **2013**

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,

**Savelberg, Yves**

Datum: **30/05/2013**