

Milieu-impact van ruimteverwarming en warmwateropwekking in eengezinswoningen

Ian Spriet

Studentennummer: 01506419

Promotoren: prof. dr. ir. Arnold Janssens, prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman
Begeleiders: dr. ir. arch. Eline Himpe, ir.-arch. Stijn Van de Putte, ir.-arch.
Yanaika Decorte

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

Academiejaar 2020-2021

Milieu-impact van ruimteverwarming en warmwateropwekking in eengezinswoningen

Ian Spriet

Studentennummer: 01506419

Promotoren: prof. dr. ir. Arnold Janssens, prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman
Begeleiders: dr. ir. arch. Eline Himpe, ir.-arch. Stijn Van de Putte, ir.-arch.
Yanaika Decorte

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

Academiejaar 2020-2021

Voorwoord

De impact van woningen in het algemeen is een thema die de komende jaren steeds belangrijker gaat worden bij het ontwerpen van woningen. De keuze voor een masterthesis met een duurzaamheidsaspect heb ik dan ook met de volle overtuiging gedaan. Ik ben ervan overtuigd dat de kennis die ik tijdens het maken van deze masterproef heb opgedaan nuttig zal zijn voor het verdere verloop van mijn carrière. Met deze boodschap richt ik mijn dankwoord aan allen die een steentje hebben bijgedragen om de masterproef tot een hoger niveau te brengen.

In het bijzonder wil ik graag mijn beide promotoren prof. dr. ir. Arnold Janssens en prof dr. ir.-arch. Marijke Steeman bedanken voor het mogelijk maken van deze masterproef en me het vertrouwen te geven voor de keuzes die ik bij het onderwerp heb gemaakt.

Ook wil ik mijn drie begeleiders dr. ir-arch. Eline Himpe, ir.-arch. Stijn van de Putte en ir.-arch. Yanaika Decorte bedanken voor hun nuttige begeleidingssessies, tips en feedback die ik het afgelopen jaar heb ontvangen. Hun opbouwende ideeën gaven me telkens weer het plezier om het onderzoek verder aan te vatten.

Verder wil ook alle familie en vrienden bedanken die me het afgelopen jaar gesteund hebben en me de motivatie gaven om de moed niet op te geven. Door hen heb ik de kans gekregen deze studie aan te vatten en tot een goed einde te brengen.

Verder wens ik jullie als lezer nog veel plezier bij het lezen!

Ian Spriet

Toelating tot bruikleen

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

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

Gent, 31 mei 2021

Ian Spriet

Overzicht

Milieu-impact van ruimteverwarming en warmwateropwekking in eengezinswoningen

Auteur: Ian Spriet

Promotoren: prof. dr. ir. Arnold Janssens
prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman

Begeleiders: dr. ir.-arch. Eline Himpe
ir.-arch. Stijn Van de Putte
ir.-arch Yanaika Decorte

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

Vakgroep Architectuur en Stedenbouw
Voorzitter: prof. dr. ir.-arch. Johan Lagae
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Universiteit Gent
Academiejaar: 2020-2021

Trefwoorden:

levenscyclusanalyse, ruimteverwarming, sanitair warm water, energiegebruik

Abstract:

Deze masterproef onderzoekt hoe gedetailleerd een levenscyclusanalyse (LCA) moet worden uitgevoerd om representatieve en realistische besluiten te trekken over de milieu-impact van ruimteverwarming en warmwateropwekking in eengezinswoningen. Via een casestudy zijn vijftien scenario's ontwikkeld, gebaseerd op een casestudy (een eengezinswoning uit de projectwijk De Venning) waar via het softwareprogramma SimaPro de milieu-impact mee is bepaald. Deze scenario's bevatten zowel de opwekkings-, distributie-, emissie- als regelsystemen. De levenscyclusanalyse wordt zo ruim mogelijk uitgevoerd en houdt rekening met alle levenscyclusfasen, van productie en constructie van de technische installatie tot gebruik en eindelevensduur.

Uit het onderzoek blijkt het wel degelijk de moeite waard te zijn om alle kleine componenten van de installatie, dewelke in veel literatuurstudie worden verwaarloosd, in rekening te brengen. De onderzochte beschikbare informatie uit de Ecoinvent-databank, waar SimaPro gebruik van maakt, is vaak gebaseerd op verouderde data en blijkt niet meer representatief te zijn voor hedendaagse installatiecomponenten op de markt. Na de detailstudie van de Ecoinvent-databank zijn grote impactverschillen gevonden in vergelijking met een vereenvoudigde LCA.

Environmental impact of space heating and domestic hot water production in single-family dwellings

Ian Spriet

Supervisor(s): prof. dr. ir. Arnold Janssens, prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman, dr. ir. Arch. Eline Himpe, ir.-arch. Stijn Van de Putte, ir.-arch. Yanaika Decorte

Abstract - This master thesis examines the environmental impact of space heating and domestic hot water production by making use of a life cycle assessment (LCA) in the SimaPro software. The study is conducted on a case study, De Venning, a single-family house near Kortrijk, in Belgium. The focus lies on the level of detail necessary to implement in SimaPro to achieve representative results of the environmental impact. SimaPro uses the information available in the Ecoinvent database to calculate each process' environmental impact. Also the sensitivity of the final results are tested by changing some parameters like the material lifetime or the impact assessment method.

Keywords - Life cycle assessment, space heating, domestic hot water, energy use

I. INTRODUCTION

The building sector is the largest contributor to global warming and represents one third of the emission of greenhouse gases. Since the insulation level of the building envelope and the use of renewable energy sources is increasing and due to the increasing efficiency of heating systems, the operational energy will decrease. Especially when we are shifting to the building of zero-energy houses. As a consequence, the embedded energy in the building materials contributes to a higher part of the caused total environmental impact. These building materials represent 40% of the global materials in the economy and produces one third of the global waste [1]. Over the years, more governments and organizations are willing to take actions to reduce the human footprint on earth. For example the Paris climate agreement of 2015 which wants to reduce the carbon emission and limit the global warming to 2°C. In addition, the Flemish energy and climate plan 2021-2030 [2] is taking actions to increase the amount of wind, solar and geothermal energy and is making the change from technical installation which

are making use of fossil energy to electrical technical installations such as heat pumps which uses renewable energy sources.

II. TECHNICAL INSTALLATIONS

A. Literature review

According to the statistics, the space heating and production of domestic hot water contribute to more than 85% of the total operational energy in dwellings [3]. In future scenarios for 2030, developed by the VMM, more particularly the energy use of space heating will significantly reduce in comparison to 2006. Together with the domestic hot water production, they still have the highest operational energy use [4]. That is why in this master thesis, these two type of technical installations are submitted to closer research. The electrical consumption needed for circulation pumps or the functioning of heat pumps has also been taking into account.

In literature, there is a lot to find about the environmental impact of heating installations, but also a lot of contradictions. For example, the heat pump, which is designed to be an environmentally friendly alternative for space heating, seems to have a worse environmental impact in comparison to a condensing gas boiler [5]. In other literature, the heat pumps take care of a 15 to 80% reduction of carbon emissions [6]. These contradictions makes it worth investigating.

B. Technical installation scenarios

According to experiences in the literature review, fifteen scenarios have been designed to investigate the environmental impact by the use of the ReCiPe 2016 method in SimaPro. These standard scenarios rely on the data available in the Ecoinvent database. The first six investigate only the space heating. It uses either a condensing gas boiler, an air-heat pump or a geothermal heat pump in combination with

radiator heating or underfloor heating. The following three scenarios investigate the environmental impact of the domestic hot water production by use of a condensing gas boiler, a solar boiler installation and a heat pump boiler. The last six scenarios merge these two types of heat production by the use of the condensing gas boiler, the air-heat pump and geothermal heat pump combined with and without a solar boiler system. In the last chapter, these merged scenarios, are combined to a PV-installation to research the environmental effect. Especially to see if the lower impact due to a lower operational energy need, derived from the Belgian energy mix, is higher than the additional impact according to the materials of the PV-installation.

III. SPACE HEATING

The goal of this master thesis is to experience how detailed the input in SimaPro should be when examining environmental impacts on technical installations. When comparing the impact of the six standard space heating scenarios, the geothermal heat pump in combination with underfloor heating seems to have the lowest impact. By analysing the processes in SimaPro, sourced from the Ecoinvent database, the input data does not match the data from contemporary installations. For example, contemporary condensing gas boilers and air heat pumps have a respectively 73% and 54% lighter weight and geothermal heat pumps a 20% higher weight in comparison with what Ecoinvent is taking into account. There were corrections and optimisations made for the three heat production systems, as well as for the valves from the distribution and emission equipment. When comparing the six corrected scenarios, the air heat pump in combination with the underfloor heating has the lowest environmental impact, which is 32% less in comparison with the standard scenario.

IV. DOMESTIC HOT WATER

The same analysis is conducted for the solar plate collector. Ecoinvent is taking 52% more weight into account in comparison with the average weight found by models from manufacturers. Together with an improvement of the water heads and the corrections from the six space heating installations, the impact of the three domestic hot water scenarios has been decreased. As in the standard scenarios, the scenario with the heat pump boiler cause a 4% higher impact in comparison with the gas boiler, in the corrected scenarios it has a 22% lower impact.

V. MERGED INSTALLATION

The six standard merged scenarios all have a higher impact in comparison with the corrected scenarios. In the standard scenarios, the scenario with the air heat pump has the lowest environmental impact, but in the corrected scenarios, it is the scenario with the air heat pump which scores the best. The addition of the solar boiler system seems to have a positive effect on the scenario with the condensing gas boiler, but a negative effect on the heat pump scenarios. The impact of the extra materials is higher than the decreased impact of the operational energy due to the free solar heat. As a conclusion, the merged scenarios seems to be more eco-friendly in comparison with separating the two types of heat production.

VI. SENSITIVITY ANALYSIS

The sensitivity analysis examines the differences between a detailed and a simplified life cycle assessment. Results conclude that if the detailed study is limited to the neglecting of some installation components, in only half of the examined scenarios it seems to have a neglectable impact with differences of 5%. For example, loosen the materials of the control system seems to have a neglectable impact, however they could have a significant influence on the operational energy [7]. But in the other scenarios, environmental impact differences over 20% occur. When the detailed study is extended to an analysis of materials in the Ecoinvent database, all detailed scenarios showed a significant difference and could reach over 50%. As an addition, research on the material lifetime and the impact assessment methods shows that these parameters could have a high influence on the results. As with the ReCiPe method the solar boiler systems causes a higher impact on the corrected heat pump scenarios, with the CED-method the corrected heat pump scenarios have a lower energy use. These results show that it is worth investigating with two different impact assessment methods (LCIA) when making a general conclusion about the environmental friendliness of technical installation as other methods show other results. In case of a detailed research question, it is still allowed to only look at one LCIA. The impact of the PV-installation also has a positive impact on all six merged and corrected scenarios

VII. CONCLUSION

To make a general conclusion of all the specific researches made, it is worth detailing the LCA input

data since high impact differences were found in comparison with a simplified LCA. The assumptions made and the chosen degree of detailing in the LCA should always be reported and taken into account when making a general conclusion about the environmental impact of technical installation. The results of the LCA can remarkably change when small different assumptions and choices change.

VIII. ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank all supervisors for their insights and suggestions leading to the final result of this master thesis.

IX. REFERENCES

- [1] Khasreen, M. M., Banfill, P. F. G., & Menzies, G. F. (2009). Life-Cycle Assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), pp. 674–701.
- [2] *N.N. Vlaams energie- en klimaatplan 2021-2030*. (2019).
- [3] FOD Economie. (2017). Analyse van het energieverbruik van huishoudens in België.
- [4] Steertegem, M. Van, Bossuyt, M., Brouwers, J., Geest, C. De, Maene, S., Maes, F., Opdebeeck, S., Overloop, S., Peeters, B., Hooste, H. Van, Vancraeynest, L., & Putten, E. Vander. (2009). *milieurapport vlaanderen 2009*.
- [5] Greening, B., & Azapagic, A. (2012). Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK. *Energy*, 39(1), pp. 205–217.
- [6] Saner, D., Juraske, R., Kübert, M., Blum, P., Hellweg, S., & Bayer, P. (2010). Is it only CO₂ that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), pp. 1798–1813.
- [7] Debacker, W., Allacker, K., Spirinckx, C., Geerken, T., & De Troyer, F. (2013). Identification of environmental and financial cost efficient heating and ventilation services for a typical residential building in Belgium. *Journal of Cleaner Production*, 57, pp. 188–199.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1. Inleiding	1
1.1. Opbouw	1
1.1.1. Literatuuronderzoek	1
1.1.2. Onderzoek.....	2
1.2. Situering van de milieuproblematiek	3
1.3. Vlaams energie- en klimaatplan 2021-2030	4
LITERATUURONDERZOEK	
Hoofdstuk 2. Levenscyclusanalyse	7
2.1. Algemeen	7
2.2. Methodologie	8
2.2.1. Doel en reikwijdte	8
2.2.2. Levenscyclusinventarisatie	10
2.2.3. Levenscyclusimpactanalyse	12
2.2.4. Interpretatie	18
Hoofdstuk 3. Residentiële technische installaties	19
3.1. Ruimteverwarming	21
3.1.1. Opwekking	21
3.1.2. Distributie-, emissie- en regelsysteem	30
3.1.3. Vergelijking milieu-impact warmtepomp – gascondensatieketel	33
3.2. Sanitair warm water	33
3.2.1. Gasboiler.....	34
3.2.2. Zonneboiler	34
3.2.3. Warmtepompboiler	35
3.3. Gecombineerde systemen	35
Hoofdstuk 4. Energie	37
4.1. Soorten energiegebruik.....	38
4.2. Energiemix.....	40
4.3. Milieu-impact en energiegebruik van PV-panelen	42
4.4. Ratio tussen ingebedde en operationele energie	44

ONDERZOEK

Hoofdstuk 5. Methodologie	47
5.1. Onderzoeksvragen	47
5.2. Casestudy.....	49
5.3. Overzicht van de installatiescenario's	51
5.4. Berekeningswijze technische installaties.....	52
5.4.1. EPB.....	53
5.4.2. SimaPro	55
5.5. LCA	57
Hoofdstuk 6. Milieu-impact van ruimteverwarming	60
6.1. Alle levenscyclusfasen.....	61
6.2. Module A	63
6.2.1. Opwekking – Gascondensatieketel.....	63
6.2.2. Opwekking - Lucht-waterwarmtepomp	66
6.2.3. Opwekking - Grond-waterwarmtepomp	68
6.2.4. Distributie en emissie	73
6.3. Gecorrigeerde milieu-impact.....	77
6.4. Besluit.....	78
Hoofdstuk 7. Milieu-impact van sanitair warm water	79
7.1. Alle levenscyclusfasen.....	80
7.2. Module A	81
7.2.1. Opwekking – Gasboiler	81
7.2.2. Opwekking - Zonneboiler en gasboiler	82
7.2.3. Opwekking – Warmtepompboiler.....	85
7.2.4. Distributie en emissie	85
7.3. Gecorrigeerde milieu-impact.....	87
7.4. Besluit.....	88
Hoofdstuk 8. Milieu-impact van gecombineerde technische installaties	89
8.1. Alle levenscyclusfasen.....	90
8.2. Module A	91
8.2.1. Opwekking - Zonneboiler en gascondensatieketel.....	91
8.2.2. Opwekking - Zonneboiler en lucht-waterwarmtepomp	92
8.2.3. Opwekking - Zonneboiler en grond-waterwarmtepomp.....	93

8.2.4. Distributie en emissie/tappunten.....	94
8.3. Vergelijking tussen de enkelvoudige en gecombineerde installaties	95
8.4. Besluit.....	96
Hoofdstuk 9. Gevoeligheidsanalyse	97
9.1. Gedetailleerde vs. Vereenvoudigde analyse	97
9.2. Levensduur	99
9.3. Impact van de effectbeoordelingsmethode.....	99
9.4. Milieu-impact van PV-panelen	101
Hoofdstuk 10. Besluit.....	105
Referentielijst	XVIII
Bijlage A. Dimensionering van de technische installatie	XXIII
Bijlage B. Inventaris technische installaties	XXXI
Bijlage C. Analyse van de milieu-impact	LXXVIII

Lijst van tabellen

Tabel 1. Geselecteerde CEN milieu-indicatoren met inbegrip van de eenheden en milieu-impactmethoden voor de individuele milieuscores (Delem et al., 2011).....	17
Tabel 2. Geselecteerde CEN+-milieu-indicatoren met inbegrip van de eenheden en milieu-impactmethoden voor de individuele milieuscores (Delem et al., 2011).....	17
Tabel 3. Categorieën van de primaire energiedragers in de CED-methode (Hischier et al., 2010, p. 34).....	18
Tabel 4. Vier scenario's voor de grond-waterwarmtepomp uit het onderzoek van Li et al. (2012, p.34).....	27
Tabel 5. Conventies voor de watertemperaturen in verschillende warmteafgiftesystemen, (WTCB-Rapport nr. 14, 2013, p. 66).....	31
Tabel 6. Initiële milieukost (IE) en levenscyclusmilieukost (LE) van een goed geïsoleerde woning met K-peil 20 (Debacker et al., 2013, p.9).....	35
Tabel 7. Overzicht van de scenario's voor de technische installatie, opgesplitst volgens ruimteverwarming (RVW), sanitair warm water (SWW) en het gecombineerde systeem (RVW_SWW).....	51
Tabel 8. E-peil van RVW_SWW_S1-6 met 8 PV-panelen	54
Tabel 9. Benaming van het type energiedrager in SimaPro.....	56
Tabel 10. Afvalbehandeling van het Nederlandse afvalscenario.....	58
Tabel 11. Overzicht van de scenario's voor de ruimteverwarming.....	60
Tabel 12. Overzicht van de scenario's voor de warmwateropwekking.....	79
Tabel 13. Overzicht van de scenario's voor het gecombineerde systeem van ruimteverwarming en warmwateropwekking.....	89
Tabel 14. Enkelvoudige en gecombineerde installatiescenario's.....	95
Tabel 15. Paneelcapaciteit en oppervlakte van vijf types PV-panelen (Jungbluth et al., 2010, p.126).....	101

Lijst van figuren

Figuur 1. Overzicht van de beschouwde levenscyclusfasen (EN 15978, 2011)	9
Figuur 2. Point of cut-off (Ecoinvent, 2021)	12
Figuur 3. Milieu-indicatoren van de ReCiPe effectbeoordelingsmethode (Huijbregts et al., 2017).....	16
Figuur 4. Schematische weergave van een warmtepomp: 1. Verdampfer; 2. Compressor; 3. Condensor; 4. Expansieventiel, (Greening et al., 2012, p.3).....	23
Figuur 5. Werking van een gascondensatieketel (WTCB, 2010, p.2).....	29
Figuur 6. Uitvoeringsmogelijkheden van vloerverwarming (A. zwaar systeem, B. middelzwaar systeem, C. licht systeem), (van de Crujjs, I., 2009, p.111)	30
Figuur 7. Soorten energiegebruik in de EPB-software (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap)	39
Figuur 8. De wijk Venning na renovatie (McManus, D., 2016)	49
Figuur 9. De wijk Venning na renovatie (Intercommunale Leiedal, p.23, 2011).....	50
Figuur 10. Plan van het gelijkvloers, de eerste verdieping en de tweede verdieping.....	50
Figuur 11. Voor-, zij- en achtergevel.....	51
Figuur 12. Principeschema van RVW_S3.....	60
Figuur 13. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_S1 voor een levensduur van 60 jaar.....	63
Figuur 14. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_S3 voor een levensduur van 60 jaar.....	66
Figuur 15. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_S5 voor een levensduur van 60 jaar.....	69
Figuur 16. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van 125 meter aardsonde voor een levensduur van 60 jaar.....	71
Figuur 17. Principeschema van SWW_S2.....	79
Figuur 18. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van SWW_S1 voor een levensduur van 60 jaar	81
Figuur 19. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van SWW_S2 voor een levensduur van 60 jaar	82
Figuur 20. Netwerk van de grootste bijdrages tot 1 m ² vlakkeplaatcollector voor een levensduur van 20 jaar	84
Figuur 21. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van SWW_S3 voor een levensduur van 60 jaar	85
Figuur 22. Principeschema van RVW_SWW_S1.....	89

Figuur 23. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S4_Correctie voor een levensduur van 60 jaar	92
Figuur 24. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S5 voor een levensduur van 60 jaar	93
Figuur 25. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S6 voor een levensduur van 60 jaar	94
Figuur 26. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van de mono-kristallijne PV-installatie, bestaande uit 8 panelen	103

Lijst van grafieken

Grafiek 1. De milieu-impact van 1 kg zink, koper en staal volgens de ReCiPe 2016-methode met gelijke levensduur, weergegeven als karakteristieke waarden.....	14
Grafiek 2. De milieu-impact van 1 kg staal, koper en zink volgens de ReCiPe 2016-methode met gelijke levensduur, weergegeven als enkelvoudige score.....	14
Grafiek 3. Operationeel energiegebruik van huishoudens in België in 2017 (FOD economie, 2017, p.5) en Europa in 2018 (Eurostat, 2018)	19
Grafiek 4. Aandelen van de energieposten bij huishoudens in het REF-MIN, het REF-, het EUR- en het VISI-scenario voor Vlaanderen in 2006 en 2030 (Steertegem et al., 2009, p. 68).....	20
Grafiek 5: Operationeel eindenergiegebruik per persoon in de residentiële sector van de 28 EU lidstaten (Tzeiranaki et al., 2019, p.11).....	21
Grafiek 6. Aandelen van de energiedragers/warmtetechnieken in totaal aantal wooneenheden voor hoofdverwarming in Vlaamse huishoudens in 2030 (Bruyn et al., 2019, p.74)	22
Grafiek 7. Aandelen van de energiedragers/warmtetechnieken in totaal aantal wooneenheden voor hoofdverwarming in Vlaamse huishoudens in 2015 (Bruyn et al., 2019, p.49)	22
Grafiek 8. Gemiddelde milieu-impact van warmtepompen per levenscyclusfase (Marinelli et al., 2019, p.214)	24
Grafiek 9. Invloed van de SPF op de enkelvoudige score van een grondwaterwaterwarmtepomp (Nitkiewicz en Sekret., 2014, p.5).....	26
Grafiek 10. COP van een lucht-waterwarmtepomp in functie van de buitentemperatuur en de vertrekwatertemperatuur (COP, SCOP en rendement van een warmtepomp, 2019).....	28
Grafiek 11. Vergelijking van het primair energiegebruik tijdens de productiefase (Sasnauskaitė et al., 2007, p.9).....	31
Grafiek 12. Milieu-impact van radiator en leiding via de Eco-Indicator 95'-methode (Prek, 2004, p.4).....	32
Grafiek 13. Milieukost van een thermisch geactiveerde vloer (D'haeze J., 2019, p.69)..	32
Grafiek 14. Aandeel van het bruto binnenlands energiegebruik per sector (Milieurapport, 2017).....	37
Grafiek 15. Samenstelling van de energiemix in België (Nguyen, 2019).....	40
Grafiek 16. Vergelijking van de milieu-impact van een gascondensatieketel die instaat voor de ruimteverwarming door middel van de Nederlandse energiemix voor 2004, de	

Nederlandse energiemix voor 2020 en een volledige elektriciteitsproductie via PV-panels (Blom, 2010, p.70)	41
Grafiek 17. De energetische terugverdientijd van monokristallijne en dunnefilm PV-panels voor 1999, 2010 en 2020 met vergelijking van installatie en efficiëntie, (Alsema et al., 2000, p.17)	43
Grafiek 18. Ingebedde energie van een mono-kristallijn, poly-kristallijn, ribbon-Silicium en amorf-Silicium PV-paneel met dezelfde capaciteit (Himpe & Trappers, p. 176, 2011)	44
Grafiek 19. Optimalisatie van de milieuperformantie van verwarmings- en luchtbehandelingssystemen (Prek, 1998, p.3).....	44
Grafiek 20. Het relatieve belang van de kosten van ruimteverwarmings- en ventilatie-installatie, water, andere gebouwelementen en de operationele energie in de milieukost van een gebouw met K-peil K45 en K20 (Debacker et al., 2013, p.3) ..	45
Grafiek 21. Vergelijking van de milieu-impact van RVW_S1-6 voor een levensduur van 60 jaar.....	61
Grafiek 22. Vergelijking van gascondensatieketels volgens het gewicht en nominaal vermogen	64
Grafiek 23. Vergelijking van de milieu-impact van de productiefase van de gascondensatieketel uit Ecoinvent en met gecorrigeerd gewicht voor een levensduur van 60 jaar	65
Grafiek 24. Vergelijking van split-unit lucht-waterwarmtepompen volgens het gewicht en nominaal vermogen.....	67
Grafiek 25. Vergelijking van de milieu-impact van de productiefase van de lucht-waterwarmtepomp uit Ecoinvent en met gecorrigeerd gewicht voor een levensduur van 60 jaar	68
Grafiek 26. Vergelijking van grond-waterwarmtepompen volgens het gewicht en nominaal vermogen	70
Grafiek 27. Vergelijking van de milieu-impact van de productiefase van de grond-waterwarmtepomp volgens Ecoinvent en het gemiddeld gewicht voor een levensduur van 60 jaar	71
Grafiek 28. Vergelijking van de milieu-impact van 1 kg aan mogelijk materialen van de aardsondes	72
Grafiek 29. Vergelijking van de milieu-impact van 1 liter koelmiddel.....	73
Grafiek 30. Vergelijking van de milieu-impact van module A van het distributie- en emissiesysteem van RVW_S1/3/5 met radiatoren en RVW_S2/4/6 met vloerverwarming voor een levensduur van 60 jaar	74

Grafiek 31. De milieu-impact van het distributie- en emissiesysteem van module A van RVW_S1/3/5 met radiatoren voor een levensduur van 60 jaar	74
Grafiek 32. De milieu-impact van het distributie- en emissiesysteem van module A van RVW_S2/4/6 met vloerverwarming voor een levensduur van 60 jaar	75
Grafiek 33. Vergelijking van 1 kg verschillende materialen als koppeling (gietijzer, chroom, geelkoper, PE, PVC en PP)	76
Grafiek 34. Vergelijking van de milieu-impact van drie soorten waterleidingen (koper, PE en staal) met een lengte van 190,78 meter voor een levensduur van 60 jaar	76
Grafiek 35. Vergelijking van de milieu-impact van de zes RVW-scenario's volgens Ecoinvent (links) en de gecorrigeerde RVW-scenario's (rechts) voor een levensduur van 60 jaar	77
Grafiek 36. Vergelijking van de milieu-impact van SWW_S1-3 voor een levensduur van 60 jaar.....	80
Grafiek 37. Vergelijking van vlakkeplaatcollectoren volgens het gewicht en de apertuuroppervlakte	83
Grafiek 38. Vergelijking van de milieu-impact van 3 vlakkeplaatcollectoren voor een levensduur van 60 jaar	84
Grafiek 39. Vergelijking van de milieu-impact van het distributiesysteem en de tappunten van module A van SWW_S1-3 voor een levensduur van 60 jaar.....	86
Grafiek 40. Vergelijking van de milieu-impact van een keukenkraan van 1,79 kg voor een levensduur van 60 jaar	87
Grafiek 41. Vergelijking van de milieu-impact van de drie standaard SWW-scenario's volgens Ecoinvent (links) en de gecorrigeerde SWW-scenario's (rechts) voor een levensduur van 60 jaar	88
Grafiek 42. Vergelijking van de milieu-impact van de zes standaard RVW_SWW-scenario's volgens Ecoinvent (links) en de zes gecorrigeerde RVW_SWW-scenario's (rechts) voor een levensduur van 60 jaar	90
Grafiek 43. Vergelijking van de milieu-impact van module A van het distributie- en emissiesysteem/tappunten van de gecorrigeerde RVW_SWW-scenario's zonder/met zonneboilerinstallatie	95
Grafiek 44. Vergelijking van de milieu-impact van de enkelvoudige en gecombineerde gecorrigeerde scenario's voor een levensduur van 60 jaar.....	96
Grafiek 45. Vergelijking van de milieu-impact van module A van de scenario's: RVW_S1, RVW_S2, RVW_S3 RVW_S6 met onderscheid tussen het gecorrigeerd, standaard en vereenvoudigd scenario	98
Grafiek 46. Vergelijking van de milieu-impact van module A met/zonder levensduur voor de gecorrigeerde scenario's RVW_SWW_S1 en RVW_SWW_S5	99

Grafiek 47. Vergelijking van de indirecte en operationele energie van de zes gecorrigeerde RVW_SWW-scenario's via de CED-methode voor een levensduur van 60 jaar .	100
Grafiek 48. Milieu-impact van 8 PV-panelen voor een levensduur van 60 jaar	102
Grafiek 49. Vergelijking van de milieu-impact van de zes gecorrigeerde RVW_SWW-scenario's (GS) in combinatie met 4, 8 en 16 mono-kristallijne PV-panelen	104

Lijst van afkortingen

BMCC	Building Material and Component Combination
BOS	Balance Of System, ondersteuningssystemen
CFK	Chloorfluorkoolwaterstof
COP	Coefficient Of Performance
DALY	Disability Adjusted Life Years, (NL: levensjaren gecorrigeerd door beperkingen)
EPBT	Energy payback time, (NL: energetische terugverdientijd)
HVAC	Heating, Ventilation & Air Conditioning
LCA	Life Cycle Assessment, (NL: levenscyclusanalyse)
LCIA	Life Cycle Impact Analysis, (NL: Levenscyclusimpact-analyse)
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
PV	Photo-voltaic
RVW	Ruimteverwarming
SPF	Seasonal Performance Factor
SWW	Sanitair warm water
TOTEM	Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials
WPC	Whole Process Of Construction
PE	Polyethyleen

Hoofdstuk 1. Inleiding

1.1. Opbouw

De masterproef is opgebouwd uit vier delen waarbij het eerste deel een korte inleiding schetst van de milieuproblematiek. Verder wordt er een weergave geboden van de reeds gekende literatuur om in het derde deel zelf aan de slag te gaan met onderzoek naar technische installaties, toegepast op een casestudy. De leeswijzer biedt een overzicht van de te bespreken hoofdstukken.

1. Inleiding	2. Levenscyclusanalyse 3. Residentiële technische installaties 4. Energie	5. Methodologie 6. Milieu-impact van ruimteverwarming 7. Milieu-impact van sanitair warm water 8. Milieu-impact van gecombineerde technische installaties 9. Gevoeligheidsanalyse	10. Besluit
INLEIDING	LITERATUURONDERZOEK	ONDERZOEK	BESLUIT

1.1.1. Literatuuronderzoek

De levenscyclusanalyse, verder afgekort als LCA, is de methode die in deze masterproef wordt gebruikt om de milieubelasting te bepalen van de technische installaties. De LCA is opgebouwd uit vier grote stappen. De opbouw, gebruikte begrippen en elementen worden in hoofdstuk 2 beschreven om de lezer vertrouwd te maken met het type onderzoek. Het is bij een LCA onder andere belangrijk te weten waar de focus van het onderzoek ligt om zo de analyse meer scherp te stellen. In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op de eigenschappen en de milieu-impact van de te onderzoeken residentiële technische installaties en de belangrijkste ondervindingen uit de literatuur. De focus ligt op twee energieposten: de ruimteverwarming en de opwekking van sanitair warm water. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op de soorten energiegebruik, de samenstelling van de energiemix, de milieu-impact en energiegebruik van PV-panelen en de verhouding tussen de ingebedde en operationele energie van technische installaties.

1.1.2. Onderzoek

Ter voorbereiding van het onderzoek is in hoofdstuk 5 de gebruikte methodologie beschreven waarbij als eerste een opsomming wordt gemaakt van de onderzoeksvragen. Daarnaast wordt er een overzicht gegeven van de beschouwde installatiescenario's en de casestudy waarop het onderzoek is gebaseerd. Verder wordt er informatie meegedeeld over de berekeningswijze van de beschouwde technische installaties en zijn de gemaakte LCA-veronderstellingen die het onderzoek meer afbakenen hier beschreven. Het onderzoek zelf is opgesplitst in vier hoofdstukken waarin de focus ligt op de milieu-impact van de twee grootste residentiële energieposten: de ruimteverwarming en de opwekking van warm tapwater.

In hoofdstuk 6 wordt aan de hand van een casestudy de vergelijking gemaakt tussen de milieu-impact van zes beschouwde ruimteverwarmingsscenario's. Meer specifiek ligt de focus op hoe gedetailleerd alle installatiecomponenten moeten worden meegenomen om een realistisch beeld te krijgen van de milieu-impact. Diezelfde oefening wordt in hoofdstuk 7 toegepast op drie scenario's voor sanitair warm water. Hoofdstuk 8 bekijkt echter de milieu-impact van de combinatie van twee voorgaande energieposten. Enerzijds wordt gekeken naar de milieu-impact van zes gecombineerde scenario's, anderzijds naar de verhouding van die gecombineerde scenario's ten opzichte van de scenario's die slechts voor één energiepost instaan.

In het laatste hoofdstuk 9 zal via een gevoeligheidsanalyse onderzocht worden hoe gevoelig de resultaten zoals verkregen in de drie voorgaande hoofdstukken zijn en in welke mate ze veranderen bij het wijzigen van een aantal parameters. Zo wordt er specifiek gekeken naar het verschil in milieu-impact tussen een gedetailleerde en vereenvoudigde LCA. Verder wordt onderzocht hoe belangrijk het al dan niet in rekening brengen van de levensduur is en welke impact de keuze van een effectbeoordelingsmethode heeft op de bekomen resultaten. Als laatste wordt er gekeken naar het effect van PV-panelen op de milieu-impact.

1.2. Situering van de milieuproblematiek

Er wordt steeds meer, efficiënter en duurzamer gebouwd. De eisen waaraan een woning moet voldoen om de impact op het klimaat zo laag mogelijk te houden worden elk jaar strenger en toch heeft het vele bouwen een grote keerzijde. Gedurende de volledige levensduur van een doorsnee huis in België gebouwd voor 2001 zijn de bouwmaterialen goed voor 10 tot 30% van de externe milieukost (OVAM, 2018). Studies hebben aangetoond dat de bouwsector de grootste bijdrage levert aan de opwarming van de aarde en goed is voor een derde van de uitstoot van broeikasgassen. Verder maakt de bouwsector gebruik van 40% van het wereldwijde materiaal in de economie en produceert ze een derde van het totale afval (Khasreen et al., 2009). In de 27 EU-landen is de residentiële sector goed voor 27% van het totale operationele energiegebruik bedoeld voor alle type gebouwen (Debacker et al., 2013).

Aan gebouwen kunnen verschillende soorten energieposten worden gelinkt. Ze zijn steeds meer en beter geïsoleerd, gebruiken meer hernieuwbare energie en bevatten steeds efficiëntere verwarmingsinstallaties. Al deze maatregelen doen het operationeel energiegebruik dalen, maar het aandeel van de ingebedde energie in de bouwmaterialen stijgen. De operationele energie is de som van de energie nodig voor het verwarmen, koelen, ventileren en verlichten van de woning, alsook de energie nodig voor het functioneren van de elektrische toestellen en de technische installaties. Verschillende studies hebben aangetoond dat de operationele fase goed is voor 85 tot 95% van het totaal energiegebruik in woningen. Toch moet er verder dan de gebruiksfase worden gekeken, zeker wanneer we in de toekomst richting nulenergiewoningen evolueren. Deze lage energiewoning gebruiken ondanks het lagere operationeel energiegebruik soms meer energie dan een standaard woning door de energie nodig voor de productie en onderhoud van het technisch materiaal. Het wordt de komende jaren des te belangrijker om de impact van de materialen nauwkeuriger in te schatten zodat tijdens het ontwerpproces de keuze voor milieuvriendelijke materialen de voorkeur krijgt. Hoe nauwkeurig deze milieu-impactberekeningen moeten zijn en welke impact een vereenvoudigde berekening heeft, is echter nog een groot vraagteken.

In een woning is de HVAC¹ veruit het meeste energie-intensief, bestaande uit bijna 50% van het totaal energiegebruik van gebouwen (Hassan & Javed, 2019). Het winnen van mineralen dewelke veel gebruikt worden in HVAC-systemen, zoals ijzer, erts, aluminium en koper, veroorzaken overigens ook een belangrijke vermindering van de wereldwijde natuurlijke bronnen (Hassan & Javed, 2019).

¹ HVAC: Heating, Ventilation & Airconditioning (NL: Ruimteverwarming, ventilatie en luchtbehandeling)

1.3. Vlaams energie- en klimaatplan 2021-2030

Steeds meer instellingen, zowel op lokaal, Europees als wereldwijd niveau, beginnen doelstellingen vast te leggen om de CO₂-uitstoot te verminderen en de impact van de menselijke activiteit op het klimaat zo laag mogelijk te houden. Dergelijk recent voorbeeld is het klimaatakkoord van Parijs in 2015 waar 195 landen proberen om tegen 2050 geen CO₂ meer uit te stoten en de opwarming van de aarde tot 2°C te beperken. Ook Vlaanderen heeft ambities om het wereldwijde probleem aan te pakken.

Het Vlaams energie- en klimaatplan (2019), opgesteld door het Vlaams gewest, heeft als doel het energiesysteem op alle mogelijke vlakken koolstofarmer en duurzamer te maken. Volgens cijfers van 2018 is de residentiële sector, naast de transportsector met 36%, goed voor een tweede plaats met 28% van de totale broeikasgasemissies in Vlaanderen. Ten opzichte van 2005 is die emissie al gedaald met 22%, maar de doelstellingen van het Vlaams klimaatplan liggen nog hoger waarbij de CO₂-uitstoot van gebouwen tegen 2030 met 35 % moet zijn verminderd. De belangrijkste maatregelen voor de renovatie van de Vlaamse bouwstock met betrekking tot de technische installaties zijn:

- Een beter onderhoud en versnelling van de vernieuwing van oude verwarmingsinstallaties;
- De stap zetten van ruimteverwarming via fossiele brandstoffen naar ruimteverwarming via elektriciteit door middel van warmtepompen;
- Verduurzamen van de verwarmingsinstallaties;
- Verhogen van het aandeel aan wind- en zonne-energie, geothermie en biomassa voor zowel warmte- als stroomproductie;

Volgens Blom (2010) zijn naar schatting meer dan 10 miljoen boilers in Europa ouder dan 20 jaar waardoor ze een lagere energie-efficiëntie hebben dan diegene die momenteel beschikbaar zijn op de markt. Ook in Vlaanderen zijn er 1,5 miljoen woningen die in 2017 nog een verwarmingstoestel ouder dan 15 jaar hebben. De focus moet dus niet enkel op nieuwbouwwoningen liggen, maar ook op het reeds bestaande gebouwenbestand. Jaarlijks worden er ongeveer 90.000 toestellen vervangen door toestellen op fossiele brandstoffen en 1000 à 1500 door een warmtepomp. Dit tempo moet volgens het klimaatplan versneld worden. Het aantal warmtepompen dient in 2021 jaarlijks toe te nemen tot 4550 en tot 12.000 in 2030, wat mogelijk wordt gemaakt door een verbod op stookolieketels bij nieuwbouwwoningen en bij ingrijpende energetische renovaties. Deze stookolieketels zullen worden vervangen door een gasketel of warmtepomp, waarbij verondersteld wordt dat de helft van die toestellen worden vervangen door een warmtepomp. De wijziging naar gasketel heeft vooral een positief effect op de CO₂-uitstoot, in slechts beperkte mate op het operationeel energiegebruik.

Warmtepompen daarentegen zorgen voor een grotere energiebesparing. Per nieuwbouwwoning wordt in het klimaatplan gerekend op een besparing van 4847 kWh per warmtepomp. In 2000 bezat 0,02% van het aandeel huishoudens in Vlaanderen een warmtepomp, in 2018 was dit gestegen naar 2,80% (Brouwers et al., 2010).

Een aardgasaansluiting bij grote verkavelingen of grote appartementsgebouwen kan enkel nog voor collectieve verwarming via warmtekrachtkoppeling of in combinatie met een hernieuwbaar energiesysteem als hoofdverwarming. Jaarlijks moeten er 4500 elektrische warmwaterboilers vervangen worden door warmtepompboilers, waarvan 90% in bestaande woningen, en komen er 5000 nieuwe zonneboilers bij. Deze maatregelen moeten het relatieve aandeel hernieuwbare energie in nieuwbouwwoningen verhogen. Daarnaast worden op grotere schaal maatregelen getroffen voor warmtenetten, diepe geothermie en biomassa.

Ook het aandeel groene stroom moet groeien. Tussen 2021-2025 moet het aandeel zonnepanelen jaarlijks toenemen met 300 MWe en vanaf 2025 met 318 MWe om zo in 2030 aan 6,7 GWe zonnecapaciteit te komen in Vlaanderen. Het aandeel aan windenergie moet jaarlijks groeien met 59 MWe/jaar om aan 2,5 GWe windcapaciteit te komen in 2030. Ook hier worden verdere maatregelen getroffen voor biomassa, biogassen en biobrandstoffen. De residentiële sector kan hier vooral inspelen op het aantal zonnepanelen.

In verschillende hoofdstukken benadrukt het Vlaams Klimaatplan het belang van de circulaire economie. Door in te spelen op de recycleerbaarheid, herbruikbaarheid en demonteerbaarheid voor herstel en vervanging van alle soorten materialen moet de ingebedde energie verlagen. Door beter om te gaan met de levensduur van bouwmaterialen, kan er in de toekomst materiaal worden uitgespaard en directe emissies worden vermeden. Het Vlaams klimaatplan mikt op een afname van de materialenvoetafdruk van 30% door bijvoorbeeld ontwerpers van gebouwen en infrastructuur tijdens het ontwerpproces kennis te laten maken met TOTEM, een Belgische *Tool to Optimise the Total Environmental Impact of Materials* ontwikkeld door de OVAM², Leefmilieu Brussel en de SPW³. Het grootste materiaalgebruik bevindt zich in de gebouwschil, vloer- en dakopbouw, een kleiner aandeel zit in de technische installaties. Het is echter nog niet mogelijk om via TOTEM de milieu-impact van technische installaties te bepalen. Die integratie is iets wat in de toekomst wel op de planning staat om te implementeren.

² OVAM: Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij

³ SPW: *Service Public de Wallonie*

LITERATUURONDERZOEK

Hoofdstuk 2. Levenscyclusanalyse

2.1. Algemeen

Om de milieu-impact te berekenen wordt gebruik gemaakt van een levenscyclusanalyse. Deze analyse is momenteel wereldwijd het meest aangewezen om de impact van elementen op het milieu te bestuderen. De resultaten van dit type onderzoek moeten wel steeds met enige voorzichtigheid gehanteerd worden, aangezien de LCA geen exacte wetenschap is en bijgevolg voortdurend in evolutie is. Het is echter wel het doel van deze masterproef om de LCA zo gedetailleerd mogelijk uit te voeren en tot betrouwbare conclusies te komen. Deze analyse is opgebouwd uit vier grote stappen: doelbepaling en reikwijdte, een levenscyclusinventarisatie, een impactanalyse en een interpretatie van de bekomen resultaten. De vier stappen zijn verder in dit hoofdstuk toegelicht. Deze stappen en het kader van een LCA zijn via normen vastgelegd en zijn uitvoering besproken in de ISO-normen 14040 en 14044.

Een LCA kan via twee verschillende scenario's worden toegepast. De BMCC-benadering⁴ is een bottom-upscenario en legt de focus op de gebouwcomponenten en hun impact, terwijl de WPC-benadering⁵ een top-downscenario is die de focus op het gebouw legt. Een voorbeeld bij de toepassing van technische installaties is dat in het bottom-upscenario een zonneboiler voor een stijging van de milieu-impact zorgt, door de extra materiaalimpact. In het top-downscenario zal die milieu-impact al dan niet dalen, afhankelijk of de thermische zonnepanelen in de gebruiksfase opwegen tegen de extra materiaalimpact. Aangezien in deze masterproef wordt ingezoomd op de detaillering van technische installaties maakt het gebruik van het BMCC. Het grote voordeel van werken op elementniveau is dat de resultaten kunnen worden vergeleken met andere gebouwen mits het in acht nemen van elkaars veronderstellingen. Gebouwen daarentegen hebben steeds een andere geometrie, muur-, vloer- en dakopbouw, enz. en zijn daardoor lastig eenduidig met elkaar te vergelijken.

Bij een LCA is het bedoeling om zo transparant mogelijk informatie te delen over het onderzoek dat wordt uitgevoerd. De informatie die zeker moet worden gedocumenteerd is het moment van het onderzoek, de uitvoerder, de beschouwde levenscyclusfasen, de locatie, het vooropgestelde doel en de gemaakte veronderstellingen, de gebruikte software en databank, de gekozen impactanalyse, de milieu-indicatoren en de energiemix. Op die manier kunnen analyses met elkaar worden vergeleken.

⁴ BMCC: *Building Material and Component Combinations*

⁵ WPC: *Whole Process of Construction*

2.2. Methodologie

2.2.1. Doel en reikwijdte

Functionele eenheid

De functionele eenheid dient als een referentie om gebouwen of elementen op een gelijke basis met elkaar te kunnen vergelijken. Het bevat steeds informatie over de meeteenheid voor een hoeveelheid materiaal, een productfunctie en een levensduur. In deze masterproef is een technische ruimteverwarmingsinstallatie die voldoet aan het te installeren verwarmingsvermogen van de opgegeven casestudy met een levensduur van 60 jaar een voorbeeld van een gebruikte functionele eenheid. De hoeveelheid materiaal is hier afhankelijk van hetgeen nodig is om het benodigde verwarmingsvermogen te bereiken.

Levensduur

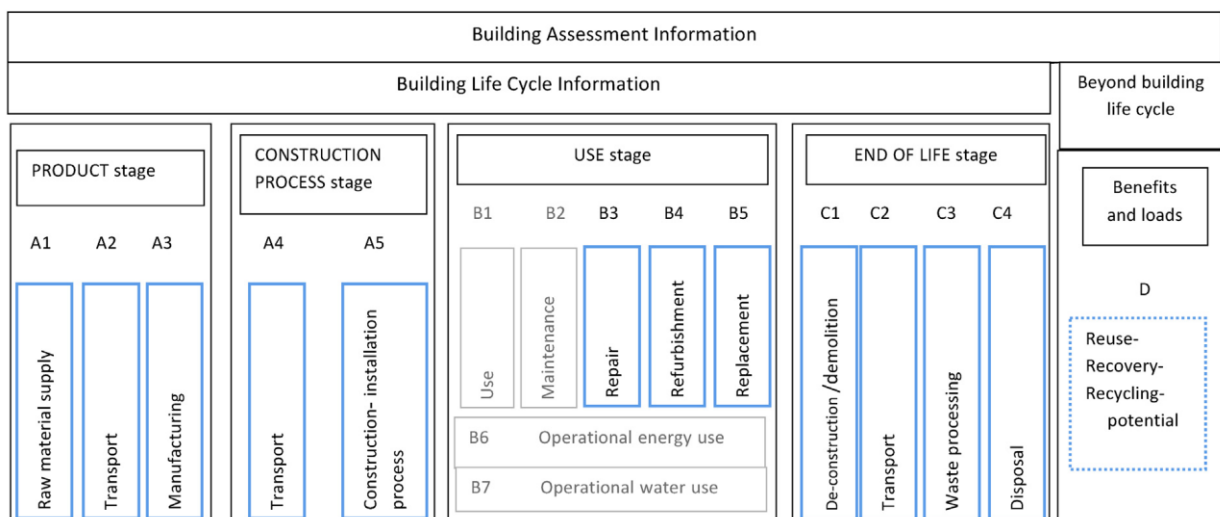
De levensduur is een bepalende factor in de LCA en vertelt hoe lang een element of gebouw functioneel blijft vooraleer het vervangen moet worden. Bij het analyseren van studies zal de lezer opmerken dat er voor dezelfde materialen soms andere levensduren worden gebruikt, waardoor ook andere milieu-impactresultaten zijn bekomen. Studies baseren zich op verschillende publicaties waarbij ook niet altijd het gemiddelde van de waarden wordt genomen. Voor gebouwen wordt in TOTEM vaak uitgegaan van een algemene levensduur van 60 jaar. Het is mogelijk dat bepaalde elementen van het gebouw een kortere levensduur hebben, waardoor vervangingen met een identiek exemplaar nodig zijn tijdens de evaluatieperiode. Het aantal vervangingen wordt bekomen door de levensduur van het gebouw te delen door de levensduur van het element min één. Wanneer er vervangingen moeten gebeuren die dicht bij de eindelevensduur van het gebouw zitten, zullen deze niet meer plaatsvinden. De resterende tijd is de suspensieperiode en is per definitie een tijd die korter is dan de levensduur van het element. Het onderzoek van Himpe en Trappers (Himpe & Trappers, 2011) toont aan dat het nemen van een korte of lange levensduur grote verschillen met zich meebrengt. In hun onderzoek wordt de indirecte energie van een passief gebouw en houtskeletgebouw met een levensduur van 60 jaar vergeleken met een levensduur van 30 en 120 jaar. Hun resultaten demonstreren dat het verband tussen de verschillende levensduren niet lineair is. Ook hier speelt het effect van het aantal vervangingen een grote rol. Bijvoorbeeld: een afwerkingsmateriaal van 40 jaar moet op 30 jaar niet vervangen worden, op 60 jaar slechts één keer, maar op 120 jaar wel drie keer. Om een eenduidigheid te hebben over de levensduren wordt voor deze masterproef onder andere gebruik gemaakt van het rapport van de OVAM (Vandenbroucke, 2018). Het rapport probeert zo transparant mogelijk te communiceren over de gebruikte levensduur van elk materiaal en hun achterliggende

bronnen en is ontwikkeld om bij alle toekomstige publicaties van de OVAM dezelfde levensduurdata te gebruiken. Wanneer er door OVAM meerdere bronnen zijn geanalyseerd die een verschillende levensduur weergeven voor hetzelfde materiaal wordt er een gemiddelde waarde genomen. Om die redenen dient het rapport als een goede referentie om de levensduren gebruikt in deze masterproef op te baseren. Bij ontbrekende informatie wordt gebruik gemaakt van de inventaris van technische installaties uit de masterproef van Himpe & Trappers (2011).

Bij de analyse van technische installaties is het belangrijk om de levensduur van de verschillende componenten goed te documenteren. In literatuur gaat men vaak uit van één levensduur voor de gehele installatie. Een warmtepompinstallatie gaat bijvoorbeeld 20 jaar mee, maar er kunnen zich in de installatie onderdelen bevinden die een kortere levensduur hebben. Deze masterproef probeert een manier te vinden om met de verschillende levensduren om te gaan. Onderzoek van Blom (2010) wees uit dat wanneer er vooral een hoge milieu-impact is ten gevolge van het materiaalgebruik, de grootste milieubesparing wordt verkregen door materialen te selecteren met een zo groot mogelijke levensduur.

Systemgrenzen

Binnen een LCA zijn verschillende levenscyclusfasen al dan niet in rekening gebracht. Dit onderzoek probeert zo uitgebreid mogelijk te zijn en opteert voor een LCA van wieg tot graf waarbij alle levenscyclusfasen en de volledige in- en output in de analyse worden meegenomen. Een gebouw kan ofwel opgedeeld worden in drie grote fases; de initiële fase, gebruiksfase en eindelevensduurfase; ofwel in vier modules (A-D).



Figuur 1. Overzicht van de beschouwde levenscyclusfasen (EN 15978, 2011)

De eerste initiële fase bevat zowel de productiefase (A1-A3) als de constructiefase (A4-A5). De productiefase gaat over de winning van de grondstoffen, het transport van die grondstoffen naar de fabriek om daar tenslotte verwerkt te worden. De constructiefase bevat het transport

van het verwerkte eindproduct van de fabriek naar de werf om daar in een constructie te worden vervaardigd.

De tweede fase is de gebruiksfase of operationele fase (B1-B7) en bevat voornamelijk het energie- en watergebruik van het gebouw als ook zijn bijhorende onderhoud, herstellingen of vervangingen en indien noodzakelijk grondige renovaties.

De derde fase is de levenseindefase (C1-C4) waarbij het gebouw wordt gesloopt of ontmanteld met bijhorend transport en waterverwerking. Het resterende afval wordt ofwel gestort of verbrand. Andere mogelijkheden voor het levenseinde zijn om het afval te recyclen of te hergebruiken voor nieuwe doeleinden, dit zit vervat in de laatste module D. Het is niet altijd vanzelfsprekend om informatie te vinden over de eindelevensduurbehandeling van materialen of installaties, waardoor ze soms wordt verwaarloosd (Zhong et al., 2011). Over de behandeling van PV-panelen⁶ is bijvoorbeeld nog zeer weinig geweten, aangezien de meeste PV-panelen het einde van hun levensduur nog niet hebben behaald. Als module D al in rekening wordt gebracht, wordt vaak uitgegaan van subjectieve toekomstmodellen die de milieu-impact voorspellen. Dit is een gegeven die in de toekomst gedetailleerder moet worden bekeken.

Uit de paper van Mirabella et al. (2018) blijkt dat het niet mogelijk is om het gewicht van elke levenscyclusfase in de totale milieu-impact van een gebouw te bepalen aangezien elke literatuurstudie andere wegingsfactoren gebruikt bij de analyse van hun resultaten. Het is echter wel mogelijk om de levenscyclusfasen te rangschikken volgens een mate van belangrijkheid, afhankelijkheid van het klimaat, de invloed van de levensduur, de gekozen milieu-indicatoren, enz. In het algemeen kan worden vastgesteld dat voor bestaande residentiële gebouwen de gebruiksfase verantwoordelijk is voor het grootste aandeel in de milieu-impact, namelijk tot 89%. Voor lage energiewoningen veranderen deze conclusies sterk en zijn de andere levenscyclusfasen goed voor een levenscyclusimpact tot 65%. Bepaalde fases zullen zo klein zijn dat ze kunnen worden verwaarloosd. Uit onderzoek van Blom (2010) blijkt bijvoorbeeld dat het onderhoud en de bijhorende transportafstanden van de onderhoudswerkers slechts een marginaal effect heeft op de milieu-impact. Die resultaten zullen echter voor elke analyse anders zijn.

2.2.2. Levenscyclusinventarisatie

In een levenscyclusinventarisatie worden alle gegevens die nodig zijn om de milieu-impact te berekenen verzameld. Alle in- en output van materialen tot transportafstanden, emissies en

⁶ PV = *Photovoltaic* (NL: fotovoltaïsch)

meer zijn samengebracht in een grote databank. In de Belgische context wordt een beroep gedaan op de Zwitserse databank Ecoinvent dewelke algemeen aanvaard wordt voor de West-Europese context in de veronderstelling dat de klimatologische en geografische locatie een gemiddelde vormt voor Europese omstandigheden (Delem et al., 2011). Bepaalde zaken dienen in de LCA wel aangepast te zijn naar Belgische context, zoals de Belgische elektriciteitsmix. Bij het ontbreken van gegevens, bijvoorbeeld de soorten materialen in een warmtepomp, is het mogelijk om productfiches van fabrikanten te raadplegen. Er kan ook gekeken worden naar de Belgische EPD⁷, een databank voor milieuproductverklaringen waarin fabrikanten voor hun product een LCA laten uitvoeren, laten verifiëren en vervolgens per product hun milieuprofiel kunnen toevoegen aan de databank.

LCA software

Uit twee onderzoeken van Lindvall (2018) blijkt dat de keuze van LCA-software en levenscyclusimpactanalyse een effect heeft op de bekomen resultaten. Ze stellen echter wel vast dat het onmogelijk is om generale conclusies te trekken over de verschillen in de resultaten. In deze masterproef wordt gebruik gemaakt van SimaPro, een wereldwijd gebruikte tool om LCA uit te voeren. Het wordt vaak gezien als één van de meest uitgebreide programma's. De software is opgebouwd volgens de bouwstenen van een LCA om op die manier op een overzichtelijke manier de assemblages samen te stellen. Het is bovendien ook mogelijk om in SimaPro rechtstreekse data uit de Ecoinvent-databank te halen.

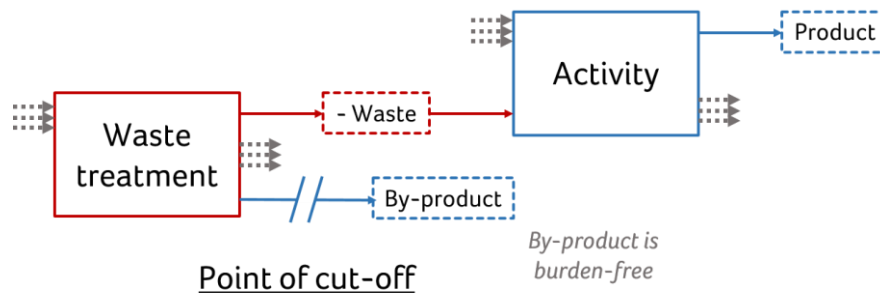
Allocatie

Allocatie is de verdeling van milieulasten over verschillende processen. Dergelijke allocatieproblemen kunnen zich zowel aan de input voordoen als aan de output, zoals bij de eindelevensduurfase. Op het einde van de levenscyclus zijn verschillende behandelingen mogelijk. Het materiaal wordt gestort, verbrand, gerecycleerd of hergebruikt. Bij een LCA is het belangrijk om te weten of de afvalproducten en eventueel bijproducten of energie-terugwinning al dan niet tot de beschouwde levenscyclus behoren. Er bestaan drie verschillende modellen die rekening houden met deze problematiek.

Een eerste mogelijke model is de *cut-off* benadering zoals weergegeven in figuur 2. Deze methode houdt in dat de recycleerbare materialen aan het begin van de eindelevensduurbehandeling worden afgesneden. De afvalbehandeling is volledig toegewezen aan de beschouwde levenscyclus, maar alle bijproducten, waaronder ook energiewinning, behoren tot de volgende cyclus. Bij storten en verbranden worden die verwerkingslasten en emissies

⁷ EPD: *Environmental Product Declarations* (NL: milieuproductverklaring)

wel volledig tot de afvalproducerende activiteit gerekend, waardoor het als negatieve input wordt gezien. Dit is bovendien de methode die in deze masterproef wordt gebruikt.



Figuur 2. Point of cut-off (Ecoinvent, 2021)

Een tweede model is de *allocation at the point of substitution (APOS)*. Hierbij worden de voordelen van het recycleren verdeeld over meerdere levenscycli. Een derde model is de *consequential* benadering die vooral wordt toegepast wanneer de gevolgen ten opzichte van een basissituatie moeten worden onderzocht. In dit laatste model maakt men gebruik van *system boundary expansion* waarbij de lasten en voordelen worden vermeden door een alternatief proces toe te voegen.

2.2.3. Levenscyclusimpactanalyse

De levenscyclusimpactanalyse, verder afgekort als LCIA, toont de bijdrage aan het milieu bij elke impactcategorie. Zowel de impact op het niveau van de grondstoffen, landgebruik en emissies worden geanalyseerd en gegroepeerd per categorie om een zo overzichtelijk mogelijk beeld te scheppen. De keuze van een LCIA heeft een grote invloed op de uiteindelijke resultaten en is afhankelijk van het vooropgestelde doel.

Impactcategorieën

Een van de belangrijkste stappen binnen een LCA is de keuze van de impactcategorieën of milieu-indicatoren. Uit onderzoek van Blom (2010) blijkt dat het belangrijk is om zo veel mogelijk milieu-indicatoren die van belang zijn voor een juiste interpretatie van de resultaten in rekening te brengen om *burden shifting* te voorkomen. Door in het onderzoek bijvoorbeeld louter in te zetten op een beperking van de klimaatopwarming bestaat de kans dat de impact op een andere milieu-indicator vergroot. Voor PV-panelen is er een specifieke lijst opgesteld door de Europese Commissie die weergeeft welke milieu-indicatoren moeten worden toegepast bij de LCA van PV-panelen (Europese Commissie, 2013).

Uit onderzoeken van Bruyn et al. (2019) en Saner et al. (2010) die de milieu-impact van de voornaamste ruimteverwarmingstechnieken via de uitstoot van CO₂ bekijken, blijkt de warmtepomp een beter milieu-alternatief te zijn dan een condenserende gasketel. Warmtepompen zorgen voor een verminderde CO₂-uitstoot van 15-80% in vergelijking met

fossiele brandstoffen. De resultaten van andere studies die meerdere milieu-indicatoren in rekening brengen (Blom, 2010; Greening & Azapagic, 2012), toonden het tegenovergestelde resultaat.

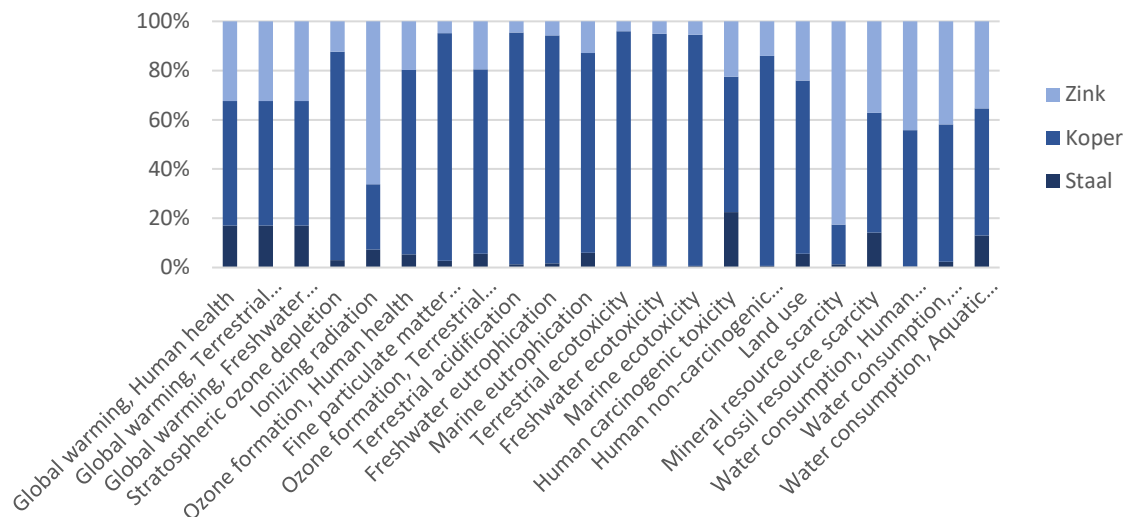
Een voorbeeld van een slechte keuze van milieu-indicatoren doet zich voor in onderzoek van Laleman (2009) naar PV-panelen in België. Uit de resultaten blijkt dat het CiS-zonnepaneel een zeer hoog aardopwarmingsvermogen (GWP⁸) heeft, ondanks zijn korte energetische terugverdientijd (EPBT) van 2,8 jaar. Uit deze vergelijking blijkt dat alleen rekening houden met de GWP en EPBT geen compleet beeld geeft van de milieu-impact. De EPBT is gedefinieerd als de periode die nodig is voor het hernieuwbaar energiesysteem om dezelfde hoeveelheid energie te produceren die nodig was om het systeem zelf te produceren. Het is een veelgebruikte impactanalyse bij energieproductiesystemen. Toch zijn er bij deze definitie twee benaderingen mogelijk. Het PV-paneel kan ofwel worden gezien als een vervanging van alle energiebronnen die gebruikt zijn in de energiemix, ofwel als vervanging van de niet-hernieuwbare energiebronnen in de energiemix. Alsema (1998) wijst op het belang van een juiste vermelding van de gegevens waarop de EPBT gebaseerd is. De EPBT van PV-panelen is steeds lager dan de levensduur, waardoor ze als een milieuvriendelijke energiebron worden gezien.

Uit de bovenstaande voorbeelden blijkt dat enkel kijken naar één milieu-indicator niet volstaat en er rekening moet worden gehouden met vele andere milieu-indicatoren die van toepassing zijn op het vooropgestelde doel om een meer genuanceerde conclusie te trekken.

Karakteristieke waarden

De LCIA deelt de grondstoffen, emissies en landgebruik in in karakteristieke waarden waarbij het aandeel van elke levenscyclusfase voor alle milieu-indicatoren uitgedrukt staat in 100%. Bij deze waarden weet je echter niet of de milieu-indicator een grote of kleine impact heeft. Ter illustratie vergelijkt grafiek 1 de milieu-impact van 1 kg zink, koper en staal voor eenzelfde levensduur en zijn de resultaten weergegeven als karakteristieke waarden.

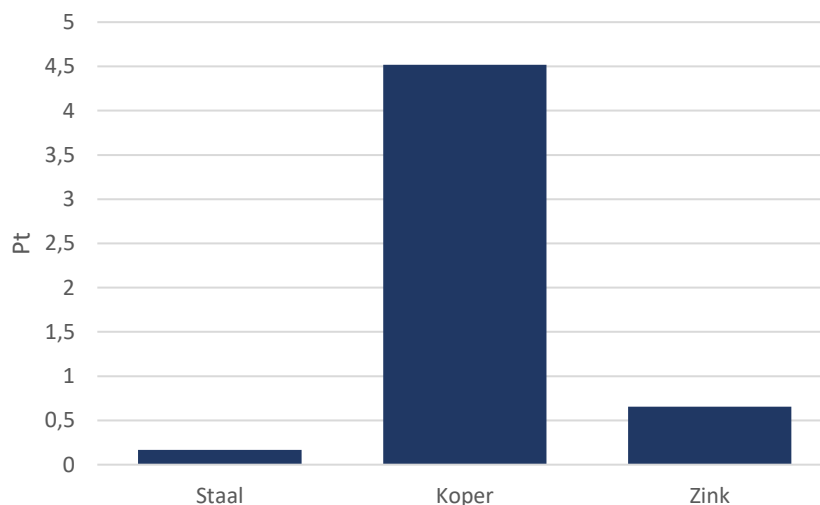
⁸ GWP = Global Warming Potential (NL: aardopwarmingsvermogen), een aanduiding voor de mate waarin een broeikasgas kan bijdragen tot de klimaatopwarming



Grafiek 1. De milieu-impact van 1 kg zink, koper en staal volgens de ReCiPe 2016-methode met gelijke levensduur, weergegeven als karakteristieke waarden

Normalisatie, weging en enkelvoudige score

Aangezien het bij de karakteristieke waarden niet mogelijk is om te zien welke milieu-indicator de grootste milieu-impact heeft, is het gebruikelijk om deze waarden om te zetten naar een enkelvoudig geaggregeerde score. Deze stap biedt meer inzicht in de grootte van de milieu-impact, maar het vertelt nog niets over het belang van deze effecten. Een verdere stap is weging waarbij aan elke milieu-indicator wegingsfactoren worden toegevoegd. Dit is wel een stap waar subjectief mee moet worden omgegaan. Verder kunnen de wegingsfactoren nog opgeteld worden tot een enkelvoudige score voor elke subassemblage waardoor makkelijker kan worden vergeleken. Dezelfde resultaten zoals in grafiek 1 zijn in grafiek 2 weergegeven als een enkelvoudige score. Uit deze grafiek is het echter wel mogelijk om vast te stellen dat 1 kg koper met 4,5 milieupunten de grootste impact heeft en 1 kg staal de laagste.



Grafiek 2. De milieu-impact van 1 kg staal, koper en zink volgens de ReCiPe 2016-methode met gelijke levensduur, weergegeven als enkelvoudige score

Effectbeoordelingsmethodes

Drie vaak gebruikte effectbeoordelingsmethodes zijn de ReCiPe 2016-methode gebaseerd op een puntensysteem, de MMG-methode gebaseerd op milieukosten en de CED-methode die de levenscyclusenergie uitdrukt in MegaJoule-equivalent.

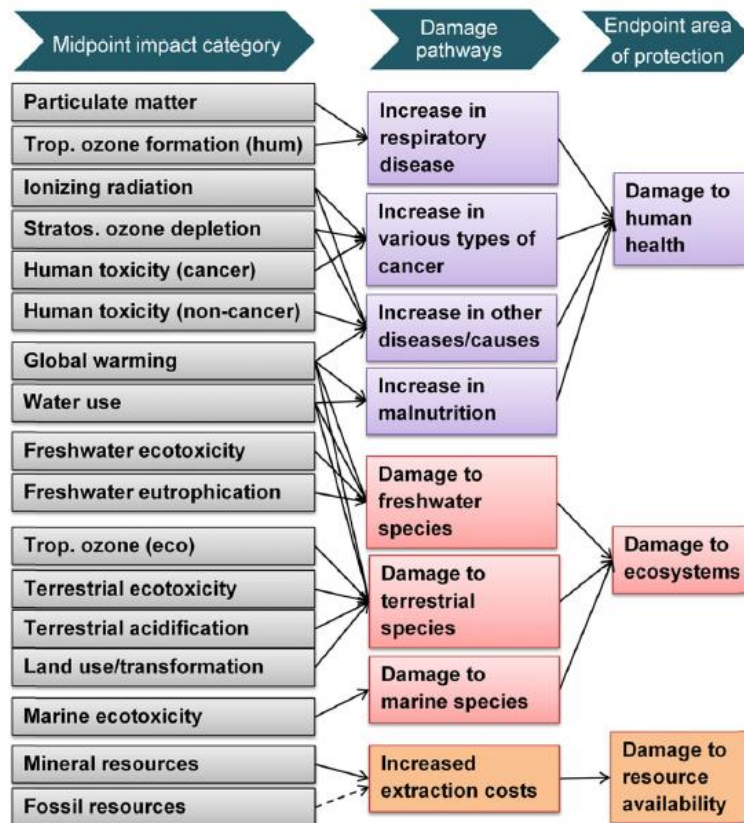
De ReCiPe 2016-methode

De ReCiPe 2016-methode is gebaseerd op twee andere impactanalyses, namelijk CML 2002 (middelpunt) en Eco-indicator '99 (eindpunt). Ze maakt gebruik van zeventien karakteristieke middelpunt-indicatoren en drie eindpunt-indicatoren zoals weergegeven in figuur 3. Bij elke milieu-indicator wordt een individuele milieu-impactscore verkregen. Bij de middelpunt-indicatoren ligt de focus op de enkelvoudige milieuproblemen die aan de oorzaak liggen zoals de klimaatverandering en ozonaantasting. Hierbij speelt er slechts een kleine onzekerheidsfactor. De zeventien middelpunt-indicatoren kunnen gegroepeerd worden volgens de schade die ze aanrichten en vervolgens worden samengevat in drie eindpunt-indicatoren om de resultaten en hun impact beter in te schatten. De drie indicatoren zijn schade aan de menselijke gezondheid (uitgedrukt in DALY⁹), schade aan het ecosysteem (uitgedrukt in het verlies van soorten over een bepaald gebied) en de uitputting van grondstoffen (uitgedrukt als het overschot aan energie nodig voor de winning van toekomstige mineralen en fossiele brandstoffen). Er speelt echter een grote onzekerheid bij deze indicatoren zoals tijd of toekomstige technologische ontwikkelingen. Om hier beter op in te spelen zijn er drie perspectieven ontwikkeld:

- *Hierarchist (H)*;
- *Individualist (I)*;
- *Egalitarian (E)*;

Het hiërarchisch model biedt een zekere consensus en wordt vaak als het standaard perspectief beschouwd, terwijl het individualistische perspectief een optimistische benadering vormt op korte termijn in de veronderstelling dat de technologie de onzekerheden of problemen zal oplossen. Het egalitaire perspectief speelt eerder in op een langetermijnvisie en gaat voorzichtig om met alle onzekerheden.

⁹ DALY: *Disability-adjusted life years* (NL: Levensjaren gecorrigeerd door beperking)



Figuur 3. Milieu-indicatoren van de ReCiPe effectbeoordelingsmethode (Huijbregts et al., 2017)

De MMG-methode

De MMG-methode¹⁰ is ontwikkeld door een onderzoeksteam van het VITO¹¹, WTCB¹² en de KULeuven in opdracht van OVAM met als doel de milieukost van Belgische constructies op gebouw- en elementniveau te berekenen. Het MMG-rapport (Delem et al., 2011) geeft zeven CEN-indicatoren weer, gebaseerd op de Europese TC 350-norm en zeven CEN+-indicatoren zoals weergegeven in **Fout! Ongeldige bladwijzerverwijzing.** en Tabel 2. De CEN+-indicatoren zijn bijgevoegd om te voldoen aan de Belgische context. Om de milieu-resultaten beter te kunnen vergelijken wordt in de MMG-methode gekozen voor monetarisatie als wegingsmethode. Zo wordt er in euro's uitgedrukt wat de milieuschade is die niet in de financiële prijs verrekend zit, maar wordt afgewenteld naar de maatschappij door bijvoorbeeld ziekte en schade aan de biodiversiteit. Op die manier is het mogelijk om de resultaten te vergelijken met financiële kosten en kunnen er tijdens het ontwerpproces beslissingen worden genomen om milieuvriendelijke materialen te selecteren. Voor de klimaatverandering wordt

¹⁰ MMG: Milieu-gerelateerde materiaalprestaties van gebouwelementen

¹¹ Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

¹² Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf

bijvoorbeeld de hoeveelheid CO₂ vermenigvuldigd met een monetariseringsgetal dat het aantal €/kg CO₂ weergeeft.

milieu-indicator (CEN+)	eenheid	geselecteerde impactmethode
8. menselijke toxiciteit: kanker en niet-kankereffecten (EN: <i>human toxicity, cancer and non-cancer effects</i>)	DALY *	ReCiPe endpoint ³⁸
9. ademhalingseffecten door anorganische stoffen - zwevend stof (EN: <i>respiratory inorganics - particulate matter</i>)	DALY*	ReCiPe endpoint ³⁹
10. ioniserende stralingseffecten op mens (EN: <i>ionising radiation, human health</i>)	DALY*	ReCiPe endpoint ⁴⁰
11. ecotoxiciteit: zowel aardse, zoetwater- als mariene (EN: <i>Ecotoxicity: terrestrial, freshwater and marine</i>)	kg 1,4 DB** eqv.	ReCiPe midpoint ⁴¹
12. landgebruik: bezetting (EN: <i>land use: occupation</i>)	species x year	ReCiPe endpoint ⁴²
13. landgebruik: omvorming (EN: <i>land use: transformation</i>)	species x year	ReCiPe endpoint ⁴³
14. waterschaarste (EN: <i>water depletion</i>)	m ³ waterverbruik	ReCiPe midpoint ⁴⁴

* DALY: disability-adjusted life year

** DB: dichloorbenzeen

Tabel 2. Geselecteerde CEN-milieu-indicatoren met inbegrip van de eenheden en milieu-impactmethoden voor de individuele milieuscores (Delem et al., 2011)

milieu-indicator (CEN)	eenheid	geselecteerde impactmethode
1. Klimaatsverandering (EN: <i>global warming</i>)	kg CO ₂ eqv.	ReCiPe midpoint ³¹
2. Ozonaantasting (EN: <i>depletion of the stratospheric ozone layer</i>)	kg CFC-11 eqv.	ReCiPe midpoint ³²
3. Verzuring van land en waterbronnen (EN: <i>acidification of land and water sources</i>)	kg SO ₂ eqv.	ReCiPe midpoint ³³
4. Vermesting (EN: <i>eutrophication potential</i>)	kg (PO ₄) ³⁻ eqv.	CML 2002 ³⁴
5. fotochemische oxidantvorming (EN: <i>formation of tropospheric ozone photochemical oxidants</i>);	kg etheen eqv.	CML 2002 ³⁵
6. Uitputting van niet-fossiele grondstoffen (EN: <i>abiotic depletion of non fossil resources</i>)	kg Sb* eqv.	CML 2002 ³⁶
7. Uitputtingspotentieel van fossiele grondstoffen (–EN: <i>abiotic depletion of fossil resources</i>)	MJ, netto calorische waarde	Cumulated energy demand ³⁷

*Sb: antimoon

Tabel 1. Geselecteerde CEN+ milieu-indicatoren met inbegrip van de eenheden en milieu-impactmethoden voor de individuele milieuscores (Delem et al., 2011)

CED-methode

De CED-methode wordt gebruikt om de levenscyclusenergie te begroten. Levenscyclusenergie is de optelsom van de operationele energie van een gebouw tijdens zijn levensduur en het indirecte energieverbruik. De laatstgenoemde is de energie nodig voor de ontginning van grondstoffen, de productie, constructie en vervanging van materialen en installaties, voor transport en onderhoud en voor de deconstructie en afvalverwerking. Het indirecte energiegebruik wordt vaak samengevat als de som van de ingebedde- en

eindelevensduurenergie. De beschikbare data uit de Ecoinvent-databank worden vertaald naar zes categorieën van primaire energiedragers en vervolgens gegroepeerd volgens hernieuwbare en niet-hernieuwbare energiebronnen zoals weergegeven in tabel 3. De niet-hernieuwbare energiebronnen houden rekening met energie afkomstig uit biomassa, fossiele grondstoffen en nucleaire kerncentrales. De hernieuwbare energiebronnen bestaan uit energie afkomstig uit biomassa, wind, zon, geothermie en water. De totale primaire energievraag is dan de som van de zes categorieën en wordt uitgedrukt in MJ.

Non-renewable resources	Fossil	Hard coal, lignite, crude oil, natural gas, coal mining off-gas, peat
	Nuclear	Uranium
	Biomass	Wood and biomass from primary forests
Renewable resources	Biomass	Wood, food products, biomass from agriculture (e.g. straw)
	Wind, solar, geothermal	Wind energy, solar energy (used for heat and electricity), geothermal energy
	Water	Run-of-river, hydro-power, reservoir hydro-power

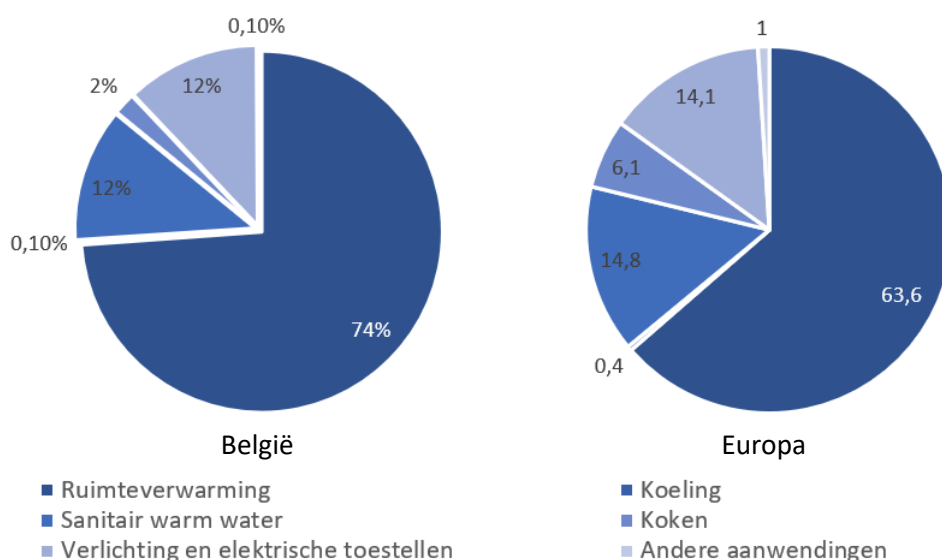
Tabel 3. Categorieën van de primaire energiedragers in de CED-methode (Hischier et al., 2010, p. 34)

2.2.4. Interpretatie

De laatste stap van de LCA is de interpretatie. Hierbij moeten steeds de voorziene randvoorwaarden, hypothesen, vervangingen, enz. in overweging worden genomen. Deze stap bekijkt de invloed van de verschillende levenscyclusfasen bij elke milieu-indicator. Ze bevat een globale conclusie van eerder besproken resultaten en probeert terug te kijken en aanpassingen te doen zodat de milieu-impact waar nodig kan worden verlaagd.

Hoofdstuk 3. Residentiële technische installaties

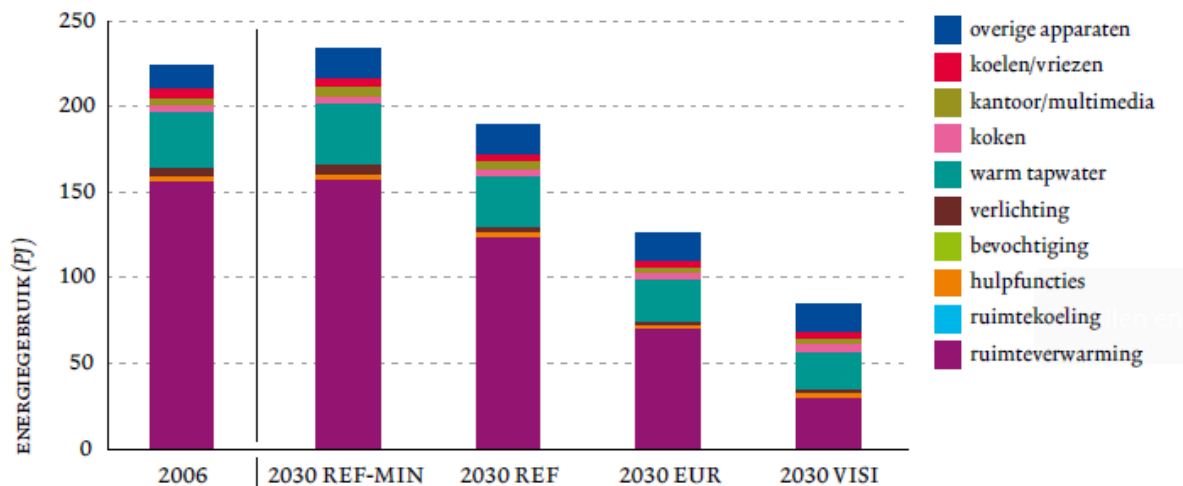
Het energiegebruik in huishoudens kan afhankelijk van hun energiepost worden onderverdeeld in ruimteverwarming, koeling, ventilatie, sanitair warm water, koken, verlichting en elektrische toestellen met elk hun eigen technische installatie. Volgens Himpe et al. (2013) is het belangrijk om systemen te installeren met een grote efficiëntie en een laag elektriciteitsverbruik. Uit onderzoek van Debacker et al. (2013) blijkt dat het grootste milieueffect op de ruimteverwarming en ventilatie gerelateerd is aan de geometrie van het gebouw en de isolatielaag van de gebouwschil, aangezien dit bepalende factoren zijn voor de operationele energie. Bij woningen die niet geïsoleerd zijn is het efficiënter om de warmteweerstand te verhogen dan het verwarmingssysteem te vervangen. Ook bij rijwoningen is het vanuit CO₂-standpunt interessanter om het gebouw meer te isoleren dan PV-panelen te installeren. Het voordeel die wordt gecreëerd door de PV-installatie is slechts in kleine mate groter dan de milieu-impact ten gevolge van de productie van die PV-panelen (Delem et al., 2020).



Grafiek 3. Operationeel energiegebruik van huishoudens in België in 2017 (FOD economie, 2017, p.5) en Europa in 2018 (Eurostat, 2018)

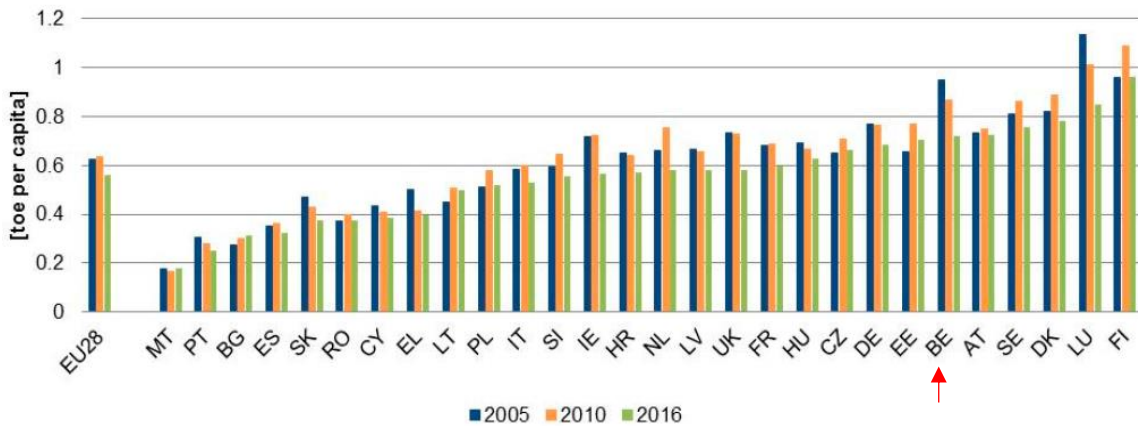
Volgens grafiek 3 die het aandeel van elke energiepost in België en Europa weergeeft, blijkt vooral de ruimteverwarming het grootste energiegebruik te hebben voor zowel België als Europa, respectievelijk 74% en 63,6%. De tweede grootste energiepost is de opwekking van sanitair warm water, in België goed voor 12% en in Europa 14,8%. De verlichting en elektrische toestellen vormen de derde grootste energiepost, in België en Europa respectievelijk goed voor 12% en 14,1% van het totale operationele energiegebruik in huishoudens. Het elektriciteitsgebruik van bijvoorbeeld de warmtepomp of circulatiepomp behoort ook tot de

elektrische toestellen (FOD Economie, 2017). Slechts een klein aandeel van de energie wordt gebruikt voor koeling, koken en andere toepassingen. De milieu-impact van de ruimteverwarming, opwekking van sanitair warm water en hun bijhorend elektriciteitsgebruik worden in deze masterproef omwille van hun grote bijdrage onderzocht.



Grafiek 4. Aandelen van de energieposten bij huishoudens in het REF-MIN, het REF-, het EUR- en het VISI-scenario voor Vlaanderen in 2006 en 2030 (Steertegem et al., 2009, p. 68)

In het Milieuraapport Vlaanderen 2009 (Steertegem et al., 2009) zijn de energieposten bij huishoudens voor 2030 in vier scenario's becijferd zoals weergegeven in grafiek 4. Het referentiescenario houdt rekening met de gekende Vlaamse maatregelen die van kracht zijn in 2008 om het energiegebruik in alle toepassingen te reduceren. Dit scenario is verder opgesplitst in een pessimistische benadering (REF-MIN) en een optimistische benadering (REF). Het Europese scenario (EUR) gaat uit van een voltooiing van de doelstellingen van 2020 die beschreven staan in het Europese Klimaat- en Energiepakket, dewelke strenger zijn dan de Vlaamse doelstellingen. Het visionaire scenario (VISI) beoogt zeer ambitieuze langetermijndoelstellingen waarbij 50% van de emissie van broeikasgassen is gereduceerd tegen 2030 en 80% tegen 2050 in vergelijking met 2006. Elk scenario houdt rekening met de verwachte sloop en nieuwbouw, de evolutie van de energiemix, de zelfopwekking van groene stroom en warmte, enz. Net zoals te zien was in grafiek 3 zijn opnieuw de ruimteverwarming en de opwekking van sanitair warm water de energieposten met het grootste operationele energiegebruik. Opvallend is wel de grote daling van het aandeel ruimteverwarming in de drie laatste staven, waardoor het relatieve aandeel van de andere energieposten belangrijker wordt. Vooral de opwekking van sanitair warm water blijft een grote impact hebben.



Grafiek 5: Operationeel eindenergiegebruik per persoon in de residentiële sector van de 28 EU lidstaten (Tzeiranaki et al., 2019, p.11)

De bovenstaande grafiek 5 toont het operationeel eindenergiegebruik per persoon van de toen nog 28 EU-landen voor zowel 2005, 2010 als 2016. Uit de resultaten blijkt het energiegebruik van bijna elk land in 2016 gedaald te zijn in vergelijking met 2010. België heeft in vergelijking met het Europees gemiddelde een groot operationeel energiegebruik voor de huishoudens en behoort tot de zes grootste eindenergiegebruikers.

In dit hoofdstuk worden de bevindingen uit de literatuur van ruimteverwarming en sanitair warm water verder toegelicht. De informatie gevonden in de literatuur gaat zowel over de milieu-impact als over de ingebedde en operationele energie. Daarnaast wordt er specifiek ingegaan op gecombineerde technische systemen die instaan voor meerdere energieposten.

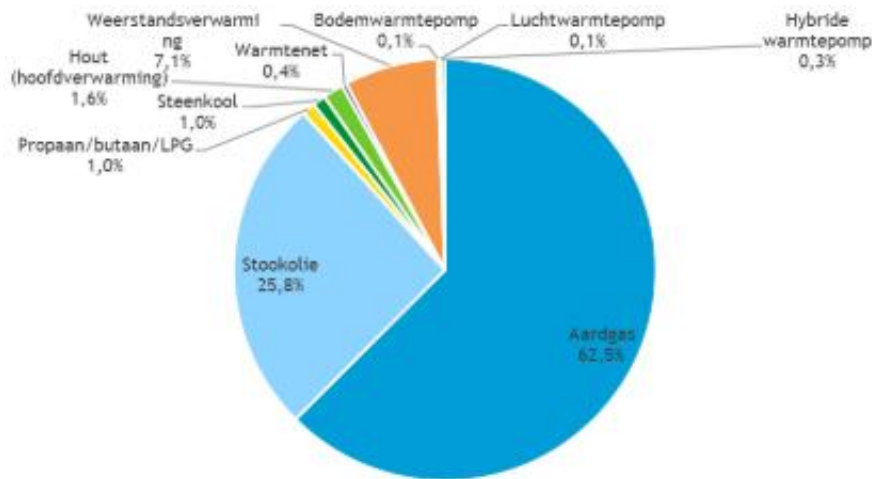
3.1. Ruimteverwarming

De ruimteverwarming kan in verschillende componenten worden onderverdeeld waaronder: opwekking-, distributie-, emissie- en regelsystemen. Bij de opwekking worden fossiele of hernieuwbare energiebronnen omgezet naar bruikbare warmte die vervolgens via water of lucht worden gedistribueerd naar ruimtes met een specifieke warmtevraag. Ter plaatse staan emissiesystemen in voor de afgifte van de warmte ter verhoging van het thermisch comfort van de gebruiker. Regelsystemen kunnen die warmteafgifte van de verwarmingslichamen aanpassen aan de verwarmingsbehoefte.

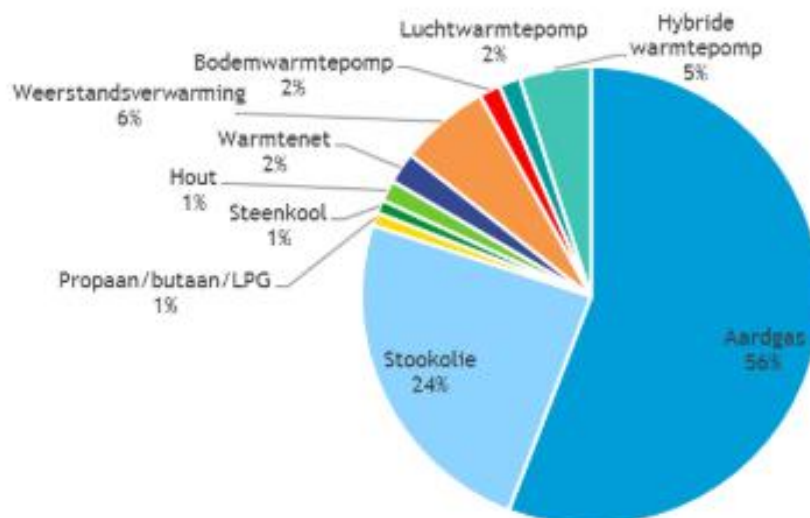
3.1.1. Opwekking

Wanneer gekeken wordt naar de opwekking is zoals te zien in onderstaande Grafiek 7 het aantal woningen in Vlaamse huishoudens die gebruik maakt van een hernieuwbare energiebron als hoofdverwarming nog zeer beperkt. In 2015 blijkt 62,5% van de woningen verwarmd te zijn met aardgas, 25,8% met stookolie en 7,1% met elektriciteit. Het overige deel, minder dan 5%, wordt verdeeld onder propaan/butaan/LPG, hout, steenkool en warmtenet. De warmtepomp wordt slechts voor 0,5% van het aantal woningen in Vlaanderen als warmte-

opwekker gebruikt. Bovendien maakt meer dan de helft van die 0,5% dan gebruik van een hybride warmtepomp, een warmtepomp die de combinatie vormt tussen een lucht-waterwarmtepomp en een gasketel. Bij de huishoudens met een centrale verwarmingsinstallatie die via aardgas verwarmen gebruikt drie vierde een condensatieketel, voor stookolie is dit één op drie (Bruyn et al., 2019).



Grafiek 7. Aandelen van de energiedragers/warmtetechnieken in totaal aantal wooneenheden voor hoofdverwarming in Vlaamse huishoudens in 2015 (Bruyn et al., 2019, p.49)



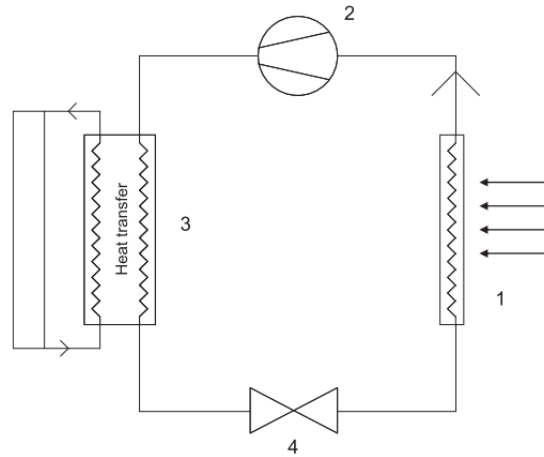
Grafiek 6. Aandelen van de energiedragers/warmtetechnieken in totaal aantal wooneenheden voor hoofdverwarming in Vlaamse huishoudens in 2030 (Bruyn et al., 2019, p.74)

Op basis van de doelstellingen voor 2030 van het Vlaamse energie- en klimaatplan (2019) en berekeningen van de Vlaamse Milieumaatschappij (Bruyn et al., 2019) is er een inschatting gemaakt van het aandeel warmtetechnieken voor verwarming in Vlaamse huishoudens in 2030, zoals weergegeven in Grafiek 6. Het meest opvallende resultaat is de verwachte groei van de warmtepompen, tot 9% van het aantal wooneenheden (Bruyn et al., 2019).

In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op de literatuur van een grond-waterwarmtepomp, een lucht-waterwarmtepomp en een gascondensatieketel, aangezien de meeste woningen in Vlaanderen nog steeds gebruik maken van aardgas als warmtebron, maar het aandeel van de warmtepompen jaarlijks toeneemt.

3.1.1.1. Warmtepomp

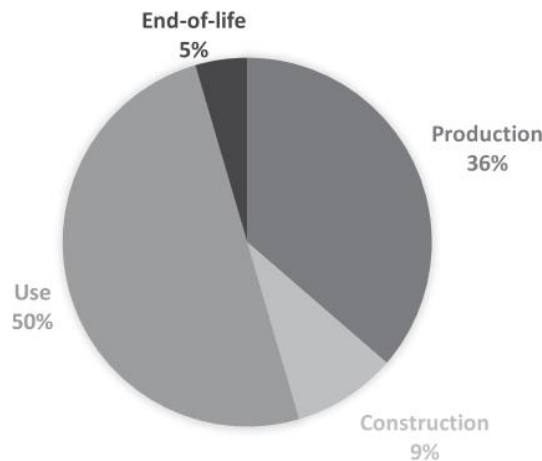
Er zijn heel wat type warmtepompen beschikbaar op de markt afhankelijk van hun energiebron en transportmiddel, maar de werking blijft steeds dezelfde.



Figuur 4. Schematische weergave van een warmtepomp: 1. Verdampers; 2. Compressor; 3. Condensator; 4. Expansieventiel, (Greening et al., 2012, p.3)

Figuur 4 geeft een schematische weergave van de werking van een warmtepomp. De warmte wordt onttrokken aan een warmtebron en wordt afgegeven aan het koelmiddel in de verdampers. De compressor zal de druk in het koelmiddel verhogen waardoor ook de temperatuur stijgt. Het koelmiddel wordt gasvormig en zal vervolgens zijn warmte via de condensator uitwisselen met het verwarmingssysteem van de woning waardoor het koelmiddel terug afkoelt en vloeibaar wordt. Het expansieventiel zal de druk en bijgevolg ook de temperatuur terug verlagen zodat het koelmiddel opnieuw warmte kan opnemen in de verdampers.

Afhankelijk van de warmtebron zijn er verschillende type warmtepompen mogelijk. De meest gebruikte warmtepomp is een lucht-waterwarmtepomp waar de warmte aan de koude buitenlucht wordt onttrokken. Naast de buitenlucht is het is ook mogelijk om de warmte te onttrekken uit de vervuilde extractielucht van ventilatiesysteem D. Een andere vaak gebruikte warmtebron is een grond-waterwarmtepomp, waar de warmte kan worden onttrokken uit de grond of het grond- of oppervlaktewater. Bij een grondgekoppelde waterwarmtepomp kan het gesloten warmtewisselaarcircuit in de grond zowel horizontaal als verticaal lopen.



Grafiek 8. Gemiddelde milieu-impact van warmtepompen per levenscyclusfase (Marinelli et al., 2019, p.214)

Grafiek 8 toont de verdeling van de gemiddelde milieu-impact van warmtepompen over de vier levenscyclusfasen. Vooral de gebruiks- en productiefase blijken een grote invloed te hebben (Marinelli et al., 2019).

Het onderzoek van Blom (2010) gaat na wat de milieu-impact is van ventilatie- en verwarmingssystemen in Nederlandse residentiële gebouwen en bekijkt daarbij onder andere een ventilatielucht-warmtepomp die instaat voor zowel de ruimteverwarming als voor de opwekking van sanitair warm water. Uit de resultaten blijken er vooral drie factoren verantwoordelijk te zijn voor die milieu-impact. Als eerste heeft het elektriciteitsgebruik van de compressor en ventilator een grote impact. Wanneer PV-panelen instaan voor de opwekking van die hulpelektriciteit verbetert de milieu-impact wel, maar lang niet voor alle milieu-indicatoren. De onzekerheid blijft dus in welke mate PV-panelen ervoor kunnen zorgen dat warmtepompen als een meer duurzame verwarmingsinstallatie kan worden gezien.

Ten tweede zorgt het gebruikte koelmiddel voor een hogere milieu-impact, vooral door een grote toename van de aantasting van de ozonlaag. Het gaat hier niet om de gebruiksfase zelf, maar tijdens het productieproces komt er een bepaalde hoeveelheid chloor- en fluorhoudende koolwaterstof (CFK¹³) vrij. Daarnaast zorgt de productie van het koelmiddel ook voor een toename van 20% van de ingebedde energie, aangezien er heel wat elektriciteit voor nodig is. Uit onderzoek van Bovea et al. (2007) blijkt dat kiezen voor andere koelmiddelen weinig effect heeft op de milieu-impact, aangezien alle koelmiddelen in dezelfde grootteorde liggen. Hierdoor lijkt het vanzelfsprekend dat wordt gekozen voor een koelmiddel met het beste rendement. Niet alleen de productie van het koelmiddel zorgt voor een grote milieu-impact, maar ook het lekken ervan. Hierdoor draagt de warmtepomp dus ook bij aan de directe uitstoot van emissiestoffen. Gedurende de levensduur moet het koelmiddel continu worden bijgevuld.

¹³ CFK = Chloorfluorkoolwaterstof, koolwaterstoffen waarvan waterstofatomen zijn vervangen door chloor- en/of fluoratomen en vaak als koelmiddel worden gebruikt.

Er wordt wel steeds gezocht naar koelmiddelen die meer milieuvriendelijk zijn, waardoor die impact in de toekomst kan verminderen. De meest gebruikte koelmiddelen zijn de CFK's. Toch is het niet mogelijk om deze stoffen ongelimiteerd te gebruiken, aangezien Europa steeds strenger wordende eisen oplegt en de zoektocht naar het gebruik van andere vloeistoffen des te groter is.

Als derde heeft het groot materiaalgebruik een nadelige invloed. Een warmtepomp heeft tot tien keer meer materiaal nodig in vergelijking met een gascondensatieketel (Blom, 2010). Verder zorgen voor een grond-waterwarmtepomp het boorgat, de aardsondes en de vloeistof hierin die werkt als warmtedrager voor een bepaalde milieu-impact. Toch zijn met deze opsomming niet alle effecten in rekening gebracht. Zo komt bij een grond-waterwarmtepomp het effect van de boorgaten en de aardsondes op het grondwater niet aan bod. Ook de milieu-indicator landgebruik focust enkel op het aantal vierkante meter land die het element in gebruik neemt, maar de enorme verticale impact, die tot enkele honderd meter diep kan gaan, wordt niet in rekening gebracht.

COP/SPF

Het rendement van een warmtepomp wordt gemeten aan de hand van de COP¹⁴, dit is de ratio tussen de bruikbare energie-output¹⁵ van de warmtepomp en de nodige energie-input van de operationele fase. Die aandrijfenergie is nodig voor de compressor of voor de ventilator van een lucht-waterwarmtepomp.

$$COP_{warmtepomp} = \frac{Q_{bron} + Q_{elektriciteit}}{Q_{elektriciteit}}$$

De efficiëntie kan ook worden berekend door middel van de SPF¹⁶, een gemiddelde COP over het volledige verwarmingsseizoen. De SPF lijkt een meer aangewezen meeteenheid te zijn aangezien deze de weersomstandigheden in rekening brengt. De SPF van een grondwarmtepomp of waterbronwarmtepomp is groter dan van een luchtwarmtepomp door de globaal gezien grotere temperaturen in de winter in de bodem in vergelijking met koude buitenlucht. Onderzoek van Greening en Azanagic (2012) toont aan dat een grotere SPF van een warmtepomp zorgt voor een lagere milieu-impact, aangezien het elektriciteitsgebruik daalt tijdens de operationele fase.

Shah et al. (2008) onderzoeken drie verwarmingssystemen die gedurende de LCA vervangen zijn door modellen met een grotere efficiëntie. De drie systemen kenden allen een daling van

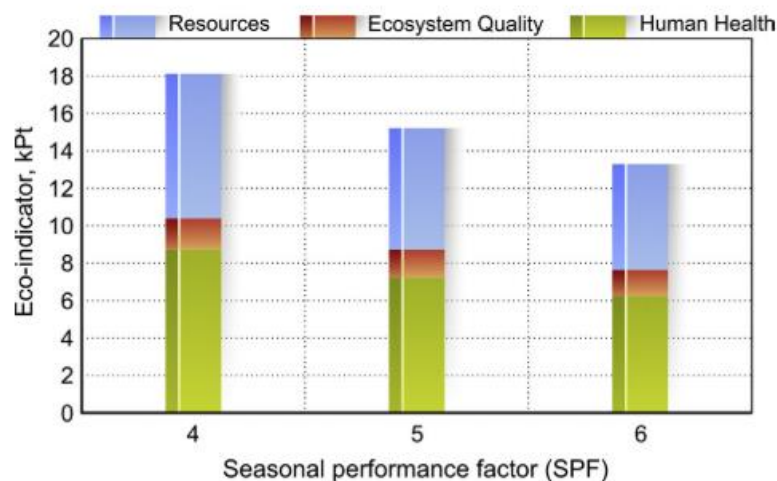
¹⁴ COP: *Coefficient of Performance*

¹⁵ Q = energie

¹⁶ SPF: *Seasonal Performance Factor*

de milieu-impact tot 20%. De volgorde van minst tot meest milieuvriendelijk bleef echter onveranderd. De vertrekwater temperatuur van het distributiesysteem is een belangrijke parameter voor de warmtepomp. Wanneer die output-temperatuur 35°C bedraagt met een COP van 4,4 heeft het een 40% lagere milieu-impact in vergelijking met een condenserende gasketel met dezelfde output-temperatuur. Bij 55°C met een COP van 2,8 is die besparing slechts 4%. Warmtepompen zijn systemen die het best functioneren voor verwarming op lage temperatuur.

Grafiek 9 toont de invloed van de SPF op de milieu-impact van een grond-waterwarmtepomp, berekend aan de hand van de effectbeoordelingsmethode Eco-indicator. Een lagere SPF zorgt voor een grotere milieu-impact. Uit resultaten van Nitkiewicz en Sekret (2014) die een grondwater-waterwarmtepomp vergelijkt met een gasadsorptiewarmtepomp en een gasketel, blijkt dat wanneer de SPF kleiner is dan 5 de grondwater-waterwarmtepomp een grotere milieu-impact heeft dan de gasketel.



Grafiek 9. Invloed van de SPF op de enkelvoudige score van een grondwater-waterwarmtepomp (Nitekiewicz en Sekret., 2014, p.5)

Bij de LCA van een warmtepomp is het dus belangrijk om te weten of de COP/SPF verandert of hetzelfde blijft gedurende de levensduur. Wanneer de warmtepomp niet voldoende onderhouden wordt, is de kans op vuiligheid groter, wat resulteert in een lagere COP.

Grond-waterwarmtepomp

Een grond-waterwarmtepomp maakt gebruik van de grond als warmtebron. Op een diepte van 0,9-1,5 meter zit je met een redelijk constante temperatuur overheen het jaar, wat voor een warmtepomp gunstig is. Aan het begin van het stookseizoen heeft de grond een temperatuur van 10°C. In het stookseizoen wordt die warmte gebruikt om aan het thermisch comfort binnen te voldoen. Aan het eind van het stookseizoen heeft de grond een temperatuur van ca. 4°C

bereikt die in de zomer kan worden gebruikt om passief te koelen zonder gebruik te maken van de compressor.

Er bestaan zowel open als gesloten systemen. Een gesloten systeem maakt gebruik van aardsondes die in de grond worden aangebracht en zowel volgens een horizontaal als verticaal circuit kunnen verlopen. Die aardsondes zijn opgevuld met een vloeistof, meestal een mengsel van water en glycol, die werkt als warmtedrager om de warmte van de grond naar de verdampers van de warmtepomp te transporteren. Een open systeem daarentegen gebruikt het grondwater meteen als warmtedrager. Dat grondwater gaat zijn warmte niet rechtstreeks uitwisselen met de warmtepomp, maar wel via een extra platenwisselaar dewelke het vervolgens via een circuit van water/glycol met de verdampers uitwisselt. In de verdampers wordt die warmte overgedragen aan het koelmiddel.

Saner et al. (2010) willen nagaan wat de milieu-impact is van een grond-waterwarmtepomp aan de hand van de effectbeoordelingsmethode ReCiPe 2008, de voorloper van ReCiPe 2016. Net zoals in andere onderzoeken blijkt ook hier het elektriciteitsgebruik de grootste milieu-impact te hebben voor 17 van de 18 beschouwde middelpunt-indicatoren met variatie tussen de 70 en 99%, als enkelvoudige score goed voor 87,1% van de totale milieu-impact. Enkel de milieu-indicator 'aantasting van de ozonlaag' is gedomineerd door het koelmiddel, dewelke voor 6,1% deel uitmaakt van de enkelvoudige score. In het onderzoek worden vervolgens drie scenario's toegepast op de vier milieu-indicatoren die het meeste bijdragen aan de milieu-impact (klimaatverandering, uitputting fossiele grondstoffen, fijnstofvorming en ecotoxiciteit van zoet water). Het eerste scenario veronderstelt een complete lekkage van de warmte-dragende vloeistof in de aardsondes. Het tweede scenario gaat uit van een complete lekkage van het koelmiddel. Het derde scenario gaat uit van een degradatie van de COP van 4 naar 3 door een verkeerde beoordeling van de grond. De resultaten tonen aan dat het eerste scenario bijna geen invloed heeft op de milieu-impact. Het tweede scenario zorgt enkel voor een stijging van de CO₂-uitstoot, vooral in regio's met een weinig koolstofhoudende energiemix. Het derde scenario daarentegen zorgt wel voor een grote impact. De invloed van de COP wordt bijkomstig specifiek onderzocht in een masterproef aan de universiteit van Minnesota (Li, 2012). Li onderzoekt het verschil in broeikasgasemissies van vier scenario's van een grond-waterwarmtepomp: horizontaal of verticaal circuit en een lage of hoge COP.

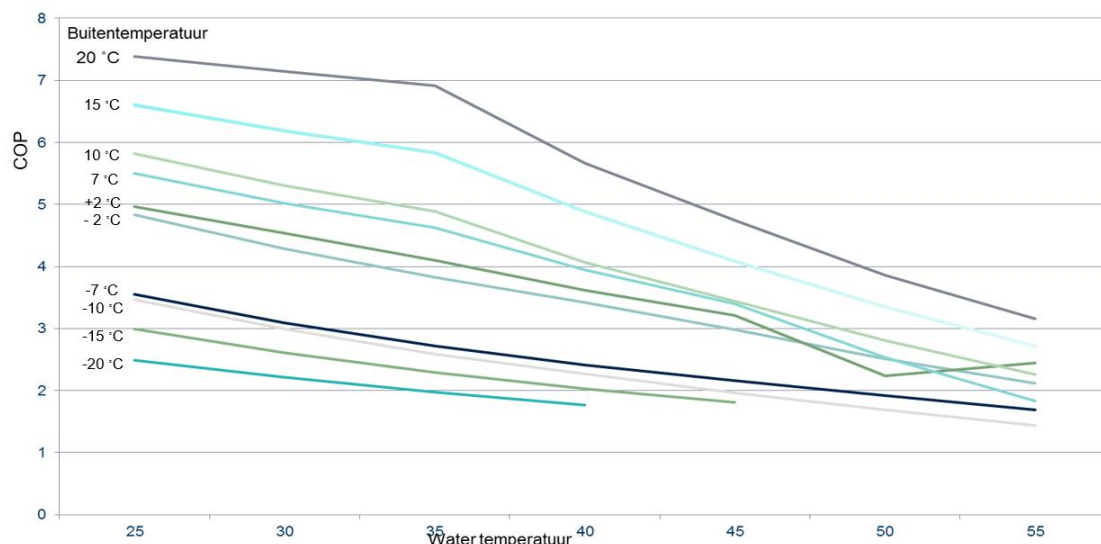
	Lage COP		Hoge COP	
Circuit	horizontaal	verticaal	horizontaal	verticaal

Tabel 4. Vier scenario's voor de grond-waterwarmtepomp uit het onderzoek van Li et al. (2012, p.34)

De resultaten van dat onderzoek tonen aan dat bij een lage COP het horizontale circuit een grotere uitstoot heeft dan het verticale circuit. Bij een hoge COP heeft het verticale circuit de grootste uitstoot. Opvallend is dus dat elk circuit zowel de grootste als kleinste broeikasgasuitstoot kan hebben, afhankelijk van de COP.

Lucht-waterwarmtepomp

De lucht-waterwarmtepomp maakt gebruik van de buitenlucht als warmtebron. Een ventilator zuigt de buitenlucht over de verdamper aan die op die manier zijn warmte afgeeft aan het koelmiddel. Er zijn twee opstellingen mogelijk. De ene optie bestaat uit een monoblock-systeem waar zowel de verdamper als condensor in de buitenunit zitten. De andere optie is een split-unit waarbij de verdamper in de buitenunit, maar de condensor in de binnenunit zit.



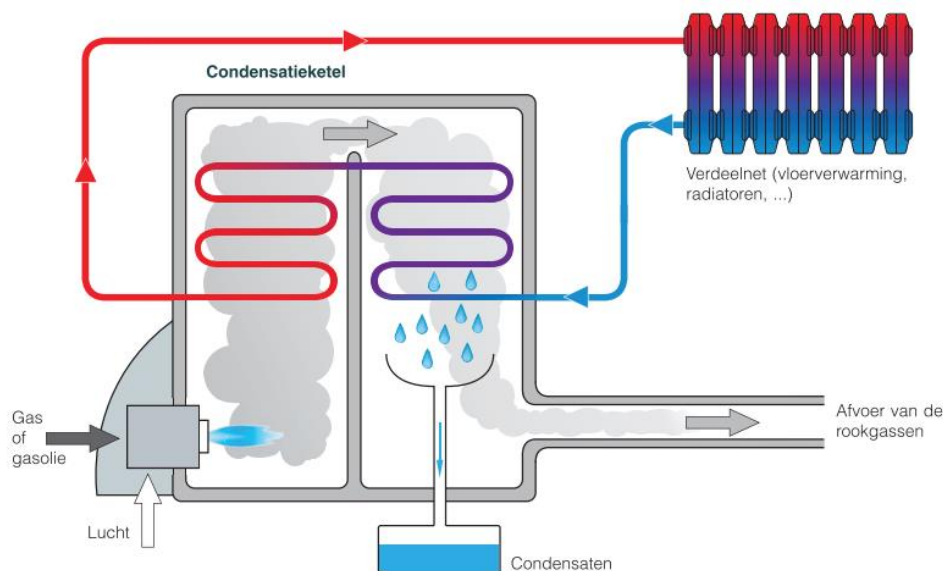
Grafiek 10. COP van een lucht-waterwarmtepomp in functie van de buitentemperatuur en de vertrekwatertemperatuur (COP, SCOP en rendement van een warmtepomp, 2019)

Aangezien de buitentemperatuur een variërende parameter is, zal ook de COP doorheen het jaar sterk variëren. Grafiek 10 toont het verband tussen de COP, de buitentemperatuur en de keuze van vertrekwatertemperatuur. Bij eenzelfde vertrekwatertemperatuur daalt de COP bij koudere buitentemperaturen en omgekeerd. Verder geldt ook dat hoe hoger de vertrekwatertemperatuur, hoe lager de COP.

3.1.1.2. Gascondensatieketel

Ketels halen hun energie uit de verbranding van fossiele brandstoffen. Afhankelijk van het vollastrendement zijn er drie soorten ketels mogelijk. Een standaardketel en hoogrendementsketel bereikt voor een vertrekwatertemperatuur van 70°C een vollastrendement van meer dan 85% en 90% respectievelijk. Deze ketels laten echter wel een deel van de vrijgekomen energie ontsnappen via de schoorsteen naar buiten. De rookgassen kunnen bij het vrijkomen nog een temperatuur hebben van 180 à 250°C en 120 à 140°C respectievelijk.

Om het vollastrendement te vergroten is het wenselijk om de temperatuur van die rookgassen zo laag mogelijk te houden, wat mogelijk is via een lage vertrekwatertemperatuur of condensatie. Een gascondensatieketel maakt dus gebruik van die energie uit de waterdamp van rookgassen zoals weergegeven in figuur 5. Bij een voldoende lage vertrekwater-temperatuur kunnen de rookgassen een temperatuur bereiken die lager ligt dan hun dauwpunt¹⁷, wat bij aardgas rond de 50°C ligt. Zo bereikt de gascondensatieketel bij een vertrekwatertemperatuur van 30°C een vollastrendement van meer dan 98% met een maximum van 109% (Sasnauskaitė et al., 2007). Het grootste rendement wordt dus bereikt bij een verwarmingssysteem op lage of zeer lage temperatuur. Toch is het ook mogelijk om gascondensatieketels aan te sluiten op verwarmingssystemen met een hoog temperatuurregime. Hoewel er dan meestal geen condensatie in de rookgassen optreedt, blijkt het rendement toch hoger te zijn dan een niet-condenserende ketel (WTCB, 2010).



Figuur 5. Werking van een gascondensatieketel (WTCB, 2010, p.2)

Stookketels die werken op fossiele brandstoffen zijn binnen de Europese Unie verantwoordelijk voor bijna 50% van de totale uitstoot van broeikasgassen in de residentiële sector. Het gebruik van condensatieketels ten opzichte van standaardketels zorgt wel voor een daling van 15% van die uitstoot van broeikasgassen (WTCB, 2010). Toch is naast de lagere milieu-impact de ingebede energie van een gascondensatieketel wel anderhalve keer groter in vergelijking met een niet condenserende ketel. Dit komt vooral door het gebruik van roestvrij staal in sommige onderdelen (Debacker et al., 2013).

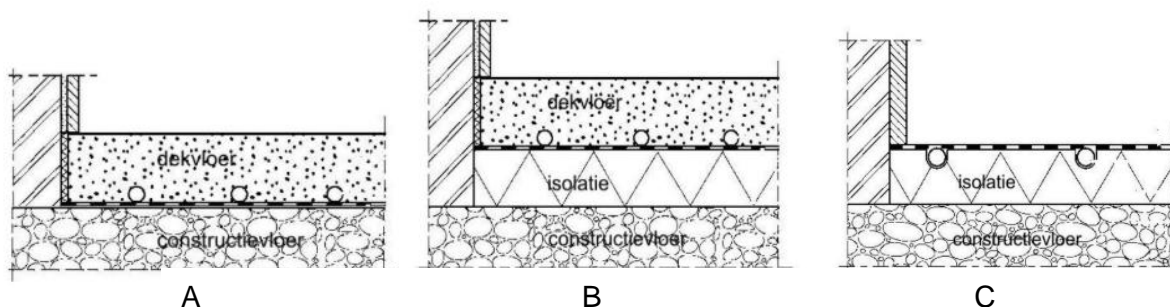
¹⁷ Het dauwpunt is de temperatuur waarbij de waterdamp uit de rookgassen condenseert.

3.1.2. Distributie-, emissie- en regelsysteem

Bij de LCA van technische installaties wordt in veel gevallen enkel de opwekkingscomponent beschouwd, maar de bijhorende distributie-, emissie- en regelsystemen worden ofwel verwaarloosd, ofwel wordt een vereenvoudigde waarde aangenomen. Het distributiesysteem bestaat uit meer dan enkel maar een aantal lopende meter buis. Er zijn nog andere componenten zoals: circulatiepompen, mengkranen, drukverschilventielen, temperatuursensoren, verdeelcollectoren, enz. nodig. De opgewekte warmte kan zowel via de lucht als via water worden getransporteerd, maar de operationele energie voor de distributie met lucht is wel groter in vergelijking met de operationele energie nodig voor de distributie met water. Dit komt doordat de ventilator een groter elektriciteitsgebruik heeft dan de circulatiepomp (Shah et al., 2008).

In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op de werking, milieu-impact en ingebede energie uit literatuur van vloerverwarming en radiatoren.

Voor de installatie van de vloerverwarming zijn er drie veelvoorkomende uitvoeringssystemen mogelijk zoals weergegeven in figuur 6. Bij het zware systeem bevinden de leidingen zich in de dekvloer zonder tussenliggende isolatielaag direct op de betonconstructie. Bij een middelzwaar systeem liggen de leidingen ook in de dekvloer, maar ligt er tussen de betonvloer en dekvloer een isolatielaag. Bij het lichte systeem liggen de leidingen in de isolatielaag, maar zonder dekvloer (van de Cruijs, 2009). Naast de verschillende types vloeropbouw kunnen de waterleidingen ook op verschillende wijze worden bevestigd, zowel via clips, een noppenfolie of -plaat, een gesleufd aluminium profiel of een demontabel systeem (D'haeze, 2019). Radiatoren daarentegen worden ofwel neergezet op de vloer, ofwel via metalen beugels gehangen aan de muur.



Figuur 6. Uitvoeringsmogelijkheden van vloerverwarming
(A. zwaar systeem, B. middelzwaar systeem, C. licht systeem), (van de Cruijs, I., 2009, p.111)

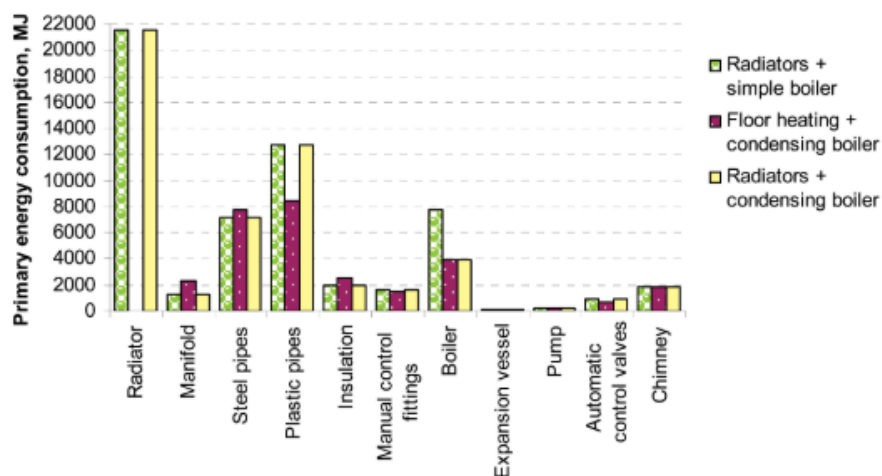
Het type afgiftesysteem hangt samen met het gekozen opwekkingsysteem en het bijhorend temperatuurregime. Een laag temperatuurregime heeft enkele duurzame voordelen. Er is ten eerste minder energie nodig om de insteltemperatuur te bereiken. Ten tweede zorgen die lagere temperaturen voor een kleiner warmteverlies. Ten derde zorgt een lage

temperatuurverwarming voor een hoog systeemrendement, zeker door de combinatie met energieproductiesystemen met lage temperatuuroorsprong, zoals warmtepompen of zonneboilers (D'haeze, 2019). Zoals weergegeven in tabel 5 is het voor radiatoren aangewezen om er gebruik van te maken bij een vertrekwatertemperatuur van 40°C of meer. Het temperatuurverschil tussen het vertrek- en retourwater is minimum 10 en maximum 20°C. Voor vloerverwarming bestaat de mogelijkheid om een vertrekwatertemperatuur in te stellen tussen de 30°C en 55°C. Het temperatuurverschil tussen vertrek- en retourwater kan hier zelf slechts 5°C bedragen.

Warmteafgifte-systeem	Hogetemperatuurverwarming	Lagetemperatuurverwarming	Zeer-lagetemperatuurverwarming
	$\theta_{w,l} > 55 \text{ °C}$ (1) $15 \leq \Delta\theta_w \leq 20 \text{ K}$ (2)	$40 \leq \theta_{w,l} \leq 55 \text{ °C}$ (1) $10 \leq \Delta\theta_w \leq 15 \text{ K}$ (2)	$30 \leq \theta_{w,l} < 40 \text{ °C}$ (1) $5 \leq \Delta\theta_w \leq 10 \text{ K}$ (2)
Radiator / Convactor	←————→		
Vloer-, plafond- of wandverwarming		←————→	
Thermoactieve bouw-elementen			←————→
(1) $\theta_{w,l}$: temperatuur van het vertrekwater. (2) $\Delta\theta_w$: temperatuurverschil tussen het vertrek- en het retourwater.			

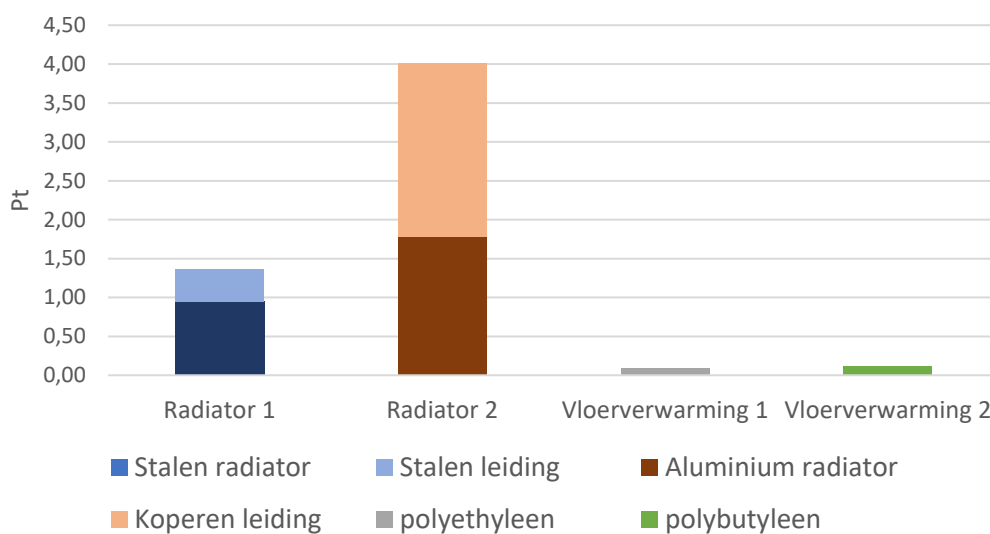
Tabel 5. Conventies voor de watertemperaturen in verschillende warmteafgiftesystemen, (WTCB-Rapport nr. 14, 2013, p. 66)

Uit onderzoek van Sasnauskaitė et al. (2007) naar het energiegebruik tijdens de productiefase van radiatoren en vloerverwarming van een standaard ketel en gascondensatieketel blijkt dat de ingebedde energie van een distributiesysteem met radiatoren groter is dan dat van vloerverwarming. Grafiek 11 toont het groot aandeel ingebedde energie van het distributie-, emissie- en regelsysteem in vergelijking met het opwekkingscomponent, waarvan de radiator de grootste ingebedde energie heeft.



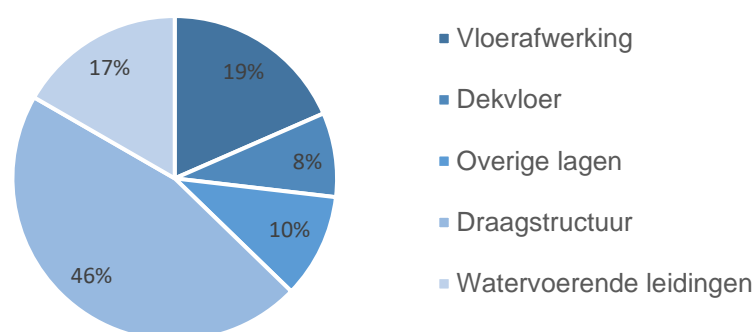
Grafiek 11. Vergelijking van het primair energiegebruik tijdens de productiefase (Sasnauskaitė et al., 2007, p.9)

Onderzoek van Prek (2004) naar de milieu-impact van radiatoren met bijhorend distributiesysteem via de Eco-indicator 95'-methode toont aan dat de aluminium radiator met koperen leidingen een milieu-impact heeft die drie keer groter is dan die van een stalen radiator met stalen leidingen, zie grafiek 12. De aluminium radiator heeft een milieu-impact die dubbel zo groot is dan de stalen radiator. Opvallend is de grote milieu-impact van de koperen leiding, vijf keer zo groot in vergelijking met de milieu-impact van een stalen leiding, ondanks zijn kleinere dimensie. Bij de vergelijking van de impact van vloerverwarming blijkt de impact van dit emissiesysteem twaalf keer kleiner te zijn vergelijking met radiatoren. De vloerverwarming heeft geen uitgesproken verschil in materiaalkeuze. Bij de vergelijking van een polyethyleen leiding met een polybutyleen leiding is het verschil echt nihil (Prek, 2004).



Grafiek 12. Milieu-impact van radiator en leiding via de Eco-Indicator 95'-methode (Prek, 2004, p.4)

Er zijn wel grote verschillen te vinden tussen een standaard vloer en een stralingsvloer. Uit onderzoek van D'haeze (2019) blijkt de milieukost van een vloeropbouw met vloerverwarming twaalf keer groter te zijn dan die van een standaard vloer. Voor elke laag zijn verschillende materialen ten opzichte van elkaar getest. Grafiek 13 toont de milieukost van elk laag, berekend op basis van de mediaan van alle resultaten. Hieruit blijkt dat de watervoerende leidingen voor 17% verantwoordelijk zijn voor de milieukost van de vloer.



Grafiek 13. Milieukost van een thermisch geactiveerde vloer (D'haeze J., 2019, p.69)

3.1.3. Vergelijking milieu-impact warmtepomp – gascondensatieketel

Bij de vergelijking tussen een residentiële lucht-waterwarmtepomp, grond-waterwarmtepomp, en een gascondensatieketel in het Verenigd Koninkrijk met de CML 2001 baselinemethode heeft de lucht-waterwarmtepomp de grootste milieu-impact en de gascondensatieketel de laagste voor de meeste milieu-indicatoren (Greening en Azapagic, 2012). Enkel de klimaatverandering, uitputtingspotentieel van fossiele grondstoffen en fotochemische oxidantvorming zijn de uitzonderingen. Dit resultaat is zeer verrassend aangezien de warmtepomp net ontwikkeld is om een duurzaam alternatief te bieden. Stel dat in het Verenigd Koninkrijk alle gascondensatieketels worden vervangen door luchtwarmtepompen, dan zouden wanneer naar de directe uitstoot van broeikasgassen in de operationele fase wordt gekeken de totale emissies met 13% toenemen. Bij de vervanging door grond-waterwarmtepompen of waterbron-warmtepompen zouden de emissies wel met 12,8% dalen. Uit onderzoek van Saner et al. (2010) blijkt dat dergelijke resultaten afhankelijk zijn van de beschouwde energiemix. In landen met een laag koolstofhoudende energiemix ontstaan CO₂-besparingen van 76-83% voor de grond-waterwarmtepomp bij de vergelijking met een gascondensatieketel. De besparingen zijn nog groter bij vergelijking met een stookolieketel. In landen met een groot CO₂-gehalte in de energiemix zoals Griekenland en Macedonië scoren de conventionele verwarmingstechnieken echter beter dan de grond-waterwarmtepomp, maar alleen wanneer de passieve koeling niet in rekening wordt gebracht. Zoals vermeld in hoofdstuk 2.2.3 is het belangrijk om naar zoveel mogelijk milieu-indicatoren te kijken die van toepassing zijn bij het vooropgestelde doel om een meer genuanceerd beeld te krijgen.

3.2. Sanitair warm water

Net zoals de ruimteverwarming kan de technische installatie van het sanitair warm water, verder afgekort als SWW, worden onderverdeeld in verschillende componenten: opwekking, opslag, distributie en tappunten. Vaak is het opwekkingsstelsel gekoppeld aan het opwekkingscomponent van de ruimteverwarming en wordt er directe bijverwarming voorzien, maar er zijn ook zelfstandige systemen mogelijk. Afhankelijk van de opwekking zijn er twee verschillende systemen mogelijk: een doorstroomsysteem (geiser) of volledige accumulatie. Het doorstroomsysteem of geiser maakt sanitair warm water aan op het ogenblik van de vraag. Er is geen opslagvat nodig en indien correct gedimensioneerd is er een onbeperkte hoeveelheid SWW voorradig, wat een groot comfort met zich meebrengt. Bij volledige accumulatie wordt het SWW voor de vraag aangemaakt en opgeslagen in een buffervat, waardoor ze een lager vermogen nodig hebben om hetzelfde verbruik te dekken. Door het SWW vaak 's nachts op te warmen en het overdag op temperatuur te houden is er een goede

comforttemperatuur. Daarnaast is er ook een combinatie tussen de twee voorgaande mogelijk, een semi-accumulatiesysteem.

In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op de werking, milieu-impact, ingebedde en operationele energie van volledige accumulatiesystemen: een gasboiler, zonneboiler en warmtepompboiler. Uit onderzoek van Debacker et al. (2013) blijkt dat de meeste sanitair warm watersystemen dezelfde initiële milieukost en levenscyclusmilieukost hebben, met uitzondering van de zonneboiler en de elektrische boiler. De zonneboiler heeft een grote initiële milieukost omwille van het extra materiaalgebruik, maar eenzelfde levenscyclusmilieukost, terwijl de elektrische boiler eenzelfde initiële milieukost heeft, maar een grotere levenscyclusmilieukost.

3.2.1. Gasboiler

Met een gasboiler zorgt de verbranding van gas voor de verwarming van het SWW. In het midden van het waterreservoir zit een vlampijp met daaronder een gasbrander. Wanneer de temperatuur van het water in het buffervat onder het ingestelde minimum komt, ontsteekt de brander en wordt het water terug op de juiste insteltemperatuur gebracht.

3.2.2. Zonneboiler

Een zonneboiler bestaat uit meerdere onderdelen. Buiten de woning staan zonnecollectoren opgesteld die de ontvangen zonnestrallen omzetten in warmte. Er bestaan twee types zonnecollectoren: een vlakkeplaatcollector en vacuumbuiscollector. Via leidingen, opgevuld met een water-glycol mengsel, staat de zonnecollector in verbinding met een warmtewisselaar in het voorraadvat die het SWW voorverwarmd. Het geheel van zonnecollector, leidingen en de warmtewisselaar noemt men de primaire kring (WTCB, 1999). De zonneboiler is echter niet in staat om de volledige energievraag voor SWW te dekken, waardoor een tweede opwekkingscomponent noodzakelijk is. Afhankelijk van de ligging, helling en oriëntatie van de zonnecollectoren kan de zonneboiler voor 50-60% van de jaarlijkse tapwaterbehoefte instaan. Dit percentage heet de solaire dekkingsgraad.

Resultaten van Genkinger et al. (2012) die de milieu-impact van een warmtepomp in combinatie met zonnepanelen of zonnecollectoren onderzoeken, tonen aan dat er geen verschil is tussen de milieu-impact van een vlakkeplaatcollector en een vacuumbuiscollector, zolang de energie-ouput maar dezelfde is.

3.2.3. Warmtepompboiler

Een warmtepompboiler gebruikt de warmte uit de extractielucht van het ventilatiesysteem of de buitenlucht om het SWW te verwarmen. De combinatie met extractielucht is enkel mogelijk indien de warme extractielucht nog niet via een warmtewisselaar van het ventilatiesysteem wordt gemengd met de koude buitenlucht. In zo een geval zal de warmtewisselaar die extractielucht al sterk afgekoeld hebben tot de buitentemperatuur. De werking van een warmtepompboiler is hetzelfde als een warmtepomp die instaat voor ruimteverwarming. Alleen zal de warmte uit het koelmiddelcircuit die bij de condensor vrijkomt niet worden uitgewisseld met het ruimteverwarmingssysteem, maar wel via waterleidingen met een voorraadvat. Dat vat kan zowel geïntegreerd als losstaand zijn. Warmtepompboiler zouden in staat moeten zijn om de volledige jaarlijkse energievraag voor SWW te dekken.

3.3. Gecombineerde systemen

Door de technische installatie van de ruimteverwarming en het sanitair warm water te combineren tot één opwekkingsysteem in plaats van twee aparte systemen geldt de vraag of de materiaalimpact nu gedaald of gestegen is en wat de impact op de operationele fase is. Het distributie- en emissiesysteem en de tappunten zullen grotendeels hetzelfde blijven.

Configuration SH	Configuration DHW	IE (€/m ² fl net)	LE (€/m ² fl net)
Gas atmospheric; MV + RT + OS	Instant; coupled	1.8	110.8
Gas atmospheric; MV + RT + OS	2 geysers	1.9	108.8
Gas burner; MV + RT + OS	2 geysers	2.0	104.4
Gas condensing; TV + clock	2 geysers	2.6	94.8
Gas condensing; TV + clock + OS	2 geysers	2.6	91.8
Ground/water heat pump; horizontal; TV + RT + OS	Storage vessel	10.9	87.1
Ground/water heat pump; vertical; TV + RT + OS	Storage vessel	12.6	83.4
Air/water heat pump; TV + RT + OS	Storage vessel + solar boiler, type a	13.1	83.0
Ground/water heat pump; horizontal; TV + RT + OS	Storage vessel + solar boiler, type a	13.4	73.7
Ground/water heat pump; vertical; TV + RT + OS	Storage vessel + solar boiler, type a	15.1	70.1

MV = manual valves; TV = thermostatic valves; clock = clock control; RT = room thermostat; OS = outside temperature sensor.

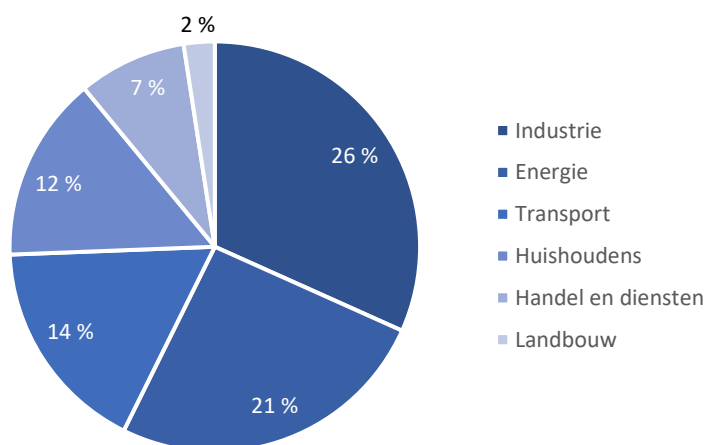
Tabel 6. Initiële milieukost (IE) en levenscyclusmilieukost (LE) van een goed geïsoleerde woning met K-peil 20 (Debacker et al., 2013, p.9)

Debacker et al. (2013) deden onderzoek naar de milieukost van zowel ruimteverwarmings- als sanitairwarmwaterinstallaties en concludeerden dat de grond-waterwarmtepomp met verticale aardsondes voor de ruimteverwarming in combinatie met een zonneboiler voor de opwekking van SWW de laagste levenscyclusmilieukost, maar wel de grootste initiële milieukost heeft. Een grond-waterwarmtepomp met verticale aardsondes voor ruimteverwarming zonder zonneboiler heeft een 19% hogere levenscyclusmilieukost en een 19% lagere initiële milieukost. Hieruit blijkt dat het toevoegen van een zonneboiler zorgt voor een lagere impact, aangezien de impactdaling ten gevolge van de zonne-energiewinsten groter is dan de impactstijging ten gevolge van de extra materiaalimpact. De vergelijking met het scenario bestaande uit de lucht-waterwarmtepomp en zonneboiler toont aan dat de initiële milieukost lager ligt dan de grond-waterwarmtepomp, maar de levenscyclusmilieukost hoger (Debacker et al., 2013).

Naast zonnecollectoren en PV-panelen bestaan er ook hybride PV/T-systemen die zowel over een PV-module beschikt om elektriciteit op te wekken als over een warmtewisselaar met een circulerende vloeistof waar de onttrokken warmte wordt gebruikt voor de opwekking van sanitair warm water. Het hybride systeem produceert meer bruikbare energie per oppervlakte-eenheid. Volgens een Griekse studie van Souliotis et al. (2018) werkt het hybride systeem efficiënter in vergelijking met een standaard zonnecollector in combinatie met een PV-systeem, maar blijkt ze toch minder milieuvriendelijk te zijn tijdens de constructie- en gebruiksfase.

Hoofdstuk 4. Energie

Door de toekomstige sluiting van de kerncentrales en de slinkende voorraad aan fossiele brandstoffen wordt de nood aan hernieuwbare energie steeds belangrijker. Wereldwijd is er maar 41 jaar oliereserve, 62 jaar aardgasreserve en 137 jaar steenkoolreserve aanwezig (Brouwers et al., 2010). Deze cijfers benadrukken het wereldwijde belang van hernieuwbare energiebronnen, dus ook in de residentiële sector. Op alle mogelijke bestuursniveaus worden maatregelen getroffen om het energiegebruik tot een minimum te beperken, zo ook op Europees niveau. Het uitgewerkte kader voor energie en klimaat tegen 2030 heeft als doelstelling om de uitstoot van broeikasgassen met 40% te verminderen ten opzichte van 1990, het totale energiegebruik op Europese schaal voor 27% te dekken met hernieuwbare energie en de energie-efficiëntie met 27% te verbeteren. Rekening houdend met alle energiesectoren en de trend van bevolkingsgroei, gezinsverdunning en industriële groei zal het energiegebruik volgens toekomstscenario's geen daling, maar net een groei hebben. De residentiële sector daarentegen zorgt wel voor een positieve evolutie. Volgens het scenario waarin de doelstellingen worden gehaald zal het energieverbruik van de residentiële sector met 43% verminderen (Steertegem et al., 2009). Voor Vlaanderen is naast de industrie-, energie- en transportsector de residentiële sector momenteel de vierde grootste energiegebruiker in Vlaanderen, zoals weergegeven in grafiek 14.



Grafiek 14. Aandeel van het bruto binnenlands energiegebruik per sector (Milieuraapport, 2017)

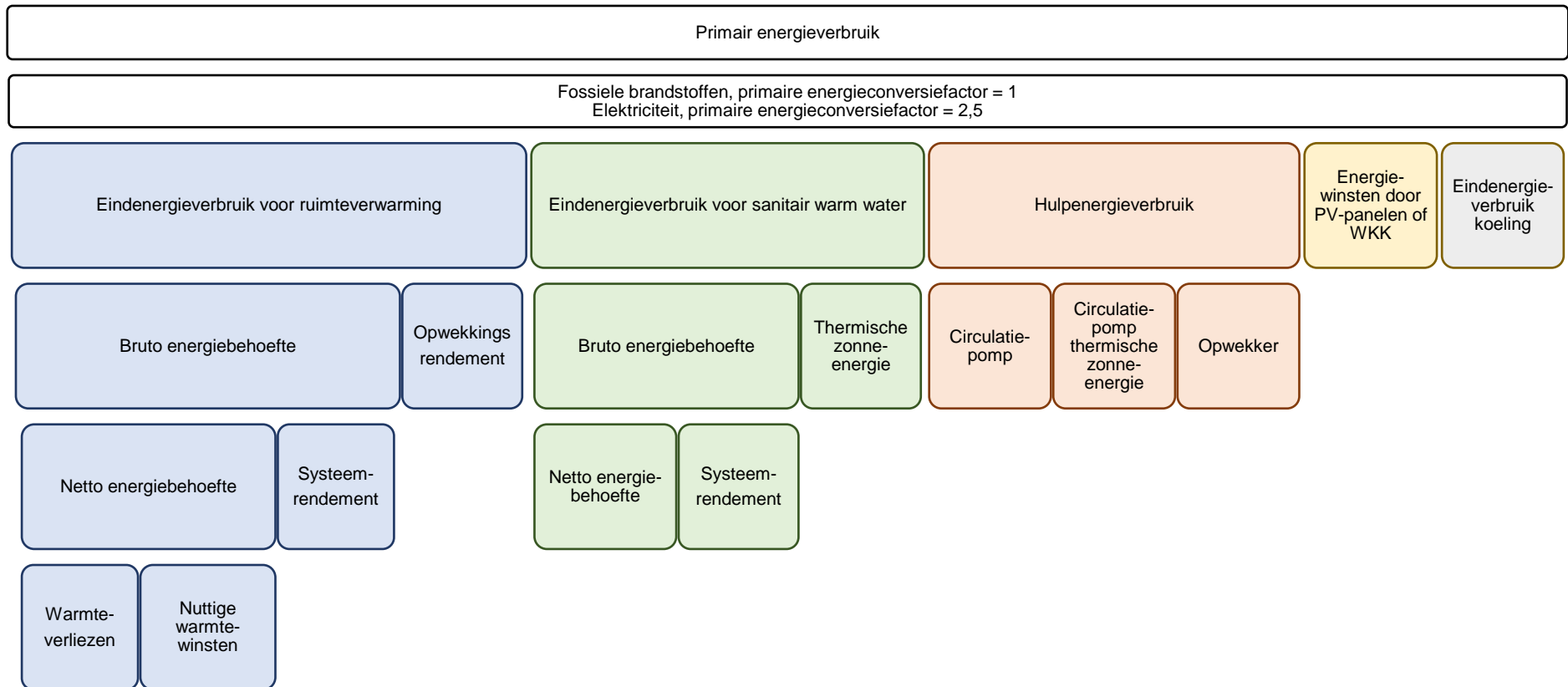
Het is overigens belangrijk om te kiezen voor een milieuvriendelijke energiebron. Uit onderzoek van D'haeze (2019) blijkt de milieukost van 1 kWh elektriciteit (€/kWh) bijna zeven keer groter te zijn dan de milieukost voor 1 kWh gas, waarbij de verschillen zich voornamelijk voordoen bij de milieu-indicatoren klimaatverandering, vermesting en menselijke toxiciteit.

4.1. Soorten energiegebruik

Het energiegebruik van een woning kan op verschillende manieren worden uitgedrukt. Een schematische weergave van de energieposten is terug te vinden in figuur 7. Het primair energieverbruik geeft het verbruik op niveau van de grondstoffen weer. De rendementsverliezen ten gevolge van ontginning of distributie worden hier in rekening gebracht (Himpe & Trappers, 2011). Bij het primair energieverbruik van een woning wordt rekening gehouden met vijf types eindenergieverbruik: de ruimteverwarming, de opwekking van sanitair warm water, de hulpenergie, eventuele koeling en energiewinsten door PV-panelen of warmtekrachtkoppeling (WKK). De energieposten van koeling en WKK worden in deze masterproef buiten beschouwing gelaten. Om het primair energiegebruik te bekomen mogen deze vijf types niet zomaar bij elkaar worden opgeteld. Bij de omzetting van de eindenergie naar primaire energie wordt per type energiedrager (elektriciteit, gas, gasolie, ...) het eindenergieverbruik vermenigvuldigd met een primaire energieconversiefactor f_p (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021). Deze factor geeft weer hoeveel primaire energie er nodig is om één hoeveelheid eindenergie te voorzien (Himpe & Trappers, 2011). In de EPB-software wordt aan alle fossiele brandstoffen een factor 1 toegekend. Voor elektriciteit is die factor 2,5 aangezien rekening wordt gehouden met 60% productie- en distributieverliezen tussen de elektriciteitscentrale en de gebruiker (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2021).

Het eindenergieverbruik voor ruimteverwarming is de bruto energiebehoefte die via de opwekker het gebouw binnenkomt en rekening houdt met het opwekkingsrendement door onder andere de verbrandingsverliezen, schoorsteenverliezen, enz. Het is afhankelijk van verschillende factoren zoals de ingestelde temperatuur voor de ruimteverwarming, de duur van die ingestelde temperatuur, het aantal gebruikers, enz. De bruto energiebehoefte bestaat uit de netto energiebehoefte en de extra energie die de opwekker moet afgeven ten gevolge van distributieverliezen, stilstandsverliezen, ... De netto energiebehoefte is de hoeveelheid energie die het emissiesysteem moet afstaan en is bepaald door de warmteverliezen, interne winsten en zonnepwinsten. Dezelfde verdeling geldt voor het eindenergieverbruik voor de opwekking van sanitair warm water waarbij het bruto energieverbruik kan worden verminderd door energie geproduceerd door een thermisch zonne-energiesysteem.

Het eindenergieverbruik voor de hulpfuncties bestaat uit de energie nodig voor ventilatoren, circulatiepompen, opwekkers, circulatiepompen voor thermische zonne-energie en eventuele *free-chilling* en voorkoeling. De eindenergie nodig voor ventilatoren en koeling worden in deze masterproef buiten beschouwing gelaten. De drie beschouwde energieposten kunnen worden verminderd door energiewinsten van PV-panelen in het geval het om elektriciteit gaat.

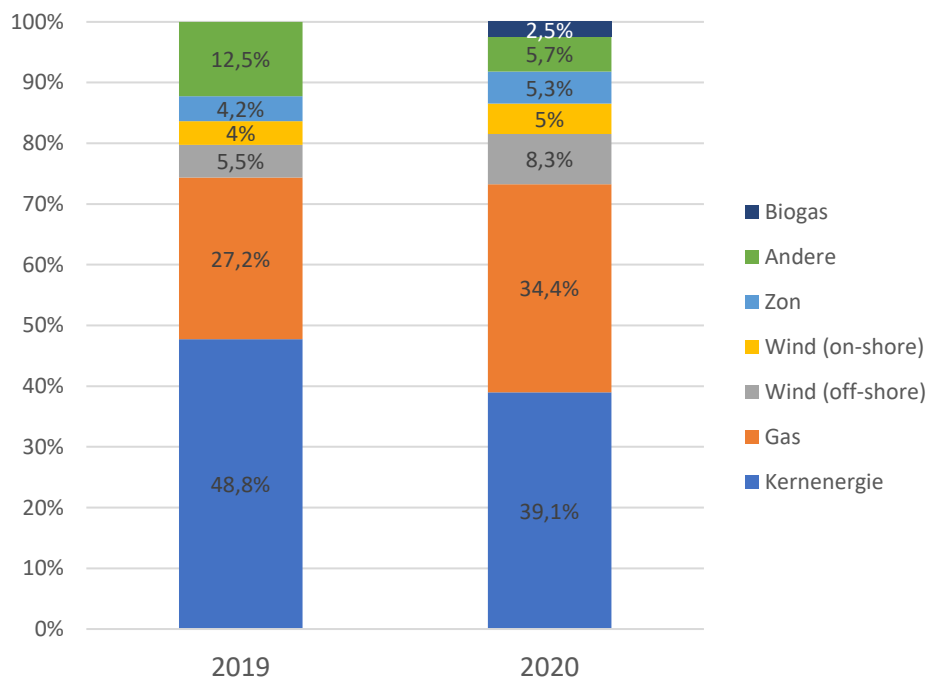


Figuur 7. Soorten energiegebruik in de EPB-software (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap)

4.2. Energiemix

De energiemix is een verzameling van primaire energiebronnen die instaan voor de opwekking van eindenergie, zoals elektriciteit. Meestal varieert de samenstelling ervan per land en is het afhankelijk van de beschikbaarheid van de energiebronnen en beleidskeuzes die voortvloeien uit de demografische, economische, sociale en ecologische situatie (Vantilt, 2017). De gebruikte elektriciteitsmix heeft een grote invloed op de uitkomst van de milieu-impactresultaten (Delem et al., 2020). De invloed van de mix op LCA zal echter wel afnemen wanneer de gebruiksfase in de loop der tijd steeds minder energie zou vragen (Bracquene et al., 2018).

In 2019 was bijna de helft van het eindenergiegebruik in Vlaanderen afkomstig van nucleaire energie, zoals weergegeven in grafiek 15. De tweede belangrijkste energiebron is gas, met 27,2%. De hernieuwbare energiebronnen, wind- en zonne-energie, zijn slechts goed voor 13,7% van de energiemix. In vergelijking met 2020 is het aandeel van kernenergie met bijna 25% gedaald en het aandeel aan gas met meer dan 26% gestegen. Het aandeel hernieuwbare energie is met 35,8% gestegen en maakt voor 18,6% deel uit van de totale energiemix (Nguyen, 2021).



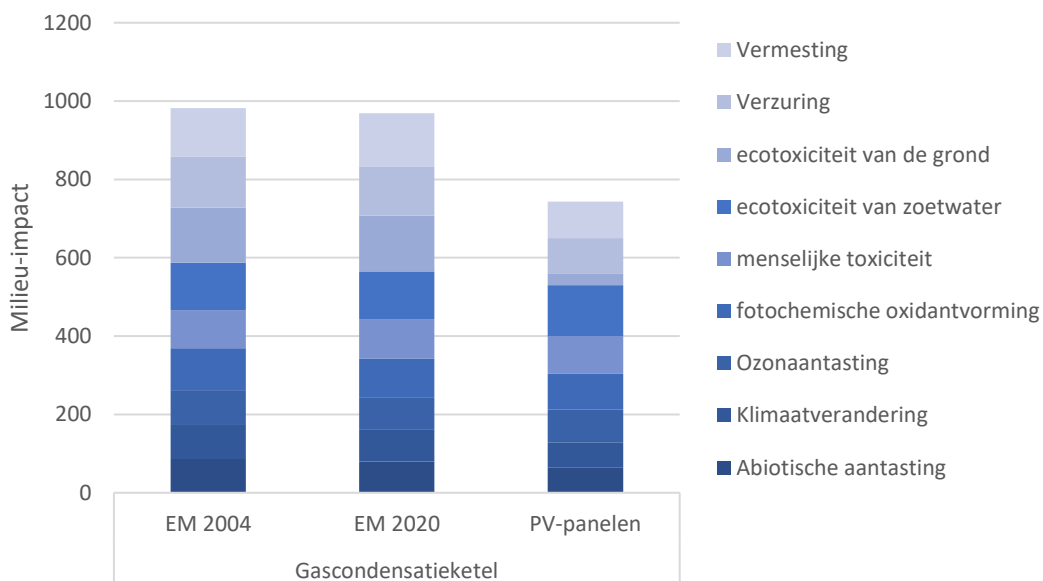
Grafiek 15. Samenstelling van de energiemix in België (Nguyen, 2019)

Steeds meer organisaties en overheden zetten zich in voor een daling van de uitstoot van broeikasgassen en beperking van de opwarming van de aarde. Zo probeert de Europese Unie de uitstoot van alle sectoren samen tegen 2050 te verminderen met 80% in vergelijking met 1990, voornamelijk door in te zetten op een groei aan hernieuwbare energiebronnen. De

samenstelling van de toekomstige energiemix is nog een groot vraagteken, aangezien het onzeker is of de vooropgestelde maatregelen wereldwijd wel zullen worden gehaald. Gezien de aankomende sluiting van de kerncentrales in België zal de energiemix zeer sterk veranderen. Het toekomstscenario van de huidige federale regering om het aandeel aan kernenergie te vervangen door gas via gascentrales heeft als gevolg dat de energiemix wordt gekenmerkt door een lagere primaire energieconversiefactor, maar wel door een grotere CO₂-productie.

In de literatuur is heel wat te vinden over de invloed van een wijzigende elektriciteitsmix op de resultaten van een LCA. Het onderzoek van Shah et al. (2008) vergelijkt de milieu-impact aan de hand van vier milieu-indicatoren van een lucht-luchtwarmtepomp voor de ruimteverwarming en koeling met een warmeluchtketel en warmwaterketel, elk met bijhorende centrale koeling, op vier verschillende plaatsen in de VS. Uit de vergelijkingsstudie blijkt dat in Oregon, waar de elektriciteitsmix voor twee derde bestaat uit windenergie, de lucht-luchtwarmtepomp de laagste milieu-impact heeft voor alle vier de milieu-indicatoren. In de drie andere steden, waar de energiemix is gedomineerd door verbranding van fossiele brandstoffen, heeft de lucht-luchtwarmtepomp de hoogste milieu-impact. Uit een gevoeligheidsanalyse blijkt dat 15 tot 40% van de lokale energiemix hernieuwbaar moet zijn opdat de warmtepomp tot de milieuvriendelijkste verwarmingsinstallatie leidt.

Onderzoek van Blom (2010) bekijkt de milieu-impact van een gascondensatieketel die instaat voor de ruimteverwarming door middel van de Nederlandse energiemix van 2004, de Nederlandse energiemix van 2020 en een volledige elektriciteitsproductie via PV-panelen. De resultaten zoals weergegeven in grafiek 16 tonen aan dat het gebruik van de hernieuwbare



Grafiek 16. Vergelijking van de milieu-impact van een gascondensatieketel die instaat voor de ruimteverwarming door middel van de Nederlandse energiemix voor 2004, de Nederlandse energiemix voor 2020 en een volledige elektriciteitsproductie via PV-panelen (Blom, 2010, p.70)

elektriciteitsmix met PV-panelen zorgt voor een milieu-impact die 32% en 30% kleiner is in vergelijking met de Nederlandse energiemix voor 2004 en 2020 respectievelijk.

Diezelfde conclusies komen voort uit resultaten van Zhong et al. (2011) die de milieu-impact van de productie- en constructiefase van PV-panelen onderzoekt door middel van elektriciteit van het net, gedomineerd door fossiele brandstoffen, en hernieuwbare elektriciteitsproductie via PV-panelen. De genormaliseerde resultaten tonen aan dat door het gebruik van PV-panelen de milieu-impact met bijna 20% gedaald is in vergelijking met elektriciteit afkomstig van fossiele brandstoffen.

4.3. Milieu-impact en energiegebruik van PV-panelen

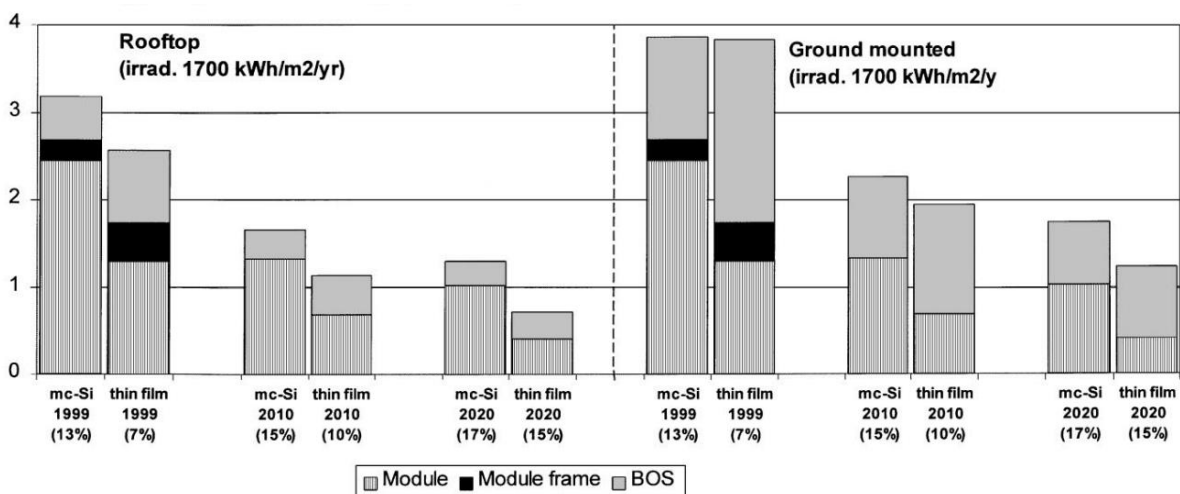
De hulpenergie is de energie nodig voor het aandrijven van onder andere de compressor in warmtepompen, circulatiepompen, waakvlammen, ventilatoren, enz. Een gridgekoppelde woning, een woning die is aangesloten op het elektriciteitsnet, maakt gebruik van elektriciteit die buiten de woning wordt opgewekt door kerncentrales, gascentrales, windturbines, enz. De samenstelling en verdeling van die primaire energiebronnen wordt weergegeven door de energiemix. Om ervoor te zorgen dat de woning hier onafhankelijker van wordt, kunnen woningen hun eigen elektriciteit opwekken via PV-panelen of kleinschalige windturbines. Het is echter nog niet mogelijk om de woning volledig los te koppelen van het net. In deze masterproef zal enkel het gebruik van PV-panelen worden onderzocht.

PV-panelen

Een Photovoltaic-installatie, verder afgekort als PV-installatie, zijn een reeks zonnecellen die gecombineerd worden tot een volwaardig PV-paneel. Afhankelijk van het nodige elektriciteitsverbruik van huishoudens en de beschikbare oppervlakte zullen meer of minder PV-panelen parallel aan elkaar worden geschakeld. Als er weinig oppervlakte beschikbaar is, maar de woning toch een groot elektriciteitsgebruik heeft, kan er best worden gekozen voor een PV-paneel met een groot piekvermogen, uitgedrukt in Wattpiek. De meest gebruikte PV-panelen hebben een piekvermogen van ca. 250 à 300 Wp. Een wattpiek is de productie van een elektrisch vermogen van 1 watt. De opbrengst is afhankelijk van een goede efficiëntie en goede locatie waardoor het voldoende zonnestralen kan absorberen (Frischknecht et al., 2016). Er bestaat een grote variatie in type zonnepanelen die afhankelijk van hun materiaal ingedeeld worden. De twee meest voorkomende types zijn de monokristallijne en polykristallijne PV-panelen. Daarnaast bestaan er nog dunnefilm en glas-glas PV-panelen.

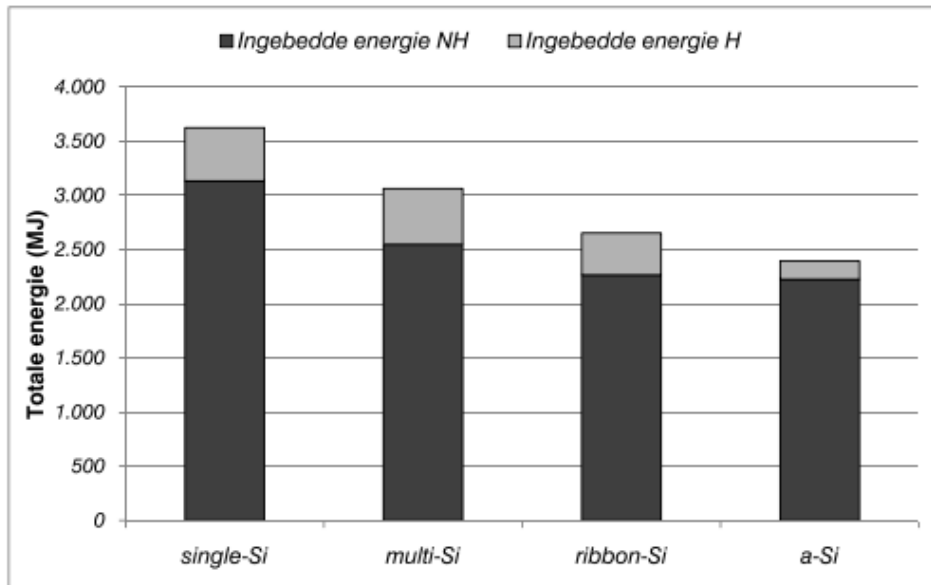
In een LCA van PV-panelen wordt over het algemeen naast het effectieve zonnepaneel de *Balance of System* ook meegenomen, verder afgekort als BOS. Deze bestaat uit een bevestigingsconstructie, een elektrische installatie (de elektriciteitskast, elektriciteitsmeter en

bekabeling) en een omvormer waardoor de gelijkstroom van de zonnepanelen wordt omgezet in wisselstroom en laagspanning. Op die manier kan de opgewekte elektriciteit terug op het elektriciteitsnet worden geplaatst. Uit de analyse van Gerbinet et al. (2014) die veertien verschillende PV-panelen met elk hun eigen type, systeem, locatie, efficiëntie, functionele eenheid en milieu-indicatoren met elkaar vergelijken blijkt de BOS een niet te verwaarlozen milieu-impact te hebben. De grootste bijdrage aan het milieu komt door het transport van het afval per vrachtwagen (Zhong et al., 2011). In het onderzoek van Alsema en Nieuwlaar (2000) wordt de vergelijking gemaakt tussen twee types PV-panelen: monokristallijne en dunnefilm PV-panelen, zowel met een dak- als grondinstallatie en dit voor drie verschillende jaren (1999, 2010 en 2020), zoals weergegeven in grafiek 17. Afhankelijk van de efficiëntie wordt de energetische terugverdientijd bepaald. Er is een duidelijke daling van de EPBT merkbaar bij de vergelijking tussen 1999 en 2020 dankzij een daling van het Si verbruik bij de productie en een stijging van de efficiëntie in de gebruiksfase. Een opvallend resultaat is dat voor een dunnefilm PV-paneel met grondinstallatie voor alle drie de jaren de BOS een grotere terugverdientijd heeft dan het PV-paneel zelf.



Grafiek 17. De energetische terugverdientijd van monokristallijne en dunnefilm PV-panelen voor 1999, 2010 en 2020 met vergelijking van installatie en efficiëntie, (Alsema et al., 2000, p.17)

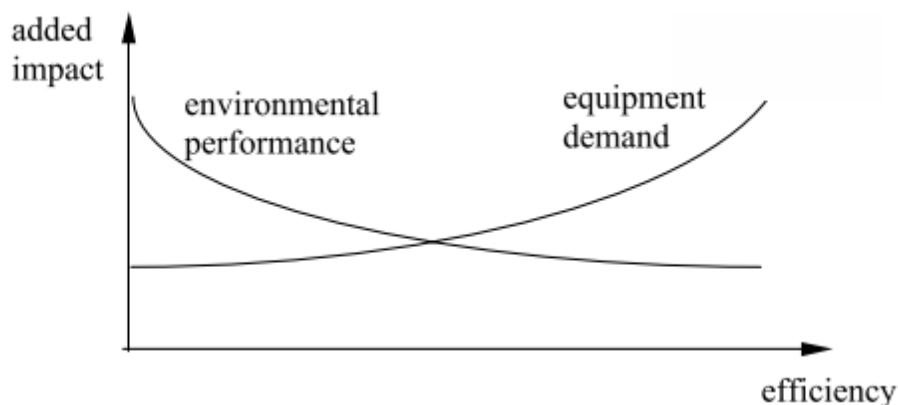
Uit onderzoek van Himpe en Trappers (2011) die de ingebedde energie, zowel hernieuwbare als niet-hernieuwbare, van vier type PV-panelen bestudeerd, blijkt het dunnefilm PV-paneel (a-Si) de laagste ingebedde energie te hebben, zie grafiek 18. De ingebedde energie bestaat uit het PV-paneel, transport van de onderdelen, de constructie, de elektrische installatie en de omvormer. De vergelijkingsbasis is een paneeloppervlakte die in overeenstemming is met 1m² PV-paneel op basis van polykristallijne cellen. Ondanks dat het monokristallijne PV-paneel (Single-Si) een grotere paneelcapaciteit bezit, is het uit onderstaande grafiek duidelijk dat de grotere efficiëntie van een monokristallijn paneel op vlak van ingebedde energie niet opweegt tegen een polykristallijn paneel (multi-Si).



Grafiek 18. Ingebedde energie van een mono-kristallijn, poly-kristallijn, ribbon-Silicium en amorf-Silicium PV-paneel met dezelfde capaciteit (Himpe & Trappers, p. 176, 2011)

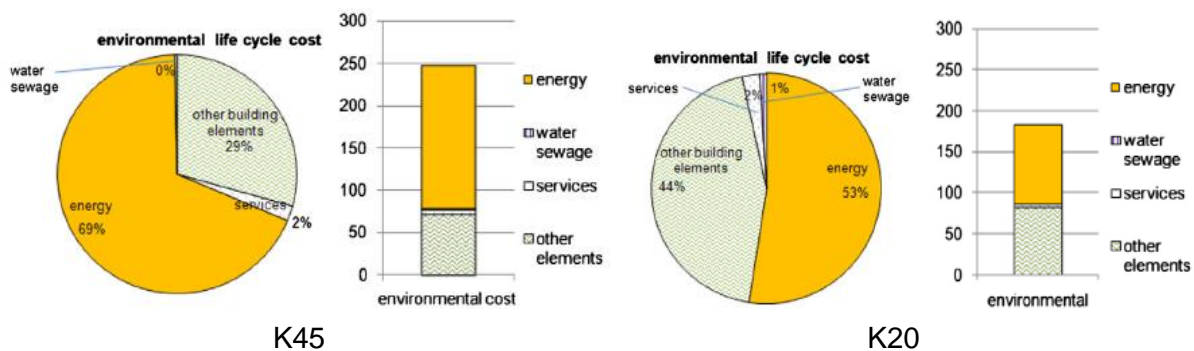
4.4. Ratio tussen ingebedde en operationele energie

Zoals eerder vermeld zal door de steeds strenger wordende energiestaat van gebouwen de operationele energie van gebouwen sterk verminderen, waardoor het aandeel van de ingebedde energie van bouwmaterialen steeds belangrijker wordt. De vraag is wat de verhouding is tussen de ingebedde energie en de operationele energie. Grafiek 19 toont het optimum tussen de milieuprestatie en de extra materiaal-impact, dewelke beiden zo laag mogelijk moeten zijn. Door installaties te voorzien met een grote efficiëntie stijgt de hoeveelheid materiaal (ingebbedde energie), maar daalt de milieuprestatie (operationele energie). Anderzijds, door installaties te voorzien met een lage efficiëntie is er een kleine materiaalbehoefte, maar een grote milieuprestatie. Het is dus de bedoeling om een optimum te vinden tussen de ingebedde en operationele energie.



Grafiek 19. Optimalisatie van de milieuprestatie van verwarmings- en luchtbehandelingsystemen (Prek, 1998, p.3)

Het onderzoek van Debacker et al. (2013) bekijkt de levenscyclusmilieukost van de technische installatie, water, andere gebouwelementen en de operationele energie gedurende een levensduur van 60 jaar, zoals weergegeven in grafiek 20. Het gebouw met een K-peil¹⁸ van 45 heeft een bijna 40% kleinere milieukost in vergelijking met het gebouw met een K-peil van K20. Verder tonen de resultaten duidelijk het belang van de operationele energie (69% en 53% voor een woning met K-peil K45 en K20 respectievelijk) in vergelijking met de totale milieukost van een gebouw. Het grootste deel van de resterende milieukost komt door de productie, transport, vervanging, constructie en verwijdering van andere gebouwelementen. De ruimteverwarmings- en ventilatie-installatie maakt voor beide scenario's slechts voor 2 % deel uit van de totale levenscyclusmilieukost.



Grafiek 20. Het relatieve belang van de kosten van ruimteverwarmings- en ventilatie-installatie, water, andere gebouwelementen en de operationele energie in de milieukost van een gebouw met K-peil K45 en K20 (Debacker et al., 2013, p.3)

De paper van Mirabella et al. (2018) evalueert aan de hand van 65 literatuurstudies 178 casestudy's waarin wordt gezocht naar de ratio tussen de ingebedde energie van technische installaties die hernieuwbare energie produceren in relatie tot de operationele energie die ze vermijden tijdens hun levensduur. Mirabella concludeert dat er geen eenduidig verband is tussen die twee, maar het net afhankelijk is van verschillende factoren zoals het te analyseren gebouw of de klimaatcontext. Uit onderzoek van Passer et al. (2012) dat de milieu-impact van PV-panelen zonder BOS vergelijkt met zonnearmtesystemen blijkt de milieu-impact van PV-panelen groter te zijn dan de impact van zonnearmtesystemen. Voor beide technische installaties blijkt het voordeel van de uitgespaarde operationele energie groter te zijn dan de ingebedde energie.

¹⁸ Het K-peil is een maat voor de isolatiegraad van een gebouw. Sinds 2018 geldt het K-peil enkel nog voor industriegebouwen, woongebouwen maken gebruik van het S-peil dat de energie-efficiëntie van de gebouwschil uitdrukt

ONDERZOEK

Het onderzoek is opgedeeld in verschillende hoofdstukken. In hoofdstuk 5 is de gebruikte methodologie beschreven die het kader van het onderzoek afbakenen. Zo wordt er een overzicht gegeven van de onderzoeksvragen, de gebruikte casestudy, de geselecteerde installatiescenario's, de berekeningswijze van de technische installaties en de LCA-veronderstellingen. Het onderzoek zelf, waar de milieu-impact van de technische installaties wordt bepaald, is opgesplitst volgens de energiepost. De focus van het onderzoek ligt op de graad van detaillering die nodig is bij de invoer van data in SimaPro om de milieu-impact te bepalen. De impact van de ruimteverwarming, opwekking van sanitair warm water en de gecombineerde energieposten worden respectievelijk besproken in hoofdstuk 6, hoofdstuk 7 en hoofdstuk 8. Ten slotte wordt in een gevoeligheidsanalyse in hoofdstuk 9 bekeken hoe gevoelig de resultaten uit voorgaande hoofdstukken wijzigen bij het dieper analyseren of veranderen van een aantal parameters. Zo wordt onder meer gekeken naar het verschil tussen een gedetailleerde en vereenvoudigde LCA, het effect van het al dan niet in rekening brengen van de levensduur van materialen, de impact van de effectbeoordelingsmethode en de invloed van het gebruik van PV-panelen op de milieu-impact van de installatiescenario's.

Hoofdstuk 5. Methodologie

5.1. Onderzoeksvragen

Het onderzoek dat in deze masterproef wordt beschreven is er gekomen na bepaalde vaststellingen uit de literatuur. Zo blijkt onder andere in bepaalde literatuurstudies (Blom, 2010; Greening & Azapagic, 2012) een warmtepomp schadelijker voor het milieu te zijn dan een gascondensatieketel (zie 3.1.3.) en heeft de combinatie van bepaalde technische installaties een invloed op de milieu-impact en ingebedde en operationele energie.

Het doel van deze masterproef is om een zo gedetailleerd mogelijk beeld te scheppen over de milieu-impact van ruimteverwarming en sanitair warm water in eengezinswoningen. De hoofdvraag is dan ook hoe gedetailleerd een residentiële technische installatie in een LCA moet worden gemodelleerd om een realistisch beeld te krijgen van de milieu-impact. Naast deze hoofdonderzoeksvraag worden bijvragen opgesteld.

- Hoe gedetailleerd moeten de componenten van een volledige residentiële technische installatie worden meegenomen in een LCA om een realistisch beeld te krijgen van de milieu-impact?;
 - Welke componenten hebben de grootste milieu-impact?;
 - Welke levenscyclusfase heeft de grootste impact?;
 - Zijn er componenten die verwaarloosd kunnen worden in een LCA omwille van hun zeer kleine milieu-impact?;

De milieu-impact wordt voor beide energieposten zowel bekeken op enkelvoudig als gecombineerd niveau. Ook hier kunnen onderzoeksvragen worden gesteld:

- Wat is de invloed op de milieu-impact door beide energieposten te combineren in één installatie?
- Hoe verhoudt de milieu-impact van de enkelvoudige installatie zich tot de gecombineerde installatie?
- Is de verhouding tussen de levenscyclusfasen anders bij een enkelvoudige en gecombineerde installatie?

Als laatste wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd die de gevoeligheid van de verkregen resultaten uit vorige onderzoeksvragen dieper analyseert. Zo wordt er bijvoorbeeld gekeken naar hoe groot het verschil is tussen een standaard LCA en een gedetailleerde LCA. Om dit te onderzoeken zal er zelf eens standaard model worden gecreëerd die een zo goed mogelijke benadering vormt van wat wel en niet in rekening wordt gebracht bij de geanalyseerde literatuur in deze masterproef. De onderzoeksvragen in de gevoeligheidsanalyse zijn:

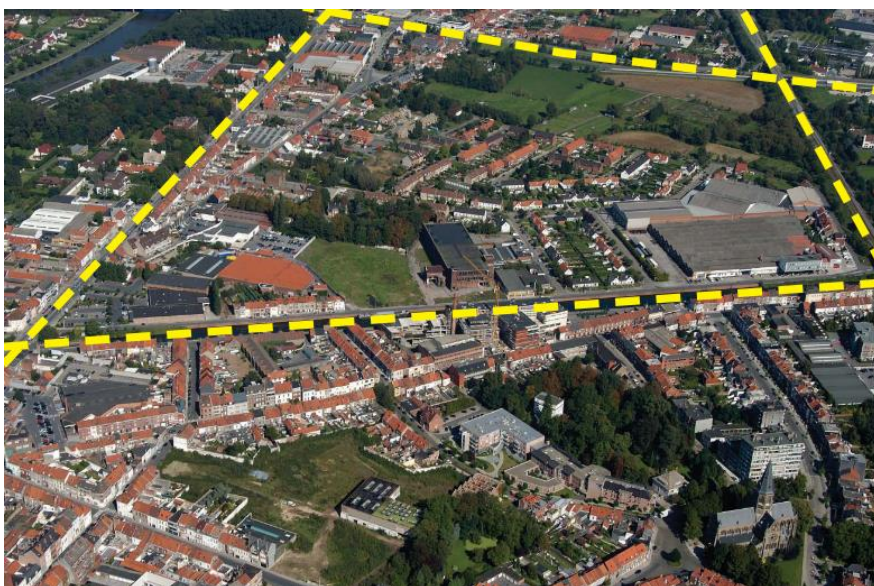
- Hoe groot is het verschil in milieu-impact in vergelijking met een standaard LCA die dezelfde aannames gebruikt? Is dit verschil relevant genoeg of verwaarloosbaar om elke LCA tot een detailstudie te volbrengen?;
- Wat is de invloed op de milieu-impact wanneer er geen rekening wordt gehouden met de levensduur van elk onderdeel van de installatie en bijgevolg geen enkel onderdeel wordt vervangen?;
- Hoe bepalend is de keuze van de effectbeoordelingsmethode voor de resultaten?;
- In welke mate beïnvloed het gebruik van PV-panelen de resultaten?;

Door een deel van de benodigde elektriciteit op te wekken via PV-panelen is er minder nood aan elektriciteit afkomstig van de Belgische energiemix. Er wordt bekeken hoe de milieu-impact van het extra materiaal zich verhoudt tot het uitgespaard operationeel energiegebruik.

5.2. Casestudy

Renovatieproject

De beschouwde casestudy in dit onderzoek is de projectwijk de Venning, een ruim gebied van circa 30 ha te Kortrijk bestaande uit verschillende zones en andere functies. Centraal in het gebied bevindt zich de woonwijk Venning en bestaat uit zowel sociale huurwoningen uit de jaren 1960 van de sociale huisvestingsmaatschappij De Goedkope Woning als privéwoningen (Intercommunale Leiedal, 2019). Die huisvestingsmaatschappij bezit ca. 1500 sociale woningen. In 2007 zijn ze begonnen met een inventarisatie van dit patrimonium, waar de verkommerde staat naar boven kwam (Intercommunale Leiedal, 2011). Door het zwak socio-economisch profiel van de wijk en de slechte staat van de 163 sociale huurwoningen met weinig wooncomfort is beslist om de volledige site aan te pakken. Onder leiding van het studiebureau EVR-architecten is het project 'ECO-Life' uitgevoerd met de bedoeling om een specifiek masterplan voor de Venning op te maken, als ook een algemeen toepasbare methodiek te ontwikkelen die inzetbaar is in andere wijken. Volgens het masterplan zullen de kleinste woningen worden gesloopt en worden vervangen door nieuwbouwwoningen, de grotere types worden gerenoveerd. Na de voltooiing van het project hebben 600 nieuwe bewoners zich op de site kunnen huisvesten. Het ECO-life project is een Europees subsidieproject in drie Europese landen (Litouwen, België en Denemarken) met als doel een duurzame en CO₂-neutrale stadsontwikkeling te onderzoeken (Intercommunale Leiedal, 2019). Dit project bestaat uit drie grote fasen. Allereerst het bouwen van passieve appartementen en kangoeroewoningen. De tweede fase bestaat uit het bouwen van een reeks nieuwe woningen, verdeeld over acht blokken. De derde fase bestaat uit de renovatie van 50 bestaande woningen, verdeeld over twaalf blokken.



Figuur 8. De wijk Venning na renovatie (McManus, D., 2016)



Figuur 9. De wijk Venning na renovatie (Intercommunale Leiedal, p.23, 2011)

Type woning

De 50 te renoveren sociale woningen zijn opgedeeld in vier types volgens het aantal slaapkamers, variërend van één tot vier slaapkamers, en maximum aantal bewoners, variërend van twee tot zeven bewoners. Per woningtype kunnen er zich verschillende plantypes voortdoen.

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van het gerenoveerde woningtype twee, bestaande uit drie slaapkamers en maximum vier bewoners. Voor deze woning bestaat er slechts één plantype. Dit type woning wordt in het masterplan zowel als halfopen bebouwing als gesloten bebouwing ingezet. Afhankelijk van het aantal vrije gevels zal er dus een andere verliesoppervlakte zijn, met als gevolg een andere warmtevraag. Meer specifiek wordt er in dit onderzoek gebruik gemaakt van de halfopen bebouwing woningtype twee uit blok 3.



Figuur 10. Plan van het gelijkvloers, de eerste verdieping en de tweede verdieping



Figuur 11. Voor-, zij- en achtergevel

5.3. Overzicht van de installatiescenario's

In deze masterproef wordt de focus gelegd op de ruimteverwarming, het sanitair warm water en hun benodigde hulpenergie. Met behulp van informatie uit de literatuurstudie zijn er vijftien scenario's ontwikkeld met variatie van de beschouwde energiepost, het opwekkingsstelsel en hun emissiesysteem. In tabel 7 zijn de verschillende scenario's weergegeven, gegroepeerd volgens ruimteverwarming, sanitair warm water en het gecombineerde systeem die voor beide energieposten instaat.

	SCENARIO	OPWEKKING	EMISSIE/TAPPUNT
RVW	1	Gascondensatieketel	Radiatoren
	2		Vloerverwarming
	3	Lucht-waterwarmtepomp	radiatoren
	4		vloerverwarming
	5	Grond-waterwarmtepomp	radiatoren
	6		vloerverwarming
SWW	1	Gasboiler	1 keukenkraan
	2	Zonneboiler + gasboiler	2 wastafelkranen
	3	Warmtepompboiler (via buitenlucht)	1 douchekraan
RVW + SWW	1	Gascondensatieketel	Radiatoren 1 keukenkraan 2 wastafelkranen 1 douchekraan
	2	Lucht-waterwarmtepomp	
	3	Grond-waterwarmtepomp	
	4	Zonneboiler + gascondensatieketel	
	5	Zonneboiler + lucht-waterwarmtepomp	
	6	Zonneboiler + Grond-waterwarmtepomp	

Tabel 7. Overzicht van de scenario's voor de technische installatie, opgesplitst volgens ruimteverwarming (RVW), sanitair warm water (SWW) en het gecombineerde systeem (RVW_SWW)

In de ruimteverwarmingsscenario's worden drie verschillende opwekkingssystemen met elkaar vergeleken: een gascondensatieketel, een lucht-waterwarmtepomp en een grondwaterwarmtepomp met verticale aardsondes en een gesloten systeem. Deze drie opwekkingscomponenten zijn telkens gekoppeld met twee verschillende emissiesystemen: radiatoren en vloerverwarming. Voor de SWW-scenario's wordt een gasboiler vergeleken met een zonneboiler en warmtepompboiler. Aangezien de zonneboiler niet in staat is om gedurende het ganse jaar te voldoen aan de warmtevraag staat de gasboiler in als back-upsysteem. Er bestaan meerde soorten zonnecollectoren, echter in deze masterproef is gebruik gemaakt van de vlakkeplaatcollector. Het verschil in milieu-impact tussen de vlakkeplaatcollector en andere type collectoren, bijv. de vacuumbuiscollector, valt buiten de focus van deze masterproef. Deze drie scenario's hebben allen hetzelfde aantal tappunten: één keukenkraan, twee wastafelkranen en één douchekraan. Bij de gecombineerde systemen worden opnieuw de gascondensatieketel, lucht-waterwarmtepomp en grondwaterwarmtepomp met elkaar vergeleken, maar staan ze deze keer in voor beide energieposten. Tot slot wordt gekeken welk effect de toevoeging van een zonneboilerinstallatie heeft op de milieu-impact van deze drie gecombineerde scenario's. De zonneboilerinstallatie staat enkel in voor de opwekking van warm tapwater en functioneert er als primaire energie-opwekker. De ruimteverwarming maakt gebruik van radiatoren, het sanitair warm water van de vier tappunten. Hier is de vergelijking tussen radiatoren en vloerverwarming niet meer gemaakt, aangezien verwacht wordt dat dezelfde resultaten zullen worden verkregen zoals in de drie ruimteverwarmingsscenario's. In hoofdstuk 9 wordt bijkomstig in een gevoeligheidsanalyse bekeken wat het effect is op de milieu-impact van de gecombineerde scenario's door het toevoegen van een PV-installatie.

In bijlage B is voor elk scenario een principeschema te vinden die de beschouwde installatie voor elk scenario visualiseert, alsook een inventarisatietabel waarin per functie (opwekking, distributie/emissie/tappunten en regelsysteem) voor elk installatiescenario wordt weergegeven welke en hoeveel componenten/materialen in SimaPro worden meegenomen. Ook de levensduur, het totaal gewicht inclusief vervangingen en de bijhorende transportafstanden zijn er in opgenomen. Hetzelfde geldt voor de PV-installatie. In het onderzoek zal voor elk scenario worden verwezen naar de verkorte notatie: RVW, SWW en RVW_SWW.

5.4. Berekeningswijze technische installaties

Alvorens te kunnen starten met de bepaling van de milieu-impact van de installatiescenario's, dienen ze eerst begroot en becijferd te worden. De dimensionering van de technische installaties is terug te vinden in bijlage A. Het gaat onder ander over de warmteverliesberekening, dimensionering van de hoeveelheid sanitair warm water, de dimensionering

van de gascondensatieketel, warmtepompen en zonnecollector, de dimensionering van de emissiesystemen met radiatoren en vloerverwarming, de elektriciteitsproductie van PV-panelen en het energiegebruik van de 15 installatiescenario's.

5.4.1. EPB

EPB staat voor Energieprestatie en Binnenklimaat. Sinds 1 januari 2006 is de energieprestatieregelgeving van toepassing op gebouwen waar een vergunning voor is aangevraagd en waar een architect vereist is. Voor de bepaling van de energievraag van de casestudy is gebruikgemaakt van de EPB-software 3G, versie 11.5.3. De 3G-versie is een samenwerking tussen de drie gewesten in België: het Vlaams, Waals en Brussels Hoofdstedelijk Gewest en is sinds 1 januari 2014 officieel de opvolger van de EPB-software Vlaanderen. Het wordt gebruikt voor het indienen van startverklaringen en aangiften van de energieprestatieregelgeving. Via deze software zijn alle gegevens van het gebouw ingevoerd, zowel de geometrie van het gebouw, de scheidingsconstructies alsook alle technische componenten zoals het type verwarming, ventilatie, enz. Als eindresultaat genereert de software een EPB-rapport die het operationeel energiegebruik weergeeft voor zowel de ruimteverwarming, koeling, het sanitair warm water, de hulpenergie, als de energiebesparing via PV-panelen of warmtekrachtkoppeling. Zoals eerder vermeld wordt hier enkel gekeken naar het energiegebruik van de ruimteverwarming, het sanitair warm water en hun bijhorende hulpenergie. Deze laatstgenoemde energiepost is in het EPB-rapport opgesplitst in verschillende posten. Alleen het verbruik van de circulatiepompen, de opwekkers en de circulatiepomp van de thermische zonne-energie zijn als hulpenergie meegenomen. Het energieverbruik van de ventilatoren, *free-chilling* en voorkoeling is verwaarloosd.

EPB-eisen

Afhankelijk van de aard van het werk en de bestemming moeten gebouwen voldoen aan andere EPB-eisen. De opgelegde eis wordt onder andere uitgedrukt aan de hand van het E-peil, een score die aangeeft hoe energiezuinig een gebouw is. Hoe lager dit E-peil, hoe energiezuiniger het gebouw. De casestudy in deze masterproef dateert van 2013 en moet bijgevolg voldoen aan de eisen vanaf 1 januari 2013. De woning mag een maximum E-peil van 70 hebben en een maximum netto-energiebehoefte van 70 kWh/m²/jaar. Voor ingrijpende energetische renovatie moet de woning vanaf 1 januari 2021 ook een maximum E-peil van 70 halen, voor nieuwbouwwoningen geldt hier zelf een maximum E-peil van 30. Hier wordt er geen maximum netto-energiebehoefte meer weergegeven, maar wel een minimum hoeveelheid hernieuwbare energie van 15 kWh/m²/jaar. Ter illustratie is in tabel 8 het E-peil van elk gecombineerd scenario in combinatie met acht PV-panelen weergegeven. Uit de resultaten blijkt dat elk scenario voldoet aan de opgelegde eisen van 2021. De zonneboiler

zorgt voor in elk scenario voor een lager E-peil. Deze is bovendien het laagst voor RVW_SWW_S5/6, de scenario's met de warmtepomp.

RVW_SWW_PV	S1	S2	S3	S4	S5	S6
E-peil	43,0	34,0	33,0	35,0	28,0	28,0

Tabel 8. E-peil van RVW_SWW_S1-6 met 8 PV-panelen

Data-invoer in de EPB-software

Aangezien de woning reeds is gerenoveerd, zijn voor de invoer van de scheidingselementen in de EPB-software de U-waardes¹⁹ van de constructie-elementen toegepast die in realiteit zijn uitgevoerd. Deze elementen voldoen bovendien allen aan de opgelegde eis. De maximaal toelaatbare U-waarden per constructiedeel zijn terug te vinden op de website van energiesparen.be (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap). Voor de bepaling van de bouwknoopen wordt gerekend met optie B, dat wil zeggen dat alle bouwknoopen opgelost worden en ze allen EPB-aanvaarde knopen zijn.

Voor de bepaling van het lekdebiet is verondersteld dat de woning een blowerdoortest onderging die voldoet aan de eisen van een passiefwoning. Zo wordt er gerekend met een n_{50} -waarde van $0,6 \text{ h}^{-1}$, wat betekent dat bij een drukverschil van 50 Pa 60% van het volume aan binnenlucht per uur wordt verversd. In de EPB-software is het echter niet mogelijk om rechtstreeks de n_{50} -waarde in te geven aangezien het intern volume door EPB niet wordt berekend, maar wordt het lekdebiet ingegeven aan de hand van de v_{50} -waarde. Deze waarde is het lekdebiet per oppervlakte-eenheid van het bouwvolume bij een drukverschil van 50 Pa. In de EPB-software wordt bijgevolg gerekend met $0,84 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. De casestudy voldoet ook aan de nodige ventilatie-eisen. Er wordt gewerkt met een ventilatiesysteem D met mechanische toe- en afvoer zodat elke ruimte op ieder moment van de dag voldoende geventileerd wordt.

De invoer van de technische installaties gebeurt aan de hand van opwekkers en componenten van fabrikanten die beschikbaar zijn op de markt. Bij elk opwekkingscomponent wordt verondersteld dat de efficiëntie waarmee ze gedurende hun levensduur functioneren constant blijft. Ook de ingevoerde COP van de warmtepompen blijft over alle jaren heen een constante waarde behouden.

Voor de dimensionering van de emissiesystemen is in het geval van radiatoren gerekend met een temperatuurregime $65\text{-}55^\circ\text{C}$, terwijl er bij de dimensionering van de vloerverwarming is

¹⁹ U-waarde [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]: de warmtedoorgangscoefficiënt van een constructiedeel geeft aan hoeveel warmte er per seconde en per vierkante meter verloren gaat als het temperatuurverschil tussen binnen en buiten 1°C is. Hoe lager, hoe minder warmte er verloren gaat. Ze wordt bepaald door de dikte en de warmtegeleidbaarheid (λ -waarde) van de materialen (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap)

gerekend met een regime 40-35°C. Dit regime is bepalend voor de oppervlakte van de radiatoren en de pasafstand van de leidingen voor vloerverwarming. De distributie van de benodigde warmte voor ruimteverwarming gebeurt via een hydronisch systeem. De distributie met hydraulische systemen valt buiten de focus van deze masterproef.

5.4.2. SimaPro

Module A

De grond-waterwarmtepomp maakt gebruik van gesloten, verticale aardsondes. De lucht-waterwarmtepomp is een split-unit die gebruik maakt van de buitenlucht, niet van de vervuilde extractielucht van het ventilatiesysteem D.

De installatie van de vloerverwarming is uitgevoerd volgens een middelzwaar systeem waarbij de polyethyleen leidingen in de dekvloer liggen. Op de isolatielaag wordt een PE-folie met raster aangebracht die het mogelijk maakt om de leidingen volgens een pasafstand van tien of vijftien cm, afhankelijk van de warmtevraag van de ruimte, te leggen. De leidingen worden via tackers in de isolatielaag geprikt. Ook in het geval van radiatoren bevinden de leidingen zich in de dekvloer. De stalen radiatoren zelf zijn via stalen hangbeugels aan de muur bevestigd. Een legplan van de waterleidingen is voor beide emissiesystemen terug te vinden in bijlage A. De regelsystemen zijn samengesteld aan de hand van productinformatie van fabrikanten. Ze bestaan voornamelijk uit een thermostaat en temperatuursensoren met bijhorende leidingen. In SimaPro zijn deze sensoren niet standaard beschikbaar in de EcoInvent-databank, maar zijn ze ingegeven aan de hand van bijvoorbeeld een hoeveelheid polyethyleen of aluminium.

De opwekking van sanitair warm water gebeurt volgens een volledig accumulatiesysteem waarbij het SWW voor de vraag wordt opgewarmd en in een voorraadvat op temperatuur wordt gehouden. Zo'n voorraadvat zit niet standaard in EcoInvent, maar ze wordt ingegeven aan de hand van een membraanexpansievat.

Module B

Voor de berekeningen van de milieu-impact wordt uitgegaan van een totale levensduur van 60 jaar. Volgens grafiek 4 van de literatuurstudie wordt er vanuit gegaan dat er in de toekomst steeds minder energie zal nodig zijn voor de technische installaties. Dit blijft echter een onzekere voorspelling en factor die afhankelijk is van verschillende factoren. Daarom wordt in deze masterproef de veronderstelling gemaakt dat het operationeel energiegebruik doorheen de levenscyclus van 60 jaar constant blijft.

In SimaPro is het operationeel energiegebruik, module B6, ingegeven aan de hand van het eindenergiegebruik. Aangezien de EPB-software berekeningen maakt van het operationeel energiegebruik voor één jaar, moet het eindenergiegebruik van elke energiepost nog met een factor 60 worden vermenigvuldigd. Bij de bepaling van de milieu-impact zal SimaPro zelf rekening houden met de primaire energieconversiefactoren voor brandstoffen en elektriciteit, aangezien deze factoren reeds vervat zitten in de energiecomponenten waaronder de Belgische energiemix voor elektriciteit. Indien het operationeel energiegebruik wordt ingegeven aan de hand van het primair energiegebruik zouden deze primaire energieconversiefactoren dubbel worden ingerekend. Dit heeft vooral een invloed op de energieposten die gebruik maken van elektriciteit, aangezien de primaire energieconversiefactor ervan 2,5 bedraagt. Voor meer informatie rond de verschillende energieposten en onderliggende bepaling wordt verwezen naar paragraaf 4.1. De elektriciteit wordt ingegeven onder de vorm van laagspanning voor de Belgische energiemix. In het geval van warmte via gas, wordt gewerkt met de data geldig voor Europa zonder Zwitserland. De exacte benaming zoals gebruikt in SimaPro is terug te vinden in tabel 9.

Elektriciteit	Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, central or small-scale, natural gas Cut-off, S
Gas	Electricity, low voltage {BE} market for Cut-off, S

Tabel 9. Benaming van het type energiedrager in SimaPro

In het geval PV-panelen wordt de eindenergieopwekking van PV-panelen, dewelke een energiewinst is, afgetrokken van de energieposten die gebruik maken van elektriciteit. In de scenario's met de gascondensatieketel kunnen de PV-panelen dus enkel instaan voor de elektriciteit nodig voor de hulpenergie. Wanneer de energiewinsten groter zijn dan het elektriciteitsgebruik van de hulpfuncties wordt het als overschot gezien. In realiteit wordt die overschot gebruikt voor de huishoudstroom dewelke in deze masterproef wordt verwaarloosd.

De regelsystemen die bestaat uit onder andere een thermostaat, buitentemperatuursensor, dospeltemperatuursensor, enz. zijn enkel in rekening genomen door middel van een materiaalimpact, maar de invloed die ze hebben op het operationeel energiegebruik is buiten beschouwing gelaten aangezien geen gebruik is gemaakt van een dynamisch model.

De voordelen van de grond-waterwarmtepomp komen in deze masterproef niet volledig tot uiting. Alle voordelen van passieve koeling in de zomermaanden wordt hier buiten beschouwing gelaten, maar moet wel in het achterhoofd spelen bij de interpretatie van de bekomen milieu-impactresultaten.

Module C

De data-invoer van de eindelevensduurfase gebeurt aan de hand van het afvalscenario voor Nederlands zoals terug te vinden in SimaPro. De bijhorende transportafstanden zijn op dezelfde manier bepaald zoals de transportafstanden van de fabriek naar de werf.

5.5. LCA

Uit de literatuurstudie is gebleken dat een goede documentatie van de LCA-veronderstelling zeer belangrijk is zodat het mogelijk is om verschillende LCA-studies met elkaar te vergelijken mits het in acht nemen van elkaars veronderstellingen. Zo moet onder andere het tijdstip, de locatie, de uitvoerder en het vooropgestelde doel van het onderzoek worden meegedeeld. Verder zijn zowel de beschouwde levenscyclusfasen, de gemaakte veronderstellingen, de gebruikte software en databank, de effectbeoordelingsmethode en bijhorende milieu-indicatoren als de gebruikte energiemix van belang.

Naast deze algemene informatie zijn er bepaalde posten die extra informatie vergen, zoals onder andere het PV-paneel. Het IEA, een internationaal energieagentschap dat actief is in 29 landen, heeft een document opgesteld waarin richtlijnen voor een LCA van zonnepanelen zijn toegelicht (Frischknecht et al., 2016). In de LCA moeten heel veel zaken worden vermeld, zoals het type zonnepaneel, de bevestigingswijze, de efficiëntie, de levensduur van zowel het paneel als de BOS, de locatie, jaarlijkse stralingsinval en de verwachte jaarlijkse elektriciteitsproductie.

Effectbeoordelingsmethode

De milieu-impact van de vijftien scenario's is in deze masterproef begroot met behulp van ReCiPe 2016 H/A. De milieu-impact wordt steeds uitgedrukt in milieupunten. Aangezien deze methode gebruikt maakt van zowel middelpunten als eindpunten is ze vaak gezien als één van de beste methoden om LCA uit te voeren.

Functionele eenheid

De functionele eenheid voor de bepaling van de milieu-impact van de installatiescenario's bestaat uit alle installaties en hun componenten die nodig zijn om te voldoen aan de warmtevraag voor ruimteverwarming en sanitair warm water, alsook hun energiegebruik en eindelevensduurbehandeling voor een levensduur van 60 jaar. Er wordt net zoals de milieuberekeningen in TOTEM verondersteld dat de woning een levensduur van 60 jaar heeft. Als er in de technische installatie componenten aanwezig zijn met een kortere levensduur is verondersteld dat deze zullen worden vervangen door identieke componenten.

Levenscyclusfasen

Technische installatie kunnen uiteen worden gehaald in verschillende componenten. In deze masterproef wordt omwille van de detailstudie rekening gehouden met zowel module A, B als C. Module A is de groepering van de productie- en constructiefase en is per scenario opgesplitst in het opwekkings-, distributie-, emissie- en regelsysteem. Bij de selectie van materialen is steeds gebruik gemaakt van *market*-processen. Deze processen bevatten naast de toevoer van ruwe materialen en hun bewerking ook het transport van de grondstoffen naar de fabriek. Het transport van de fabriek naar de werf wordt er telkens zelf aan toegevoegd. Die transportafstanden zijn gebaseerd op data van OVAM (Delem et al., 2011). In SimaPro zijn ze ingegeven aan de hand van een vrachtwagen met een laadvermogen van 16 – 32 ton, euroklasse 5 en gemodelleerd voor Europa. Module B, de gebruiksfase, houdt onder andere rekening met de vervangingen en het operationeel energiegebruik. De vervangingen zijn afhankelijk van de levensduur per materiaal ingegeven. Het operationeel energiegebruik is voor elk scenario berekend met behulp van de EPB 3G-software. Module C bevat de eindelevensduurfase waarbij de gebruikte materialen een afvalbehandeling ondergaan. In SimaPro wordt voor module C gewerkt met het afvalscenario van Nederland. Elk afvaltype ondergaat een verschillende afvalbehandeling. Echter voor het Nederlandse afvalscenario wordt zoals weergegeven in tabel 10 een groot deel van de materialen gerecycleerd. De overige percentages worden voor 92,7% verbrand en voor 7,3% gestort.

Afvaltype	Afvalbehandeling	Percentage [%]
Verpakkingskarton	Recyclage	94,80
Verpakkingspapier	Recyclage	94,80
Verpakkingsglas	Recyclage	91,80
Staal en ijzer	Recyclage	86,60
Aluminium	Recyclage	86,60
Gemengd plastic	Recyclage	38,40
PE	Recyclage	38,40
PET	Recyclage	38,40
PP	Recyclage	38,40
PS	Recyclage	38,40
PVC	Recyclage	38,40
Papier	Recyclage	94,80
Krantenpapier	Recyclage	94,80
Bioafval	Compostering	48,00

Tabel 10. Afvalbehandeling van het Nederlandse afvalscenario

Door gebruik te maken van het Nederlandse afvalscenario zijn het aantal materialen die een eindelevensduurbehandeling hebben wel beperkt tot wat er in tabel 10 is opgenomen. In de vijftien scenario's zijn dus materialen die geen eindelevensduurbehandeling hebben. Zo wordt voor RVW_S5 bijvoorbeeld de warmtepomp gerecycleerd, het koelmiddel hergebruikt en

blijven de warmtewisselaars in de grond zitten. De eindelevensduurbehandeling van het koelmiddel komt hier dus niet aan bod.

De vierde module, module D wordt buiten beschouwing gelaten, aangezien gebruik wordt gemaakt van de *cut-off* benadering waarbij alle bijproducten, waaronder ook de energierugwinning, worden toegewezen aan de volgende levenscyclus. Het gerecycleerde materiaal uit tabel 11 wordt dus niet bij de milieu-impact gerekend. Het in rekening brengen van deze module zou de onzekerheid van de LCA enkel vergroten, aangezien er bij veel materialen, bijv. de PV-panelen, nog geen informatie beschikbaar is over het recyclageproces.

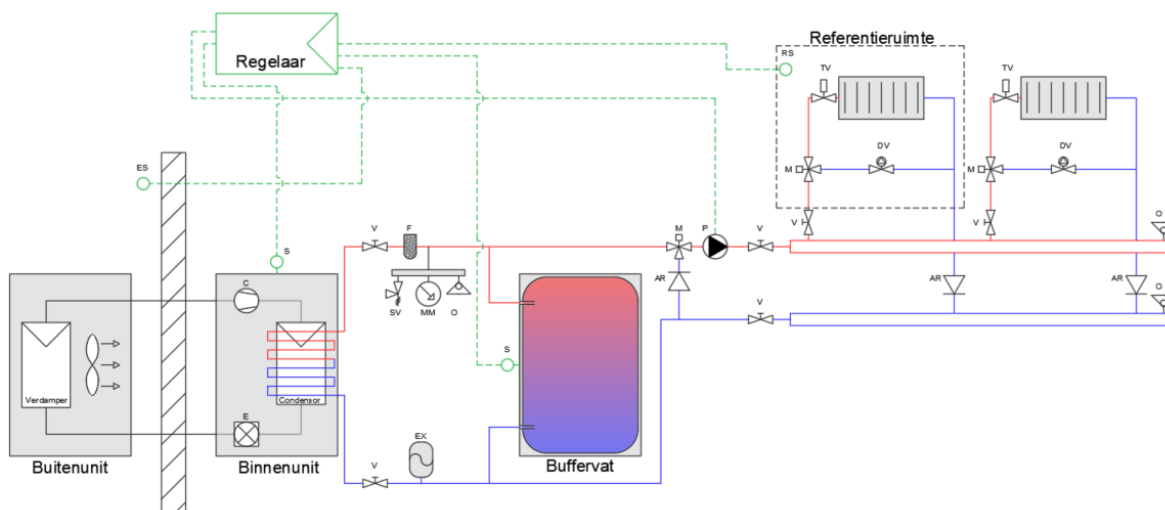
Hoofdstuk 6. Milieu-impact van ruimteverwarming

In dit hoofdstuk wordt als eerste een algemene vergelijking weergegeven van de milieu-impact van alle zes ruimteverwarmingsscenario's, rekening houdend met alle levenscyclusfasen. Deze vergelijking maakt gebruik van data die standaard aanwezig is in de Ecoinvent-databank. Daarnaast wordt er dieper ingegaan op de milieu-impact van module A van elk type opwekking en vervolgens meer specifiek op het verschil in milieu-impact tussen het distributie- en emissiesysteem met vloerverwarming en radiatoren. Bepaalde componenten zullen omwille van hun grote impact op het geheel dieper worden geanalyseerd om te zien of de invoer van Ecoinvent, dewelke soms gebaseerd is op verouderde data, nog relevant is voor hedendaagse systemen. Ten slotte worden de zes scenario's opnieuw met elkaar vergeleken om te zien of de diepere analyses en toegepaste correcties andere resultaten opleveren en hoe de scenario's zich na aanpassing ten opzichte van elkaar verhouden.

In tabel 11 zijn de zes scenario's die in dit hoofdstuk worden besproken nog eens opgesomd. Ter illustratie is in figuur 12 het principeschema weergegeven van RVW_S3 met alle componenten die in rekening zijn gebracht. De principeschema's van de vijf andere scenario's zijn terug te vinden in bijlage B.

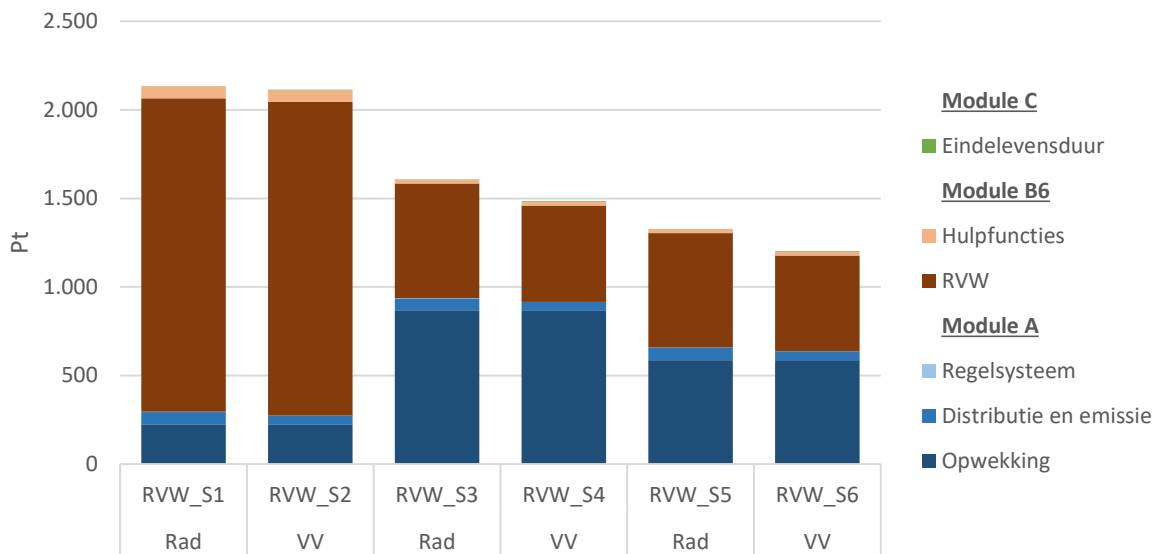
	SCENARIO	OPWEKKING	EMISSIE
RVW	1	Gascondensatieketel	Radiatoren
	2		Vloerverwarming
	3	Lucht-waterwarmtepomp	Radiatoren
	4		Vloerverwarming
	5	Grond-waterwarmtepomp	Radiatoren
	6		Vloerverwarming

Tabel 11. Overzicht van de scenario's voor de ruimteverwarming



Figuur 12. Principeschema van RVW_S3

6.1. Alle levenscyclusfasen



Grafiek 21. Vergelijking van de milieu-impact van RVW_S1-6 voor een levensduur van 60 jaar

Grafiek 21 geeft de milieu-impact van de zes scenario's voor ruimteverwarming weer waarbij voor elk scenario de opsplitsing wordt gemaakt tussen module A (de productie- en constructiefase), module B6 (het operationeel energiegebruik) en module C (de eindelevensduurfase voor alle gebruikte materialen). Om het verschil tussen radiatoren en vloerverwarming extra te benadrukken, is onder elke staaf weergegeven om welk emissiesysteem het gaat. RVW_S1 en RVW_S2 met de gascondensatieketel zorgen voor de grootste milieu-impact. Bij de scenario's met de warmtepompen zorgt de grondwaterwarmtepomp voor de laagste milieu-impact, onafhankelijk van het distributie- en emissiesysteem. De grondwaterwarmtepomp in combinatie met vloerverwarming heeft de laagste milieu-impact. De hoge milieu-impact van RVW_S1 en RVW_S2 komt voornamelijk door het groot operationeel energiegebruik voor ruimteverwarming, verantwoordelijk voor 87% van de totale milieu-impact, terwijl het bij RVW_S3 tot en met RVW_S6 module A is die met 50% à 62% domineert.

Wanneer enkel naar module A wordt gekeken zijn het RVW_S3 en RVW_S4, bestaande uit de lucht-waterwarmtepomp als opwekkingscomponent, die de grootste milieu-impact hebben. Die impact is zo'n 43% en 217% groter in vergelijking met die van de grondwaterwarmtepomp en gascondensatieketel respectievelijk. De hoge milieu-impact van module A van de zes scenario's komt voornamelijk door de opwekkingscomponenten. Het opwekkingssysteem via de lucht-waterwarmtepomp inclusief al zijn componenten heeft een meer dan 4 keer grotere impact dan de opwekkingscomponenten van RVW_S1/2 en 1,5 keer grotere impact dan de opwekkingscomponenten van RVW_S5/6. De milieu-impact van module A van het distributie- en emissiesysteem is voor elk scenario dat gebruikt maakt van radiatoren hetzelfde, respectievelijk voor de scenario's met vloerverwarming. De impact van module A van het

emissiesysteem met radiatoren heeft met 72 milieupunten een 40,55% grotere impact dan het emissiesysteem met vloerverwarming met 51 milieupunten. Module A van het regelsysteem en module C zijn in elk scenario verwaarloosbaar klein, samen goed voor een milieu-impact variërend van 2 tot 4 milieupunten, afhankelijk van het scenario.

De scenario's die gebruik maken van radiatoren hebben allen een grotere milieu-impact dan de scenario's die gebruik maken van vloerverwarming. De impactvergelijking zorgt bij RVW_SWW_S1/2 voor een verwaarloosbaar verschil van 0,88%, terwijl er tussen RVW_S3 en RVW_S4 en tussen RVW_S5 en RVW_S6 een groter verschil van 8,26% en 10,28% respectievelijk zit. Het kleine verschil tussen RVW_S1 en S2 is enkel te wijten aan de lagere impact van module A van het vloerverwarmingssysteem. Bij de warmtepompscenario's worden deze grotere verschillen naast de lagere impact van module A van het vloerverwarmingssysteem hoofdzakelijk veroorzaakt door een lager operationeel energiegebruik bij het gebruik van vloerverwarming. Het totale operationele energiegebruik, zowel voor de ruimteverwarming als de hulpfuncties, van RVW_S3 is ongeveer gelijk aan het totale operationele energiegebruik van RVW_S5. Dezelfde conclusies gelden voor RVW_S4 en RVW_S6 met vloerverwarming.

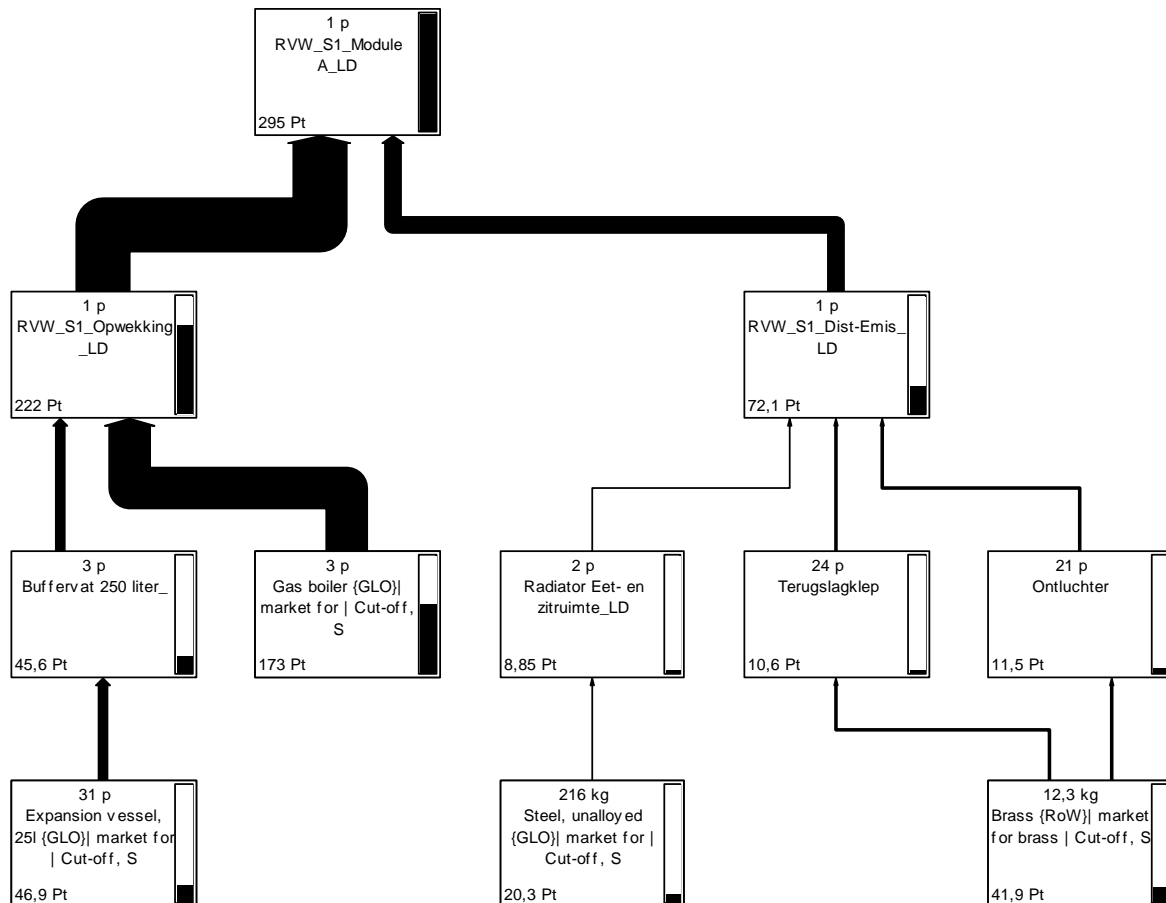
Om de oorzaak van het lagere operationeel energiegebruik bij de warmtepomp in combinatie met vloerverwarming te achterhalen wordt gekeken naar achtergrondbijlage V van de EPB-software (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020). Het eindenergiegebruik zoals ingegeven in SimaPro is bepaald door de verhouding van de bruto-energiebehoefte en het opwekkingsrendement. De bruto-energiebehoefte is het grootst bij de vloerverwarming, wat het gevolg is van het grotere afgifterendement van radiatoren (91,60%) in vergelijking met vloerverwarming (88,60%). Het opwekkingsrendement daarentegen is met 435% het grootst in combinatie met de vloerverwarming, terwijl het in combinatie met radiatoren slechts 353% bedraagt. Dit verschil in opwekkingsrendement is het gevolg van de bepaling van de SPF in actieve modus, dewelke op zijn beurt afhankelijk is van het temperatuurregime en het verschil tussen de vertrekwatertemperatuur en retourwatertemperatuur. Bij de scenario's met vloerverwarming wordt gebruik gemaakt van een laag temperatuurregime 40-35°C, terwijl bij de scenario's met radiatoren gebruikt wordt gemaakt van een hoger temperatuurregime 65-55°C. Voor meer informatie rond de bepaling van het eindenergiegebruik wordt verwezen naar 4.1. De formules die meer duidelijkheid bieden rond het verschil in opwekkingsrendement van de warmtepomp en gascondensatieketel zijn terug te vinden in bijlage C.

De daling van de operationele energie bij de warmtepompscenario's is dus groter dan de daling bij RVW_S1/2, wat dus vooral het gevolg is van het groter opwekkingsrendement. Warmtepompen presteren het best bij een zo laag mogelijk temperatuurregime, terwijl het bij

de gascondensatieketel er minder afhankelijk van is. Het opwekkingsrendement van RVW_S2 is met 99% slechts 3% groter dan het opwekkingsrendement van RVW_S1. De prestaties van de COP in relatie tot het tempartuurregime zijn terug te vinden in grafiek 10 van de literatuurstudie.

6.2. Module A

6.2.1. Opwekking – Gascondensatieketel

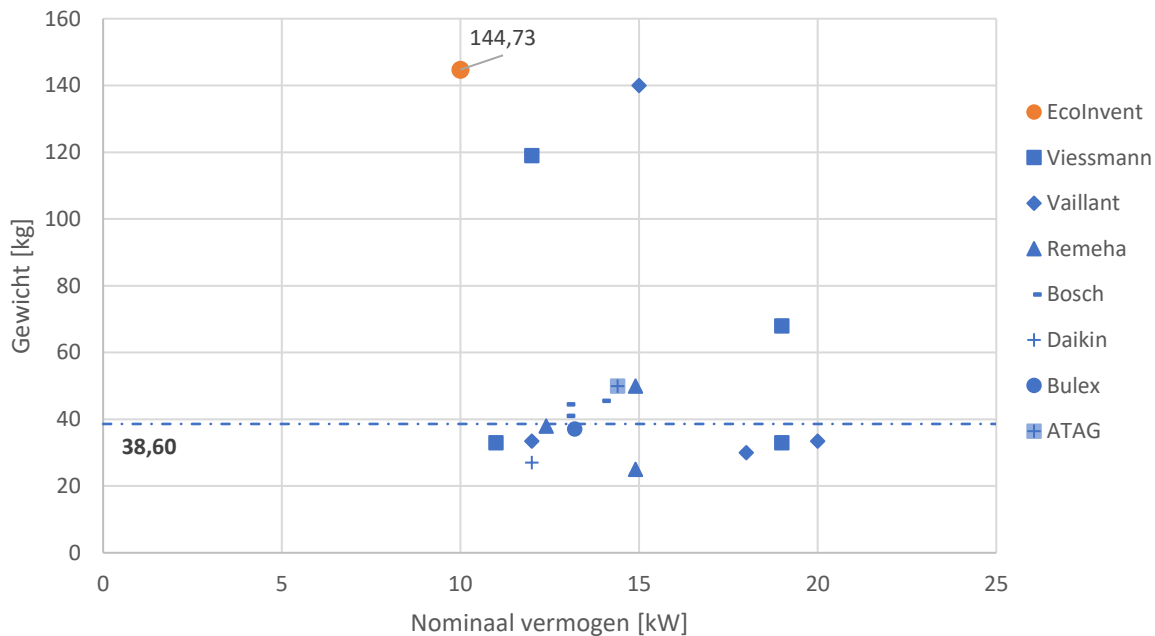


Figuur 13. Network van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_S1 voor een levensduur van 60 jaar

In tegenstelling tot grafiek 21 waar de milieu-impact van module A is gegroepeerd volgens hun functie is in figuur 13 het netwerk weergegeven van de afzonderlijke componenten die de grootste bijdrage leveren tot de milieu-impact van module A van RVW_S1 voor een levensduur van 60 jaar. Zoals eerder gezegd zorgen de opwekkingscomponenten voor de grote impact van module A. Uit dit netwerk blijkt dat vooral de gascondensatieketel met 173 milieupunten voor 58,64% verantwoordelijk is voor de impact van module A en voor 8,11% bij het in rekening brengen van alle levenscyclusfasen. In wat volgt wordt de milieu-impact van de gascondensatieketel dieper geanalyseerd.

Analyse van de gascondensatieketel

In SimaPro is het mogelijk om meteen een gascondensatieketel te selecteren. In de Ecoinvent-databank is deze gascondensatieketel van 10 kW gebaseerd op een olietel en gemodelleerd voor Europa. Ecoinvent veronderstelt dat de gasketel en olietel met een gelijk nominaal vermogen hetzelfde materiaal- en energiegebruik hebben gedurende het productieproces. Deze olietel is gemodelleerd voor 1993, maar er is opnieuw verondersteld dat de materialen van de oude ketels nog steeds van toepassing zijn op de recente olie- en gasketels. In SimaPro is voor de bepaling van de impact van de olietel gerekend met een gewicht van 144,73 kg. Dit gewicht kan rechtstreeks worden toegewezen aan de materialen van het opwekkingscomponent, de olietel, zelf. De lijst met de materialen van de olietel is terug te vinden in bijlage C.

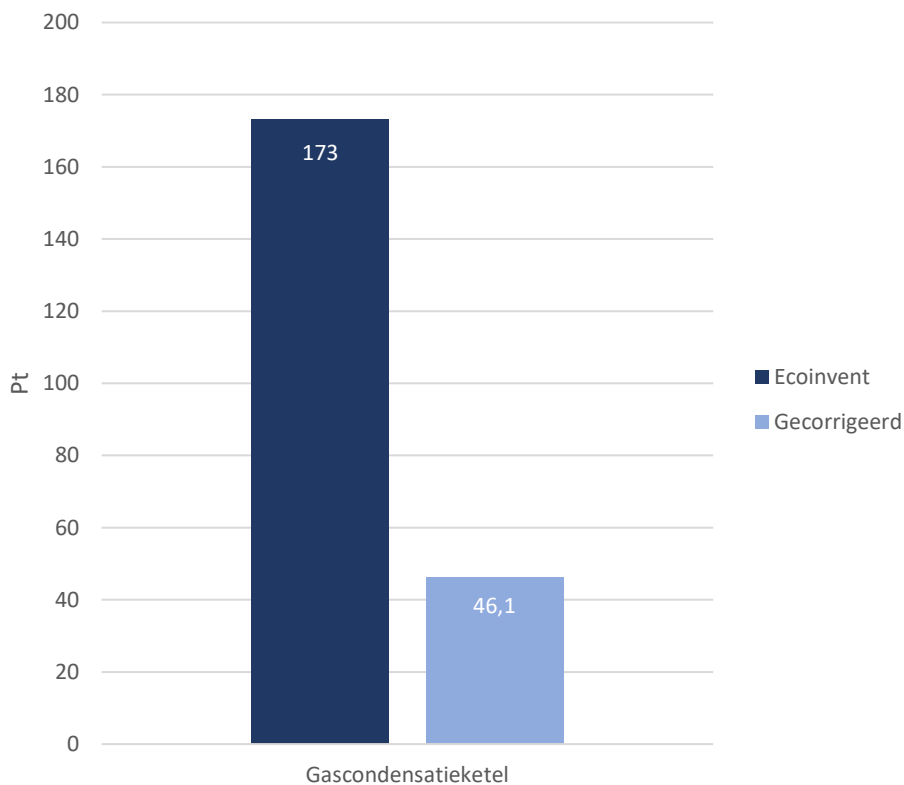


Grafiek 22. Vergelijking van gascondensatieketels volgens het gewicht en nominaal vermogen

Om een aanname te kunnen doen van het totaalgewicht aan materiaal van hedendaagse gascondensatieketels zijn een aantal recente gascondensatieketels van fabrikanten met elkaar vergeleken volgens hun nominaal vermogen en gewicht. In de EPB-software is de berekening doorgevoerd voor een gascondensatieketel met een nominaal vermogen van 13 kW bij een vertrek- en retourtemperatuurregime van 65-55°C in het geval van radiatoren en 40-35°C in het geval van vloerverwarming. Zoals te zien op grafiek 22 hebben de meeste gascondensatieketels met een nominaal vermogen tussen de 10 en 15 kW een gewicht die schommelt rond de 40 kg. Daarnaast zijn er ook gascondensatieketels op de markt beschikbaar met een zeer groot gewicht, maar deze worden omwille van hun klein aantal als uitzondering beschouwd. Voor de volledigheid zijn er enkele opwekkers geselecteerd met een hoger nominaal vermogen. Uit de resultaten blijkt dat er geen rechtstreeks verband te vinden

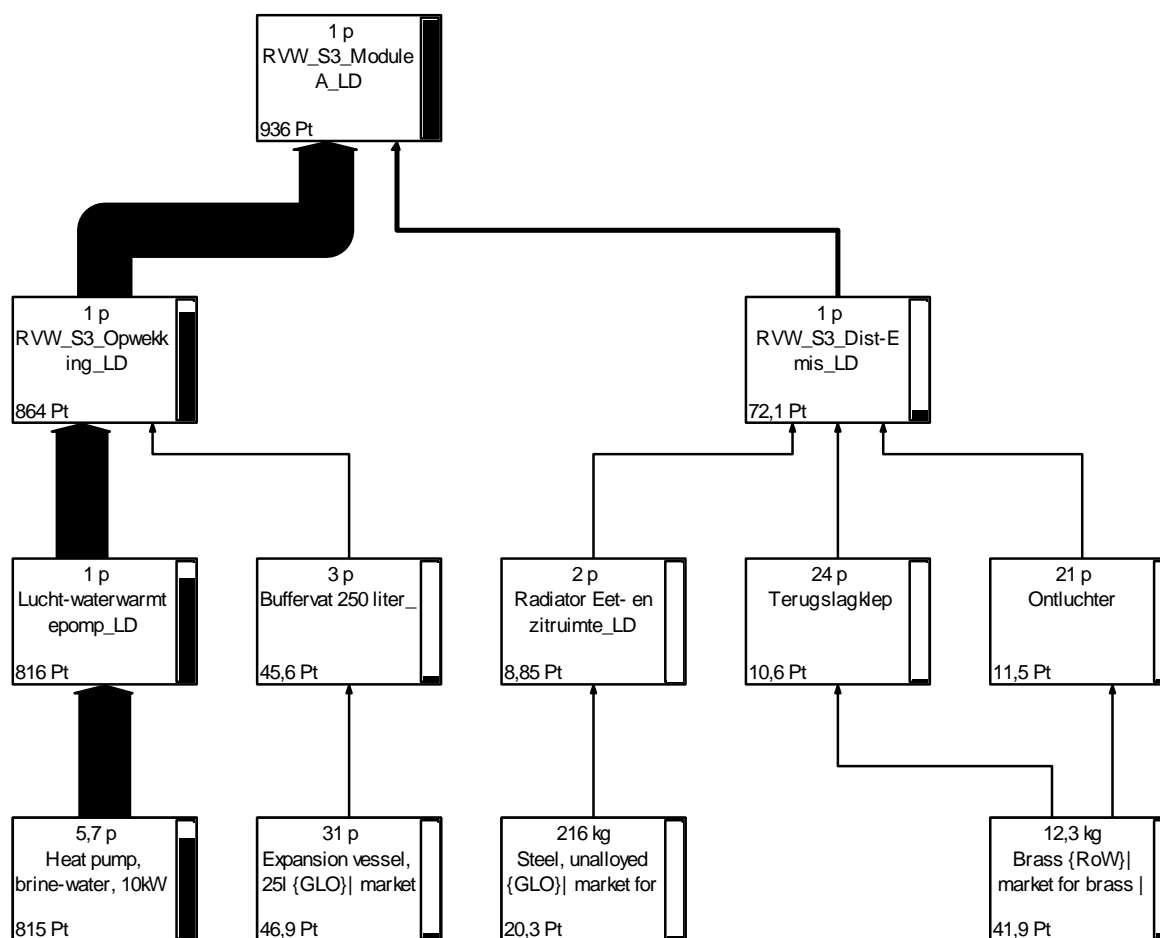
is tussen het nominaal vermogen en het gewicht. Er bestaan opwekkers met een groter nominaal vermogen die een lager gewicht hebben dan gascondensatieketels met een kleiner nominaal vermogen. De vergelijking van ketels volgens hun nominaal vermogen vormt dus geen goede basis om een gemiddeld gewicht te bepalen, waardoor ze niet als verschalingsinstrument mag gebruikt worden.

Het gemiddeld gewicht wordt berekend aan de hand van de ketels met een nominaal vermogen tussen de 10 en 15 kW en met een lager gewicht dan 60 kg. Zo wordt uit de vergelijking een gemiddeld gewicht van 38,60 kg bepaald, wat 73% lichter is dan het gewicht uit Ecoinvent. In de realiteit zal het benodigde gemiddelde gewicht voor de productie van een gascondensatieketel iets hoger liggen, omwille van de productieverliezen (bijv: snijverliezen). Aangezien deze eventuele productieverliezen lastig te begroten zijn, wordt verondersteld dat deze verwaarloosbaar klein zijn. Vervolgens is in SimaPro de vergelijking gemaakt tussen de milieu-impact van gascondensatieketels met een gewicht van 144,73 en 38,60 kg voor een levensduur van 60 jaar. Hier wordt enkel naar de productiefase gekeken, niet naar de constructiefase en diens bijhorend transport. Zoals te zien in grafiek 23 is in SimaPro de milieu-impact van de standaard gascondensatieketel met 126,9 milieupunten overschat. De ketel uit Ecoinvent heeft een milieu-impact die meer dan 275% keer groter is in vergelijking met de ketel met gecorrigeerd gewicht.



Grafiek 23. Vergelijking van de milieu-impact van de productiefase van de gascondensatieketel uit Ecoinvent en met gecorrigeerd gewicht voor een levensduur van 60 jaar

6.2.2. Opwekking - Lucht-waterwarmtepomp



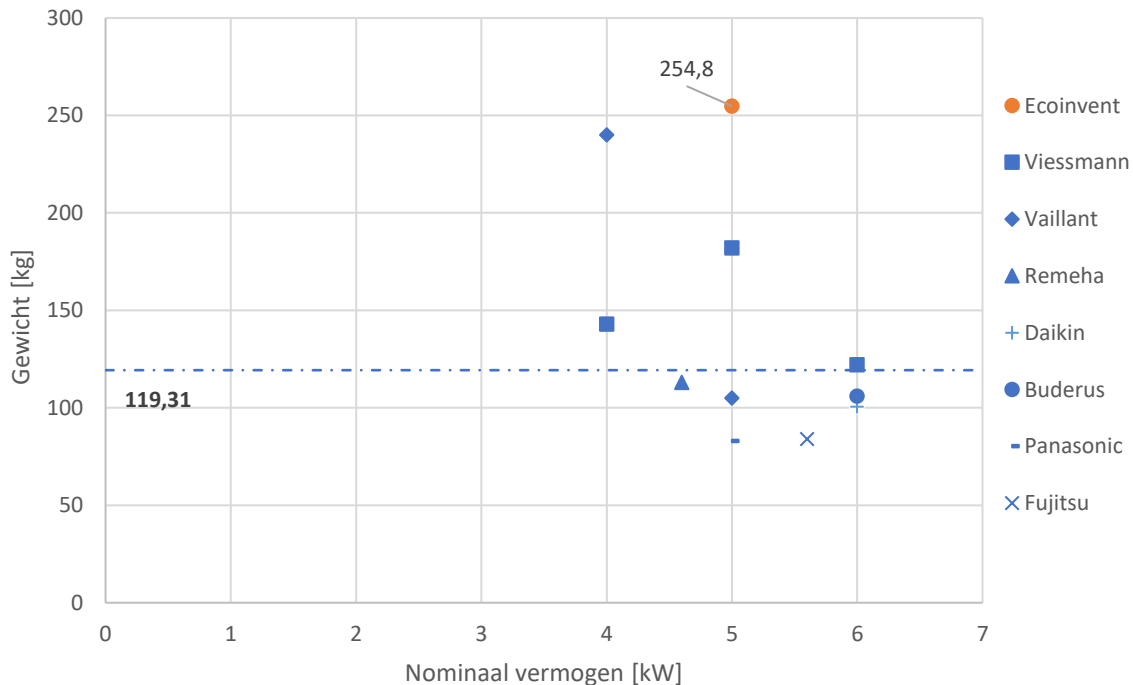
Figuur 14. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_S3 voor een levensduur van 60 jaar

Module A van RVW_S3 heeft met 936 milieupunten de grootste impact in vergelijking met module A van de vijf andere ruimteverwarmingsscenario's. Die impact is, zoals weergegeven in figuur 14, voor 87,18% het gevolg van de lucht-waterwarmtepomp zoals het in de Ecoinvent-databank beschikbaar is. Bij het in rekening brengen van alle levenscyclusfasen is module A van de lucht-waterwarmtepomp met 816 milieupunten verantwoordelijk voor 50,80% van de totale impact en speelt dus een zeer bepalende factor in de LCA. In wat volgt wordt de lucht-waterwarmtepomp dieper geanalyseerd en wordt er gekeken of de data uit Ecoinvent nog representatief is voor hedendaagse lucht-waterwarmtepompen.

Analyse van de lucht-waterwarmtepomp

In SimaPro is het niet mogelijk om meteen een lucht-waterwarmtepomp te selecteren, maar wordt het proces volgens informatie van Ecoinvent ingegeven aan de hand van de grondwaterwarmtepomp mits enkele aanpassingen. Zo staat er in Ecoinvent vermeld dat de lucht-waterwarmtepomp 1,6 keer meer koelmiddel bezit en bovendien een groter gewicht heeft dan de grondwaterwarmtepomp. Dat laatste wordt voornamelijk veroorzaakt door de zware

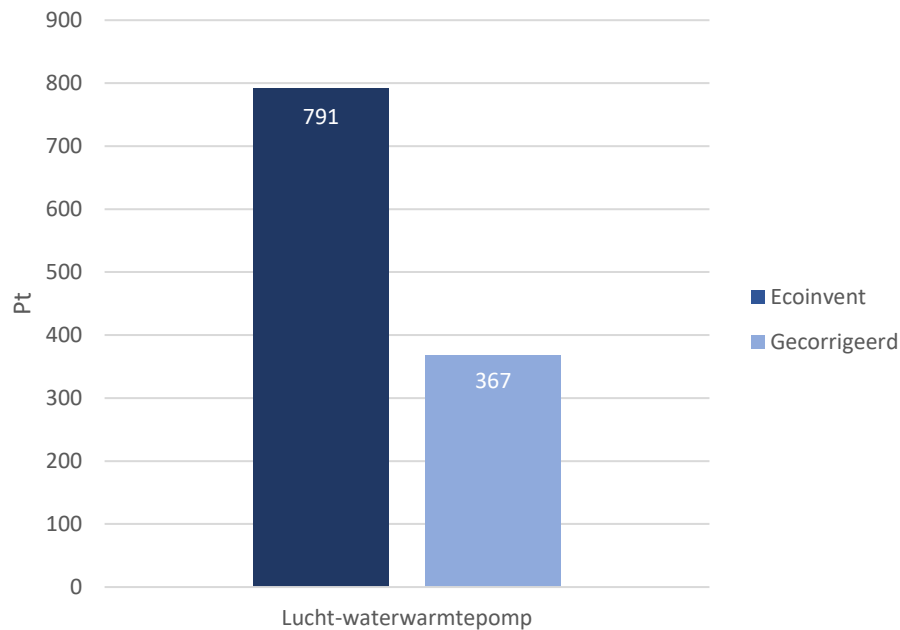
condensator. Om te voldoen aan de vereisten is ze 1,9 keer groter gedimensioneerd en is er een extra ventilator van 2,5 kg toegevoegd. In het standaard scenario wordt in SimaPro voor de lucht-waterwarmtepomp na de opmerkingen van Ecoinvent gerekend met een gewicht 254,80 kg. De lijst met materialen is terug te vinden in bijlage C.



Grafiek 24. Vergelijking van split-unit lucht-waterwarmtepompen volgens het gewicht en nominaal vermogen

In de EPB-file is voor de bepaling van het operationeel energiegebruik gerekend met een split-unit lucht-waterwarmtepomp van 5 kW. Voor de bepaling van het gemiddelde gewicht van hedendaagse lucht-waterwarmtepompen is op de markt gezocht naar warmtepompen met hetzelfde nominaal vermogen en type. Grafiek 24 toont de vergelijking van split-unit lucht-waterwarmtepompen van verschillende fabrikanten verdeeld volgens hun nominaal vermogen en gewicht. In tegenstelling tot de gascondensatieketel waar het gewicht rond de 40 kg zit en de andere ketels er ± 10 kg vanaf wijken (zie grafiek 22), is er bij het gewicht van de lucht-waterwarmtepomp een grotere variatie. Bovendien is er net zoals bij de gascondensatieketel geen eenduidig verband te vinden tussen het gewicht en het nominaal vermogen. Er bestaan warmtepompen van 6 kW die een lager gewicht hebben dan opwekkers van 4 kW en omgekeerd. Opvallend is wel dat de meeste geselecteerde opwekkers een veel lager gewicht hebben dan wat in SimaPro wordt aangenomen. Voor de bepaling van het gemiddeld gewicht is met de waarde van 240 kg geen rekening gehouden, aangezien deze warmtepomp eerder een uitzondering vormt. Bij de verdere berekening van de milieu-impact wordt voor het gecorrigeerd scenario een gemiddeld gewicht van 119,31 kg aangenomen, zo'n 53% lichter dan de waarde uit de Ecoinvent-databank. Opnieuw is de veronderstelling gemaakt dat de productieverliezen verwaarloosbaar klein zijn.

Vervolgens is in grafiek 25 de vergelijking gemaakt tussen de impact van de lucht-waterwarmtepomp uit Ecoinvent en die met gecorrigeerd gemiddeld gewicht, beiden voor een levensduur van 60 jaar. Enkel de productiefase van module A is hier in rekening genomen. Uit de vergelijking blijkt de pomp uit Ecoinvent met 791 milieupunten een milieu-impact te hebben die 2,15 keer groter is dan het gecorrigeerd gewicht. De milieu-impact is dus met 424 milieupunten overschat.



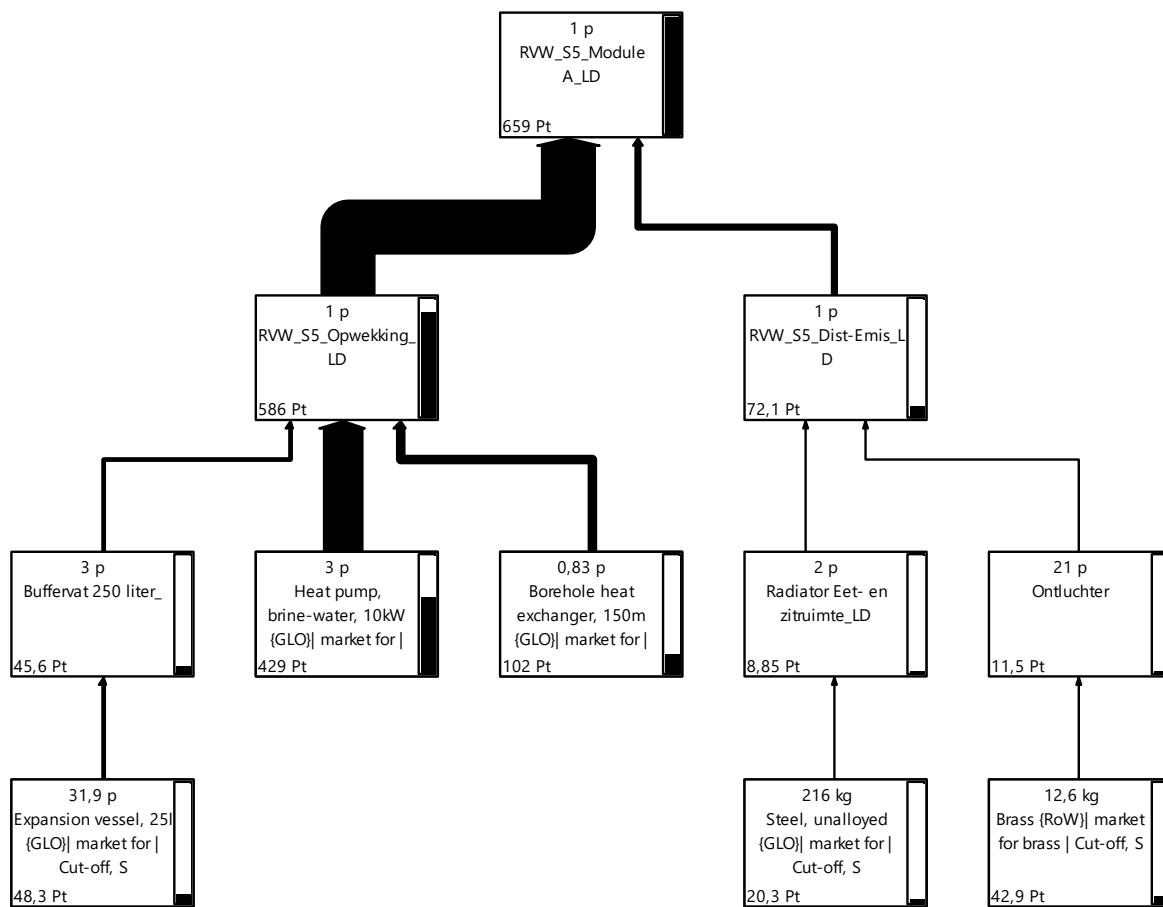
Grafiek 25. Vergelijking van de milieu-impact van de productiefase van de lucht-waterwarmtepomp uit Ecoinvent en met gecorrigeerd gewicht voor een levensduur van 60 jaar

6.2.3. Opwekking - Grond-waterwarmtepomp

Module A van RVW_S5/6 heeft een lagere impact dan module A van RVW_S3/4, maar een grotere impact dan module A van RVW_S1/2. Figuur 15 toont het netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_S5 voor een levensduur van 60 jaar per materiaal. Uit de resultaten blijkt de grond-waterwarmtepomp met 429 milieupunten verantwoordelijk te zijn voor 65,10% van de impact van module A. Verder zorgt de boorgatwarmtewisselaar, inclusief het aanwezige koelmiddel, met 102 milieupunten voor een grote impact. Deze twee componenten samen zijn verantwoordelijk voor 40,03% van de milieu-impact van alle levenscyclusfasen. In wat volgt worden deze drie componenten dieper geanalyseerd.

Hoewel de LCA zo grondig mogelijk wordt uitgevoerd, blijkt SimaPro volgens de literatuurstudie niet met alle milieueffecten van de grond-waterwarmtepomp rekening te houden. Zo komt de impact van de boorgaten en de aardsondes op het grondwater niet aan bod. Ook de enorme verticale impact van de boorgatwarmtewisselaar is door de milieu-

indicator 'landgebruik' niet in rekening gebracht, aangezien die indicator enkel rekening houdt met het aantal m² land die de aardsondes in rekening neemt, wat redelijk beperkt is.



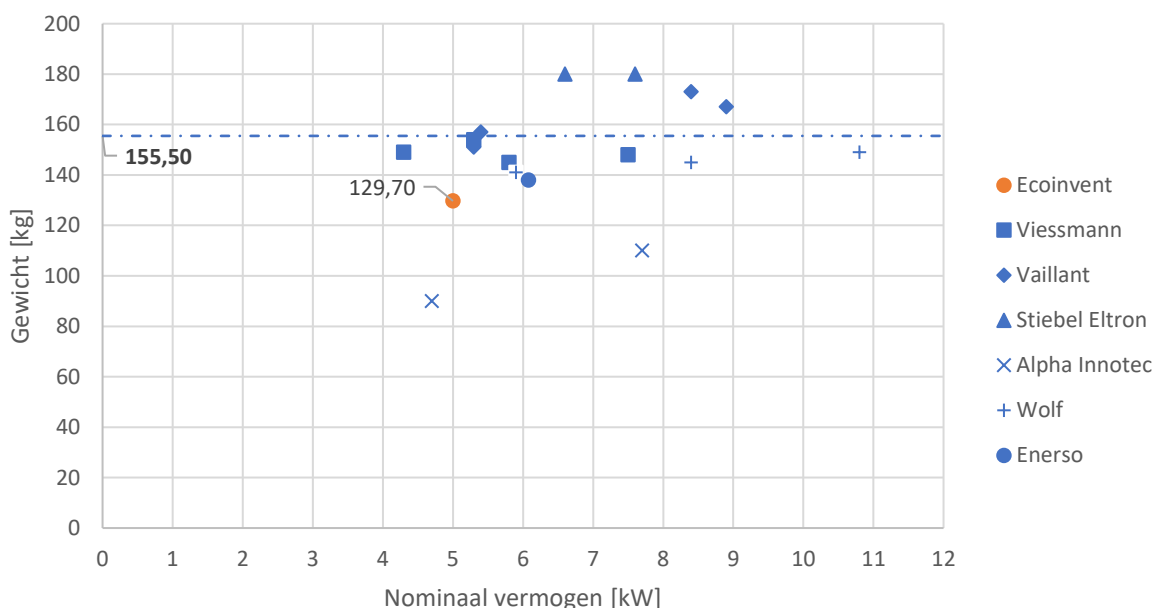
Figuur 15. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_S5 voor een levensduur van 60 jaar

Analyse van de grond-waterwarmtepomp

In de Ecoinvent-databank is het mogelijk om de grond-waterwarmtepomp meteen te selecteren. Ze heeft een nominaal vermogen van 10 kW en is gemodelleerd voor een eengezinswoning in Zwitserland in 2000 voor een emissiesysteem met temperatuurregime 50-40°C. De materialen uit Ecoinvent die rechtstreeks aan het opwekkingscomponent zijn gelinkt hebben een totaal gewicht van 129,70 kg. De exacte lijst met materialen is terug te vinden in bijlage C. De berekeningen in Ecoinvent voor de bepaling van het operationeel energiegebruik van RVW_S5 zijn gebaseerd op een grond-waterwarmtepomp van 5 kW. Aan de hand van technische fiches van fabrikanten zijn grond-waterwarmtepompen geselecteerd met eenzelfde nominaal vermogen. Voor de volledigheid zijn enkele warmtepompen met een groter nominaal vernomen opgenomen om een eventueel verband met het gewicht vast te stellen.

De vergelijking van hedendaagse grond-waterwarmtepompen van fabrikanten, verdeeld volgens hun gewicht en nominaal vermogen, is weergegeven in grafiek 26. De standaard

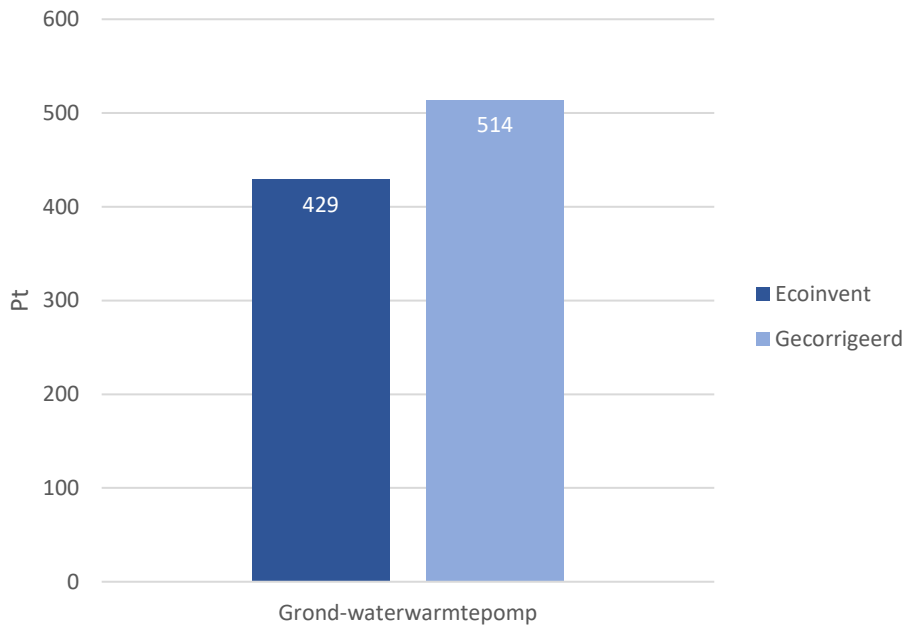
gascondensatieketel zoals beschikbaar in de Ecoinvent-databank heeft, met uitzondering van de grond-waterwarmtepompen van *Alpha Innotec*, een opvallend lager gewicht dan die van fabrikanten. De analyse van hedendaagse gascondensatieketels en lucht-waterwarmtepompen daarentegen hadden beiden een groter gewicht dan het standaard gewicht uit Ecoinvent. Net zoals bij de analyse van lucht-waterwarmtepomp is er bij de vergelijking van moderne grond-waterwarmtepompen een grote spreiding van het gewicht merkbaar, voornamelijk tussen de 140 en 180 kg. Opnieuw is er geen rechtstreeks verband te vinden tussen het gewicht en het nominaal vermogen, waardoor het nominaal vermogen niet als verschalingsindicator mag gebruikt worden bij de bepaling van het gewicht van grond-waterwarmtepompen. Bij de berekening van het gemiddeld gewicht zijn de warmtepompen van de fabrikant *Alpha Innotec* buiten beschouwing gelaten. Voor de verdere analyse van de gecorrigeerde grond-waterwarmtepomp is een gemiddeld gewicht van 155,50 kg aangenomen. De gecorrigeerde warmtepomp heeft zo een 20% zwaarder gewicht dan de standaard warmtepomp uit Ecoinvent. Het is verrassend dat bij de vergelijking van hedendaagse grond-waterwarmtepompen een groter gemiddeld gewicht wordt gevonden dan bij de lucht-waterwarmtepompen, aangezien Ecoinvent het advies geeft om lucht-waterwarmtepompen met een factor 1,9 groter te dimensioneren dan grond-waterwarmtepompen.



Grafiek 26. Vergelijking van grond-waterwarmtepompen volgens het gewicht en nominaal vermogen

Vervolgens is in SimaPro de vergelijking gemaakt tussen de milieu-impact van de grond-waterwarmtepompen met een gewicht van 129,70 kg en 155,50 kg voor een levensduur van 60 jaar, zoals weergegeven in grafiek 27. Hier wordt enkel naar de productiefase gekeken. Opnieuw zijn de productieverliezen als verwaarloosbaar klein beschouwd. Uit de resultaten blijkt dat de gecorrigeerde grond-waterwarmtepomp met 514 milieupunten een impact heeft

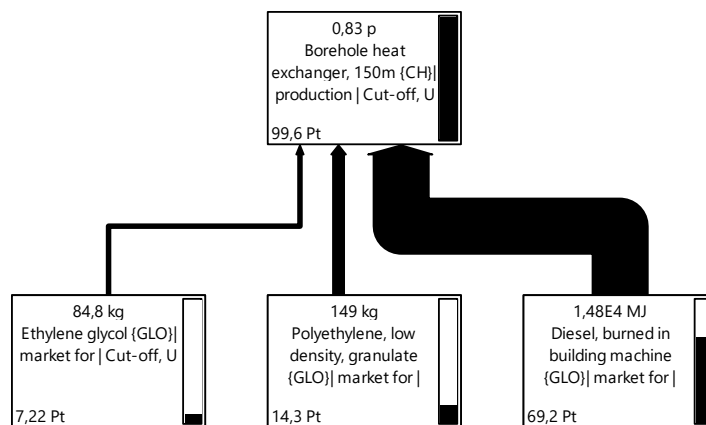
die 1,20 keer groter is dan de impact van de grond-waterwarmtepomp uit Ecoinvent. Het opwekkingscomponent wordt dus met 85 milieupunten onderschat.



Grafiek 27. Vergelijking van de milieu-impact van de productiefase van de grond-waterwarmtepomp volgens Ecoinvent en het gemiddeld gewicht voor een levensduur van 60 jaar

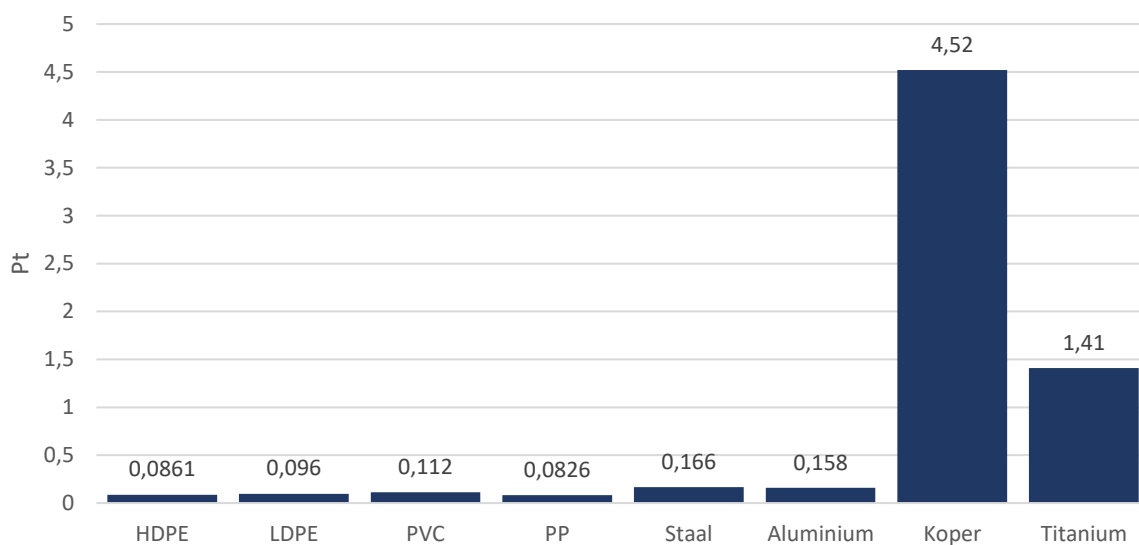
Analyse van de aardsondes en koelmiddel

In SimaPro is het mogelijk om meteen een bodemwarmtewisselaar te selecteren. Het component is gemodelleerd in 2000 voor een eengezinswoning in Zwitserland met een lengte van 150 meter. Hierin zit zowel een hoeveelheid bentoniet, cement, water-glycolmengsel, PE en gewapend staal. De materialenlijst met exacte hoeveelheden is terug te vinden in bijlage C. Figuur 16 toont het netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van 125 meter aardsonde voor een levensduur van 60 jaar. De grootste materiaalimpact die rechtstreeks aan het opwekkingscomponent kan worden toegekend, komt door het PE met lage dichtheid met 14,3 milieupunten, gevolgd door het water-glycolmengsel met 7,22.



Figuur 16. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van 125 meter aardsonde voor een levensduur van 60 jaar

Naast PE is het ook mogelijk om andere materialen als grondwarmtewisselaar te gaan gebruiken waaronder PVC, PEX, versterkt PP, gegalvaniseerd staal, aluminium, koper en titanium (Mendrinós et al., 2016). Om een goede installatie en werking mogelijk te maken moet er wel rekening worden gehouden met de thermische geleidbaarheid en de grondkarakteristieken van de casestudy. Grafiek 28 vergelijkt de milieu-impact van de productiefase van 1 kg aan mogelijke materialen voor de aardsondes. Uit de resultaten blijkt dat polypropyleen de laagste milieu-impact heeft. Het verschil met PE met lage dichtheid (LDPE), zoals gebruikt in Ecoinvent, is echter zodanig klein dat ze als verwaarloosbaar kan worden gezien. Vooral het koper en titanium hebben een zeer hoge impact en worden vanuit ecologisch standpunt beter niet gebruikt.

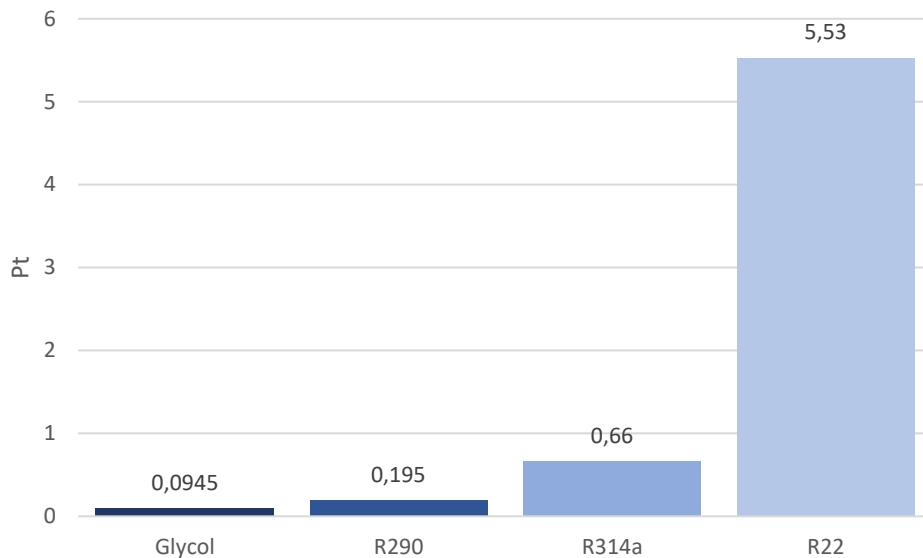


Grafiek 28. Vergelijking van de milieu-impact van 1 kg aan mogelijk materialen van de aardsondes

De aardsondes zijn opgevuld met een warmtedragend medium die de warmte vanuit de grond naar de verdampers van de warmtepomp transporteren. Veelal is hiervoor gebruik gemaakt van een water-glycol mengsel (70% water en 30% glycol), maar er zijn ook andere koelmiddelen mogelijk. In SimaPro en meer bepaald in de Ecoinvent-databank zijn er niet veel koelmiddelen beschikbaar waarvan de milieu-impact kan worden geanalyseerd. Bijgevolg zijn er slechts vier koelmiddelen met elkaar vergeleken: glycol, R290, R314a en R22. De laatste drie zijn koelmiddelen die naast de aardsondes ook in de warmtepomp zelf worden gebruikt. In de lucht- en grond-waterwarmtepomp uit Ecoinvent is steeds gebruik gemaakt van het koelmiddel R314a. R290 is beter gekend onder de naam propaan. Het is een koolwaterstof die nog niet ruim toepasbaar is in warmtepompen omwille van zijn explosief en brandbaar karakter. Bovendien is het rendement die verkregen wordt met dit koelmiddel nog niet optimaal.

Om de milieu-impact van de productiefase van het koelmiddel te analyseren wordt een vergelijking gemaakt van 1 liter, rekening houdende met elk hun eigen dichtheid. Uit grafiek 29 blijkt glycol met 0,0945 milieupunten de laagste milieu-impact te hebben en lijkt dus het meest

geschikt om te gebruiken in de aardsondes. R22 heeft een milieu-impact die 34 keer groter is dan R314a. Omwille van die reden is R22 al verboden te gebruiken in Europa. R290 daarentegen heeft een acht keer kleinere milieu-impact dan R314a en lijkt mits het in acht nemen van zijn eigenschappen een meer aangewezen koelmiddel met een beperkte milieu-impact om te gebruiken in de warmtepompen.

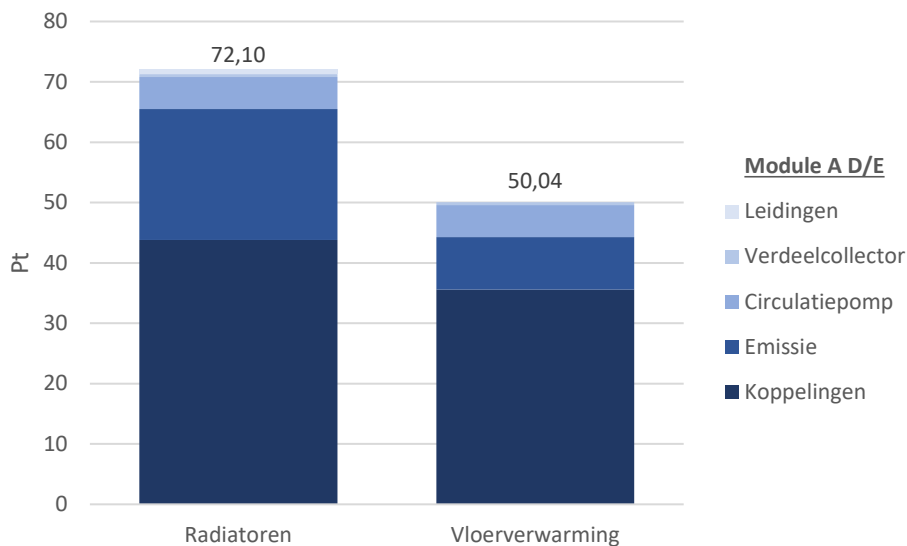


Grafiek 29. Vergelijking van de milieu-impact van 1 liter koelmiddel

6.2.4. Distributie en emissie

Module A van het distributie- en emissiesysteem is afhankelijk van het beschouwde scenario verantwoordelijk voor 5,60 à 24,44% van de totale milieu-impact van module A. De materialen van het distributie- en emissiesysteem met radiatoren hebben met 72,1 milieupunten een 44% grotere impact dan de componenten van het vloerverwarmingssysteem met 50 milieupunten. Grafiek 30 toont de vergelijking tussen de milieu-impact van module A van beide emissiesystemen gegroepeerd per component. Het component 'leidingen' bestaat uit de waterleiding tussen het opwekkingscomponent en de verdeelcollector, de waterleidingen tussen de verschillende verdeelcollectoren en in het geval van radiatoren ook de leidingen tussen de verdeelcollectoren en het emissiesysteem. De legplannen van de vloerverwarming/radiatoren en de waterleidingen zijn terug te vinden in bijlage A.

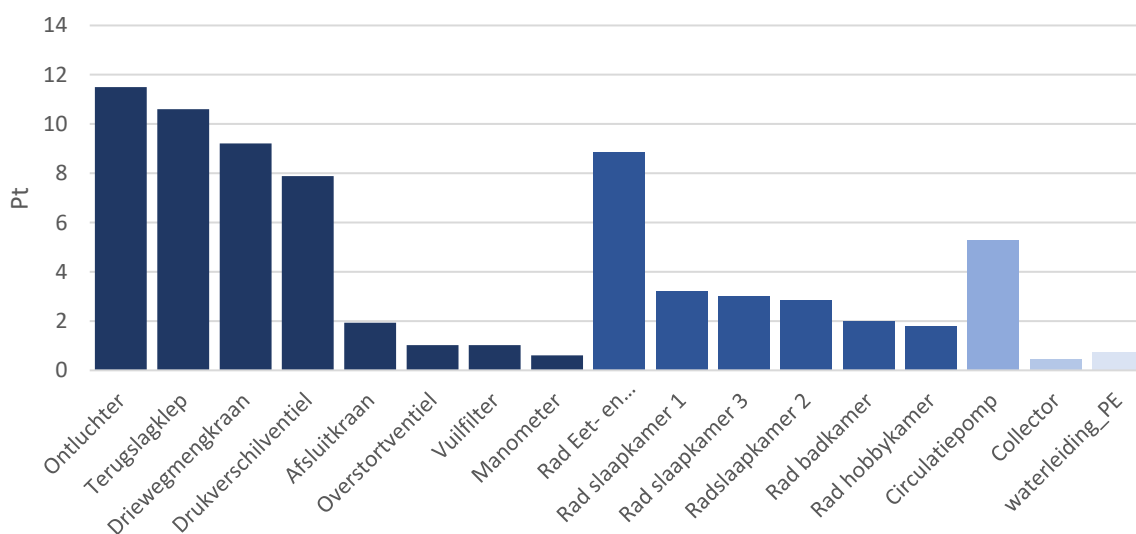
De koppelingen, het emissiesysteem en de circulatiepompen zorgen volgens die volgorde in beide staven voor de grootste bijdrage. De verdeelcollectoren en de waterleiding daarentegen hebben een verwaarloosbaar kleine impact met 1,22 milieupunten in het geval van radiatoren en 0,47 milieupunten in het geval van vloerverwarming. Het grote verschil tussen de twee distributie- en emissiesystemen is het gevolg van de koppelingen en het emissiesystemen, dewelke respectievelijk 23,15 en 149,23% groter zijn in het geval van radiatoren.



Grafiek 30. Vergelijking van de milieu-impact van module A van het distributie- en emissiesysteem van RVW_S1/3/5 met radiatoren en RVW_S2/4/6 met vloerverwarming voor een levensduur van 60 jaar

6.2.4.1. Radiatoren

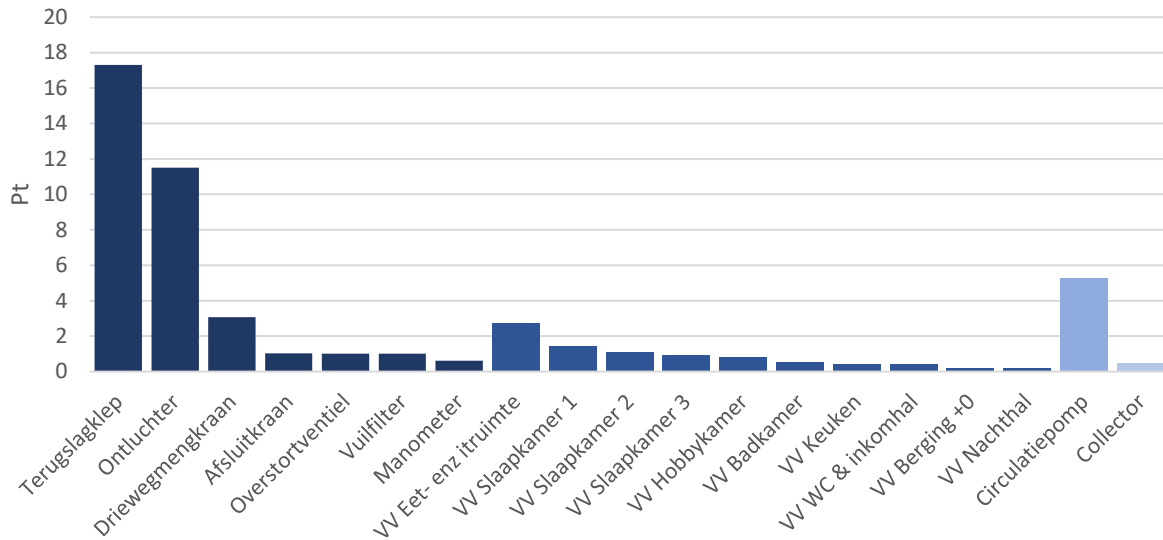
In tegenstelling tot grafiek 30 waar de impact van alle componenten van het distributie- en emissiesysteem is gegroepeerd, is in grafiek 31 diezelfde impact weergegeven per component voor een levensduur van 60 jaar. Hieruit blijkt vooral dat de grote impact van de koppelingen te wijten is aan een specifiek aantal koppelingen: de ontluchter, terugslagklep, driewegmengkraan en drukverschilventiel. Deze componenten die een relatief laag gewicht hebben per eenheid, tussen de 100 en 160 gram, blijken door het grote aantal toch een relatief grote impact te hebben. De exacte aantallen per scenario, bijhorend gewicht en transportafstanden tussen fabriek en het gebouw zijn terug te vinden in bijlage B.



Grafiek 31. De milieu-impact van het distributie- en emissiesysteem van module A van RVW_S1/3/5 met radiatoren voor een levensduur van 60 jaar

6.2.4.2. Vloerverwarming

Net zoals grafiek 31 is in grafiek 32 de milieu-impact per component weergegeven van het vloerverwarmingssysteem voor een levensduur van 60 jaar. Ook hier blijken twee koppelingen voor de grote impact te zorgen: de terugslagklep en ontluchter.

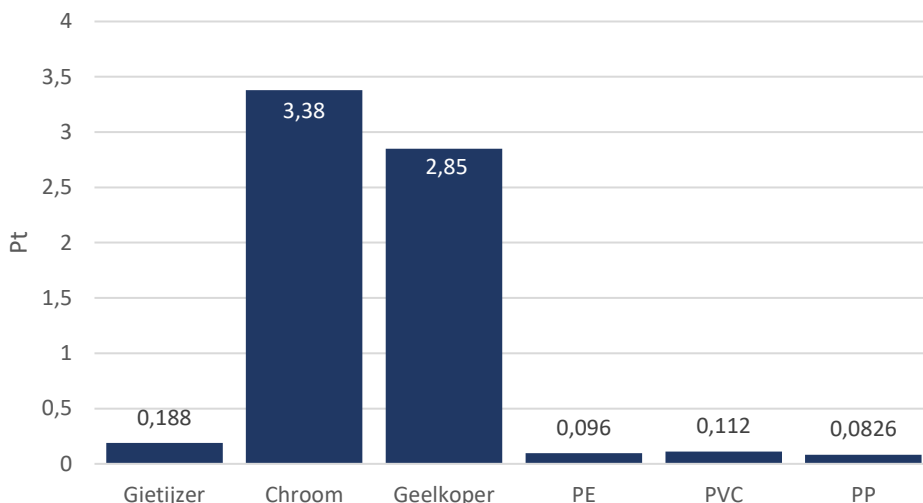


Grafiek 32. De milieu-impact van het distributie- en emissiesysteem van module A van RVW_S2/4/6 met vloerverwarming voor een levensduur van 60 jaar

Aangezien deze koppelingen en de emissiesystemen voor de grootste impact zorgen, worden in wat volgt deze twee componenten dieper geanalyseerd. Meer specifiek is de milieu-impact van verschillende materialen met elkaar vergeleken.

Analyse van de koppelingen

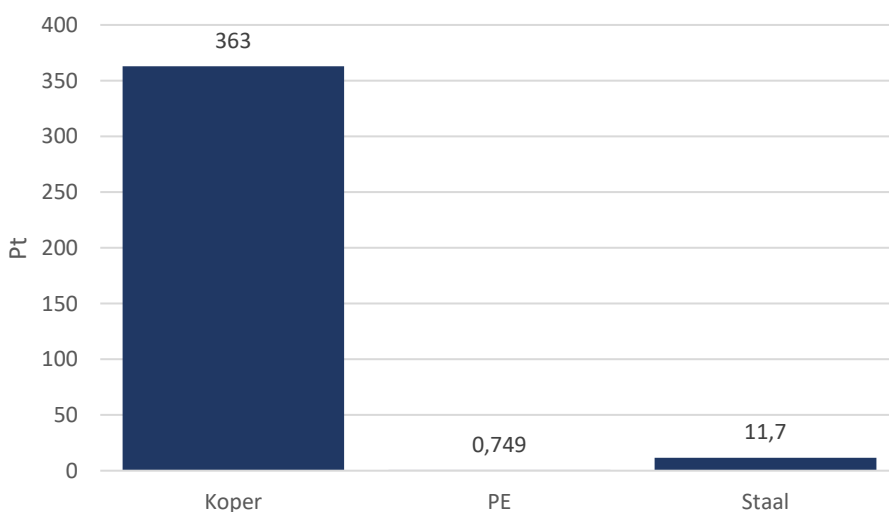
In de zes standaard ruimteverwarmingsscenario's is gebruik gemaakt van geelkoper, een veelgebruikt materiaal in koppelingen omwille van zijn goede technische eigenschappen. Er bestaan echter nog andere materialen waaruit koppelingen zijn vervaardigd. Grafiek 33 maakt de vergelijking van 1 kg aan verschillende materialen die op de markt beschikbaar zijn als koppeling. Uit de resultaten blijkt dat geelkoper, in vergelijking met andere materialen, met 2,85 milieupunten een hoge milieu-impact heeft, enkel chroom zorgt met 3,38 punten voor een 18,60% grotere impact. Polyethyleen, PVC en polypropyleen blijken de laagste impact te hebben, zo'n 96 à 97% kleiner in vergelijking met geelkoper. Naast de impact op ecologisch vlak, moet er op technisch vlak echter ook worden gekeken naar de interne werking tussen de koppelingen om problemen zoals galvanische oxidatie te vermijden. Voor de gecorrigeerde vergelijking is verondersteld dat alle koppelingen uitvoerbaar zijn in PE, wat in de realiteit voor sommige koppelingen misschien moeilijk realiseerbaar is, en dat alles technisch zonder problemen aansluitbaar is.



Grafiek 33. Vergelijking van 1 kg verschillende materialen als koppeling (gietijzer, chroom, geelkoper, PE, PVC en PP)

Analyse van de waterleiding

Het component leidingen zorgt bij de impactvergelijking van beide emissiesystemen (zie grafiek 30) voor een verwaarloosbare milieu-impact, maar ook het component emissiesystemen bij het vloerverwarmingsscenario bestaat uit waterleidingen en die zorgt wel voor een grote impact. In het standaardscenario is gebruik gemaakt van PE-leidingen, maar net zoals bij de koppelingen zijn er nog andere mogelijkheden, zoals koperen of stalen waterleidingen. In grafiek 34 is de vergelijking gemaakt tussen de milieu-impact van 190,78 meter waterleiding, rekening houdende met ieder materiaal zijn eigen densiteit. Uit de vergelijking blijkt het gebruikte PE de laagste impact te hebben, zo'n 99,8% en 93,6% lager in vergelijking met respectievelijk koper en staal.

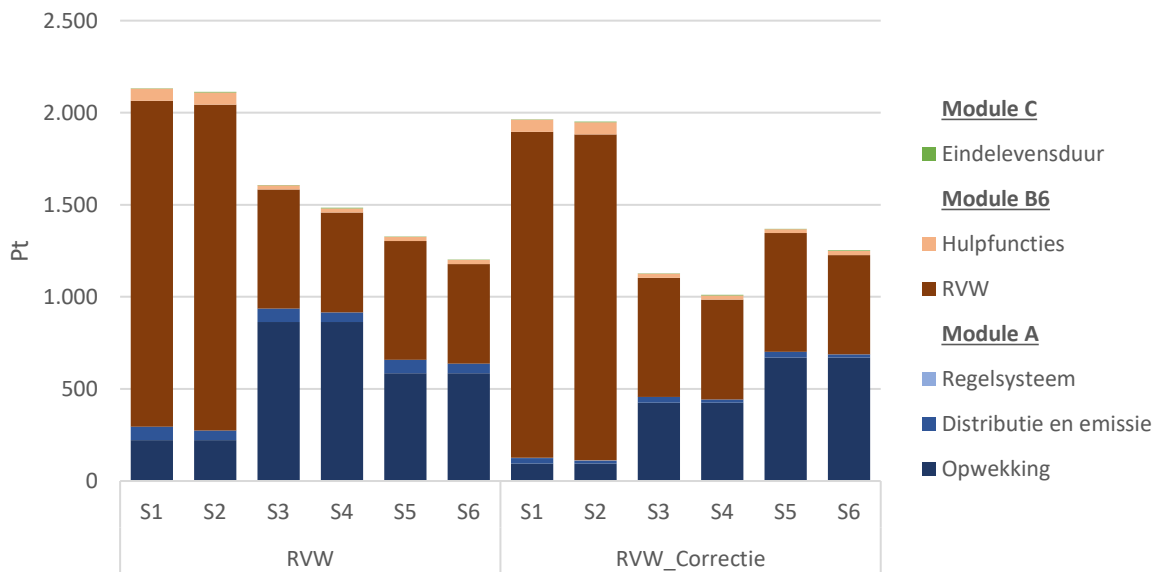


Grafiek 34. Vergelijking van de milieu-impact van drie soorten waterleidingen (koper, PE en staal) met een lengte van 190,78 meter voor een levensduur van 60 jaar

6.3. Gecorrigeerde milieu-impact

In dit hoofdstuk werden verschillende onderdelen van de zes principeschema's voor ruimteverwarming geanalyseerd, wat resulteerde in een ofwel hogere of lagere impact. De gegevens uit Ecoinvent blijken niet altijd relevant in vergelijking met gegevens van hedendaagse producten van fabrikanten voor de bepaling van de milieu-impact. Een opvallend resultaat is de suggestie van Ecoinvent om de lucht-waterwarmtepomp met een factor 1,9 te dimensioneren aan de hand van de grond-waterwarmtepomp, terwijl uit het marktonderzoek blijkt dat de lucht-waterwarmtepomp een lager gewicht heeft dan de grond-waterwarmtepomp.

In deze paragraaf zijn alle geanalyseerde componenten uit dit hoofdstuk samengebracht en toegepast in gecorrigeerde scenario's. Zo is er een lager gewicht in rekening gebracht voor de gascondensatieketel, de lucht-waterwarmtepomp en de koppelingen, maar een hoger gewicht voor de grond-waterwarmtepomp. Het gewicht van de aardsondes, het koelmiddel en de waterleidingen blijven onveranderd. De vergelijking tussen de milieu-impact van de zes standaard en de zes gecorrigeerde ruimteverwarmingsscenario's voor een levensduur van 60 jaar is weergegeven in grafiek 35. De optredende verschillen zullen dus enkel te wijten zijn aan optimalisaties in module A en bijgevolg ook in module C.



Grafiek 35. Vergelijking van de milieu-impact van de zes RVW-scenario's volgens Ecoinvent (links) en de gecorrigeerde RVW-scenario's (rechts) voor een levensduur van 60 jaar

Uit de resultaten blijkt de milieu-impact van de gecorrigeerde scenario's gedaald te zijn voor S1 tot en met S4, maar gestegen voor S5/6. Waar in het standaard scenario RVW_S5 en RVW_S6 met de grond-waterwarmtepomp de laagste milieu-impact hebben, hebben ze nu een respectievelijk 3,24 en 4,15% hogere impact. RVW_S1 en RVW_S2 zijn respectievelijk met 7,92% en 7,66% gedaald, maar de grootste daling is op te merken bij RVW_S3 en RVW_S4, respectievelijk 29,88% en 31,89%.

Bij de vergelijking van de drie modules blijkt in de standaardscenario's module B6 verantwoordelijk te zijn voor het grootste aandeel van de milieu-impact bij RVW_S1/2, maar is het bij de warmtepompscenario's module A die verantwoordelijk is voor het grootste aandeel. In de gecorrigeerde scenario's zijn de verhoudingen veranderd. In RVW_S3/4 is module A dermate kleiner geworden dat module B6 er nu ook verantwoordelijk is voor de grootste impact. Bij RVW_S5/6 blijft module A verantwoordelijk te zijn voor de grote impact. De impact van module C is slechts met 0,16 à 0,20 milieupunten gestegen en blijft samen met module A van het regelsysteem verwaarloosbaar klein.

Wanneer er enkel naar module A wordt gekeken, hebben de gecombineerde scenario's RVW_S5 en RVW_S6 met respectievelijk 701,42 en 687,52 milieupunten de grootste impact. De impact van module A is het sterkst gedaald bij RVW_S2 met 59,11%, gevolgd door RVW_S1 met 57,28%. Module A van deze twee scenario's blijft trouwens de laagste impact hebben. Module A van RVW_S3 en RVW_S4 is met respectievelijk 51,27% en 51,68% gedaald. Door het in rekening brengen van een zwaarder gewicht van de grondwaterwarmtepomp is module A van RVW_S5 en RVW_S6 respectievelijk met 6,50 en 7,79% gestegen. Bij de vergelijking van de distributie- en emissiesystemen blijkt door de correctie van de koppelingen de impact van module A van het emissiesysteem met radiatoren met 58,53% gedaald te zijn. Module A van het vloerverwarmingssysteem daarentegen is gedaald met 68,81%.

6.4. Besluit

Ter conclusie geldt dat er voor de ruimteverwarmingsscenario's grote verschillen zijn te vinden tussen de data uit Ecoinvent en de hedendaagse marktdata. Zo is de impact van de gascondensatieketel en lucht-waterwarmtepomp met respectievelijk 275% en 115% onderschat en de impact van de grondwaterwarmtepomp met bijna 20% onderschat. De Ecoinvent-databank blijkt omwille van de soms verouderde data niet steeds relevant genoeg te zijn voor hedendaagse processen. Deze toegepaste correcties, samen met een optimalisatie van de koppelingen zorgen ervoor dat er andere resultaten worden verkregen in vergelijking met het standaard scenario. Uiteindelijk leidt het scenario met de luchtwaterwarmtepomp in combinatie met de vloerverwarming tot de laagste milieu-impact.

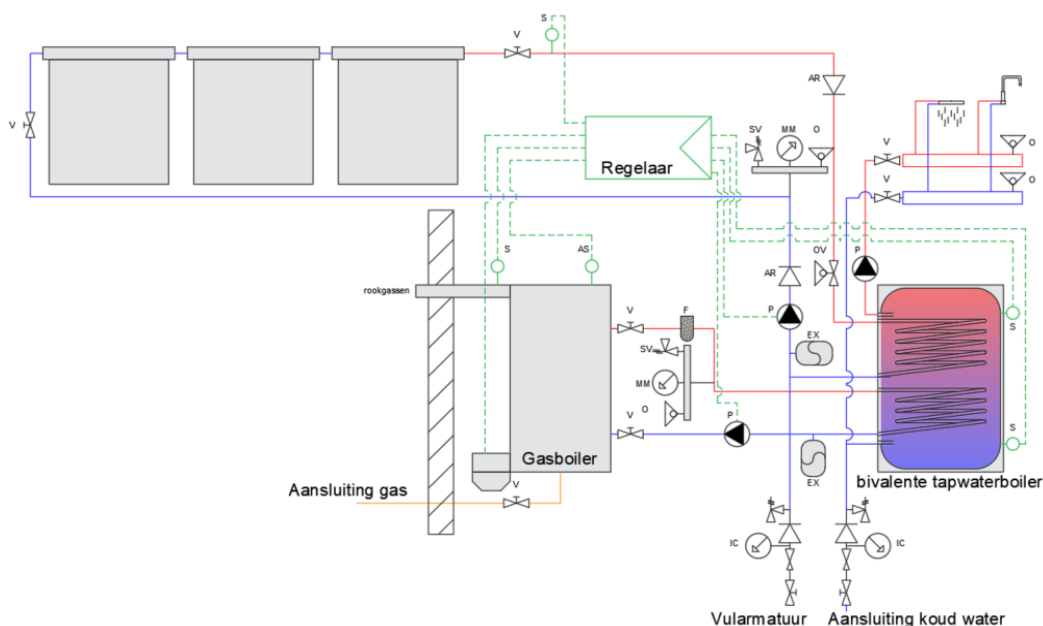
Hoofdstuk 7. Milieu-impact van sanitair warm water

In dit hoofdstuk wordt de milieu-impact van de drie tapwaterscenario's met elkaar vergeleken voor een levensduur van 60 jaar. Net zoals de ruimteverwarming is voor de bepaling van de impact gebruik gemaakt van de casestudy De Venning. De standaard tapwaterscenario's zijn gebaseerd op de data uit Ecoinvent en houden rekening met de drie modules: A, B6 en C. Daarnaast wordt er specifiek ingegaan op de milieu-impact van module A van elk scenario, aangezien dit module bepalend is voor de hoeveelheid materiaal en zijn de componenten die de grootste bijdrage leveren tot de milieu-impact dieper geanalyseerd. Er wordt opnieuw bekeken of de materialen uit Ecoinvent nog relevant genoeg zijn voor de bepaling van de milieu-impact van hedendaagse processen. Als laatste wordt de vergelijking gemaakt tussen de standaard scenario's en de gecorrigeerde scenario's.

In tabel 12 is een overzicht weergegeven van de drie scenario's voor warmwateropwekking die in dit hoofdstuk aan bod komen. Ter illustratie is in figuur 17 het prinscipeschema van SWW_S2 weergegeven die een overzicht biedt van alle componenten die in rekening zijn gebracht. De prinscipeschema's van de resterende twee scenario's zijn terug te vinden in bijlage B.

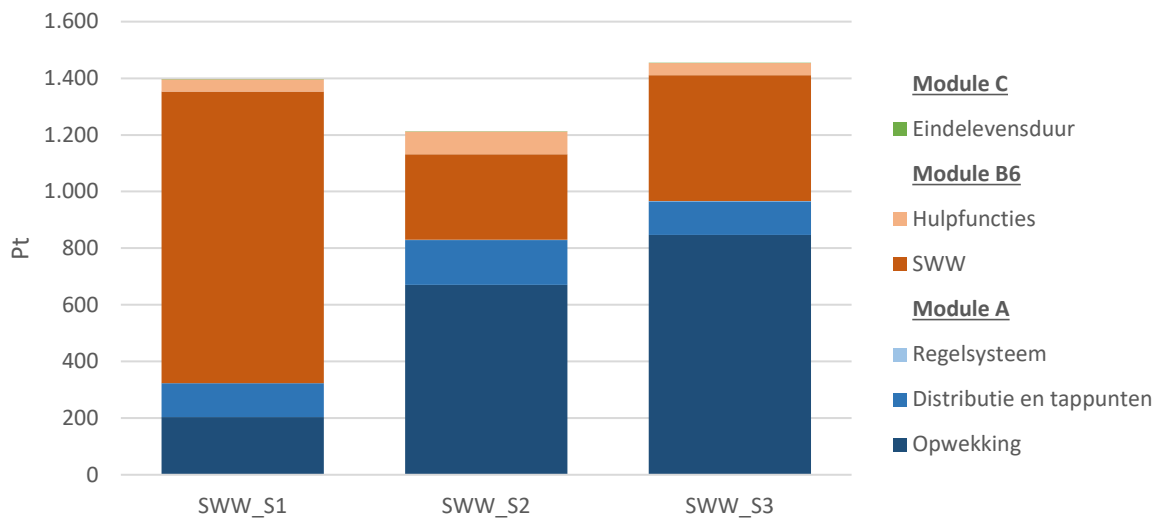
SWW	SCENARIO		OPWEKKING	TAPPUNT
	1	Gasboiler		1 keukenkraan
	2	Zonneboiler + gasboiler		2 wastafelkranen
	3	Warmtepompboiler (via buitenlucht)		1 douchekraan

Tabel 12. Overzicht van de scenario's voor de warmwateropwekking



Figuur 17. Principeschema van SWW_S2

7.1. Alle levenscyclusfasen



Grafiek 36. Vergelijking van de milieu-impact van SWW_S1-3 voor een levensduur van 60 jaar

Grafiek 36 vergelijkt de milieu-impact van de drie tapwaterscenario's voor een levensduur van 60 jaar. SWW_S3 met de warmtepompboiler als opwekking heeft met 1454 milieupunten de grootste impact. SWW_S1 en SWW_S2 hebben een respectievelijk 4% en 16,6% kleinere impact. Bij de vergelijking van de levenscyclusfasen is module B6 het grootst bij SWW_S1 en is het verantwoordelijk voor 76% van de totale impact. Bij SWW_S2 en SWW_S3 daarentegen heeft module A de grootste impact. Module A van het regelsysteem en module C hebben net zoals bij de vergelijking van de ruimteverwarmingsscenario's in alle drie de staven een verwaarloosbaar kleine impact. In tegenstelling tot grafiek 21 waar het scenario met de gascondensatieketel een grotere impact heeft dan de warmtepompscenario's, heeft bij de tapwaterscenario's de warmtepompboiler een grotere impact dan de gasboiler.

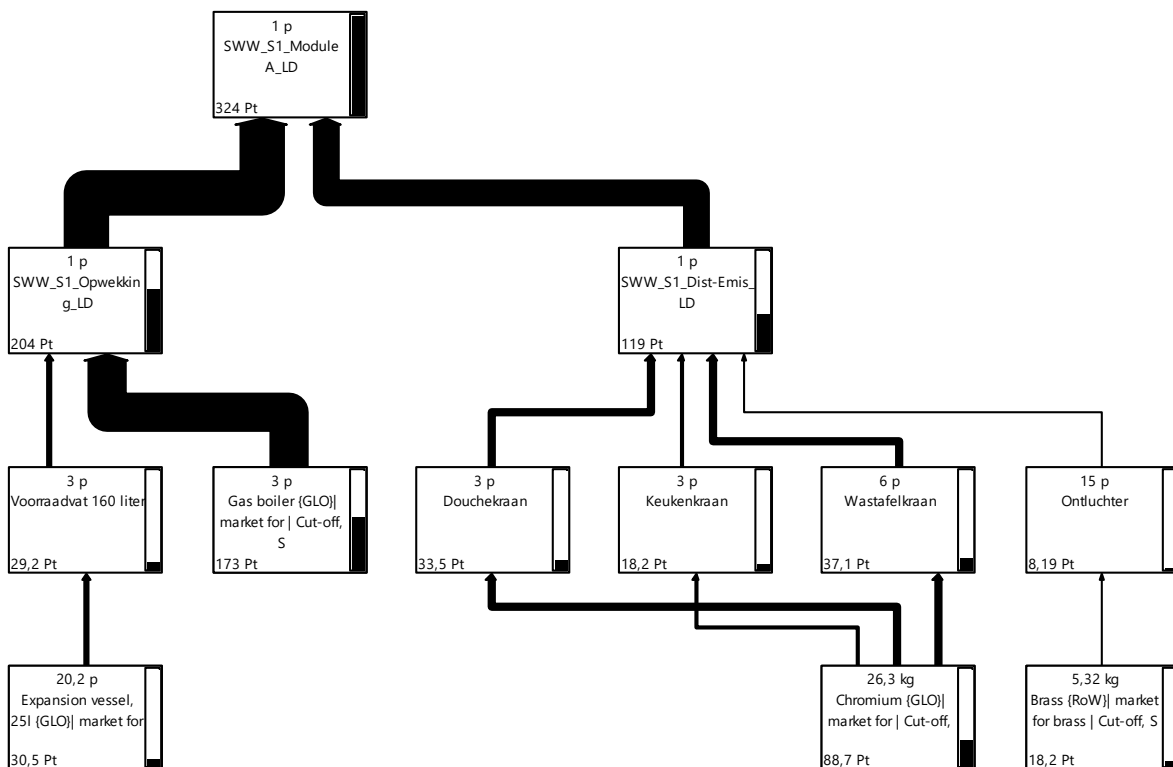
Het toevoegen van zonnecollectoren aan SWW_S1 heeft een groot effect op ecologisch vlak. Enerzijds heeft het een invloed op het operationeel energiegebruik. De zonnecollectoren zorgen voor een verlaging van de milieu-impact van het operationeel energiegebruik SWW met 70,7%, maar voor een verhoging van de impact van het operationeel energiegebruik van de hulpfuncties met 89%. Anderzijds heeft het een invloed op het materiaalgebruik en is de impact van module A van SWW_S2 2,56 keer groter dan module A van SWW_S1. De grootste verschillen tussen de impact van module A van die twee scenario's is te wijten aan de componenten van het opwekkingsstelsel, in slechts mindere mate aan het distributiesysteem en de tappunten. De zonnecollectoren blijken dus een milieuvriendelijke toevoeging te zijn, aangezien de grotere impact ten gevolge van de extra materiaalimpact niet opweegt tegen de impactdaling ten gevolge van het lager operationeel energiegebruik.

Wanneer enkel naar module A wordt gekeken heeft de warmtepompboiler met 966 milieupunten de grootste impact en de gascondensatieketel met 324 milieupunten de laagste.

Ook bij de vergelijking van de standaard ruimteverwarmingsscenario's bleek module A van de warmtepompscenario's een grotere impact te hebben dan module A van de gascondensatieketel, zie grafiek 21. Module A van het opwekkingscomponent zorgt bij elk scenario overtuigend voor het grootste aandeel. Module A van het distributiesysteem en de tappunten zijn met 119 milieupunten velen malen groter dan het distributie- en emissiesysteem van de ruimteverwarming waar de impact voor de scenario's met radiatoren en vloerverwarming respectievelijk beperkt is tot 72,10 en 50 milieupunten.

7.2. Module A

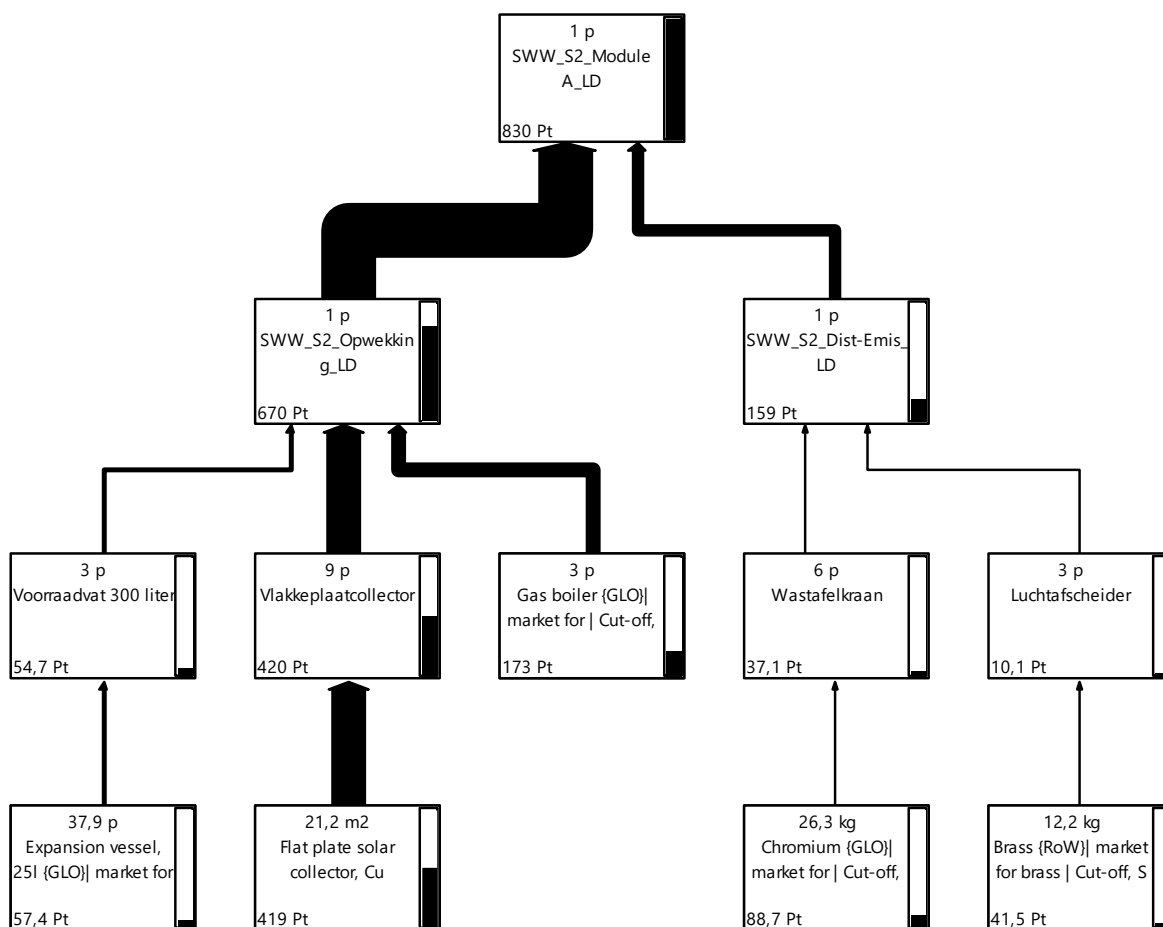
7.2.1. Opwekking – Gasboiler



Figuur 18. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van SWW_S1 voor een levensduur van 60 jaar

In tegenstelling tot grafiek 36 waar de milieu-impact is weergegeven per module en gegroepeerd volgens de functie, is in figuur 18 het netwerk weergegeven van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van SWW_S1 per component voor een levensduur van 60 jaar. Uit het netwerk blijkt dat de grote impact van module A voornamelijk afkomstig is van de gasboiler met 173 milieupunten. Dit resultaat was te verwachten, aangezien ook bij de analyse van RVW_S1 de gascondensatieketel voor de grootste impact van module A verantwoordelijk is. De analyse van de gasboiler gebeurt op dezelfde wijze zoals beschreven in 6.2.1 en wordt bijgevolg niet opnieuw gedaan. Hieruit blijkt dat impact van de gasboiler met 275% overschat is en de data uit Ecoinvent niet representatief is voor hedendaagse gasketels.

7.2.2. Opwekking - Zonneboiler en gasboiler



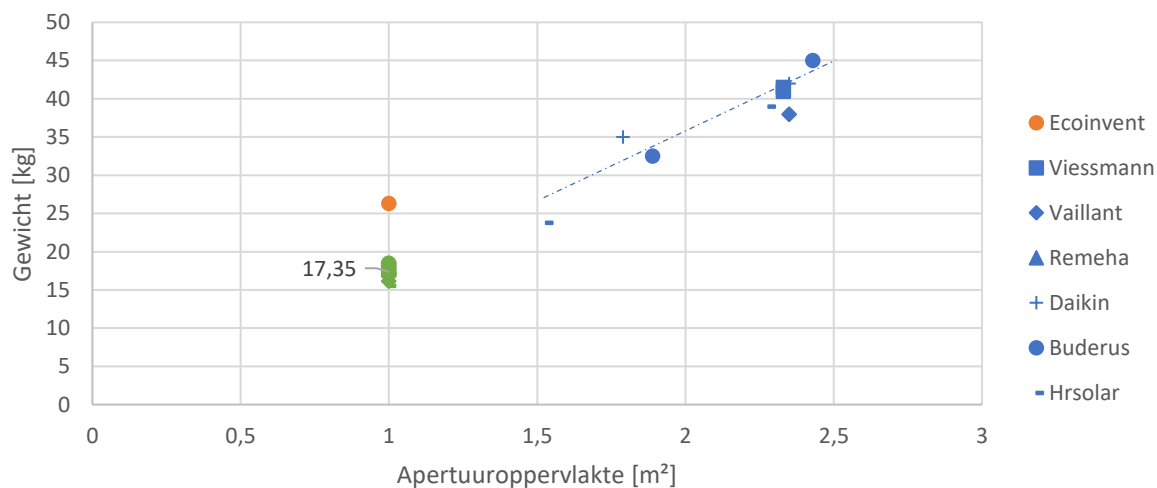
Figuur 19. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van SWW_S2 voor een levensduur van 60 jaar

In SWW_S2 is naast de gasboiler ook een zonneboilerinstallatie toegevoegd die als primair opwekkingsstelsel functioneert. Uit figuur 19 blijkt de vlakkeplaatcollector met 420 milieupunten verantwoordelijk te zijn voor de grote milieu-impact. Het milieuprofiel is zo'n 142,77% groter dan de impact van de gasboiler. Het gaat hier specifiek over de collector en niet over de draagconstructie of andere toebehoren. Ook de impact van het voorraadvat die in het geval van zonnecollectoren groter wordt gedimensioneerd is verdubbeld in vergelijking met het voorraadvat van SWW_S1. In wat volgt wordt de milieu-impact van de vlakkeplaatcollector dieper geanalyseerd en wordt gekeken of de materialen uit Ecoinvent nog representatief zijn voor hedendaagse vlakkeplaatcollectoren.

Analyse van de zonnecollector

In SimaPro is het mogelijk om meteen een vlakkeplaatcollector te selecteren waarbij de hoeveelheid niet per kg, maar per m² wordt ingegeven. De data is gebaseerd op de productie van een vlakkeplaatcollector in Zwitserland in 2002. De input aan materialen in Ecoinvent die rechtstreeks aan 1 m² collector kunnen worden toegewezen hebben een totaalgewicht van

26,14 kg. Verpakkingsmateriaal, het water-glycolmengsel en tapwater nodig voor de productie worden niet meegerekend. De specifieke lijst met het gewicht per materiaal is terug te vinden in bijlage C. In de EPB-software zijn berekeningen doorgevoerd met een zonneboilersysteem onder druk waarbij elke vlakkeplaatcollector een apertuuroppervlakte van 2,35 m² heeft. De apertuuroppervlakte is de effectieve oppervlakte die het zonlicht kan opvangen en omzetten naar warmte. Het is verschillend van de collectoroppervlakte, aangezien daar de omkasting van het paneel nog in beschouwing is genomen. Om de zonnecollectoren op eerlijke basis met elkaar te vergelijken is de functionele eenheid 1 m² apertuuroppervlakte.

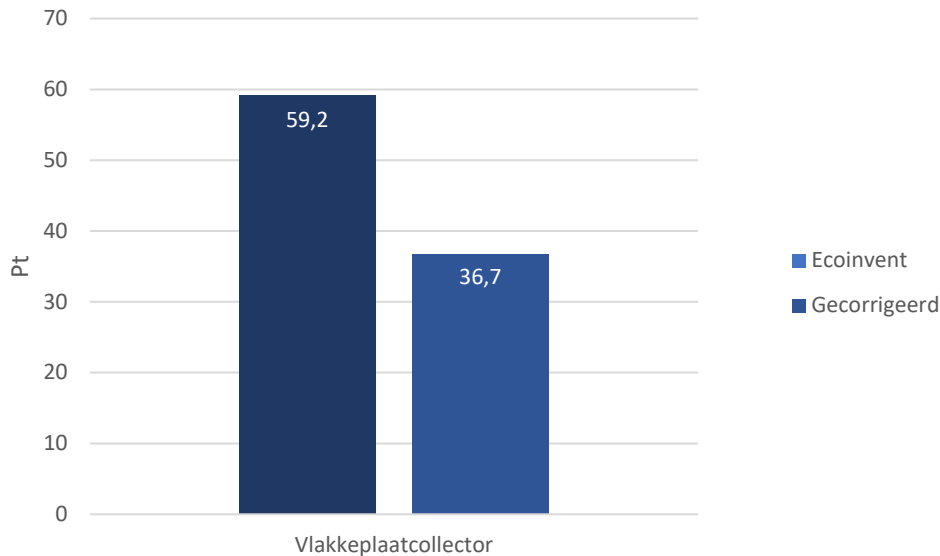


Grafiek 37. Vergelijking van vlakkeplaatcollectoren volgens het gewicht en de apertuuroppervlakte

In grafiek 37 zijn een aantal hedendaagse vlakkeplaatcollectoren van fabrikanten weergegeven volgens hun apertuuroppervlakte en bijhorend gewicht, zie de blauwe waarden. Uit de resultaten blijkt dat er een lineair verband te vinden is tussen de apertuuroppervlakte en het gewicht. Hoe groter de oppervlakte, hoe hoger het gewicht. Om te voldoen aan de functionele eenheid zijn de waarden omgezet naar een gewicht per m² apertuuroppervlakte, zie de groene waarden. In Ecoinvent wordt voor de materialen die rechtstreeks aan het opwekkingscomponent kunnen worden toegewezen gerekend met een gewicht van 26,30 kg per m² apertuuroppervlakte. De marktwaarden liggen in tegenstelling tot de analyse van de gascondensatieketels en warmtepompen zeer dicht bijeen. Bij de analyse van alle geselecteerde vlakkeplaatcollectoren wordt een gemiddeld gewicht van 17,35 kg per m² apertuuroppervlakte bekomen, wat 33,63% lager is dan het gewicht uit Ecoinvent.

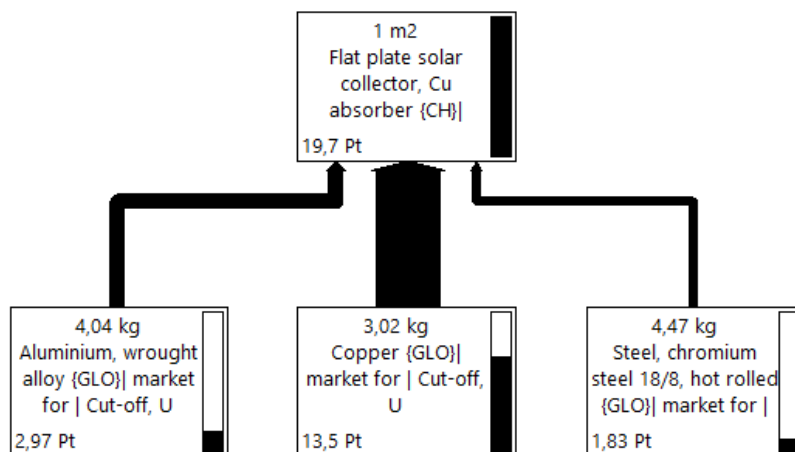
Aangezien de hoeveelheid collectoren niet als gewicht, maar per m² wordt ingegeven, verloopt de berekening een beetje anders. De drie zonnecollectoren zoals gebruikt in de casestudy hebben een totale apertuuroppervlakte van 7,05 m² en volgens Ecoinvent een totaalgewicht van 78,90 kg. Aangezien de collectoren slechts een levensduur van 20 jaar hebben, moeten ze gedurende de levensduur van de woning twee keer worden vervangen. Zo wordt er in het

standaardscenario een totaalgewicht van 236,7 kg in rekening gebracht. Rekening houdend met het gemiddeld gewicht van 17,35 kg per m² mag er dus slechts 4,65 m² vlakkeplaatcollector in rekening worden gebracht. Voor een levensduur van 60 jaar is dit een gewicht van 156,15 kg.



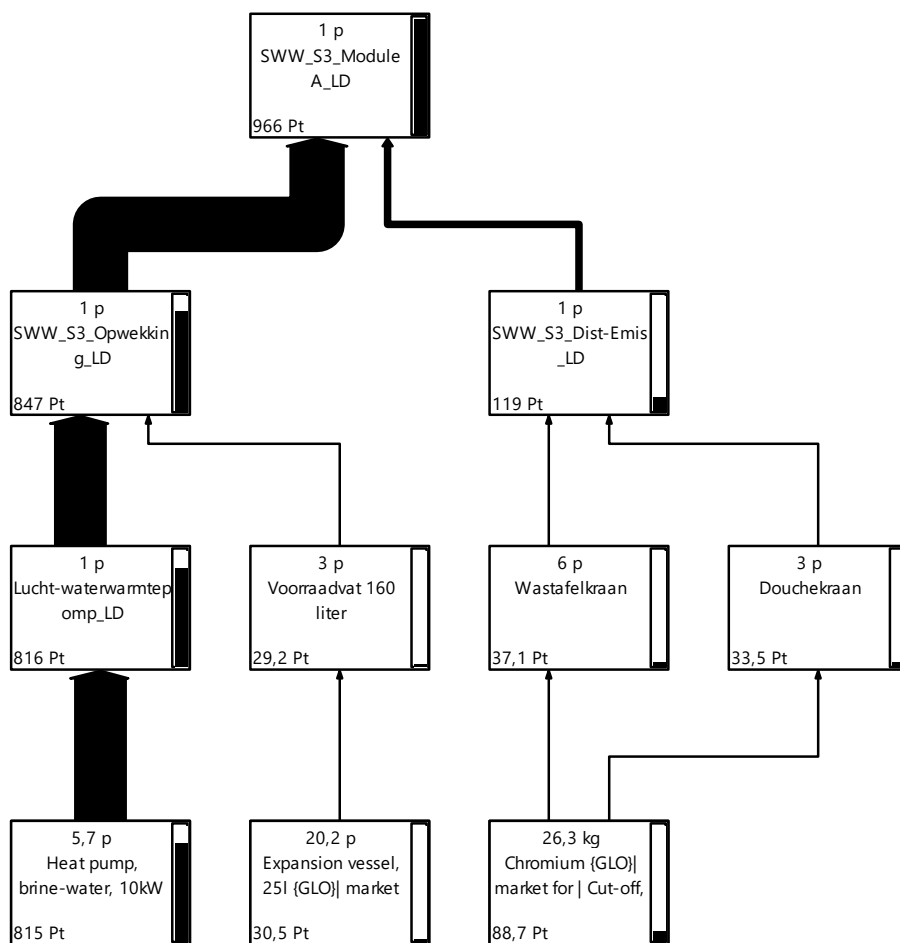
Grafiek 38. Vergelijking van de milieu-impact van 3 vlakkeplaatcollectoren voor een levensduur van 60 jaar

Vervolgens is de vergelijking gemaakt tussen de vlakkeplaatcollector uit Ecoinvent en de gecorrigeerde collector voor een levensduur van 60 jaar. Uit de resultaten blijkt dat de standaard collector met 59,2 milieupunten een 51,26% hogere impact heeft dan de gecorrigeerde collector met 36,7 milieupunten. De milieu-impact van de vlakkeplaatcollector wordt zoals weergegeven in grafiek 38 dus overschat. In figuur 20 zijn de grootste bijdrages tot de milieu-impact van 1 m² vlakkeplaatcollector voor een levensduur van 20 jaar weergegeven. Uit het netwerk blijkt dat de hoeveelheid koper, dewelke slechts voor 10% deel uitmaakt van het totale gewicht, de grootste impact levert. Bij de vergelijking van de aardsondes in grafiek 28 kwam ook al naar voren dat het koper een zeer grote impact heeft.



Figuur 20. Netwerk van de grootste bijdrages tot 1 m² vlakkeplaatcollector voor een levensduur van 20 jaar

7.2.3. Opwekking – Warmtepompboiler



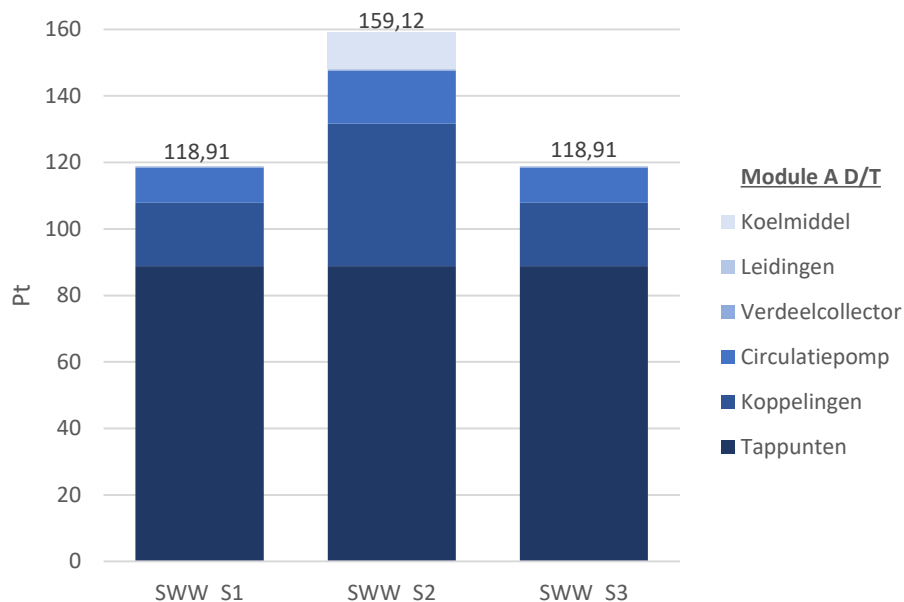
Figuur 21. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van SWW_S3 voor een levensduur van 60 jaar

Module A van SWW_S3 heeft in vergelijking met module A van de twee andere tapwatersscenario's de grootste impact. Uit figuur 21 blijkt vooral de warmtepompboiler met 847 milieupunten, dewelke in SimaPro is ingegeven onder de vorm van een lucht-waterwarmtepomp, dewelke op zijn beurt is ingegeven aan de hand van de grondwaterwarmtepomp mits aanpassingen zoals beschreven in 6.2.2 voor de grote milieu-impact te zorgen. De analyse van de warmtepompboiler gebeurt echter op dezelfde manier zoals die van de lucht-waterwarmtepomp en wordt bijgevolg niet opnieuw gedaan. Uit de analyse blijkt dat de lucht-waterwarmtepomp met 95,91% is overschat in Ecoinvent, dus ook de warmtepompboiler. Voor de hedendaagse lucht-waterwarmtepomp is een gecorrigeerd gemiddeld gewicht van 119,31 kg aangenomen.

7.2.4. Distributie en emissie

Module A van het distributiesysteem en de tappunten van SWW_S1, SWW_S2 en SWW_S3 is respectievelijk voor 8,52%, 13,10% en 8,18% verantwoordelijk voor de totale milieu-impact. Grafiek 39 biedt een weergave van de milieu-impact het distributiesysteem en de tappunten

van de drie scenario's gegroepeerd volgens hun functie voor een levensduur van 60 jaar. De resultaten tonen aan dat de impact van SWW_S2 met 159 milieupunten 33,81% groter is dan die van SWW_S1/3, dewelke beiden dezelfde impact hebben. De grootste verschillen zijn het gevolg van de koppelingen, de extra circulatiepomp, de leidingen en koelmiddel nodig voor de zonneboilerinstallatie. In alle drie de scenario's zijn de tappunten, bestaande uit de douchekraan, keukenkraan en twee wastafelkranen, met 88,8 milieupunten verantwoordelijk voor de grootste impact. De analyse van de koppelingen, de waterleidingen en het koelmiddel gebeurt op dezelfde wijze als beschreven in hoofdstuk 6. Uit die analyse bleek PE de laagste impact te hebben voor zowel de koppelingen als de waterleiding. Bij de vergelijking van de koelmiddelen heeft glycol, dewelke reeds gebruikt is in het standaardscenario voor de zonneboilerinstallatie, de laagste impact. In wat volgt is de impact van de tappunten dieper geanalyseerd.

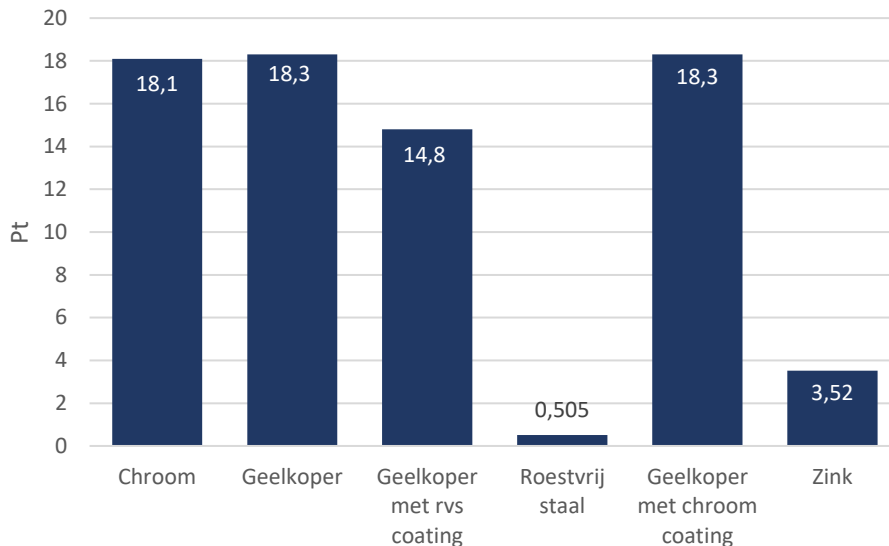


Grafiek 39. Vergelijking van de milieu-impact van het distributiesysteem en de tappunten van module A van SWW_S1-3 voor een levensduur van 60 jaar

Analyse van de tappunten

De tappunten zijn componenten die niet meteen beschikbaar zijn in de Ecoinvent-databank. Om deze elementen toch in SimaPro in te voeren, wordt via productgegevens van fabrikanten gezocht naar het gewicht van tappunten in chroom, dewelke vervolgens als een hoeveelheid chroom zijn ingegeven. Er zijn echter nog andere materialen op de markt beschikbaar; waaronder geelkoper, verchromd geelkoper, zink, roestvrij staal en geelkoper met een roestvrijstaal look (Livios, 2021). Ter vergelijking van de milieu-impact geldt als functionele eenheid een keukenkraan met een gewicht van 1,79 kg en een levensduur van 60 jaar, waardoor ze dus twee keer wordt vervangen door het identieke exemplaar. Bij de kranen met coating is verondersteld dat 20% van het materiaal uit de coating bestaat. Uit grafiek 40 blijkt

dat chroom, zoals gebruikt in het standaardscenario, een bijna even grote milieu-impact heeft als geelkoper of geelkoper met chroom coating. Geelkoper met roestvrijstalen coating zorgt voor een 18% kleinere impact, maar de laagste impact wordt verkregen door het roestvrij staal met 0,50 milieupunten. Het heeft een 97% kleinere impact in vergelijking met chroom en lijkt een ecologisch materiaal te zijn voor tappunten.



Grafiek 40. Vergelijking van de milieu-impact van een keukenkraan van 1,79 kg voor een levensduur van 60 jaar

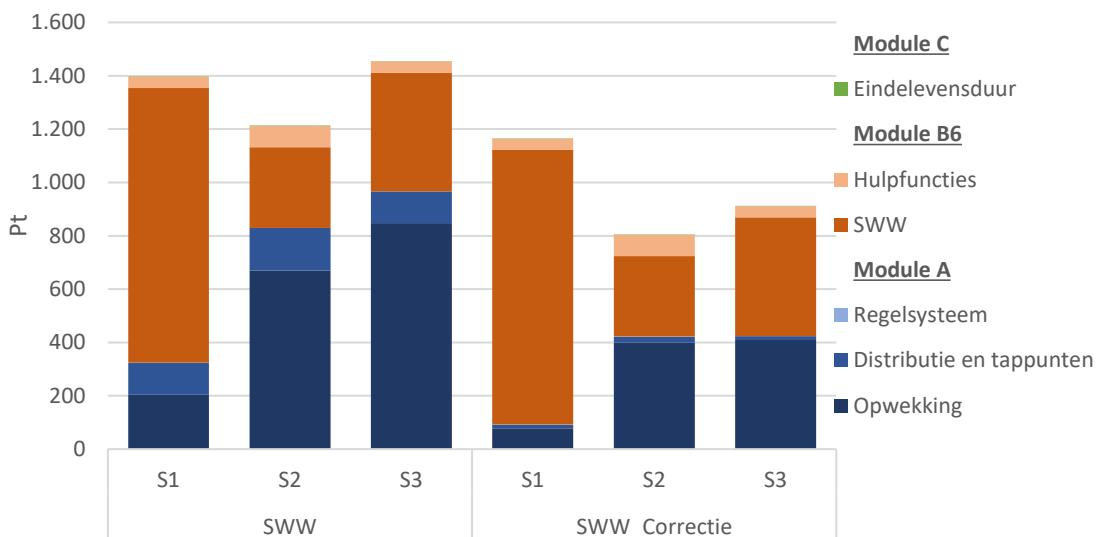
7.3. Gecorrigeerde milieu-impact

In dit hoofdstuk is zowel de milieu-impact van de vlakkeplaatcollector en tappunten dieper geanalyseerd. Samen met de resultaten van de analyses uit hoofdstuk 6 zijn ze in deze paragraaf samengebracht in drie gecorrigeerde scenario's. Hier komen dus zowel de correcties van de gasboiler, warmtepompboiler, vlakkeplaatcollector en optimalisaties van de tappunten en koppelingen aan bod. De milieu-impactverschillen zijn dus enkel het gevolg van correcties op de materialen, wat zowel een invloed heeft op module A als module C. Grafiek 41 geeft de vergelijking weer tussen de milieu-impact van de standaard scenario's, gebaseerd op de data uit Ecoinvent, en de gecorrigeerde scenario's.

Uit de resultaten blijkt de impact van elk scenario gedaald te zijn. De grootste daling is op te merken bij SWW_S3 met 37,36%, terwijl de daling bij S2 en S3 respectievelijk slechts 16,60% en 33,66% bedraagt. Waar in het standaard scenario SWW_S3 een 4,12% grotere impact heeft dan SWW_S1, heeft het nu een 21,79% lagere impact. Die sterke daling is voornamelijk het gevolg van het in rekening brengen van een lager gewicht voor de warmtepompboiler. Het gecorrigeerde scenario met de zonneboiler blijft met 805 milieupunten echter de laagste impact hebben. Waar in de standaard scenario's module B6 enkel verantwoordelijk is voor het grootste aandeel van de milieu-impact bij SWW_S1, is dit bij de gecorrigeerde scenario's nu ook het geval voor SWW_S3. Bij SWW_S2 blijft module A echter met 53% verantwoordelijk

voor het grootste aandeel van de milieu-impact. De impact van module C en module A van het regelsysteem blijven een verwaarloosbaar kleine impact hebben.

Wanneer er enkel naar module A wordt gekeken blijft de volgorde van kleinste tot grootste impact echter ongewijzigd, maar het is opvallend dat het verschil tussen de gecorrigeerde scenario's van module A van SWW_S2 en SWW_S3 bijna verwaarloosbaar klein is geworden. In het standaard scenario heeft module A van SWW_S3 met 136,65 milieupunten verschil de grootste impact, terwijl dit verschil met SWW_S2 bij module A van de gecorrigeerde scenario's slechts 1,75 milieupunten bedraagt. Ook opvallend is de sterke impactdaling van module A van het distributiesysteem en de tappunten. In elk scenario is de impact ervan met 87% gedaald, wat vooral het gevolg is van een andere materiaalkeuze van de tappunten, aangezien die met 88,8 milieupunten de oorzaak waren van de grote impact. Ook de impact van module C is sterk gedaald, waardoor de overtuiging om deze waarden te verwaarlozen alleen maar groter is. De impact van het regelsysteem van module A blijft echter ongewijzigd, aangezien er geen correcties op worden toegepast.



Grafiek 41. Vergelijking van de milieu-impact van de drie standaard SWW-scenario's volgens Ecoinvent (links) en de gecorrigeerde SWW-scenario's (rechts) voor een levensduur van 60 jaar

7.4. Besluit

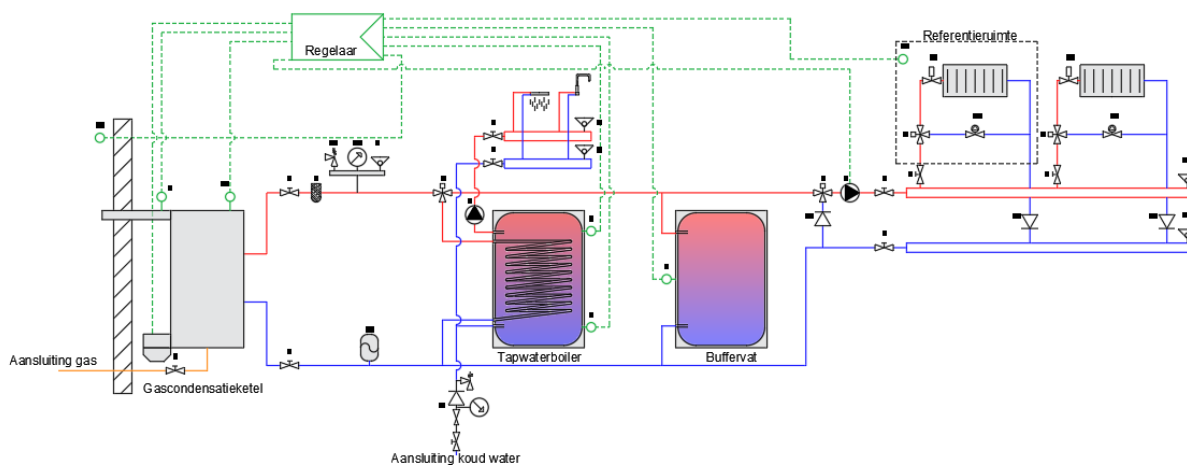
De analyse van de vlakkeplaatcollector toont aan dat de collector volgens Ecoinvent, gemodelleerd voor 2002, een 51% hogere impact heeft in vergelijking met een hedendaagse collector. De gecorrigeerde scenario's tonen opnieuw grote verschillen in vergelijking met de standaard scenario's. Uiteindelijk zorgt het scenario met het zonneboilersysteem en de gascondensatieketel voor de laagste milieu-impact.

Hoofdstuk 8. Milieu-impact van gecombineerde technische installaties

In hoofdstuk 6 en hoofdstuk 7 werd er onderzoek gedaan naar respectievelijk de milieu-impact van de ruimteverwarming en de warmwateropwekking. Daar stond de technische installatie slechts in voor één energiepost. In dit hoofdstuk wordt de milieu-impact onderzocht van een installatie die zowel voor de ruimteverwarming als voor de warmwateropwekking instaat, waardoor er dus slechts één opwekkingssysteem nodig is. Elk scenario maakt gebruik van hetzelfde emissiesysteem en hetzelfde aantal tappunten. Tabel 13 geeft een overzicht weer van de zes scenario's die in dit hoofdstuk met elkaar worden vergeleken. Dezelfde installaties komen hier opnieuw aan bod. Meer specifiek wordt er in RVW_SWW_S4-6 gekeken naar de impact van de zonneboilerinstallatie en welk effect dit heeft op de operationele energie in relatie tot de materiaalimpact. In figuur 22 is het prinscipeschema weergegeven van RVW_SWW_S1. De prinscipeschema's van de vijf andere scenario's zijn terug te vinden in bijlage B.

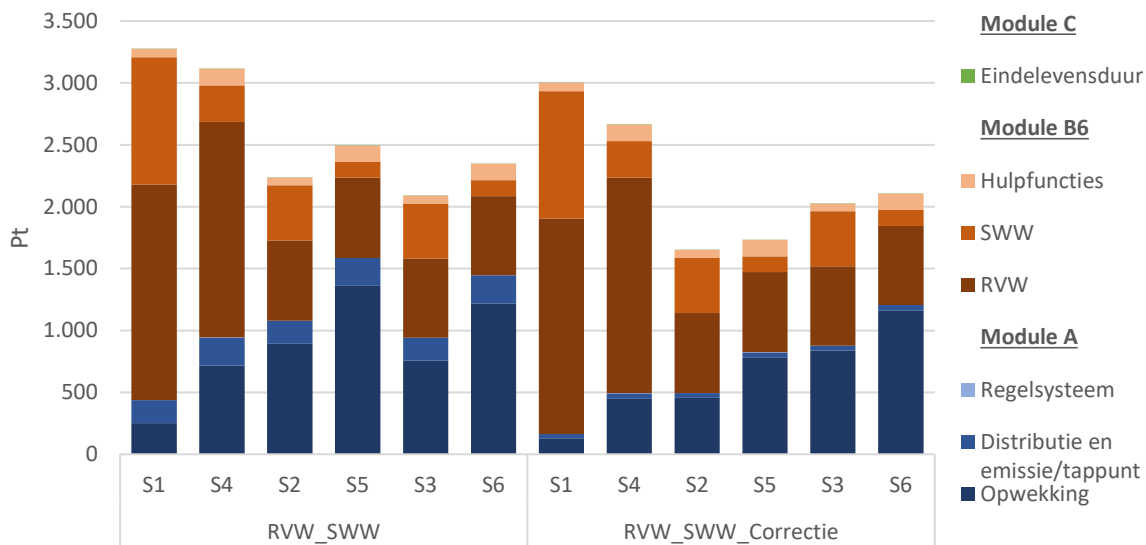
	SCENARIO	OPWEKKING	EMISSIE/TAPPUNT
RVW + SWW	1	Gascondensatieketel	Radiatoren
	2	Lucht-waterwarmtepomp	
	3	Grond-waterwarmtepomp	
	4	Zonneboiler + gascondensatieketel	1 keukenkraan 2 wastafelkranen 1 douchekraan
	5	Zonneboiler + lucht-waterwarmtepomp	
	6	Zonneboiler + Grond-waterwarmtepomp	

Tabel 13. Overzicht van de scenario's voor het gecombineerde systeem van ruimteverwarming en warmwateropwekking



Figuur 22. Prinscipeschema van RVW_SWW_S1

8.1. Alle levenscyclusfasen



Grafiek 42. Vergelijking van de milieu-impact van de zes standaard RVW_SWW-scenario's volgens Ecoinvent (links) en de zes gecorrigeerde RVW_SWW-scenario's (rechts) voor een levensduur van 60 jaar

Grafiek 42 toont de vergelijking tussen de milieu-impact van de zes standaard gecombineerde scenario's en de zes gecorrigeerde gecombineerde scenario's voor een levensduur van 60 jaar. De scenario's die gebruik maken van dezelfde opwekkers zijn naast elkaar weergegeven zodat de impact van de zonneboilerinstallatie op de installatie duidelijker wordt. Alle correcties die werden uitgevoerd in hoofdstuk 6 en hoofdstuk 7 zijn hier samengebracht. Uit de resultaten blijkt de impact van elk scenario gedaald te zijn ten gevolge van de toegepaste correcties. De sterkste daling is op te merken bij S5 met 30,55% in tegenstelling tot S3 waar de daling slechts beperkt blijft tot 3,05%. Waar in het standaard scenario S3 voor de laagste impact zorgt, heeft in de gecorrigeerde scenario's S2 de laagste impact.

Het lijkt interessant om hier enkel de resultaten van het gecorrigeerd scenario te bespreken, aangezien deze volgens het onderzoek het dichtst bij de realiteit liggen. Bij de vergelijking van de staven heeft RVW_SWW_S2 met 1652 milieupunten de laagste milieu-impact en RVW_SWW_S1 met 3002 milieupunten de grootste.

Het toevoegen van een zonneboilerinstallatie zorgt ervoor dat de impact bij het scenario met de gascondensatieketel daalt met 11,16%, maar net stijgt bij de scenario's met de lucht- en grond-waterwarmtepomp met respectievelijk 4,95% en 3,93%. De zonneboilerinstallatie zorgt enerzijds voor een verlaging van het operationeel energiegebruik SWW, aangezien er gebruik wordt gemaakt van zonnewarmte. Anderzijds zorgt het voor een stijging van het operationeel energiegebruik van de hulpfuncties, alsook van module A door het extra materiaalgebruik van de zonnecollectoren, de draagconstructie, de leidingen, de koppelingen, de circulatiepomp en

het regelsysteem. Bij de warmtepompscenario's weegt de besparing van het totaal operationeel energiegebruik dus niet op tegen de extra materiaalimpact.

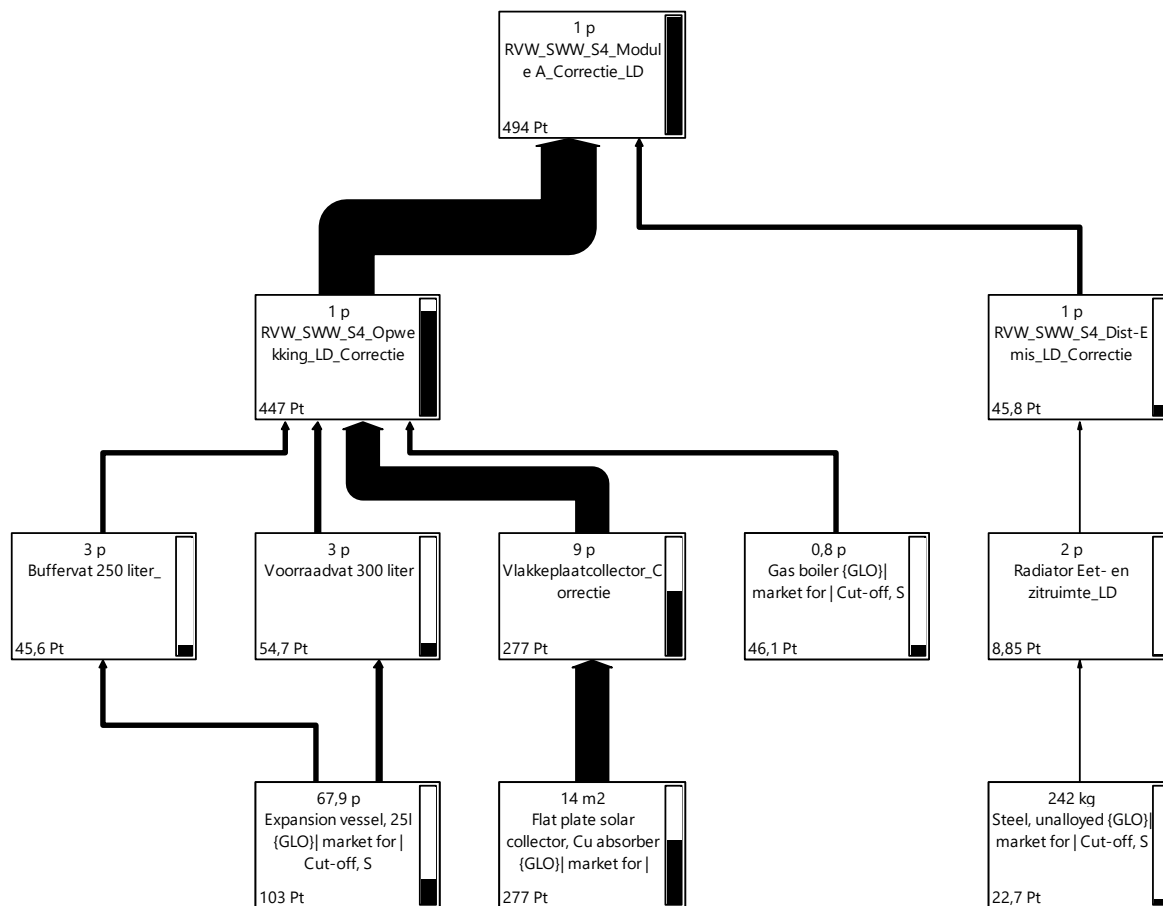
Bij de vergelijking van de levenscyclusfasen zorgt module B6 voor de grootste milieu-impact bij RVW_SWW_S1-5, terwijl het bij RVW_SWW_S6 module A is die met 57,24% verantwoordelijk is voor het grote aandeel van de impact. Module B6 is met 2837 milieupunten het grootst bij RVW_SWW_S1, verantwoordelijk voor 94,50% van de totale impact. Module A van het regelsysteem en module C blijven ook hier een verwaarloosbaar kleine impact hebben.

Wanneer er enkel naar module A wordt gekeken, heeft RVW_SWW_S1 met 163,61 milieupunten de laagste impact en RVW_SWW_S6 met 1207 milieupunten de grootste. De impact van module A van het distributie- en emissiesysteem/tappunten van de scenario's zonder zonneboilerinstallatie is dezelfde, respectievelijk voor de scenario's met zonneboilerinstallatie. In de volgende paragraaf wordt gekeken naar de impact van module A van de drie gecorrigeerde scenario's in combinatie met de zonneboilerinstallatie. De analyse van module A van de drie andere gecorrigeerde scenario's zijn gelijkaardig en zullen hier bovendien niet uitgebreid worden besproken. Voor de volledigheid zijn ze wel opgenomen in bijlage C. Ook wordt er ingezoomd op de milieu-impact van module A van het distributie- en emissiesysteem/tappunten van de gecorrigeerde scenario's.

8.2. Module A

8.2.1. Opwekking - Zonneboiler en gascondensatieketel

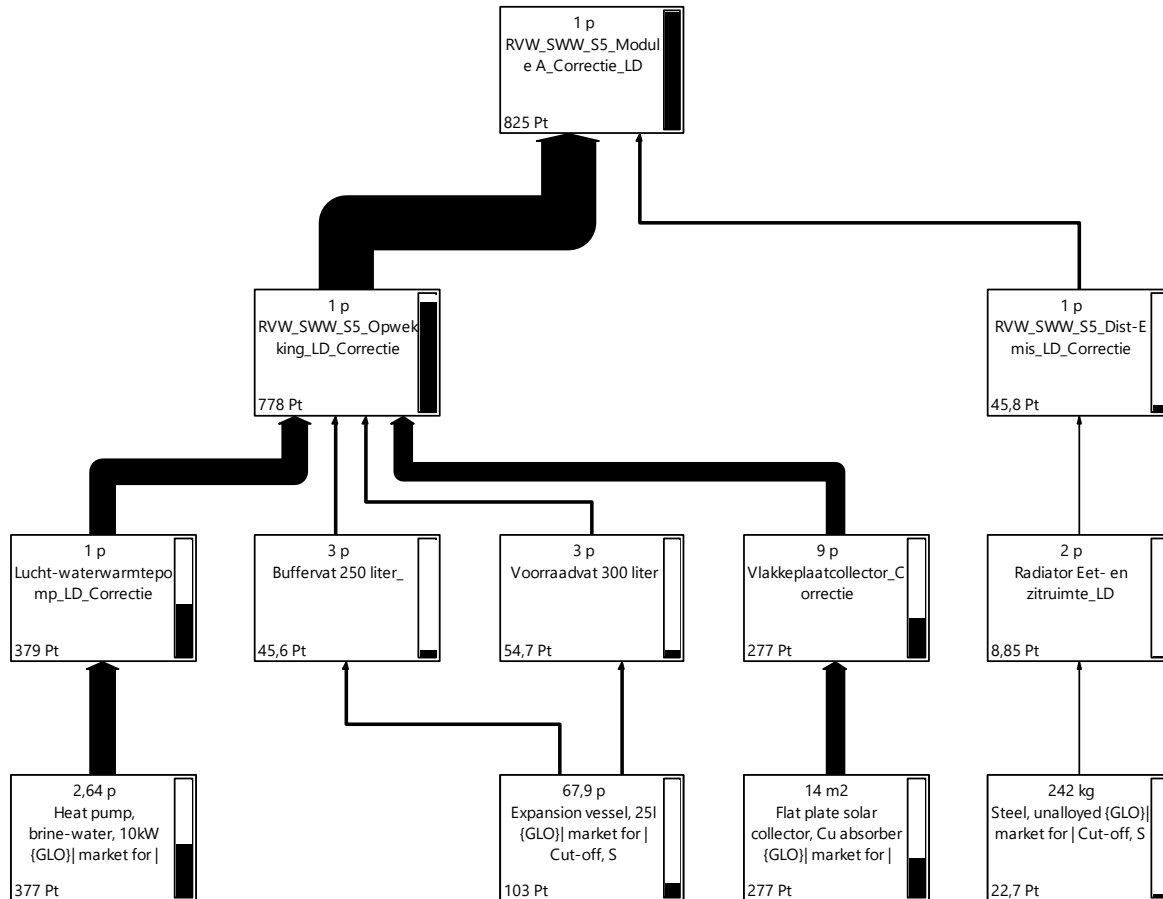
Module A van RVW_SWW_S4 heeft met 493 milieupunten een 201,84% hogere impact dan module A van het scenario zonder zonneboilersysteem. Uit het netwerk van de grootste bijdrages tot die milieu-impact zoals weergegeven in figuur 23 is de vlakkeplaatcollector met 277 milieupunten verantwoordelijk voor 56,07% van de impact van module A. Waar in de standaardscenario's de gascondensatieketel steeds voor een hoge milieu-impact zorgde, is de impact ervan na correctie zelf kleiner dan de impact van het voorraadvat en het buffervat. Module A van de gascondensatieketel heeft met 46,1 milieupunten een 79,69% kleinere impact dan module A van de vlakkeplaatcollector.



Figuur 23. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S4_Correctie voor een levensduur van 60 jaar

8.2.2. Opwekking - Zonneboiler en lucht-waterwarmtepomp

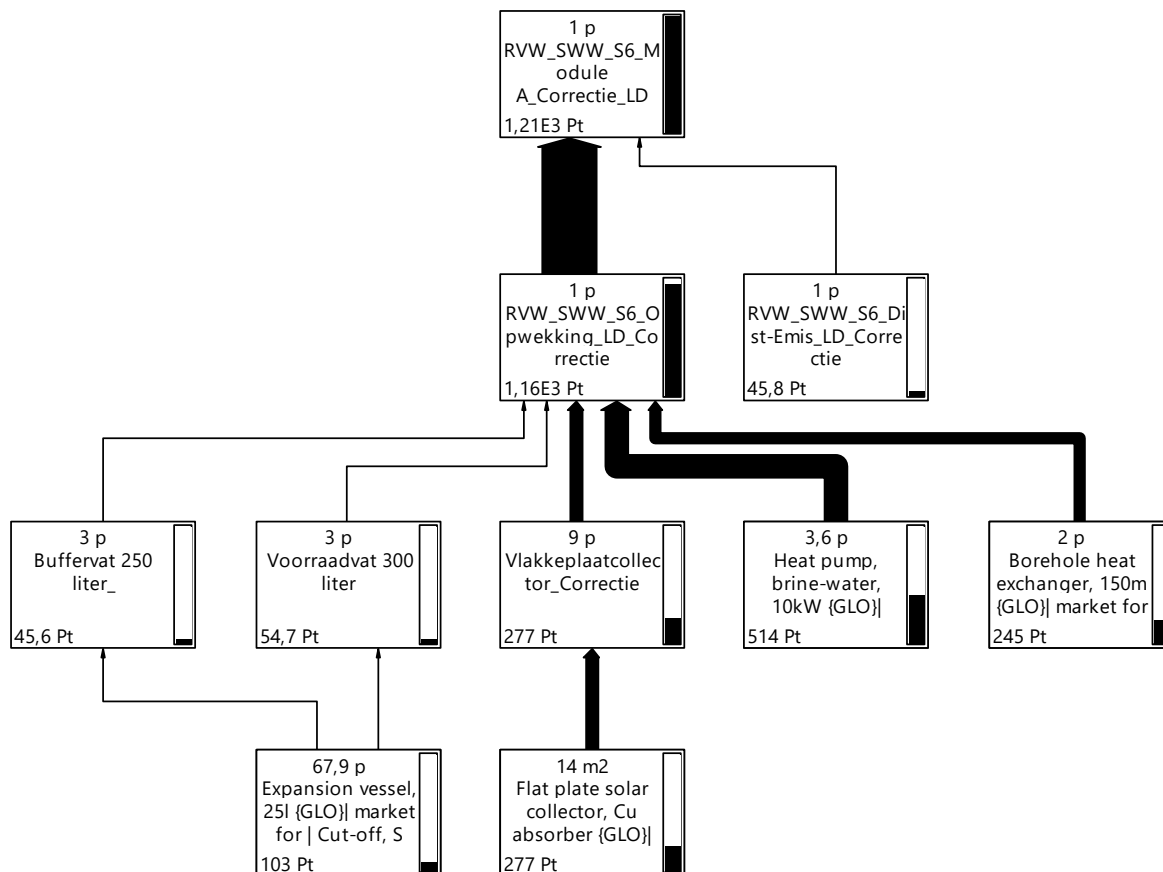
De milieu-impact van module A van RVW_SWW_S5 is 1,67 keer groter dan de impact van module A van RVW_SWW_S2, een verschil van 330 milieupunten. De grote impact van module A is voor 79,52% afkomstig van de lucht-waterwarmtepomp en de vlakkeplaatcollectoren, zoals weergegeven in figuur 24. Ondanks de toegepaste correcties zijn ze nog steeds verantwoordelijk voor de grootste impact. De luchtwaterwarmtepomp heeft met 379 milieupunten wel nog een 36,82% hogere impact in vergelijking met de vlakkeplaatcollector met 277 milieupunten.



Figuur 24. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S5 voor een levensduur van 60 jaar

8.2.3. Opwekking - Zonneboiler en grond-waterwarmtepomp

Module A van RVW_SWW_S6 heeft in vergelijking met module A van de andere vijf gecorrigeerde gecombineerde scenario's met 1207 milieupunten de grootste impact. Uit figuur 25 blijkt de grond-waterwarmtepomp met 514 milieupunten verantwoordelijk te zijn voor 42,58% van de impact van module A. De grond-waterwarmtepomp bleek uit de analyse van fabrikanten in realiteit een groter gewicht te hebben dan wat in Ecoinvent in rekening is gebracht, waardoor ze groter is gemodelleerd in vergelijking met het standaard scenario. Ook de vlakkeplaatcollector en boorgatwarmtewisselaar hebben met respectievelijk 277 en 245 milieupunten een niet te onderschatten impact. Module A van deze drie componenten samen zijn goed voor 49,14% van de totale impact bij het in rekening brengen van alle levenscyclusfasen. Voor de aardsondes is na de analyse een lager gewicht in rekening genomen, maar toch hebben ze een grotere impact in vergelijking met hun impact in RVW_S5/6. Dit komt omdat ze nu voor beide energieposten moeten instaan, dus meer warmte moeten kunnen opnemen en bijgevolg dieper komen te liggen. Er is nu een lengte van 300 meter nodig om te voldoen aan de volledige warmtevraag van de casestudy.

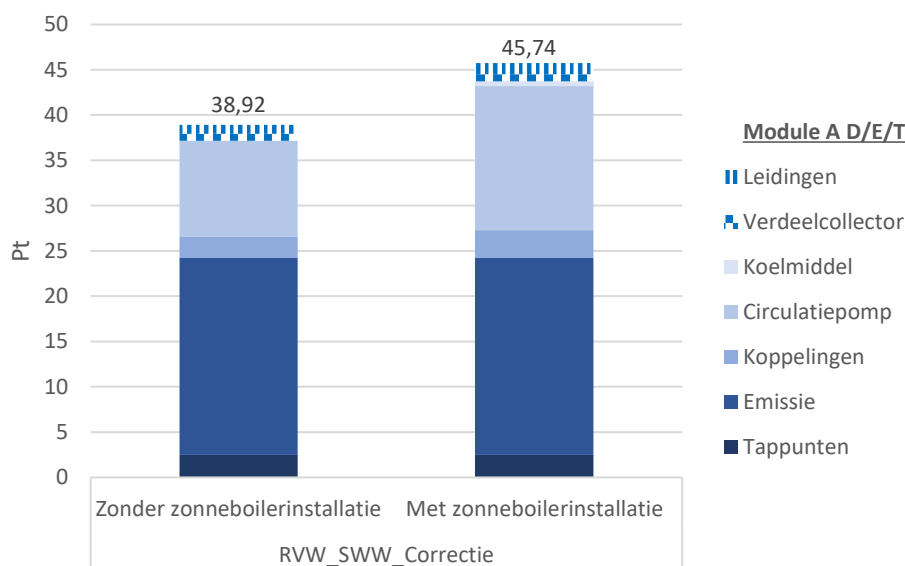


Figuur 25. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S6 voor een levensduur van 60 jaar

8.2.4. Distributie en emissie/tappunten

De zes gecorrigeerde gecombineerde scenario's in dit hoofdstuk maken allen gebruik van de radiatoren als emissiesysteem voor de ruimteverwarming en een keukenkraan, twee wastafelkranen en een douchekraan als tappunten voor het sanitair warm water. Door de distributie- en emissiesystemen/tappunten, verder afgekort als D-E/T, voor beide energieposten samen te nemen is het interessant om te zien hoe ze zich ten opzichte van elkaar verhouden. In grafiek 43 is de vergelijking gemaakt tussen de milieu-impact van module A van de D-E/T voor de scenario's zonder en met zonnecollector.

Uit de vergelijking blijken de materialen van de D-E/T van het zonneboilersysteem voor een 17,54% hogere impact te zorgen. Module A van de componenten van het emissiesysteem en de circulatiepomp zorgen voor de grootste impact. Deze twee gegroepede componenten zijn samen goed voor respectievelijk 83,07% en 82,26% in het geval zonder en met de zonneboilerinstallatie.



Grafiek 43. Vergelijking van de milieu-impact van module A van het distributie- en emissiesysteem/tappunten van de gecorrigeerde RVW_SWW-scenario's zonder/met zonneboilerinstallatie

8.3. Vergelijking tussen de eenvoudige en gecombineerde installaties

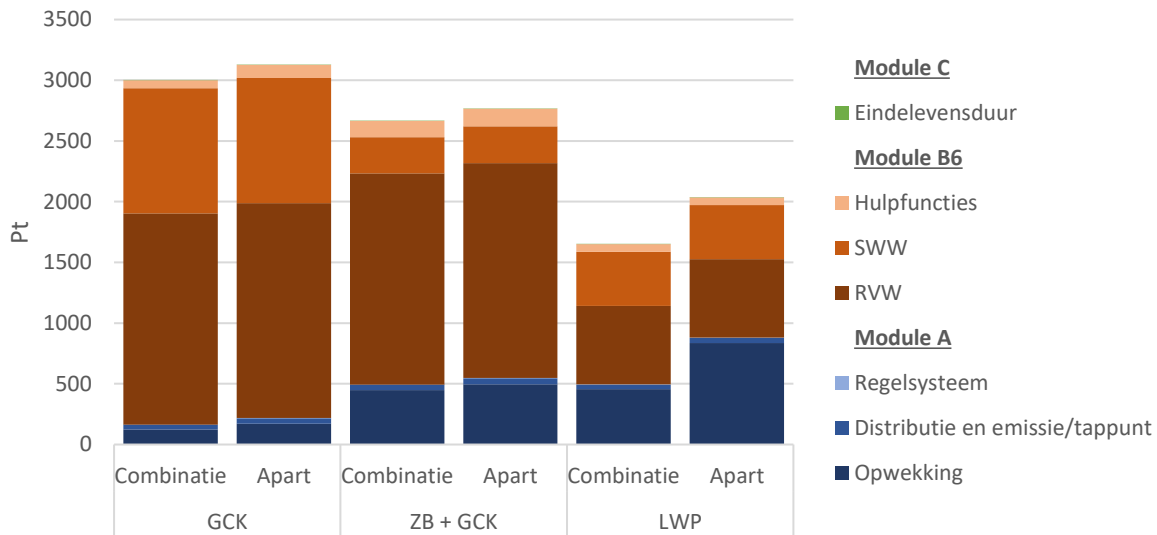
In deze paragraaf wordt de vergelijking gemaakt tussen de milieu-impact van de eenvoudige en gecombineerde installaties. In tabel 14 zijn de scenario's die met elkaar worden vergeleken weergegeven. RVW_S1 en SWW_S2 zijn beiden scenario's waar gebruik is gemaakt van de gascondensatieketel als opwekkingscomponent, maar die slechts instaan voor één energiepost. RVW_SWW_S1 maakt ook gebruik van de gascondensatieketel als opwekkingscomponent, maar staat in voor beide energieposten. Hetzelfde principe geldt voor de scenario's die gebruik maken van de zonneboiler met de gascondensatieketel als back-upstelsel en de lucht-waterwarmtepomp.

	Gascondensatieketel	Zonneboiler + Gascondensatieketel	Lucht-waterwarmtepomp
RVW	RVW_S1	RVW_S1	RVW_S3
SWW	RVW_S1	SWW_S2	SWW_S3
RVW_SWW	RVW_SWW_S1	RVW_SWW_S4	RVW_SWW_S2

Tabel 14. Eenvoudige en gecombineerde installatiescenario's

In grafiek 44 is de vergelijking gemaakt van de milieu-impact van de eenvoudige en gecombineerde scenario's. Concreet zijn de staven met eronder 'apart' de som van de milieu-impact van de twee systemen die elk apart instaan voor de energiepost. Uit de resultaten van de drie situaties blijkt dat het ecologisch is om beide energieposten via één systeem te laten uitvoeren in de plaats van voor beide energieposten een aparte installatie te installeren. Het grootste verschil is op te merken bij het lucht-warmtepompscenario, voornamelijk doordat module A van de lucht-waterwarmtepomp nog steeds verantwoordelijk is voor het grote aandeel van module A en bijgevolg in de aparte scenario's dubbel nodig is. Het aparte scenario

heeft een 23,33% grotere impact in vergelijking met het gecombineerd scenario of een verschil van 385 milieupunten. Bij het scenario met de gascondensatieketel en de zonneboiler + gascondensatieketel beperken de verschillen zich nog tot respectievelijk 127 en 102 milieupunten.



Grafiek 44. Vergelijking van de milieu-impact van de enkelvoudige en gecombineerde gecorrigeerde scenario's voor een levensduur van 60 jaar

8.4. Besluit

De gecorrigeerde gecombineerde scenario's leiden ook hier tot andere resultaten in vergelijking met de standaard scenario's waar de productinformatie afkomstig is van de Ecoinvent-databank. Uiteindelijk leidt het scenario met de lucht-waterwarmtepomp als opwekkingscomponent tot de laagste milieu-impact. Het toevoegen van een zonneboilerinstallatie aan de scenario's blijkt enkel in combinatie met de gascondensatieketel voor een daling van de milieu-impact te zorgen, in combinatie met de warmtepompscenario's zorgt het echter voor een stijging. Dit is het gevolg van het groot materiaalgebruik van de zonneboilerinstallatie. De impact ten gevolge van die extra materialen weegt niet op tegen de impactdaling ten gevolge van de verkregen zonnewarmte en uitgespaarde operationele energie.

De vergelijking van de enkelvoudige en gecombineerde gecorrigeerde scenario's toont aan dat het op ecologisch vlak voordeliger is om beide energieposten te voorzien door middel van één installatie in plaats van elk een aparte installatie.

Hoofdstuk 9. Gevoeligheidsanalyse

In hoofdstuk 6 en 7 werd de milieu-impact van de scenario's voor ruimteverwarming en sanitair warm water onderzocht, in hoofdstuk 8 naar de combinatie van beide energieposten. In dit hoofdstuk zullen kleine deelonderzoeken worden uitgevoerd die de gevoeligheid van de verkregen resultaten onderzoeken en wordt er een antwoord gezocht op volgende onderzoeksvragen:

- Hoe groot is het verschil in milieu-impact in vergelijking met een standaard LCA die dezelfde aannames gebruikt? Is dit verschil relevant genoeg of verwaarloosbaar om elke LCA tot een detailstudie te volbrengen?;
- Wat is de invloed op de milieu-impact wanneer er geen rekening wordt gehouden met de levensduur van elk onderdeel van de installatie en bijgevolg geen enkel onderdeel wordt vervangen?;
- Hoe bepalend is de keuze van de effectbeoordelingsmethode voor de resultaten?;
- In welke mate beïnvloed het gebruik van PV-panelen de resultaten?;

9.1. Gedetailleerde vs. Vereenvoudigde analyse

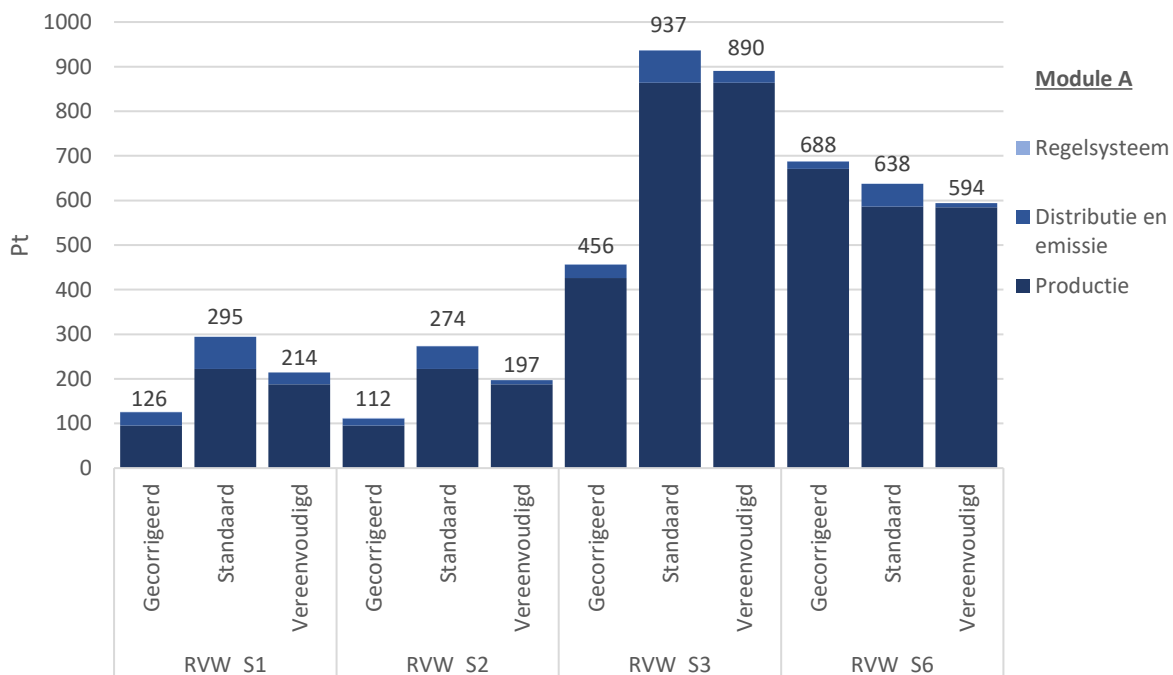
In deze paragraaf wordt bekeken hoe de resultaten verschillen tussen een gedetailleerde en vereenvoudigde analyse. De resultaten van dit kleine onderzoek kunnen relevant zijn voor andere studies om te zien of het de moeite loont om elke LCA tot een detailstudie te volbrengen. Aangezien de invoer materiaalgerelateerd is, wordt er bijgevolg enkel gekeken naar module A.

In grafiek 45 zijn er drie studies toegepast op een aantal ruimteverwarmingsscenario's. De eerste gecorrigeerde studie is de gedetailleerde studie en houdt met elk component rekening, alsook de doorgevoerd correcties. De tweede standaard studie daarentegen houdt ook nog met elk component rekening, maar niet met de toegepaste correcties zoals beschreven in voorgaande hoofdstukken. De derde vereenvoudigde studie houdt geen rekening met de toegepaste correcties, alsook niet met het regelsysteem, de koppelingen, de verdeelcollector en de ophangbeugels. Er is bovendien voor de vereenvoudigde studie een vereenvoudigde berekening uitgevoerd voor de bepaling van de lengte van de vloerverwarming. Deze is terug te vinden in bijlage A. Dit onderzoek is uitgevoerd op beide emissiesystemen. Aangezien de vergelijking tussen radiatoren en vloerverwarming in deze masterproef enkel is toegepast bij de enkelvoudige ruimteverwarmingsscenario's, worden een aantal scenario's hier met elkaar vergeleken.

Uit grafiek 45 blijkt elke studie tot andere impactresultaten te leiden. De gecorrigeerde studies leiden bij RVW_S1,2 en 3 elk tot een lagere impact in vergelijking met de standaard studie.

Enkel bij RVW_S6 leidt de gecorrigeerde studie tot een hogere impact, voornamelijk doordat de grond-waterwarmtepomp uit Ecoinvent is onderschat en er bij de correctie een groter gewicht wordt meegenomen. Om te weten of het de moeite loont om elk component in rekening te brengen zonder over te gaan tot een diepe analyse van de Ecoinvent-databank moet vooral gekeken worden naar de verschillen tussen de standaard en vereenvoudigde studie. De vereenvoudigde studie voor RVW_S1,2,3 en 6 zijn respectievelijk 27,36%, 28,20%, 4,95% en 6,89% kleiner in vergelijking met de standaard studie. Algemeen wordt er aangenomen dat de verschillen relevant zijn vanaf 20%. De vergelijking toont aan dat de verschillen relevant genoeg zijn voor de scenario's met de gascondensatieketel, maar niet voor de warmtepompscenario's.

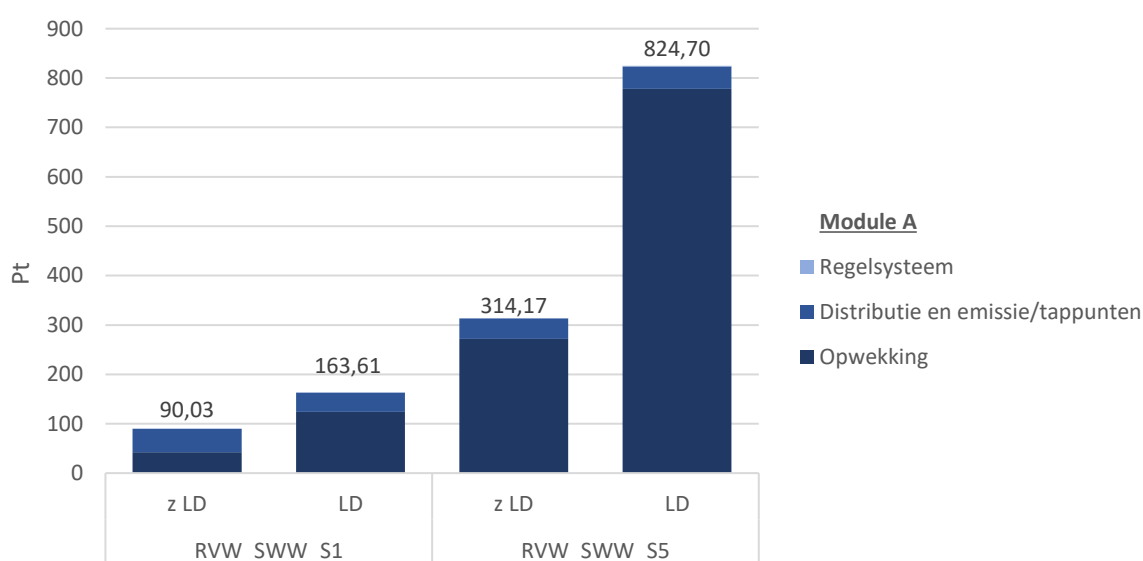
Er is dus een moeilijke consensus te vinden of het nu al dan niet de moeite waard is om de LCA tot een detailstudie te volbrengen, aangezien er zowel grote als kleine verschillen zijn op te merken. Wanneer de LCA zich beperkt tot het verwaarlozen van een aantal componenten zorgt het in de helft van de geanalyseerde scenario's voor een verwaarloosbaar verschil, terwijl het in de andere helft wel voor significante verschillen zorgt. Wanneer de LCA zich ook verdiept in het analyseren van de Ecoinvent-databank zijn de verschillen wel zeer groot, bij RVW_S3 tot zelfs 95,06% verschil. Het is dus aangeraden om bij het detailleren van de LCA zich niet te beperken tot het verwaarlozen van een aantal componenten, maar vooral te kijken naar de Ecoinvent-databank en te controleren of de soms verouderde gegevens nog relevant zijn voor hedendaagse systemen.



Grafiek 45. Vergelijking van de milieu-impact van module A van de scenario's: RVW_S1, RVW_S2, RVW_S3 RVW_S6 met onderscheid tussen het gecorrigeerd, standaard en vereenvoudigd scenario

9.2. Levensduur

In deze masterproef is voor de geselecteerde casestudy gerekend met een levensduur van de woning van 60 jaar. De keuze van de levensduur heeft echter een grote invloed op de resultaten en gaat gepaard met veel onzekerheden (Himpe & Trappers, 2011). In de technische installaties bevinden er zich componenten die een lagere levensduur hebben, waardoor ze gedurende die 60 jaar moeten worden vervangen door identieke exemplaren. De gebruikte levensduur van elk component in deze masterproef is terug te vinden in bijlage B. In grafiek 46 is voor een aantal gecombineerde gecorrigeerde scenario's onderzocht hoe groot het effect is van het verwaarlozen van de levensduur, met andere woorden componenten met een levensduur lager dan 60 jaar worden niet vervangen.



Grafiek 46. Vergelijking van de milieu-impact van module A met/zonder levensduur voor de gecorrigeerde scenario's RVW_SWW_S1 en RVW_SWW_S5

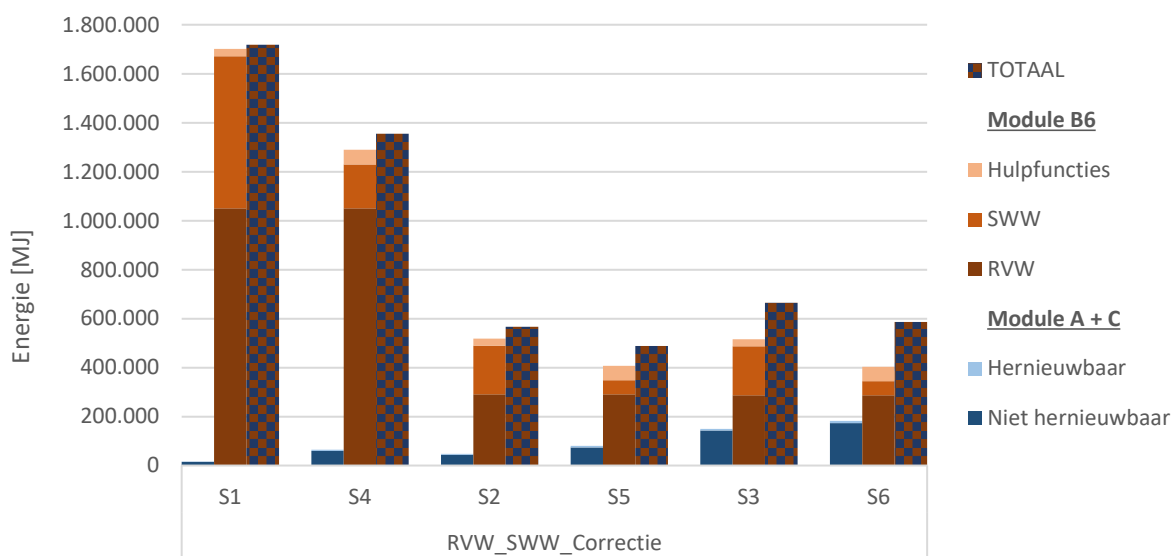
Uit de resultaten blijkt dat het in rekening brengen van de levensduur van alle componenten wel degelijk een groot effect heeft op de totale milieu-impact. De impact van module A is voor de gecorrigeerde scenario's RVW_SWW_S1 en S5 respectievelijk 82% en 162% groter bij het in rekening brengen van de levensduur. Deze korte analyse bevestigt nog eens dat het belangrijk is om de gebruikte data en levensduren in de LCA goed en volledig te documenteren. Op die manier kan bij het vergelijken van studies de verklaring voor impactverschillen makkelijk worden teruggevonden.

9.3. Impact van de effectbeoordelingsmethode

Een levenscyclusanalyse uitvoeren blijft een onzekere wetenschap, zo ook de keuze van de effectbeoordelingsmethode. Het effect van de keuze van de effectbeoordelingsmethode kwam al naar voren in onderzoek van Lindvall (2018). In deze masterproef is voor de bepaling van de milieu-impact gebruik gemaakt van de effectbeoordelingsmethode ReCiPe 2016 Eindpunt

H/A. De methode kent via een puntensysteem gewichten toe aan de milieu-indicatoren. Een andere methode gebruiken betekent ook andere wegingsfactoren. Daarom is het relevant om te zien in welke mate de resultaten die reeds werden verkregen anders zijn wanneer een andere effectbeoordelingsmethode wordt gekozen.

In grafiek 47 is de vergelijking gemaakt tussen de indirecte en operationele energie van de zes gecombineerde, gecorrigeerde scenario's aan de hand van de CED-methode. De indirecte energie van module A en C, dit is de energie nodig voor de productie, transport, constructie en afvalverwerking, is opgesplitst in hernieuwbare en niet-hernieuwbare energie. Voor meer informatie over deze methode wordt verwezen naar 2.2.3. De resultaten liggen door het gebruik van een andere effectbeoordelingsmethode anders.



Grafiek 47. Vergelijking van de indirecte en operationele energie van de zes gecorrigeerde RVW_SWW-scenario's via de CED-methode voor een levensduur van 60 jaar

Uit de resultaten blijkt RVW_SWW_S5 het laagste energiegebruik te hebben, terwijl uit grafiek 42 die gebruik maakt van de ReCiPe 2016-methode blijkt dat RVW_SWW_S2 de laagste milieu-impact heeft. De volgorde van de scenario's met dezelfde opwekkingscomponent die het best scoren blijft wel gelijk. Zo scoren de scenario's met de lucht-waterwarmtepomp bij beide effectbeoordelingsmethodes het best en de scenario's met de gascondensatieketel het slechts. Het toevoegen van de zonneboilerinstallatie zorgt bij de CED-methode in elk scenario voor een lager energiegebruik, terwijl bij de ReCiPe 2016-methode de zonneboilerinstallatie enkel voor een lagere impact zorgt bij het scenario met de gascondensatieketel, maar voor een hogere bij de warmtepompscenario's.

Uit de vergelijking van de resultaten van de twee effectbeoordelingsmethodes komt naar voren dat het noodzakelijk is om niet enkel naar één methode te kijken wanneer men een globale uitspraak wil maken over hoe milieuvriendelijk een installatie is. Dergelijke conclusies hangen natuurlijk af van het vooropgestelde doel van de LCA. Wil men bijvoorbeeld specifiek een

uitspraak doen over het energiegebruik is het net wel relevant om die ene specifieke effectbeoordelingsmethode te selecteren. Wel kan er geconcludeerd worden dat het scenario die het best scoort op de ene methode niet hoofdzakelijk het beste scoort op een andere methode.

9.4. Milieu-impact van PV-panelen

In deze paragraaf wordt bekeken welk invloed het gebruik van PV-panelen heeft op de milieu-impactresultaten. Meer specifiek of module A van de extra materiaalimpact opweegt tegen de lagere impact van module B6. Het PV-paneel waar in de EPB-software mee wordt gerekend is een mono-Silicium paneel met een bruto oppervlakte van 1,66 m² en een paneelcapaciteit van 300 Wp/m². Het schuine dak van de casestudy heeft een bruto oppervlakte van 38,76 m², maar PV-panelen kunnen niet tot tegen de dakrand worden geïnstalleerd. Bovendien wordt er al 7,53 m² dakoppervlakte ingenomen door de zonnecollectoren. Uiteindelijk is er slechts plaats voor 8 PV-panelen met een totale oppervlakte van 13,28 m². De dimensionering van de monokristallijne PV-panelen is terug te vinden in bijlage A.

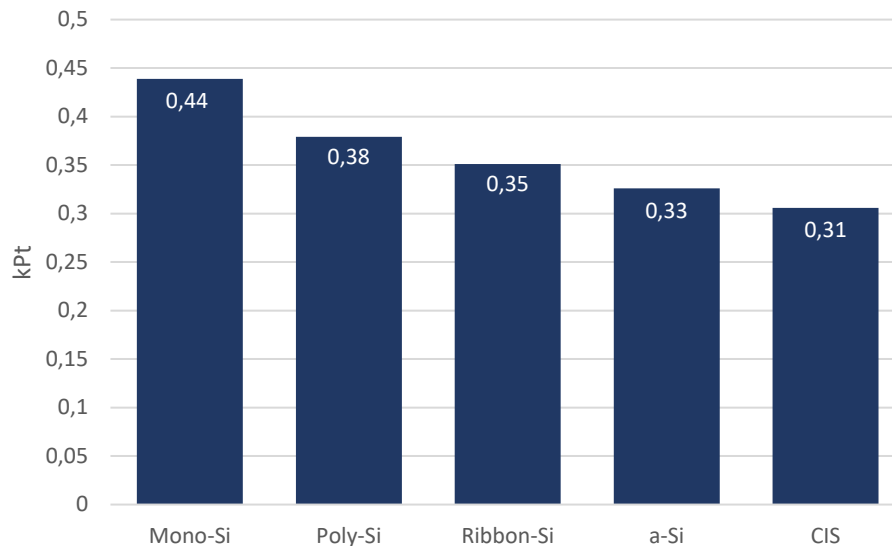
Op de markt zijn er verschillende type PV-panelen beschikbaar. Het is niet interessant om de milieu-impact te vergelijken voor een functionele eenheid van 1 m², aangezien elk type paneel een andere paneelcapaciteit heeft. In de plaats daarvan wordt er gekozen voor een paneeloppervlakte die in overeenstemming is met het beschouwde mono-Si-PV-paneel van 1,66 m². PV-panelen hebben bovendien een levensduur van gemiddeld 25 jaar. Om gemakkelijk te rekenen wordt verondersteld dat gedurende de levensduur van het gebouw van 60 jaar de panelen slechts één keer zullen worden vervangen door identieke exemplaren. Tabel 15 toont bijvoorbeeld dat het polykristallijn PV-paneel met een oppervlakte van 1,76 m² dezelfde paneelcapaciteit heeft als een monokristallijn PV-paneel met een oppervlakte van 1,66 m².

	Type cel	Paneelcapaciteit [Wp]	Opp. [m]
Mono-Si	Monokristallijn	300,00	1,66
Poly-Si	Polykristallijn	282,86	1,76
Ribbon-Si	Ribbon-Silicium	257,14	1,94
a-Si	Amorf Silicium	139,29	3,58
CiS	Copper Indium Selenium	229,29	2,17

Tabel 15. Paneelcapaciteit en oppervlakte van vijf types PV-panelen (Jungbluth et al., 2010, p.126)

Verder wordt in de Ecoinvent-databank voor PV-panelen bepaald dat 2% van de onderdelen wordt vervangen gedurende de levensduur en is er 1% productieverlies. Naast het PV-paneel zijn er nog componenten die in rekening moeten worden gebracht zoals de bevestigingsconstructie, de elektrische installatie (bestaande uit de elektriciteitskast, de elektriciteitsmeters, de bekabeling) en de omvormer. In SimaPro is de elektrische installatie

ingerekend voor PV-panelen met een capaciteit van 3 kWp. Deze worden teruggebracht naar 300 Wp. Ook de omvormer in SimaPro is gebaseerd op 2,5 kW en wordt herleid naar 300 W. De omvormer heeft een levensduur van 15 jaar en wordt gedurende de levensduur van het gebouw vier keer vervangen. De inventaris van de materialen met bijhorende gewichten, levensduur en transportafstanden is terug te vinden in bijlage B.

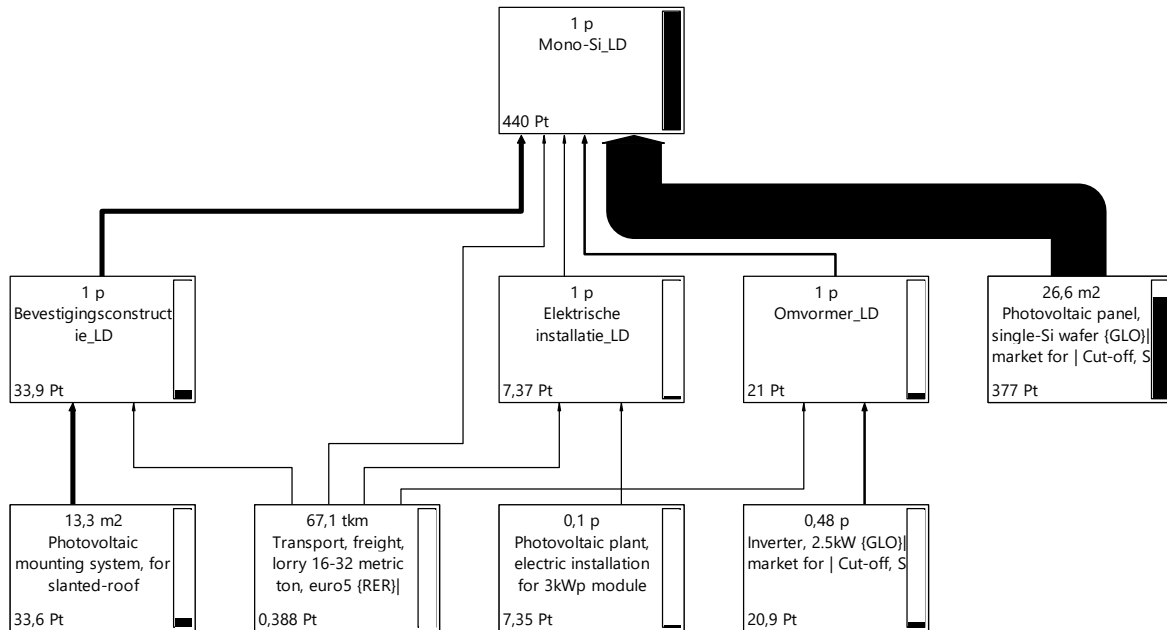


Grafiek 48. Milieu-impact van 8 PV-panelen voor een levensduur van 60 jaar

In grafiek 48 is de vergelijking gemaakt tussen de milieu-impact van de vijf type PV-panelen voor een levensduur van 60 jaar. Uit de resultaten blijkt het CIS-paneel de laagste milieu-impact te hebben. De twee meest voorkomende panelen op de markt, het mono-kristallijn en poly-kristallijn paneel hebben de grootste impact. Opvallend is dat het paneel met de kleinste oppervlakte, maar de grootste paneelcapaciteit slechter scoort dan de vier andere panelen. Anderzijds scoort het type met amorphe siliciumcellen met de grootste oppervlakte, maar de kleinste paneelcapaciteit beter dan drie van de vijf PV-panelen. Enkel CI-S heeft een nog lagere milieu-impact. In grafiek 18 zijn via de CED-methode dezelfde resultaten verkregen (Himpe & Trappers, 2011).

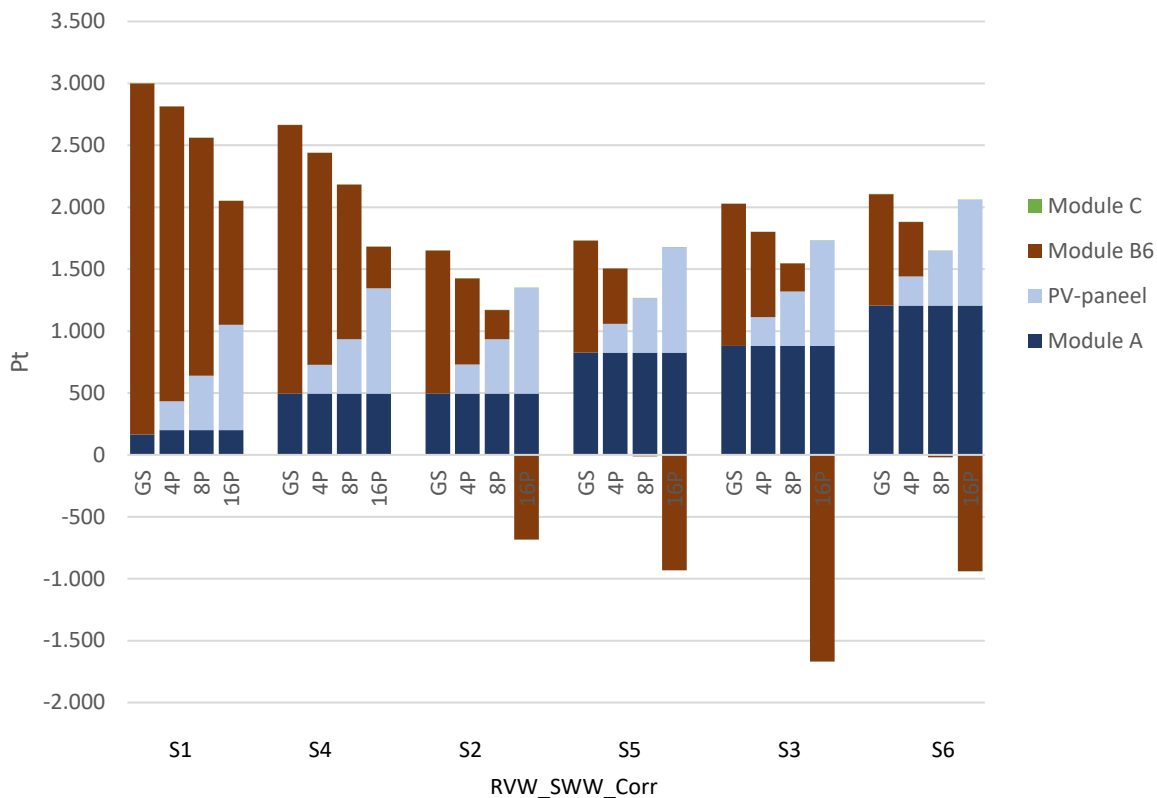
Voor alle PV-panelen wordt uitgegaan van een levensduur van 25 jaar, maar in de praktijk blijken de amorphe en CiS-PV-panelen een kortere levensduur te hebben dan de drie andere types, waardoor ze vaker moeten worden vervangen (Himpe & Trappers, 2011). Bijgevolg blijkt het ribbon-Si paneel de beste optie te zijn.

Aangezien de mono-kristallijne PV-panelen het meest gebruikte type zijn en de grootste materiaalimpact hebben, is het interessant om dit type paneel te selecteren in de analyse. Ook de elektrische installatie, omvormer en bevestigingsconstructie worden in rekening gebracht. Uit figuur 26 blijkt het mono-kristallijn PV-paneel zelf de grootste impact te hebben. Module A van de resterende onderdelen zijn goed voor 14,15% van de totale impact van module A. Het is dus relevant om naast de noodzakelijke zonnecellen ook de BOS mee te nemen in de analyse aangezien ze samen voor een niet te verwaarlozen impact zorgen.



Figuur 26. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van de mono-kristallijne PV-installatie, bestaande uit 8 panelen

In wat volgt wordt bekeken of de extra materiaalimpact van de PV-panelen opweegt tegen de energiebesparing in de operationele fase. De berekening is doorgevoerd op basis van acht panelen. Aangezien de keuze voor acht panelen zeer sterk afhankelijk is van de casestudy, wordt ook de berekening gedaan voor vier en zestien panelen. Ter vergelijking van de milieu-impact wordt gebruik gemaakt van de gecombineerde gecorrigeerde scenario's, zie grafiek 49. Hier wordt de opsplitsing tussen opwekking, distributie en emissie/tappunten, regelsysteem en operationeel energiegebruik RVW/SWW/hulpfuncties niet meer toegepast, maar worden ze weergegeven per module.



Grafiek 49. Vergelijking van de milieu-impact van de zes gecorrigeerde RVW_SWW-scenario's (GS) in combinatie met 4, 8 en 16 mono-kristallijne PV-panelen

Uit grafiek 49 blijkt de PV-installatie voor een lagere impact te zorgen in alle zes scenario's. De daling van de impact door het verminderd operationeel energiegebruik is groter dan de stijgende impact door het extra materiaalgebruik van de PV-installatie. Deze extra materiaalimpact is afhankelijk van het aantal panelen in elk scenario hetzelfde en logischerwijs groter naarmate er meer panelen zijn. In scenario 5/6 is voor 8 PV-panelen, alsook voor alle warmtepompscenario's met 16 PV-panelen, een negatieve impact van het operationeel energiegebruik op te merken. Dit komt omdat de PV-panelen meer elektriciteit opwekken dan gebruikt wordt voor de hulpfuncties van de technische installaties. Deze resterende stroom kan worden ingezet om de huishoudstroom te voorzien, dewelke in deze masterproef niet in rekening wordt gebracht. Wanneer de huishoudstroom volledig buiten beschouwing wordt gelaten en de hoeveelheid resterende energie dus niet wordt gebruikt, blijken zestien PV-panelen door de grote hoeveelheid materiaal een hogere impact te hebben bij de warmtepompscenario's in vergelijking met acht PV-panelen. Als conclusie geldt dat PV-panelen wel degelijk een milieuvriendelijke toevoeging zijn op de installaties die de totale impact van de scenario's doet dalen.

Hoofdstuk 10. Besluit

Deze masterproef had het doel om een antwoord te bieden op de kwestie hoe gedetailleerd de residentiële technische installaties moeten worden gemodelleerd in een levenscyclusanalyse om een realistische uitspraak te kunnen doen over de milieu-impact ervan. Het onderzoek is uitgevoerd via vijftien scenario's toegepast op een casestudy, een standaard eengezinswoning die moest voldoen aan de EPB-eisen van 2013. Via de effectbeoordelingsmethode ReCiPe 2016 H/A is de milieu-impact van de scenario's voor ruimteverwarming, de opwekking van sanitair warm water en de scenario's voor beide energieposten in afzonderlijke hoofdstukken berekend via de SimaPro software. De gemaakte principeschema's van elk scenario bieden een goed overzicht van alle componenten die bij de technische installatie horen. In tegenstelling tot veel literatuurstudie die zich tot de een bepaalde graad van detaillering beperken zijn in deze masterproef bijvoorbeeld alle koppelingen, waterleidingen, verdeelcollectoren, regelsystemen, enz. in rekening gebracht. Bij de impactvergelijking zijn drie modules (module A, B en C) in rekening gebracht. Het operationeel energiegebruik van de casestudy is voor elk scenario begroot aan de hand van de EPB 3G-software.

Als eerste zijn zes ruimteverwarmingsscenario's gedetailleerd met elkaar vergeleken. Drie opwekkingscomponenten (de gascondensatieketel, de lucht-waterwarmtepomp en grondwaterwarmtepomp) zijn gecombineerd met twee distributie- en emissiesystemen (radiatoren en vloerverwarming). Uit de vergelijking van de standaard scenario's heeft de grondwaterwarmtepomp gecombineerd met vloerverwarming de laagste milieu-impact en de gascondensatieketel in combinatie met de radiatoren de grootste. Het gebruik van vloerverwarming zorgt in ieder scenario voor een lagere milieu-impact in vergelijking met radiatoren. Bij een diepere analyse van de drie opwekkingscomponenten komt naar voren dat de soms verouderde data uit Ecoinvent niet altijd een goede benadering vormt voor hedendaagse technische installaties. Zo werd er na vergelijking met hedendaagse componenten op de markt voor de gascondensatieketel en lucht-waterwarmtepomp een respectievelijk 106,13 kg en 135,49 kg lager gewicht gevonden. De milieu-impact van deze twee opwekkingscomponenten uit Ecoinvent is met respectievelijk 275% en 115% overschat. Voor de grondwaterwarmtepomp geldt net het tegenovergestelde, de grondwaterwarmtepomp van hedendaagse modellen heeft in vergelijking met de pomp uit Ecoinvent een 25,80 kg hoger gewicht. De impact ervan is met bijna 20% onderschat. Samen met een andere materiaalkeuze voor de koppelingen zijn alle correcties toegepast in zes gecorrigeerde scenario's. Hieruit blijkt de impact wel degelijk sterk veranderd te zijn. De impact van de scenario's die gebruik maken van de gascondensatieketel en lucht-waterwarmtepomp zijn

gedaald, maar de impact van de scenario's met de grond-waterwarmtepomp gestegen. Zo blijkt het scenario van de lucht-waterwarmtepomp in combinatie met vloerverwarming nu de laagste impact te hebben.

Op dezelfde manier zijn eerst drie sanitairwarmwaterinstallaties die gebruik maken van de Ecoinvent-databank met elkaar vergeleken. Deze drie scenario's bestaan opeenvolgend uit een gasboiler, een zonneboiler met gasboiler als back-upsysteem en een warmtepompboiler dewelke allen zijn aangesloten op vier tappunten. Uit de vergelijking van de milieu-impact van de standaard scenario's blijkt de zonneboiler + gasboiler de laagste impact te hebben. Opnieuw zijn na het analyseren van het netwerk van module A van elk scenario's de componenten die de grootste bijdrage leveren tot de milieu-impact diepere geanalyseerd. Zo is er voor de impact van drie vlakkeplaatcollectoren na vergelijking met vlakkeplaatcollectoren op de markt een 38% lagere impact gevonden in vergelijking met drie vlakkeplaatcollectoren uit Ecoinvent. Samen met een andere materiaalkeuze van de tappunten en de eerder gevonden correcties uit de ruimteverwarmingsscenario's is er bij de gecorrigeerde scenario's voor alle drie een lagere impact gevonden. Waar in de standaard scenario's de warmtepompboiler voor de grootste impact zorgde, heeft hij nu een lagere impact dan de gasboiler. Het scenario met de zonneboiler + gasboiler blijft echter de laagste impact behouden.

Vervolgens wordt er gekeken naar de impact van zes scenario's die instaan voor beide energieposten. De eerst drie scenario's maken gebruik van dezelfde drie opwekkingscomponenten: gascondensatieketel, lucht-waterwarmtepomp en grond-waterwarmtepomp. Bijkomstig werd er in de resterende drie scenario's gekeken naar de impact van een zonneboilerinstallatie die instaat voor de opwekking van sanitair warm water en er als primaire opwekker fungeert. Deze hebben ook allen in vergelijking met de standaard scenario's een lagere impact. De laagste impact werd verkregen door de lucht-waterwarmtepomp. De vergelijking tussen de enkelvoudige en gecombineerde gecorrigeerde installaties toont aan dat het ecologisch is om beide energieposten meteen door één installatie te voorzien. Het verschil bij de scenario's met lucht-waterwarmtepomp liep op tot 23,33% of 385 milieupunten.

Als laatste werd in een gevoeligheidsanalyse via kleine deelonderzoeken onderzocht hoe gevoelig de verkregen resultaten uit de vorige drie onderzoeken zijn bij het wijzigen van een aantal parameters. Zo blijkt het wel degelijk relevant te zijn om de LCA tot een detailstudie te volbrengen aangezien dit grote impactverschillen met zich kan meebrengen. Op voorwaarde dat de detaillering zich verdiept tot het analyseren van de data uit Ecoinvent. De impactverschillen kunnen dan oplopen tot 50% verschil. Wanneer de detailstudie zich beperkt

tot het verwaarlozen van een aantal componenten (zoals bijvoorbeeld de koppelingen, het regelsysteem, ...) blijkt het in de helft van de geanalyseerde scenario's voor een verwaarloosbaar verschil te zorgen, terwijl het in de andere helft wel significante verschillen veroorzaakt. Toch is het belangrijk om niet snel materialen te gaan verwaarlozen. De impact van een mengkraan lijkt in tegenstelling tot het grote plaatje een zeer kleine impact te hebben, maar bij een groot aantal blijken ze toch een niet te onderschatten impact te hebben op module A die de impactresultaten wel degelijk kunnen beïnvloeden. Daarnaast blijkt ook het in rekening brengen van de levensduur van elk component en de keuze van een effectbeoordelingsmethode een grote invloed te hebben op de interpretatie van de resultaten. Wanneer een zo breed mogelijke uitspraak wordt gedaan over hoe milieuvriendelijk een installatie is, is het noodzakelijk om naar meerdere methodes te kijken. De zonneboilerinstallatie zorgt bij de ReCiPe-methode voor een verhoging van de milieu-impact bij de warmtepompscenario's, terwijl het bij de CED-methode voor een lager energiegebruik zorgt.

Ter conclusie kan er dus vastgesteld worden dat de LCA een onzekere wetenschap is, waarbij de gemaakte keuzes, veronderstellingen, graad van detaillering wel degelijk een invloed hebben op de bekomen resultaten. Het gebruik maken van de data uit Ecoinvent dient met een zekere voorzichtigheid te worden gehanteerd, aangezien er bij een diepere analyse van de processen grote gewichtsverschillen en bijkomstige impactverschillen zijn te vinden. Het loont altijd de moeite om bij het selecteren van een proces in SimaPro te controleren welke materialen er in rekening zijn gebracht en te verifiëren of deze nog van toepassing zijn op hedendaagse toestellen. Alvorens te starten met de LCA is het belangrijk om de focus van het onderzoek zo scherp mogelijk af te bakenen. Alle gemaakte veronderstellingen dienen zo nauwkeurig mogelijk te worden weergegeven, zodat het mogelijk is om de interpretatie van de resultaten met een kritische blik te vergelijken met andere studies.

Referentielijst

- Alsema, E. (1998). Energy requirements of thin-film solar cell modules - a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2(4), pp. 387–415. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(98\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(98)00019-7)
- Alsema, E. A., & Nieuwlaar, E. (2000). *Energy viability of photovoltaic systems*. 28(May), pp. 999–1010.
- Blom, I. (2010). Environmental impacts during the operational phase of residential buildings [Technische Universiteit Delft]. In *Sustainable urban areas*. <http://0-site.ebrary.com.avalos.ujaen.es/lib/bibujaen/Doc?id=10451143>
- Bovea, M. D., Cabello, R., & Querol, D. (2007). Comparative life cycle assessment of commonly used refrigerants in commercial refrigeration systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(5), pp. 299–307. <https://doi.org/10.1065/lca2007.06.346>
- Bracquene, E., Peeters, J. R., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2018). Taking Evolution into Account in a Parametric LCA Model for PV Panels. *Procedia CIRP*, 69(May), 389–394. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.103>
- Brouwers, J., Couder, J., Verbruggen, A., Devriendt, N., Aernouts, K., Nijs, W., Guisson, R., Cornelis, E., Pelkmans, L., Vangeel, S., Moorkens, I., & Vanmarcke, H. (2010). *Milieurapport Vlaanderen achtergronddocument*.
- Bruyn, S. de, Veen, R. van der, Korteland, M., Bijleveld, M., & CE Delft. (2019). *Milieuschadeposten van verschillende technologieën voor woningverwarming. COP, SCOP en rendement van de warmtepomp*. (2019). <https://www.klimaatexpert.com/warmtepomp/technisch/cop-scop-en-rendement>
- D'haeze, J. (2019). *Milieu-impact van thermisch geactiveerde vloeren*. Universiteit Gent.
- Debacker, W., Allacker, K., Spirinckx, C., Geerken, T., & De Troyer, F. (2013). Identification of environmental and financial cost efficient heating and ventilation services for a typical residential building in Belgium. *Journal of Cleaner Production*, 57, pp. 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.037>
- Delem, L., Janssen, A., Vrijders, J., & Wastiels, L. (2020). *The impact of materials needed for renovation and new housing*.
- Delem, L., Van Dessel, J., Janssen, A., Debacker, W., Spirinckx, C., Allacker, K., & De Troyer, F. (2011). *Bepalingsmethode milieugerelateerde materiaalprestatie van gebouwelementen (MMG)*.

- Europese Commissie. (2013). *Aanbevelingen van de commissie van 9 april 2013 over het gebruik van gemeenschappelijke methoden voor het meten en bekendmaken van de milieuprestaties van producten en organisaties gedurende hun levenscyclus* (Issue december 2010).
- FOD Economie. (2017). *Analyse van het energieverbruik van huishoudens in België*.
- Frischknecht, R., Heath, G., Raugei, M., Sinha, P., Wild-Scholten, M. de, Fthenakis, V., Kim, H. C., Alsema, E., & Held, M. (2016). *Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 3rd edition*.
- Genkinger, A., Dott, R., & Afjei, T. (2012). Combining heat pumps with solar energy for domestic hot water production. *Energy Procedia*, 30, pp. 101–105.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.013>
- Gerbinet, S., Belboom, S., & Léonard, A. (2014). Life Cycle Analysis (LCA) of photovoltaic panels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, pp. 747–753.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.043>
- Greening, B., & Azapagic, A. (2012). Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK. *Energy*, 39(1), pp. 205–217.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.028>
- Hassan, N., & Javed, S. (2019). Comparative life-cycle assessment of constant air volume, variable air volume and active climate beam systems for a Swedish office building. *40th AIVC Conference, October*, pp. 627–636.
- Himpe, E., & Trappers, L. (2011). *De totale energieconsumptie van een nulenergiewoning: impact van de technische installaties*. Universiteit Gent.
- Himpe, E., Trappers, L., Debacker, W., Delghust, M., Laverge, J., Janssens, A., Moens, J., & Van Holm, M. (2013). Life cycle energy analysis of a zero-energy house. *Building Research and Information*, 41(4), pp. 435–449.
<https://doi.org/10.1080/09613218.2013.777329>
- Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Frischknecht, R., Hellweg, S., Humbert, S., Jungbluth, N., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., & Nemecek, T. (2010). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods Data v2.2 (2010). In *ecoinvent Report No. 3* (Issue 3).
https://www.ecoinvent.org/files/201007_hischier_weidema_implementation_of_lcia_methods.pdf
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M.,

- Zijp, M., Hollander, A., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138–147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- Intercommunale Leiedal. (2011). *Ruimtelijk Uitvoeringsplan nr. 9 “Venning - Goedkope Woning”* (Issue 9).
- Intercommunale Leiedal. (2019). *Ruimtelijk uitvoeringsplan Venning Manchester*.
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F. G., & Menzies, G. F. (2009). Life-Cycle Assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), pp. 674–701. <https://doi.org/10.3390/su1030674>
- Laleman, R. (2009). Het LCA – profiel van zonnepanelen in België. In *unpublished*. Universiteit Gent.
- Li, M. (2012). *Life Cycle Assessment of Residential Heating and Cooling Systems in Minnesota*. University of Minnesota.
- Lindvall, S. (2018). *Comparison of centralized and decentralized ventilation in a multifamily building in Stockholm*. KTH Royal Institute of Technology.
- Livos. (2021). *Keukenkraan kiezen*. <https://www.livos.be/nl/bouwinformatie/afwerking/keuken/keukeninrichting/keukenkraan-kiezen/>
- Marinelli, S., Lolli, F., Gamberini, R., & Rimini, B. (2019). Life Cycle Thinking (LCT) applied to residential heat pump systems: A critical review. *Energy and Buildings*, 185, pp. 210–223. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.035>
- Mendrinou, D., Katsantonis, S., & Karytsas, C. (2016). Pipe materials for borehole heat exchangers. In *European Geothermal Congress 2016* (Issue September 2016).
- Mirabella, N., Röck, M., Saade, M. R. M., Spirinckx, C., Bosmans, M., Allacker, K., & Passer, A. (2018). Strategies to improve the energy performance of buildings: A review of their life cycle impact. *Buildings*, 8(8), pp. 1–18. <https://doi.org/10.3390/buildings8080105>
- Nguyen, U. (2021). *De energiemix in België : waar komt onze elektriciteit vandaan ?* <https://www.energie-vergelijker.be/blog/energiemix-in-belgie/>
- Nitkiewicz, A., & Sekret, R. (2014). Comparison of LCA results of low temperature heat plant using electric heat pump , absorption heat pump and gas-fired boiler. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 87, pp. 647–652. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.032>

- OVAM. (2018). *Environmental profile of building elements*.
- Passer, A., Kreiner, H., & Maydl, P. (2012). *Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings*. August 2015, 15. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0435-6>
- Prek, M. (2004). Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study. *Energy and Buildings*, 36(10 SPEC. ISS.), pp. 1021–1027. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.06.008>
- Saner, D., Juraske, R., Kübert, M., Blum, P., Hellweg, S., & Bayer, P. (2010). Is it only CO₂ that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1798–1813. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.002>
- Sasnauskaitė, V., Užšilaitytė, L., & Rogoža, A. (2007). A sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. A case study. *International Journal of Strategic Property Management*, 11(3), pp. 143–155. <https://doi.org/10.1080/1648715X.2007.9637566>
- Shah, V. P., Debella, D. C., & Ries, R. J. (2008). Life cycle assessment of residential heating and cooling systems in four regions in the United States. *Energy and Buildings*, 40(4), pp. 503–513. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.004>
- Souliotis, M., Arnaoutakis, N., Panaras, G., Kavga, A., & Papaefthimiou, S. (2018). Experimental study and Life Cycle Assessment (LCA) of Hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T) solar systems for domestic applications. *Renewable Energy*, 126, pp. 708–723. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.011>
- Steertegem, M. Van, Bossuyt, M., Brouwers, J., Geest, C. De, Maene, S., Maes, F., Opdebeeck, S., Overloop, S., Peeters, B., Hooste, H. Van, Vancraeynest, L., & Putten, E. Vander. (2009). *milieurapport vlaanderen 2009*.
- van de Cruijs, I. A. (2009). *Thermisch geactiveerde vloeren in woningen*.
- Vandenbroucke, M. (2018). *Rapport - Technische levensduur van gebouwcomponenten*.
- Vantilt, E. (2017). *De energiemix in België: de verschillende energiebronnen voor de productie van elektriciteit*. <https://www.killmybill.be/nl/energiemix/>
- Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2020). *Bijlage V - Bepalingsmethode van het peil van primair energieverbruik van residentiële eenheden*.
- Vlaams Energie- en Klimaatagentschap. (2021). *Karakteristiek jaarlijks primair*

energieverbruik. <https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/rekenmethode/e-peil/epw/karakteristiek-jaarlijks-primair-energieverbruik>

Vlaams energie- en klimaatplan 2021-2030. (2019).

WTCB. (1999). Leidraad voor de installatie van zonneboilers. *Technische Voorlichting*, 212(2), 73.

WTCB. (2010). *Condensatieketels - Voordelen en werking* (Issue 10).

WTCB. (2013). *Ontwerp en dimensionering van centrale-verwarmingsinstallaties met warm water* (Vol. 14, Issue 14). <https://www.wtcb.be/homepage/>

WTCB. (2016). *Dimensionering van vloerverwarmingssystemen met warmwaterbuizen* (Issue 18).

Zhong, Z. W., Song, B., & Loh, P. E. (2011). LCAs of a polycrystalline photovoltaic module and a wind turbine. *Renewable Energy*, 36(8), 2227–2237.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.021>

Bijlage A. Dimensionering van de technische installatie

A1. Warmteverliesberekening

Om het te installeren verwarmingsvermogen in de woning per ruimte te kennen, wordt er een warmteverliesberekening uitgevoerd overeenkomstig met de norm NBN B 62-003. Het WTCB voorziet een rekentool via een Excel-file waarmee de warmteverliesberekening op een goede manier kan worden uitgevoerd. Per ruimte worden de transmissieverliezen, ventilatieverliezen en het opwarmingsvermogen berekend. De basisbuitentemperatuur in Kortrijk is -7°C . De totale warmteverliezen worden begroot op 4,4 kW.

Ruimte	θ_i [$^{\circ}\text{C}$]	$\Phi_{\text{trans},i}$ [W]	$\Phi_{\text{vent},i}$ [W]	$\Phi_{\text{RH},i}$ [W]	$\Phi_{\text{tot},i}$ [W]
Eet-en zitruimte	21	434	1102	89	1624
Keuken	21	82	9	14	105
Berging +0	16	-9	-39	7	-41
WC	16	0	2	4	6
Inkomhal	16	47	-38	9	18
Hobbykamer	18	15	312	27	354
Slaapkamer 2	21	151	450	35	636
Slaapkamer 3	21	113	400	32	545
Badkamer	24	137	176	18	331
Nachthal	16	0	3	6	9
Slaapkamer 1	18	118	472	47	636
Berging/zolder	16	21	7	18	46
Berging +2	16	22	5	18	46
TOTAAL		1130	2860	324	4315

Tabel A1. Warmteverliezen voor elke ruimte

- Het gebouw behoort tot een matig zware constructie, waardoor het enige inertie heeft en een opwarmingsvermogen van toepassing is. De periode van verlaging bedraagt 8 uur en de temperatuur van de afvoerlucht 19°C .
- Voor de luchtdichtheid van het gebouw wordt verondersteld dat de woning een blowerdoortest onderging die voldoet aan de eisen van een passief woning. ($n_{50} = 0,6$)
- Het gebouw bevat een ventilatiesysteem D met gebalanceerde ventilatie en warmteterugwinning. De warmtewisselaar heeft een rendement van 85%.

A2. Opwekking van sanitair warm water

Voor de bepaling van de hoeveelheid sanitair warm water wordt gerekend op 35 liter per persoon per dag. Voor de woning met 4 bewoners komt dit overeen met 140 liter per dag, overeenkomstig met de norm DIN 4708-2. Om zeker te zijn dat er voldoende water beschikbaar is, wordt voor een opslagtank van 160 liter gekozen. Het water wordt opgewarmd tot een watertemperatuur van 60°C om de verspreiding van het legionella virus tegen te gaan

De aanvoer van koud water gebeurt aan 10°C. Overeenkomstig tabel 12 uit het WTTCB rapport nr. 14 (2013) heeft de warmtewisselaar bij semi-accumulatie voor een opslagtank van 160 liter en een wachttijd van 6 minuten een vermogen van 4 kW.

A3. Dimensionering van de gascondensatieketel

Het minimaal te installeren ketelvermogen Φ_{SU} wordt bepaald aan de hand van het vereiste vermogen voor de ruimteverwarming. De stooklast voor de ruimteverwarming ligt vast op 4,40 kW voor de ruimteverwarming en op 4,00 kW voor de opwekking van sanitair warm water. Het nuttige ketelvermogen wordt bepaald door 1,1 keer de vastgelegde stooklast te nemen. Aan de hand van technische productfiches van fabrikanten²⁰ is een type gascondensatieketel geselecteerd met een werkelijk vermogen van 12,00 kW en 7,25 kW voor de ruimteverwarming en opwekking van sanitair warm water respectievelijk. Dit zijn de waarden waar in de EPB-software mee wordt gerekend. Het buffervat voor RVW heeft een inhoud van 250 liter. Het voorraadvat (de warmwaterboiler) heeft een inhoud van 160 liter. In de scenario's met zonnecollectoren wordt het voorraadvat bijna twee keer zo groot gedimensioneerd, met een inhoud van 300 liter.

		RVW	SWW	RVW + SWW
Vastgestelde stooklast	[kW]	4,40	4,00	8,40
Nuttig ketelvermogen	[kW]	4,90	4,40	9,30
Werkelijk vermogen gascondensatieketel	[kW]	2,60 - 13	7,25	12,00
Inhoud buffervat en boiler				
Buffervat voor RVW	liter	250		250
Voorraadvat SWW	liter		160	160
Voorraadvat SWW (met zonnecollectoren)	liter		300	300

Tabel A2. Vermogen van de gascondensatieketel

A4. Dimensionering warmtepompen

De vastgelegde stooklast is de stooklast voor ruimteverwarming, overeenkomstig met de warmteverliesberekening. De dagwarmtehoeveelheid is de vastgelegde stooklast voor een volledige dag (24 uur). Bij een minimale buitentemperatuur van -7°C houdt men rekening met een blokkering van de warmtepomp van twee keer gedurende twee uur, waardoor de warmtepomp slechts 20 uur actief is. Aangezien de woning een zekere thermische massa heeft, wordt er met twee uren geen rekening gehouden. Het rekenkundig stookvermogen houdt dus maar rekening met 22 uren per dag. Het werkelijk vermogen moet groter zijn dan deze waarde. Het werkelijk vermogen van de warmtepomp en bijhorende SPF bij een

²⁰ Technische gegevens Vitocrossal 300 (CU3A), Viessmann

testtemperatuur van 55°C wordt geselecteerd volgens de beschikbare productfiches van fabrikanten. Voor de dimensionering van de aardsondes wordt uitgegaan van 40 W per meter boring. Bij een werkelijk vermogen van 5,00 kW en 12,00 kW is er 125 en 300 meter nodig respectievelijk. Uitgaande van aardsondes met buitendiameter 12 cm en binnendiameter 11,6 cm wordt de inhoud van het koelmiddel berekend.

		RVW	RVW + SWW
Vastgelegde stooklast	[kW]	4,40	8,40
Dagwarmtehoeveelheid	[kWh]	105,60	201,60
Rekenkundig stookvermogen	[kW]	4,80	9,16
Werkelijk vermogen			
Grond-waterwarmtepomp	[kW]	5,00	12,00
Lucht-waterwarmtepomp	[kW]	5,00	10,00
Rekenwaarde SPF bij 55°C			
Grond-waterwarmtepomp		3,68	3,68
Lucht-waterwarmtepomp		3,51	3,51
Berekende sondelengte			
Grond-waterwarmtepomp	[m]	125	300
Warmtedragend medium			
Grond-waterwarmtepomp	[l]	1321,04	3170,50
Membraanexpansievat	[l]	8,00	8,00

Tabel A3. Dimensionering van de warmtepompen

A5. Dimensionering zonnecollector

De zonneboiler is niet in staat om zelfstandig de volledige warmwaterbehoefte te voorzien. Op jaarbasis kan een 50 à 60% van het te installeren vermogen voor sanitair warm water gedekt worden via de zonneboiler. Dit percentage is de solaire dekkingsgraad. Voor een dekkingsgraad van 60% moet het totale beschikbare boilervolume ongeveer anderhalve tot twee keer groter zijn dan de dagelijkse warmwaterbehoefte, rekening houdend met de gewenste tapwatertemperatuur. Een opslagtank van 280 liter is dus noodzakelijk. Om er met enige voorzichtigheid mee om te gaan, wordt voor een opslagtank van 300 liter gekozen. Overeenkomstig de gegevens van fabrikanten wordt een vlakkeplaatcollector gekozen met een apertuuroppervlakte van 2,35 m². De helling en oriëntatie is afhankelijk van de helling en oriëntatie van het hellend dak, 43°30'0" en 45° (Zuidwesten) respectievelijk. Wanneer één zonnecollector wordt geïnstalleerd, staat de zonneboiler slechts voor 35% van de warmwaterbehoefte in. Bij twee zonnecollectoren en een apertuuroppervlakte van 4,70 m² is dat percentage 49% en bij drie zonnecollectoren 71%. Aangezien twee zonnecollectoren nipt de grens van 50% niet halen, wordt geopteerd voor drie zonnecollectoren met een totale apertuuroppervlakte van 7,05 m².

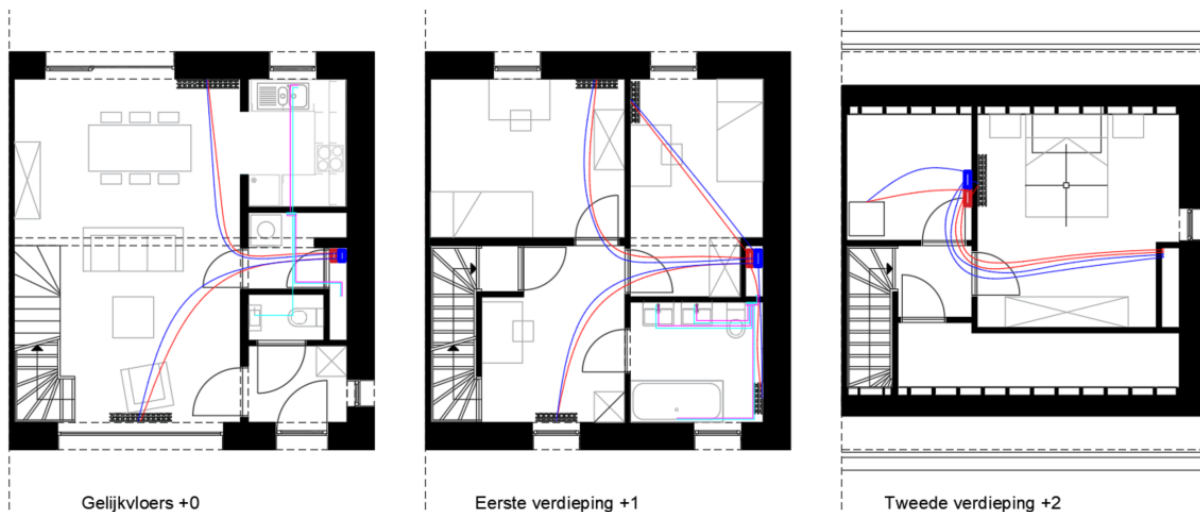
A6. Dimensionering van de distributie- en afgiftesystemen

A6.1 Lagetemperatuursverwarming met radiatoren

De dimensionering van de radiatoren gebeurt aan de hand van gegevens van fabrikanten. Via de warmteverliesberekening (zie A1. Warmteverliesberekening) worden de te installeren verwarmingsvermogens voor iedere ruimte bepaald. Het temperatuurregime ligt vast op 50/40, een vertrekwatertemperatuur van 50°C en een waterretourtemperatuur van 40°C. Het warmteafgiftevermogen van de radiator Φ_{rad} moet minstens de berekende warmteverliezen dekken van de ruimte waarin hij geplaatst is. Op die manier kan voor elke ruimte de grootte van de radiatoren worden bepaald. Bij de eet-en zitruimte worden twee radiatoren voorzien.

Ruimte	$\Phi_{\text{tot},i}$ [W]	Φ_{rad} [W]	Afmetingen radiator			A_{radiator}
			Dikte [m]	Lengte [m]	Hoogte [m]	
Eet- en zitruimte	1624	892	0,21	1,20	0,70	0,84
			0,21	1,20	0,70	0,84
Hobbykamer	354	380	0,21	0,80	0,40	0,32
Slaapkamer 2	636	684	0,33	0,80	0,40	0,32
Slaapkamer 3	545	595	0,21	0,80	0,70	0,56
Badkamer	331	395	0,21	0,60	0,60	0,36
Slaapkamer 1	636	659	0,21	1,00	0,60	0,60

Tabel A4. Dimensionering van de radiatoren



Figuur A1. Legplan van de waterleidingen voor radiatoren en de waterleidingen voor sanitair warm water

A6.2 Lagetemperatuursverwarming met vloerverwarming

De dimensionering van de vloerverwarming gebeurt volgens de norm NBN EN 1264, B1 tot en met B5 (WTCB, 2016). De buizen van het vloerverwarmingssysteem liggen in de dekvloer

zodat een nat systeem wordt verkregen. Aan de hand van de berekende warmteverliezen (zie A1. Warmteverliesberekening) en de oppervlakte van de verwarmde vloer kan de specifieke warmteafgifte q van elke ruimte worden bepaald. Volgens tabel A5 heeft de eet-en zitruimte de grootste specifieke warmteafgifte. Deze ruimte is beslissend voor de bepaling van de vertrektemperatuur van het watercircuit. De temperatuurdaling in deze ruimte mag maximum 5K bedragen. Via de karakteristieke curve geleverd door fabrikanten, uitgaande van een pasafstand T_A van 15 cm, een buisdiameter van 18 mm en een warmteweerstand van de vloerbedekking van 0,10 m²K/W kan het verschil tussen de gemiddelde watertemperatuur en de ruimtetemperatuur bepaald worden. Zo is er een toevoertemperatuur van 40°C gekomen. Vervolgens kan voor elke ruimte de retourtemperatuur worden bepaald. Bij de badkamer is een pasafstand van 10 cm noodzakelijk om te voldoen aan de nodige warmtevraag.

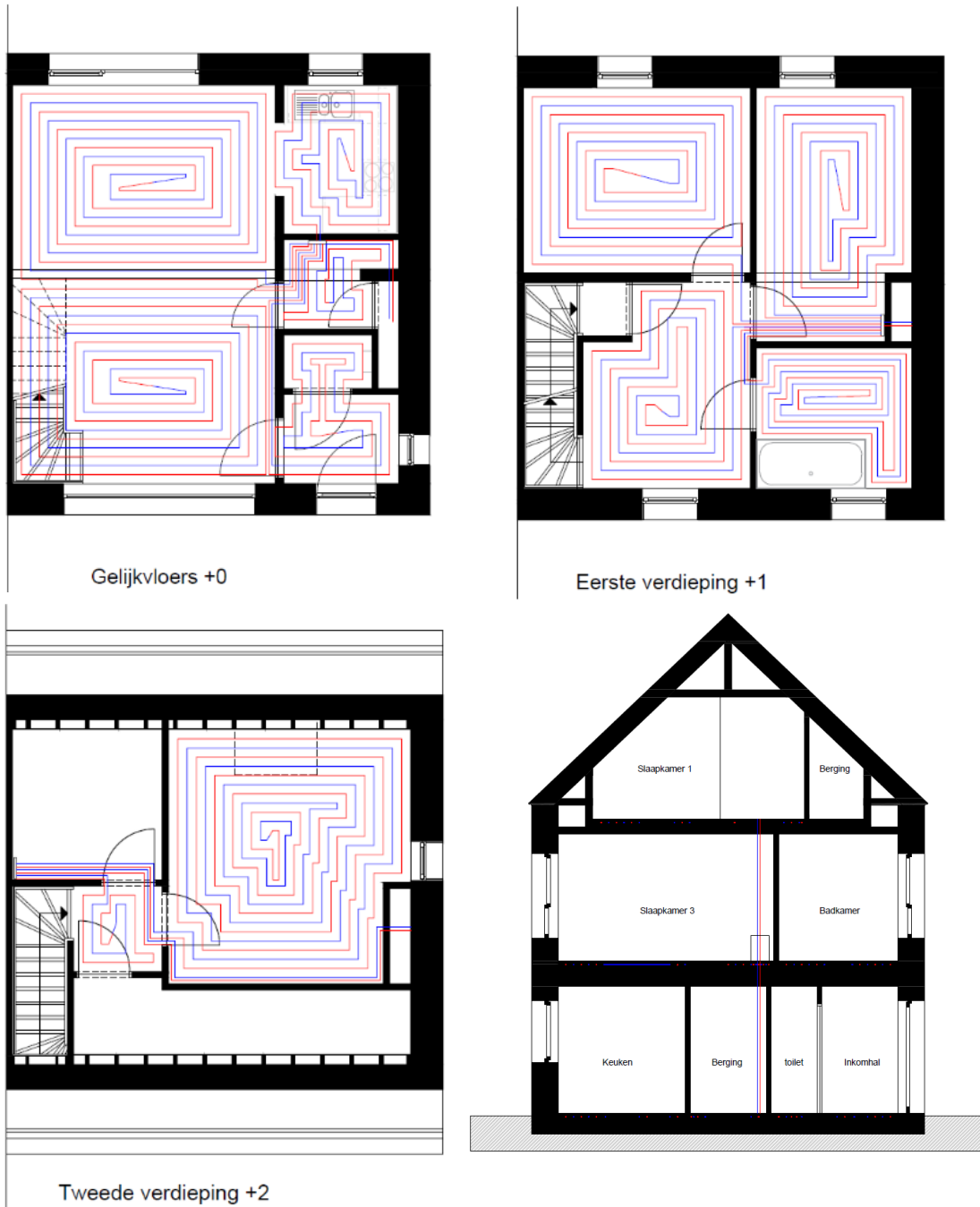
Ruimte	Φ_{tot} [W]	A_F [m ²]	q [W/m ²]	θ_i [°C]	T_A [m]	$\Delta\theta_i$ [°C]	σ [m]	θ_v [°C]	θ_r [°C]
Eet- en zitruimte	1624	29,61	54,85	21	0,15	16	5,00	40	35,00
Keuken	105	4,82	21,78	21	0,15	6	18,10	40	21,90
Berging +0	-84	2,41	-34,85	16	0,15		48,00	40	-8,00
WC	6	1,33	4,51	16	0,15	2	24,00	40	16,00
Inkomhal	84	2,89	29,07	16	0,15	9	21,90	40	18,10
Hobbykamer	354	8,84	40,05	18	0,15	11,5	17,00	40	23,00
Slaapkamer 2	636	11,78	53,99	21	0,15	16	5,70	40	34,30
Slaapkamer 3	545	10,53	51,76	21	0,15	15	7,40	40	32,60
Badkamer	331	4,61	50,00	24	0,10	13	5,60	40	34,40
Nachthal	25	2,03	12,32	16	0,15	3	24,00	40	16,00
Slaapkamer 1	697	15,67	44,48	18	0,15	13	15,10	40	24,9

Tabel A5. Berekening van het temperatuurregime

Afhankelijk van de plaatsing van de collectoren per verdieping kan de lengte van de leidingen bepaald worden. L_0 is de lengte van de leiding van collector tot aan de verwarmde ruimte. De theoretische benaderingsmethode uit Rapport nr. 18 (WTCB, 2016) zorgt bij sommige ruimtes voor een verschil tot 30% in vergelijking met de lengte die voortkomt uit het verlegplan.

Ruimte	L_0 [m]	L_r [m] (theorie)	L_r [m] (verlegplan)	Vershil [%]
Eet- en zitruimte	5,32	202,72	191,51	-5,53
Keuken	0	32,13	30,75	-4,30
Berging +0	0	16,07	11,03	-31,35
WC	0	8,87		
Inkomhal	9,86	29,13	30,72	-19,14
Hobbykamer	4,36	63,29	55,59	-12,17
Slaapkamer 2	6,66	85,19	76,60	-10,09
Slaapkamer 3	0	70,20	61,42	-12,51
Badkamer	6,26	52,36	48,94	-6,53
Nachthal	3,1	16,63	12,35	-25,75
Slaapkamer 1	7,3	111,77	101,59	-9,11

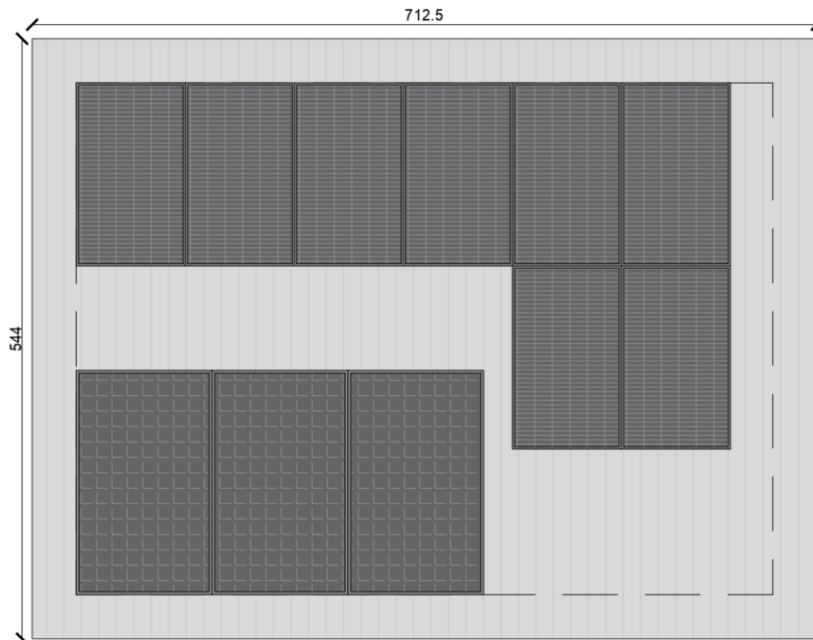
Tabel A6. Berekening van de leidinglengte van de vloerverwarming



Figuur A2. Legplan van de vloerverwarming

A7. Elektriciteitsproductie

Voor de elektriciteitsproductie wordt gebruik gemaakt van PV-panelen. Deze worden geïnstalleerd op het hellend dak onder een helling van $43,30^\circ$ en gericht naar het zuid-westen (45°). Er is geen beschaduwing van de PV-panelen aanwezig. Aangezien de kristallijne PV-panelen het meest gebruikte type is in België wordt hier gekozen voor een monokristallijn PV-paneel. Het naar het zuid-westen gerichte dak heeft een bruto-oppervlakte van $38,76 \text{ m}^2$. Het is echter wel aangeraden om de PV-panelen nooit op de randen of bij de nok te plaatsen aangezien de windbelasting daar drie keer groter is. Bovendien wordt er in sommige scenario's al reeds dakoppervlakte ingenomen door de zonnecollectoren, in totaal $7,53 \text{ m}^2$. De beschikbare netto-oppervlakte is dan nog $21,82 \text{ m}^2$. Het geselecteerde PV-paneel heeft een piekvermogen van 300 Wp en een oppervlakte van $1,64 \text{ m}^2$. Figuur A3 toont een mogelijke installatie van de zonnecollectoren en PV-panelen op het dak. Er is met de resterende netto-oppervlakte slechts plaats voor acht PV-panelen.



Figuur A3. Dakplan met aanduiding van de zonnecollectoren en PV-panelen

De installatie van acht PV-panelen van elk 300 Wp zorgen per jaar voor een eindenergiebesparing van $1.910,39 \text{ kWh}$, omgerekend een $6.877,40 \text{ MJ}$. Voor de casestudy met een levensduur van 60 jaar bedraagt de eindenergiebesparing $412.644,24 \text{ MJ}$.

A8. Energiegebruik

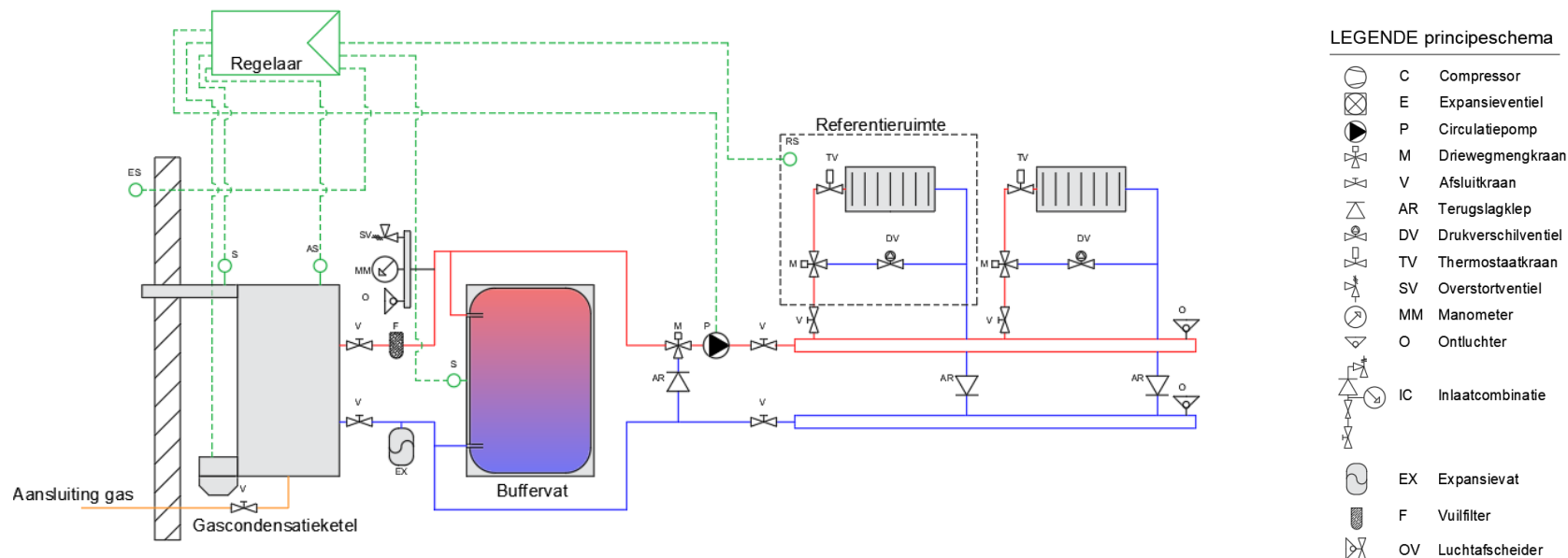
Bij de scenario's met de gascondensatieketel als opwekkingscomponent wordt het eindenergiegebruik van de ruimteverwarming en sanitair warm water ingegeven als een hoeveelheid gasgebruik. Bij de scenario's met de warmtepompen wordt het ingegeven als een hoeveelheid elektriciteit, gebruik makend van de Belgische energiemix.

Scenario	Eindenergiegebruik RVW	Eindenergiegebruik SWW			Eindenergiegebruik hulpfuncties	Totaal eindenergiegebruik
		Circulatiepompen	Opwekkers	Circulatiepomp thermische zonne-E		
RVW_S1	1.068.907,20	2.745,00	5.540,40	-	2.9827,44	1.098.734,64
RVW_S2	1.067.170,80	2.745,00	5.550,00	-	29.862,00	1.097.032,80
RVW_S3	290.269,20	2.745,00	-	-	9.882,00	300.151,20
RVW_S4	243.564,60	2.745,00	-	-	9.882,00	253.446,60
RVW_S5	289.697,40	2.745,00	-	-	9.882,00	299.579,40
RVW_S6	242.569,20	2.745,00	-	-	9.882,00	252.451,00
SWW_S1	-	-	5.256,00	-	18.921,60	639.915,60
SWW_S2	-	-	5.256,00	4.692,00	35.812,80	217.861,20
SWW_S3	-	-	5.256,00	-	18.921,60	218.526,60
RVW_SWW_S1	1.050.262,20	2.745,00	5.618,40	-	30.108,24	1.701.364,44
RVW_SWW_S2	290.269,20	2.745,00	5.256,00	-	28.803,60	518.677,80
RVW_SWW_S3	286.890,60	2.745,00	5.256,00	-	28.803,60	515.299,20
RVW_SWW_S4	1.050.262,20	2.745,00	5.563,00	8.400,00	60.149,52	1.128.970,32
RVW_SWW_S5	290.269,20	2.745,00	5.256,00	8.400,00	59.043,60	406.944,60
RVW_SWW_S6	286.890,60	2.745,00	5.256,00	8.400,00	59.043,60	403.566,00

Tabel A7. Eindenergiegebruik per scenario

Bijlage B. Inventaris technische installaties

RVW_S1_Gascondensatieketel_Radiatoren



Figuur B1. Principeschema van RVW_S1

RVW_S1 - PRODUCTIE							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Gascondensatieketel	Gas boiler {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	434,19	kg	58,62
Membranexpansievat, 8 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	0,32	p	20	7,80	kg	1,05
Schouw, 80/125 mm	Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1,65	m	20	9,21	kg	1,08
Toevoerleiding gas	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	11	m	60	6,78	kg	0,80
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33	kg	0,04
Buffervat 250 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	10	p	20	243,75	kg	32,91

Tabel B1. Inventaris RVW_S1 - Productie

RVW_S1 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE

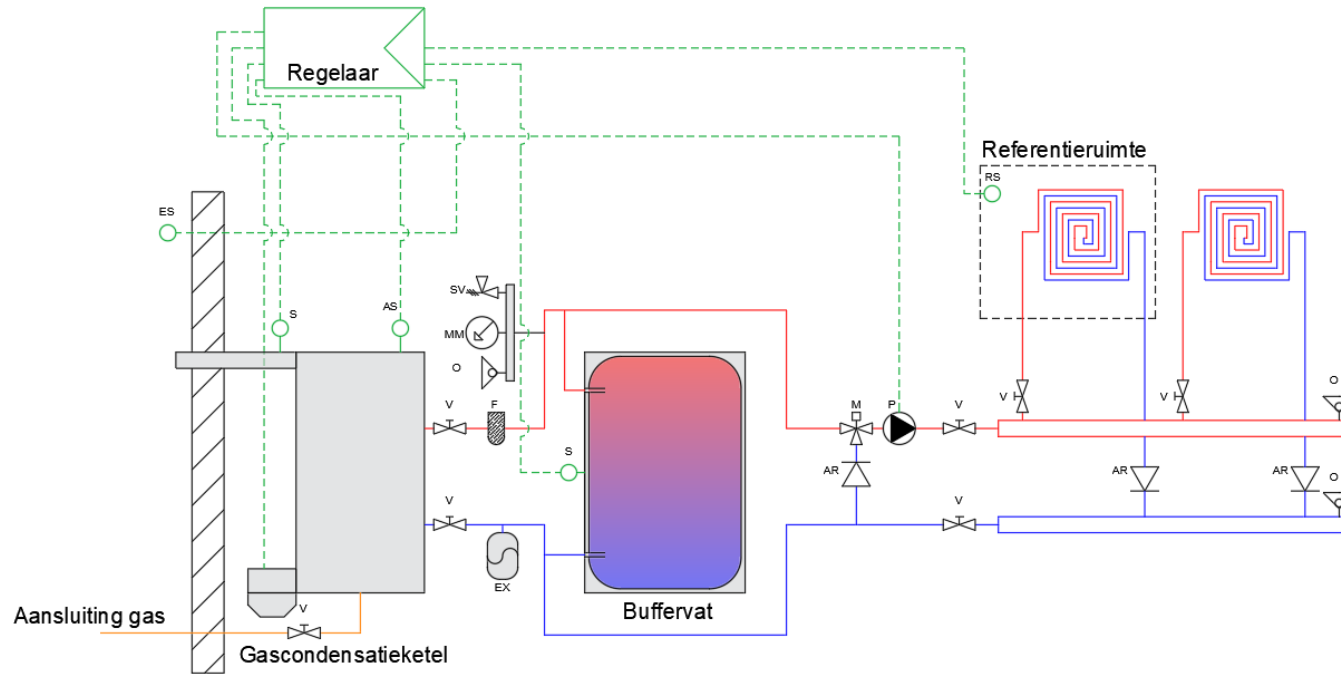
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1 p	60	19,11 kg	2,58
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2 p	60	0,42 kg	0,05
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	2 p	60	89,44 kg	12,07
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2 p	20	0,60 kg	0,07
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	4 p	60	0,84 kg	0,10
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1 p	60	17,06 kg	2,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2 p	60	0,42 kg	0,05
Radiator slaapkamer 1	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1 p	60	31,85 kg	4,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2 p	60	0,42 kg	0,05
Radiator slaapkamer 2	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1 p	60	28,24 kg	3,81
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2 p	60	0,42 kg	0,05
Radiator slaapkamer 3	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1 p	60	29,80 kg	4,02
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2 p	60	0,42 kg	0,05
Verdeelcollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	6 p	60	1,20 kg	0,14
Waterleiding RVW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78 m	60	80,28 kg	9,43
Drukverschilventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7 p	20	2,31 kg	0,27
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	9 p	20	2,70 kg	0,32
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	8 p	20	3,12 kg	0,37
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	15 p	20	4,95 kg	0,58
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	7,50 kg	1,01
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7 p	20	3,36 kg	0,39
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1 p	20	0,18 kg	0,02
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04

Tabel B2. Inventaris RVW_S1 - Distributie en emissie

RVW_S1 - REGELSYSTEEM								
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Thermostaat		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Repeater	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	1,10	m	60	0,03	kg	0,004
	Toestel, 93x32 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Kamertemperatuur-sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 80x20 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Dompeltemperatuursensor		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Dompeltemperatuur-regelaar	kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	4,20	m	60	0,12	kg	0,01
	Toestel, 72x130x95 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Aquastaat		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Buitentemperatuur-sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Rookgastemperatuursensor		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04

Tabel B3. Inventaris RVW_S1 - Regelsysteem

RVW_S2_Gascondensatieketel_Vloerverwarming



Figuur B2. Principeschema van RVW_S2

RVW_S2 - PRODUCTIE							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Gascondensatieketel	Gas boiler {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	434,19 kg		58,62
Membranexpansievat, 8 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	0,32	p	20	7,80 kg		1,05
Schouw, 80/125 mm	Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1,65	m	20	9,21 kg		1,08
Toevoerleiding gas	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	11,00	m	60	6,78 kg		0,80
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33 kg		0,04
Buffervat 250 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	10	p	20	243,75 kg		32,91

Tabel B4. Inventaris RVW_S2 - Productie

RVW_S2 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE

Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm	
Vloerverwarming eet- en zitruimte	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	191,51	m	60	11,55 kg	1,36
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	89	p	20	0,27 kg	0,03
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	29,61	m ²	20	13,32 kg	1,57
Vloerverwarming keuken	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	30,75	m	60	1,85 kg	0,22
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	14	p	20	0,04 kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,82	m ²	20	2,17 kg	0,25
Vloerverwarming berging +0	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	11,03	m	60	0,67 kg	0,08
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	7	p	20	0,02 kg	0,002
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	2,41	m ²	20	1,08 kg	0,13
Vloerverwarming WC + inkomhal	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	30,72	m	60	1,85 kg	0,22
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	13	p	20	0,04 kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,22	m ²	20	1,90 kg	0,22
Vloerverwarming hobbykamer	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	55,59	m	60	3,35 kg	0,39
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	27	p	20	0,08 kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	8,84	m ²	20	3,98 kg	0,47
Vloerverwarming slaapkamer 2	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	76,6	m	60	4,62 kg	0,54
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	35	p	20	0,11 kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	11,78	m ²	20	5,30 kg	0,62
Vloerverwarming slaapkamer 3	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	61,42	m	60	3,70 kg	0,44
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	32	p	20	0,10 kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	10,53	m ²	20	4,74 kg	0,56
Vloerverwarming badkamer	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	48,94	m	60	2,95 kg	0,35
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	14	p	20	0,04 kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,61	m ²	20	2,07 kg	0,24
Vloerverwarming nachthal	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	12,35	m	60	0,74 kg	0,09
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	6	p	20	0,02 kg	0,002
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	2,03	m ²	20	0,91 kg	0,11
Vloerverwarming slaapkamer 1	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	101,59	m ²	60	6,13 kg	0,72
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	47	p	20	0,14 kg	0,02

PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	15,67	m ²	20	7,05	kg	0,83
Verdeelcollector	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	6	p	60	1,20	kg	0,14
Driewegmengkraan	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	3	p	20	0,90	kg	0,11
Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	13	p	20	5,07	kg	0,60
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	18	p	20	5,94	kg	0,70
Vuilfilter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Circulatiepomp	Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	0,88
Ontluchter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	3,36	kg	0,39
Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02
Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04

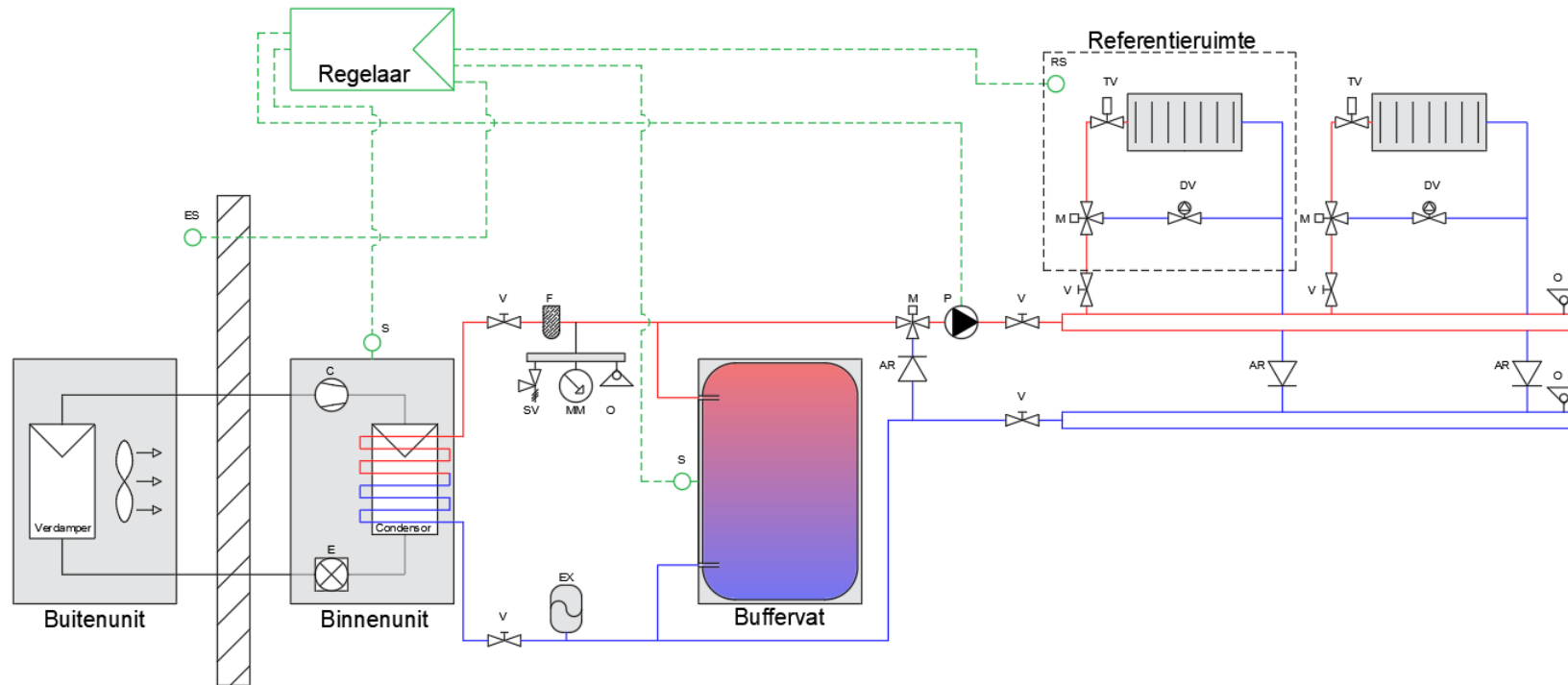
Tabel B5. Inventaris RVW_S2 - Distributie en emissie

RVW_S2 - REGELSYSTEEM							
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm	
Thermostaat		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg 0,04
Draadloze repeater	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	1,10	m	60	0,03	kg 0,004
	Toestel, 93x32 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg 0,04
Kamertemperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15	m	60	0,44	kg 0,05
	Toestel, 80x20 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg 0,04
Dompeltemperatuursensor		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg 0,04
Dompeltemperatuurregelaar	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, Ss	4,20	m	60	0,12	kg 0,01
	Toestel, 72x130x95 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg 0,04
Aquastaat		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg 0,04
Buitentemperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg 0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg 0,04

Rookgastemperatuursensor		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04

Tabel B6. Inventaris RVW_S2 - Regelsysteem

RVW_S3_Lucht-waterwarmtepomp_Radiatoren



Figuur B3. Principeschema van RVW_S3

RVW_S3 - PRODUCTIE									
Component		SimaPro naam	Aantal		Jaar	Gewicht		tkm	
Lucht-waterwarmtepomp	Lucht-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	1,9	p	20	764,40	kg	103,80	
	Extra koelvloeistof	Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	4E-6	kg	60	4E-6	kg	5E-7	
	Ventilator	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01	
Membraanexpansievat, 8 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	0,32	p	20	7,80	kg	1,05	
Buffervat, 250 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	10	p	20	240,00	kg	32,40	

Tabel B7. Inventaris RVW_S3 - Productie

RVW_S3 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE									
Component		SimaPro naam	Aantal		Jaar	Gewicht		tkm	
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	19,11	kg	2,58	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	89,44	kg	12,07	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,84	kg	0,10	
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	17,06	kg	2,30	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator slaapkamer 1	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	31,85	kg	4,30	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator slaapkamer 2	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	28,24	kg	3,81	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator slaapkamer 3	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	29,80	kg	4,02	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	

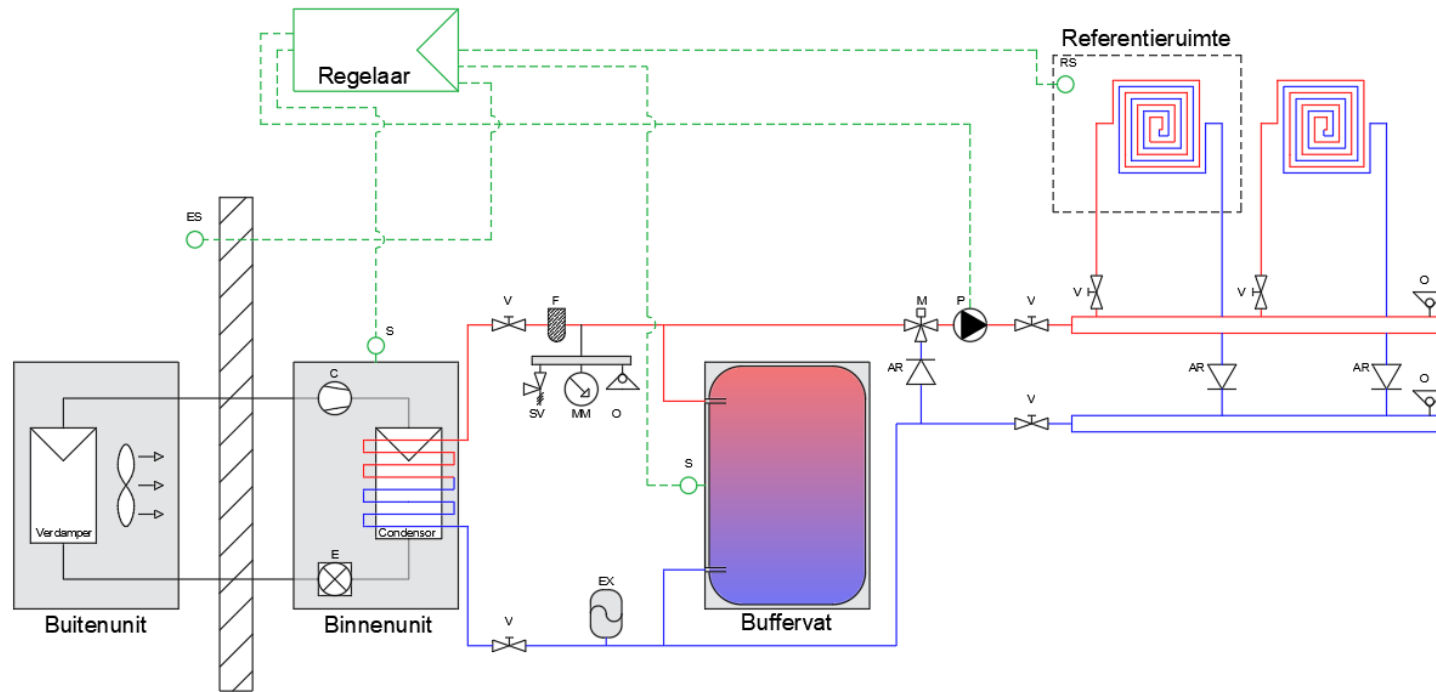
Verdeelcollector	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	6	p	60	1,20	kg	0,14
Drukverschilventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	2,31	kg	0,27
Driewegmengkraan	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	9	p	20	2,70	kg	0,32
Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	8	p	20	3,12	kg	0,37
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	8	p	20	4,95	kg	0,58
Vuilfilter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Circulatiepomp	Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01
Ontluchter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	3,36	kg	0,40
Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02
Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Waterleiding, RVW	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,01

Tabel B8. Inventaris RVW_S3 - Distributie en emissie

RVW_S3 - REGELSYSTEEM							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Thermostaat	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Buitentemperatuur-sensor	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Temperatuursensor	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	0,90	kg	0,11
	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05

Tabel B9. Inventaris RVW_S3 - Regelsysteem

RVW_S4_Lucht-waterwarmtepomp_Vloerverwarming



Figuur B4. Principeschema van RVW_S4

RVW_S4 - PRODUCTIE									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Lucht-waterwarmtepomp	Lucht-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	1,9	p	20	764,40	kg	103,80	
	Extra koelvloeistof	Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	4E-6	kg	60	4E-6	kg	5E-7	
	Ventilator	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01	
Membraanexpansievat, 8 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	0,32	p	20	7,80	kg	1,05	
Buffervat, 250 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	10	p	20	240,00	kg	32,40	

Tabel B10. Inventaris RVW_S4 - Productie

RVW_S4 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE

Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm	
Vloerverwarming eet- en zitruimte	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	191,51	m	60	11,55 kg	1,36
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	89	p	20	0,27 kg	0,03
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	29,61	m ²	20	13,32 kg	1,57
Vloerverwarming keuken	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	30,75	m	60	1,85 kg	0,22
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	14	p	20	0,04 kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,82	m ²	20	2,17 kg	0,25
Vloerverwarming berging +0	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	11,03	m	60	0,67 kg	0,08
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	7	p	20	0,02 kg	0,002
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	2,41	m ²	20	1,08 kg	0,13
Vloerverwarming WC + inkomhal	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	30,72	m	60	1,85 kg	0,22
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	13	p	20	0,04 kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,22	m ²	20	1,90 kg	0,22
Vloerverwarming hobbykamer	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	55,59	m	60	3,35 kg	0,39
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	27	p	20	0,08 kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	8,84	m ²	20	3,98 kg	0,47
Vloerverwarming slaapkamer 2	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	76,6	m	60	4,62 kg	0,54
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	35	p	20	0,11 kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	11,78	m ²	20	5,30 kg	0,62
Vloerverwarming slaapkamer 3	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	61,42	m	60	3,70 kg	0,44
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	32	p	20	0,10 kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	10,53	m ²	20	4,74 kg	0,56
Vloerverwarming badkamer	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	48,94	m	60	2,95 kg	0,35
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	14	p	20	0,04 kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,61	m ²	20	2,07 kg	0,24
Vloerverwarming nachthal	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	12,35	m	60	0,74 kg	0,09
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	6	p	20	0,02 kg	0,002
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	2,03	m ²	20	0,91 kg	0,11
Vloerverwarming slaapkamer 1	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	101,59	m ²	60	6,13 kg	0,72
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	47	p	20	0,14 kg	0,02

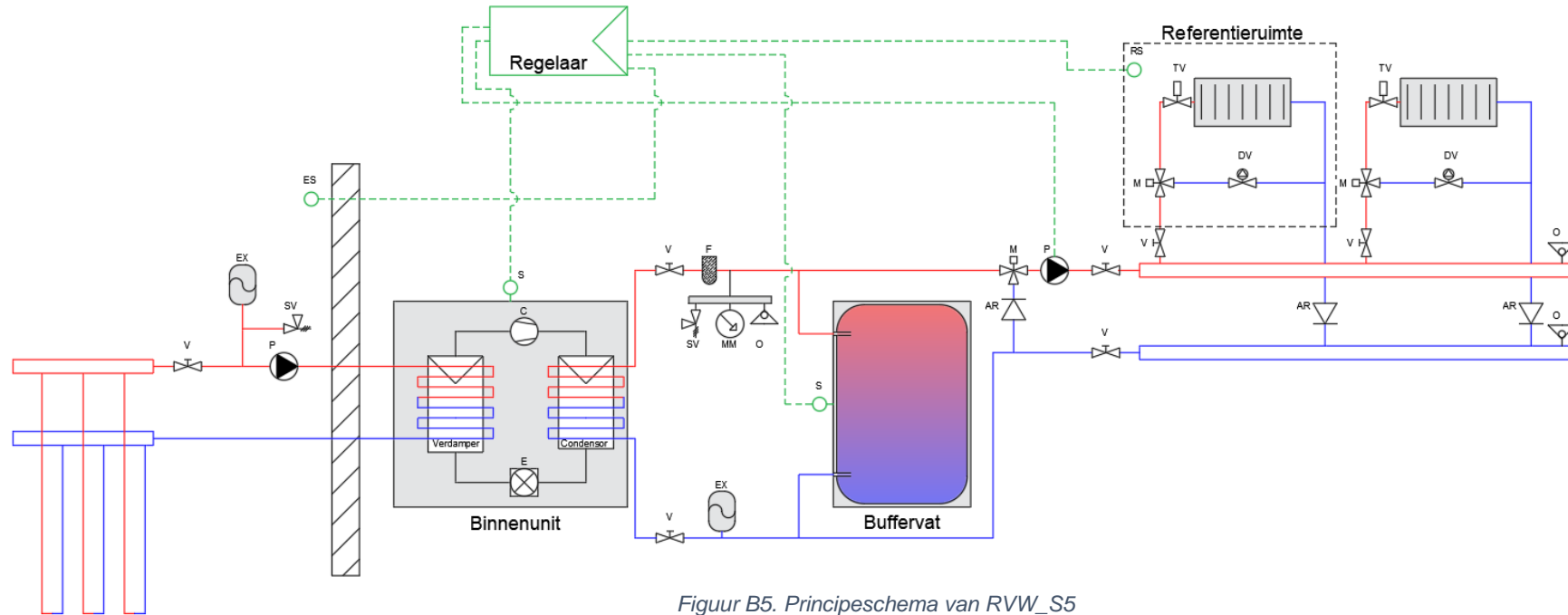
PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	15,67	m ²	20	7,05	kg	0,83
Verdeelcollector	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	6	p	60	1,20	kg	0,14
Driewegmengkraan	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	3	p	20	0,90	kg	0,11
Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	13	p	20	5,10	kg	0,60
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	18	p	20	5,94	kg	0,70
Vuilfilter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,40
Circulatiepomp	Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01
Ontluchter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	3,36	kg	0,40
Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02
Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04

Tabel B11. Inventaris RVW_S4 - Distributie en emissie

RVW_S4 - REGELSYSTEEM							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Thermostaat	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Buitentemperatuur-sensor	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Temperatuursensor	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	0,90	kg	0,11
	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05

Tabel B12. Inventaris RVW_S4 - Regelsysteem

RVW_S5_Grond-waterwarmtepomp_Radiatoren



Figuur B5. Principeschema van RVW_S5

RVW_S5 - PRODUCTIE									
Component	SimaPro naam		Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Grond-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	389,31	kg	52,56	
Aardsondes, PE	Borehole heat exchanger, 150m {GLO} market for Cut-off, S		125,00	m	60	22,62	kg	2,66	
Membranexpansievat, 8 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S		0,64	p	20	15,60	kg	2,11	
Buffervat, 250 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S		10	p	20	240,00	kg	32,40	
Circulatiepomp grondcircuit	Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	7,50	kg	1,01	
Buitencollector	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		2	p	60	0,40	kg	0,05	
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	0,33	kg	0,04	
Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S		1	p	20	0,30	kg	0,04	

Tabel B13. Inventaris van RVW_S5

RVW_S5 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	19,11	kg	2,58	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	89,44	kg	12,07	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,84	kg	0,10	
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	17,06	kg	2,30	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator slaapkamer 1	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	31,85	kg	4,30	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator slaapkamer 2	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	28,24	kg	3,81	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator slaapkamer 3	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	29,80	kg	4,02	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Verdeelcollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	6	p	60	1,20	kg	0,14	
Drukverschilventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	2,31	kg	0,27	
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	9	p	20	2,70	kg	0,32	
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	8	p	20	3,12	kg	0,37	
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	8	p	20	4,95	kg	0,58	
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01	
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	3,36	kg	0,40	
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02	
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Waterleiding, RVW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,01	

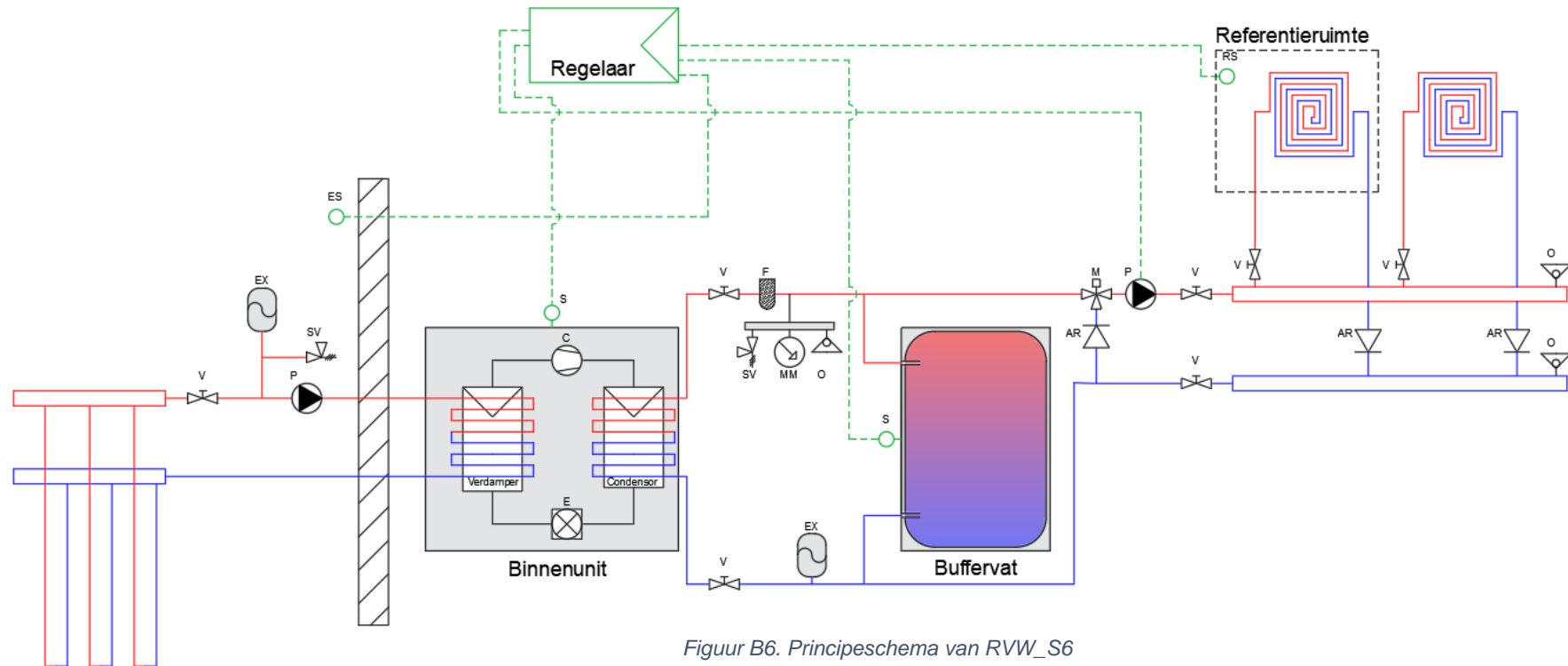
Tabel B 14. Inventaris van RVW_S5 - Distributie en emissie

RVW_S5 - REGELSYSTEEM

Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm	
Thermostaat	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg	0,04
Buitentemperatuur-sensor	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44 kg	0,05
	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg	0,04
Temperatuursensor	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	0,90 kg	0,11
	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44 kg	0,05

Tabel B15. Inventaris van RVW_S5 – regelsysteem

RVW_S6_Grond-waterwarmtepomp_Vloerververming



Figuur B6. Principeschema van RVW_S6

RVW_S6 - PRODUCTIE								
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Grond-waterwarmtepomp		Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	389,31	kg	52,56
Aardsondes, PE		Borehole heat exchanger, 150m {GLO} market for Cut-off, S	125,00	m	60	22,62	kg	2,66
Membraanexpansievat, 8 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	0,64	p	20	15,60	kg	2,11
Buffervat, 250 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	10	p	20	240,00	kg	32,40
Circulatiepomp grondcircuit		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01
Buitencollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S			2	60	0,40 kg	0,05
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S			1	20	0,33 kg	0,04
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S			1	20	0,30 kg	0,04

Tabel B16. Inventaris van RVW_S6 - Productie

RVW_S6 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE								
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Vloerverwarming eet- en zitruimte	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	191,51	m	60	11,55	kg	1,36
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	89	p	20	0,27	kg	0,03
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	29,61	m ²	20	13,32	kg	1,57
Vloerverwarming keuken	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	30,75	m	60	1,85	kg	0,22
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	14	p	20	0,04	kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,82	m ²	20	2,17	kg	0,25
Vloerverwarming berging +0	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	11,03	m	60	0,67	kg	0,08
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	7	p	20	0,02	kg	0,002
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	2,41	m ²	20	1,08	kg	0,13
Vloerverwarming WC + inkomhal	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	30,72	m	60	1,85	kg	0,22
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	13	p	20	0,04	kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,22	m ²	20	1,90	kg	0,22
Vloerverwarming hobbykamer	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	55,59	m	60	3,35	kg	0,39
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	27	p	20	0,08	kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	8,84	m ²	20	3,98	kg	0,47
	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	76,6	m	60	4,62	kg	0,54

Vloerverwarming slaapkamer 2	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	35	p	20	0,11	kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	11,78	m ²	20	5,30	kg	0,62
Vloerverwarming slaapkamer 3	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	61,42	m	60	3,70	kg	0,44
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	32	p	20	0,10	kg	0,01
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	10,53	m ²	20	4,74	kg	0,56
Vloerverwarming badkamer	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	48,94	m	60	2,95	kg	0,35
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	14	p	20	0,04	kg	0,005
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	4,61	m ²	20	2,07	kg	0,24
Vloerverwarming nachthal	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	12,35	m	60	0,74	kg	0,09
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	6	p	20	0,02	kg	0,002
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	2,03	m ²	20	0,91	kg	0,11
Vloerverwarming slaapkamer 1	Waterleidingen	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	101,59	m ²	60	6,13	kg	0,72
	Tacker clips	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	47	p	20	0,14	kg	0,02
	PE-folie met raster	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, S	15,67	m ²	20	7,05	kg	0,83
Verdeelcollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	6	p	60	1,20	kg	0,14
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	3	p	20	0,90	kg	0,11
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	13	p	20	5,10	kg	0,60
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	18	p	20	5,94	kg	0,70
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,40
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	3,36	kg	0,40
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04

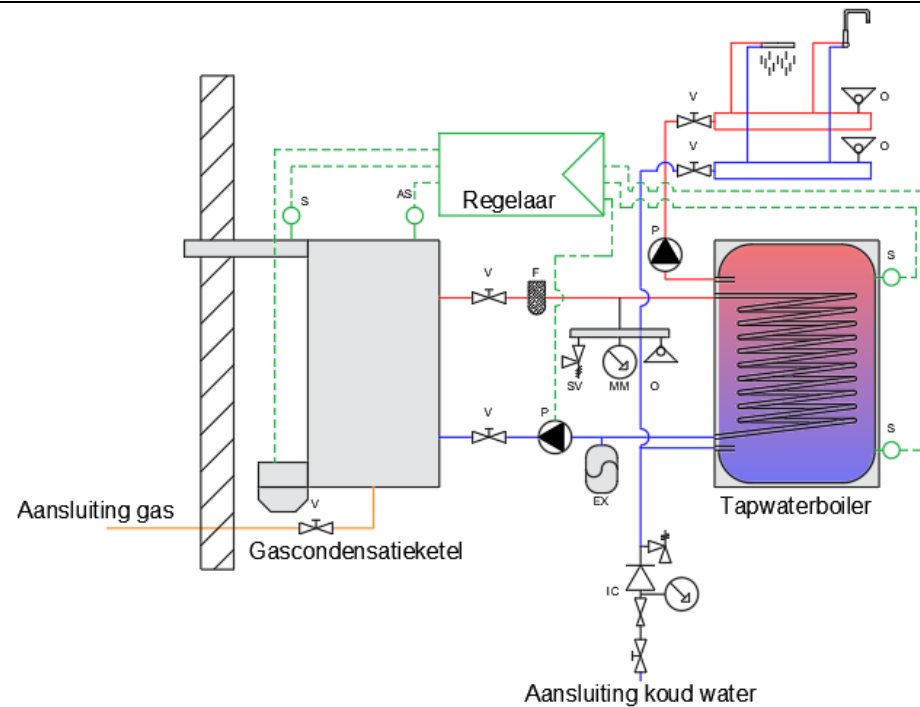
Tabel B17. Inventaris van RVW_S6 - Distributie en emissie

RVW_S6 - REGELSTEEEM

Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm
Thermostaat	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
Buitentemperatuur-sensor	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44 kg 0,05
	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
Temperatuursensor	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	0,90 kg 0,11
	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44 kg 0,05

Tabel B18. Inventaris van RVW_S6

SWW_S1_Gasboiler



Figuur B7. Principeschema van SWW_S1

SWW_S1 - PRODUCTIE							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Gasboiler	Gas boiler {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	434,19	kg	58,62
Toevoerleiding gas	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	5	m	60	3,08	kg	0,36
Membranexpansievat, 8 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	0,32	p	20	7,80	kg	1,05
Vorraadvat, 160 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	6,4	p	20	162,00	kg	21,87
Schouw, 80/125 mm	Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, S	0,95	m	20	1,38	kg	0,16
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33	kg	0,04

Tabel B19. Inventaris van SWW_S1 - Productie

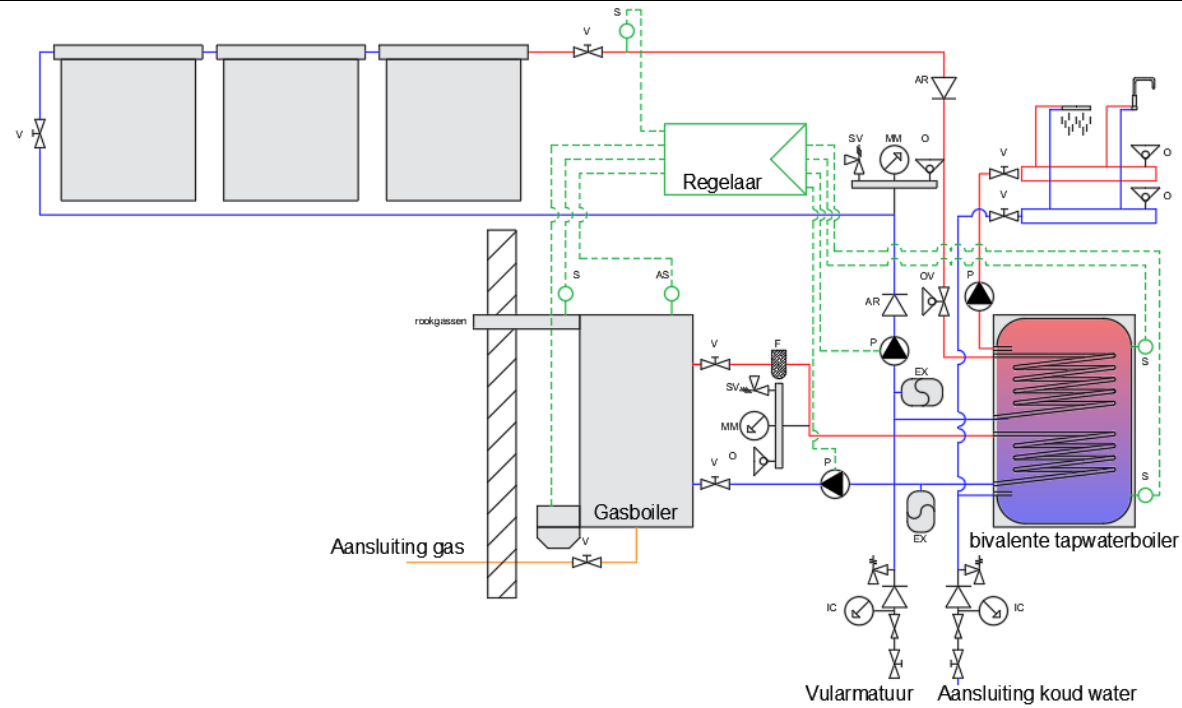
SWW_S1 - DISTRIBUTIE EN TAPPUNTEN								
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Circulatiepomp	Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	15,00	kg	2,03	
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	6	p	20	1,98	kg	0,23	
Inlaatcombinatie	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,39	kg	0,05
	Veiligheidsventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	1,27	kg	0,15
	Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33	kg	0,04
Waterleiding, SWW	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18	
Verdeelcollector	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,80	kg	0,09	
Douchekraan	Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16	
Keukenkraan	Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63	
Wastafelkraan	Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,29	
Ontluchter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	4	p	20	2,40	kg	0,28	
Vuilfilter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02	
Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	

Tabel B20. Inventaris van SWW_S1 – Distributie en tappunten

SWW_S1 - REGELSYSTEEM									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Aquastaat		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Temperatuursensor	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07	
	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05	
Rookgastemperatuursensor		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Repeater	Toestel, 93x32 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	1,10	m	60	0,03	kg	0,004	
Dompeltemperatuursensor		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Dompeltemperatuur- regelaar	Toestel, 77x130x95 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	4,20	m	60	0,12	kg	0,01	
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07	
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,0	m	60	0,44	kg	0,05	

Tabel B21. Inventaris SWW_S1 - Regelsysteem

SWW_S2_Zonneboiler_Gasboiler



Figuur B8. Principeschema van SWW_S2

SWW_S2 - PRODUCTIE							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Gasboiler	Gas boiler {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	434,19	kg	58,62
Toevoerleiding gas	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	5	m	60	3,08	kg	0,36
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33	kg	0,04
Schouw, 80/125 mm	Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, S	0,95	m	20	1,38	kg	0,16
Membranexpansievat, 8 l	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	0,64	p	20	15,60	kg	2,11
Voorraadvat, 300 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	12	p	20	300,00	kg	40,50
Vlakkeplaatcollector	Flat plate solar collector, Cu absorber {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	552,86	kg	74,64

Collectorsteunen, 2,51 m ² Photovoltaic mounting system, for slanted-roof installation {GLO} market for Cut-off,S per collector	3	p	60	150,00	kg	17,63
---	---	---	----	--------	----	-------

Tabel B22. Inventaris van SWW_S2 - Productie

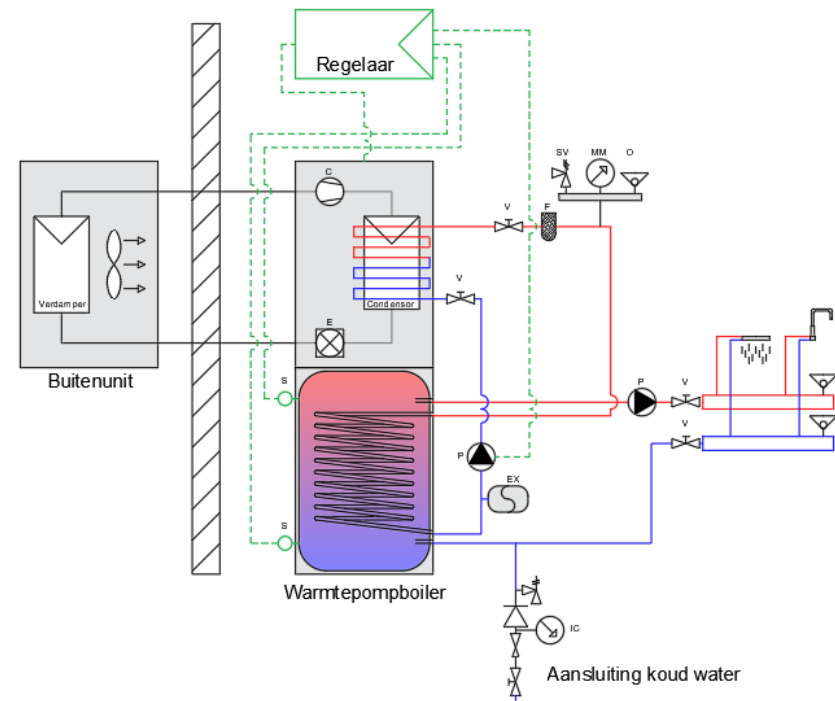
SWW_S2 - DISTRIBUTIE EN TAPPUNTEN								
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Circulatiepomp	Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	22,50	kg	3,04	
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	8	p	20	2,64	kg	0,31	
Inlaatcombinatie	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07
	Veiligheidsventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,78	kg	0,09
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,36	kg	0,04
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	2,54	kg	0,30
	Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,66	kg	0,08
Waterleiding, SWW	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18	
Verdeelcollector	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,80	0	0,09	
Douchekraan	Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16	
Keukenkraan	Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63	
Wastafelkraan	Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,83	
Ontluchter	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	6	p	20	2,88	kg	0,34	
Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,78	kg	0,09	
Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	3	p	20	0,60	kg	0,07	
Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,36	kg	0,04	
Leiding zonnecollector	Aluminium around steel bi-metal stranded cable, 3x3.67mm external diameter wire {GLO} market for Cut-off, S	20	m	60	18,10	kg	2,13	
Koelvloeistof	Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	16	l	60	20,76	kg	2,44	
Luchtafscheider	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	2,95	kg	0,35	

Tabel B23. Inventaris van SWW_S2 - Distributie en tappunten

SWW_S2 - REGELSYSTEEM								
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Display		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	1,11	kg	0,13
Aquastaat		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Temperatuursensor	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	0,90	kg	0,11
	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
Rookgastemperatuursensor		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Repeater	Toestel, 93x32 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	1,10	m	60	0,03	kg	0,004
Dompeltemperatuursensor		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	0,90	kg	0,11
Dompeltemperatuur-regelaar	Toestel, 72x130x95 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	4,20	m	60	0,12	kg	0,01

Tabel B24. Inventaris van SWW_S2 - regelsysteem

SWW_S3_Warmtepompboiler



Figuur B9. Principeschema van SWW_S3

SWW_S3 - PRODUCTIE									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Warmtepompboiler	Lucht-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	1,9	p	20	764,40	kg	103,19	
	Extra koelvloeistof	Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	4E-6	kg	60	4E-6	kg	5E-7	
	Ventilator	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01	
Voorraadvat, 160 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	6,4	p	20	162,00	kg	21,87	
Membraanexpansievat, 8 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	0,32	p	20	15,60	kg	2,11	

Tabel B25. Inventaris van SWW_S3 - Productie

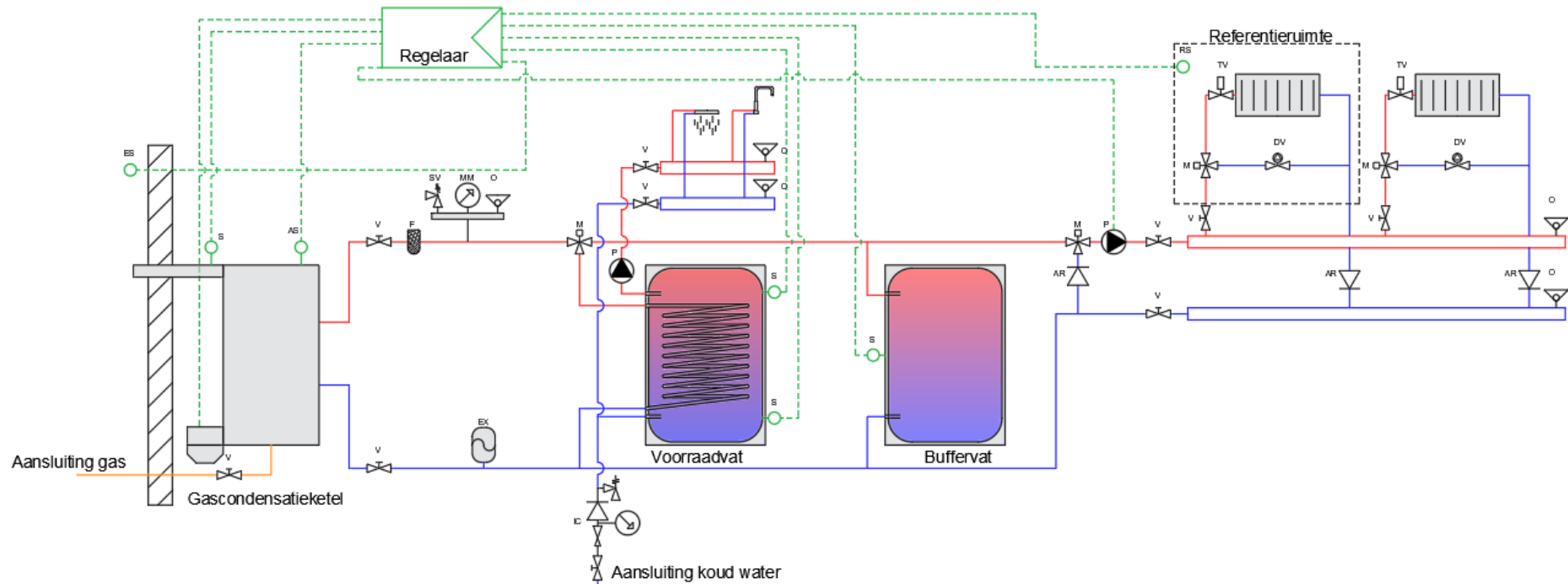
SWW_S3 - DISTRIBUTIE EN TAPPUNTEN									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	5	p	20	2,40	kg	0,28	
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02	
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Afsluitkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	6	p	20	1,98	kg	0,23	
Waterleiding, SWW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18	
Collector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,80	kg	0,09	
Wastafelkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,29	
Douchekraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16	
Keukenkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63	
Inlaatcombinatie	Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,39	kg	0,05	
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02	
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	1,27	kg	0,15	
	Afsluitkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33	kg	0,04	
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	15,00	kg	2,03	

Tabel B26. Inventaris van SWW_S3 - Distributie en tappunten

SWW_S3 - REGELSYSTEEM									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Display		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	1,11	kg	0,13	
Temperatuursensor	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	0,90	kg	0,11	
	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15	m	60	0,44	kg	0,05	

Tabel B27. Inventaris van SWW_S3 - Regelsysteem

RVW_SWW_S1_Gascondensatieketel



Figuur B10. Principeschema van RVW_SWW_S1

RVW_SWW_S1 - PRODUCTIE

Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm
Gascondensatieketel	Gas boiler {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	434,19 kg 58;62
Toevoerleiding gas	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	11	m	60	6,78 kg 0,80
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33 kg 0,04
Schouw	Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1,65	m	20	9,21 kg 1,08
Vorraadvat, 160 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	6,4	p	20	156,00 kg 21,06
Buffervat, 250 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	10	p	20	243,75 kg 32,91
Membranexpansievat, 8 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	0,32	p	20	7,80 kg 1,05

Tabel B28. Inventaris van RVW_SWW_S1 - Productie

RVW_SWW_S1 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE/TAPPUNTEN									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	19	p	20	6,27	kg	0,74	
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02	
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	5,28	kg	0,62	
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	3,30	kg	0,39	
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	10	p	20	3,90	kg	0,46	
Drukverschilventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	2,31	kg	0,27	
Inlaatcombinatie	Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,39	kg	0,05	
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02	
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	1,27	kg	0,15	
	Afsluitkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33	kg	0,04	
Verdeelcollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	10	p	60	2,00	kg	0,24	
Douchekraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16	
Keukenkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63	
Wastafelkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,29	
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	15,00	kg	2,03	
Waterleiding, SWW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18	
Waterleiding, RVW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,01	
Waterleiding dist		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	27,00	m	60	1,22	kg	0,14	
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	19,11	kg	2,58	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	89,44	kg	12,07	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,84	kg	0,10	
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	17,06	kg	2,30	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	

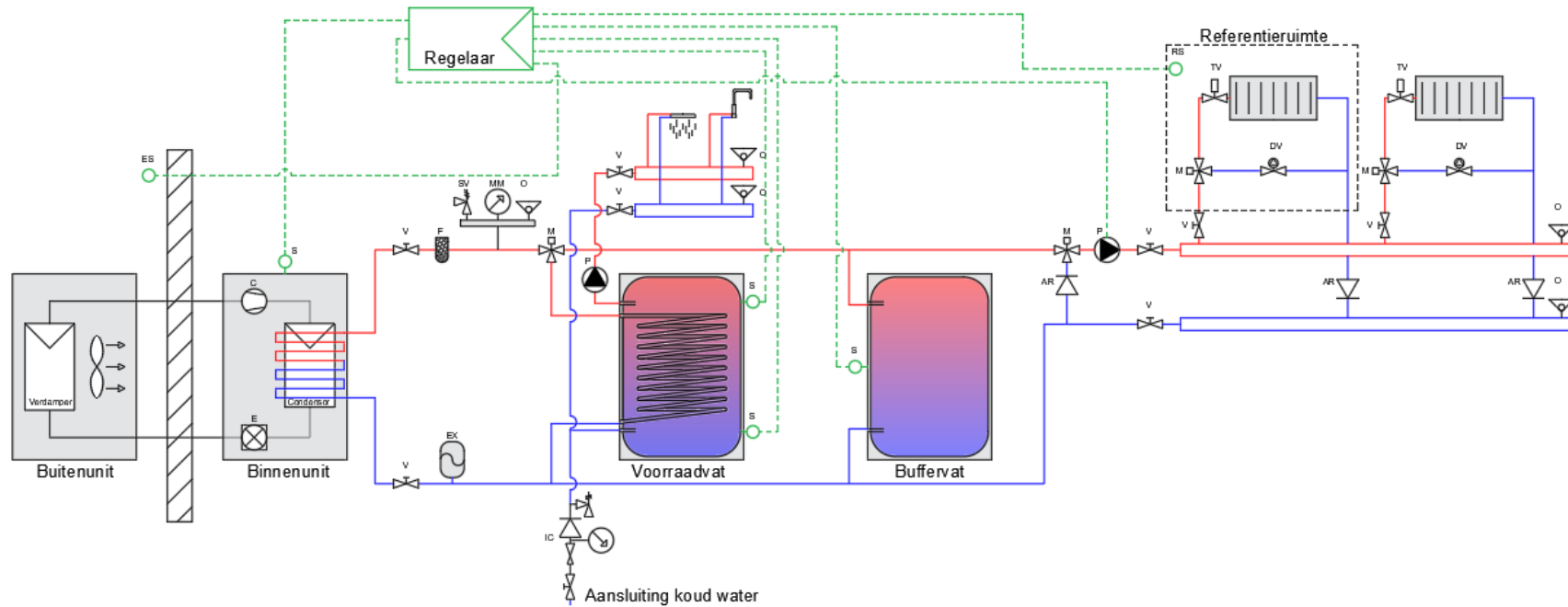
Radiator slaapkamer 1	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	31,85	kg	4,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Radiator slaapkamer 2	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	28,24	kg	3,81
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Radiator slaapkamer 3	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	29,80	kg	4,02
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04

Tabel B29. Inventaris van RVW_SWW_S1 - Distributie en emissie/tappunten

RVW_SWW_S1 - REGELSYSTEEM								
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Thermostaat		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Repeater	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	1,10	m	60	0,03	kg	0,004
	Toestel, 93x32 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Kamertemperatuur-sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 80x20 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Dompeltemperatuursensor		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Dompeltemperatuur-regelaar	kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	4,20	m	60	0,12	kg	0,01
	Toestel, 72x130x95mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Aquastaat		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Buitentemperatuur-sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Rookgastemperatuursensor		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	20	1,20	kg	0,14
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	0,44	kg	0,05

Tabel B30. Inventaris van RVW_SWW_S1 - Regelsysteem

RVW_SWW_S2_Lucht-waterwarmtepomp



Figuur B11. Principeschema van RVW_SWW_S2

RVW_SWW_S2 - PRODUCTIE									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Lucht-waterwarmtepomp	Lucht-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	1,9	p	20	764,40	kg	103,19	
	Extra koelvloeistof	Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	4E-6	kg	60	4E-6	kg	5E-7	
	Ventilator	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01	
Membranexpansievat, 8 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	0,32	p	20	7,80	kg	1,05	
Buffervat, 250 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	10	p	20	240,00	kg	32,40	
Voorraadvat, 160 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	6,4	p	20	156,00	kg	21,06	

Tabel B31. Inventaris van RVW_SWW_S2 - Productie

RVW_SWW_S2 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE/TAPPUNTEN

Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	19,11 kg 2,58
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	89,44 kg 12,07
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60 kg 0,07
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,84 kg 0,10
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	17,06 kg 2,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Radiator slaapkamer 1	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	31,85 kg 4,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Radiator slaapkamer 2	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	28,24 kg 3,81
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Radiator slaapkamer 3	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	29,80 kg 4,02
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	3,30 kg 0,39
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	18	p	20	5,94 kg 0,70
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	10	p	20	3,90 kg 0,46
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18 kg 0,02
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	5,28 kg 0,62
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	15,00 kg 2,03
Verdeelcollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	10	p	60	2,00 kg 0,24
Drukverschilventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	2,31 kg 0,27
Inlaatcombinatie	Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04

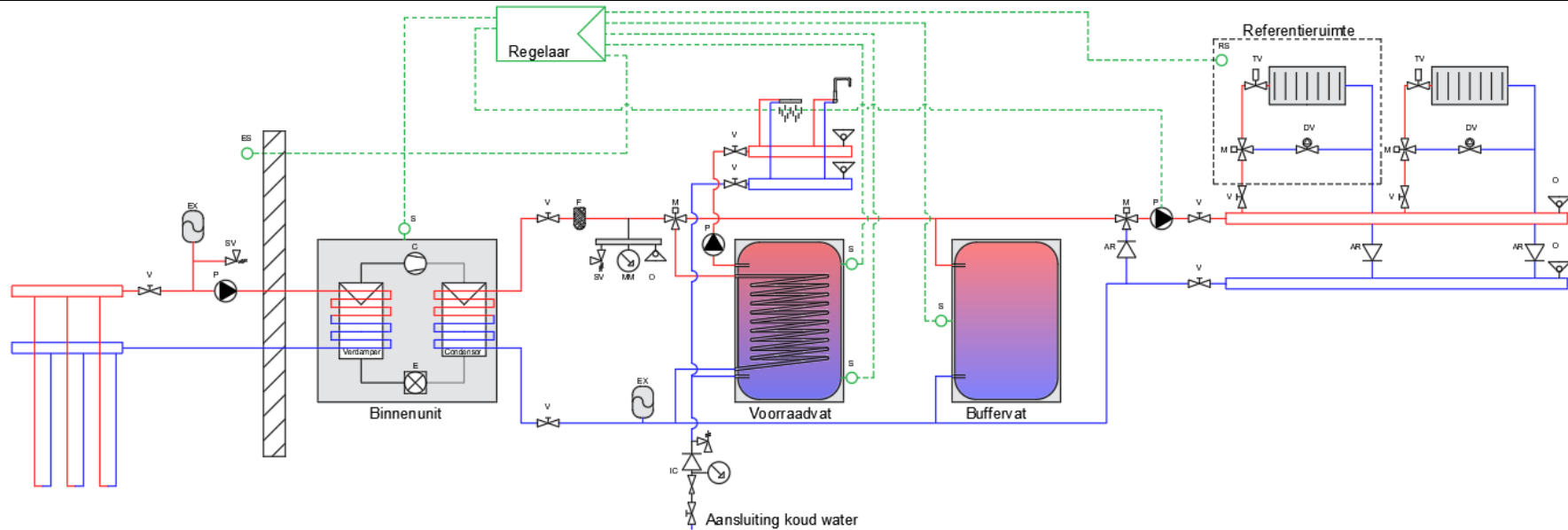
	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,39	kg	0,05
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,27	kg	0,15
	Afsluitkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	1,33	kg	0,04
Waterleiding, RVW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,01
Waterleiding, SWW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18
Waterleiding dist		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	27,00	m	60	1,22	kg	0,14
Douchekraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16
Keukenkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63
Wastafelkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,29

Tabel B32. Inventaris van RVW_SWW_S2 - Distributie en emissie/tappunten

RVW_SWW_S2 - REGELSYSTEEM								
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
	Thermostaat	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Kamertemperatuur– sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 80x20 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Buitentemperatuur– sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	4	p	20	1,20	kg	0,14

Tabel B33. Inventaris van RVW_SWW_S2 - Regelsysteem

RVW_SWW_S3_Grond-waterwarmtepomp



Figuur B12. Principeschema van RVW_SWW_S3

RVW_SWW_S3 - PRODUCTIE							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Grond-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	389,10	kg	52,53
Aardsondes, PE	Borehole heat exchanger, 150m {GLO} market for Cut-off, S	300,00	m	60	54,29	kg	6,38
Membranexpansievat, 8 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	0,64	p	20	15,60	kg	2,11
Buffervat, 250 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	10	p	20	240,00	kg	32,40
Circulatiepomp grondcircuit	Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01
Buitencollector	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,40	kg	0,05
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33	kg	0,04
Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Voorraadvat, 160 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	6,4	p	20	156,00	kg	21,06

Tabel B34. Inventaris van RVW_SWW_S1 - Productie

RVW_SWW_S3 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE/TAPPUNTEN

Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	19,11 kg 2,58
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	89,44 kg 12,07
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60 kg 0,07
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,84 kg 0,10
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	17,06 kg 2,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Radiator slaapkamer 1	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	31,85 kg 4,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Radiator slaapkamer 2	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	28,24 kg 3,81
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Radiator slaapkamer 3	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	29,80 kg 4,02
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42 kg 0,05
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	3,30 kg 0,39
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	19	p	20	3,27 kg 0,74
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	10	p	20	3,90 kg 0,46
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18 kg 0,02
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	5,28 kg 0,62
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	15,00 kg 2,03
Verdeelcollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	10	p	60	2,00 kg 0,24
Drukverschilventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	2,31 kg 0,27
Inlaatcombinatie	Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30 kg 0,04

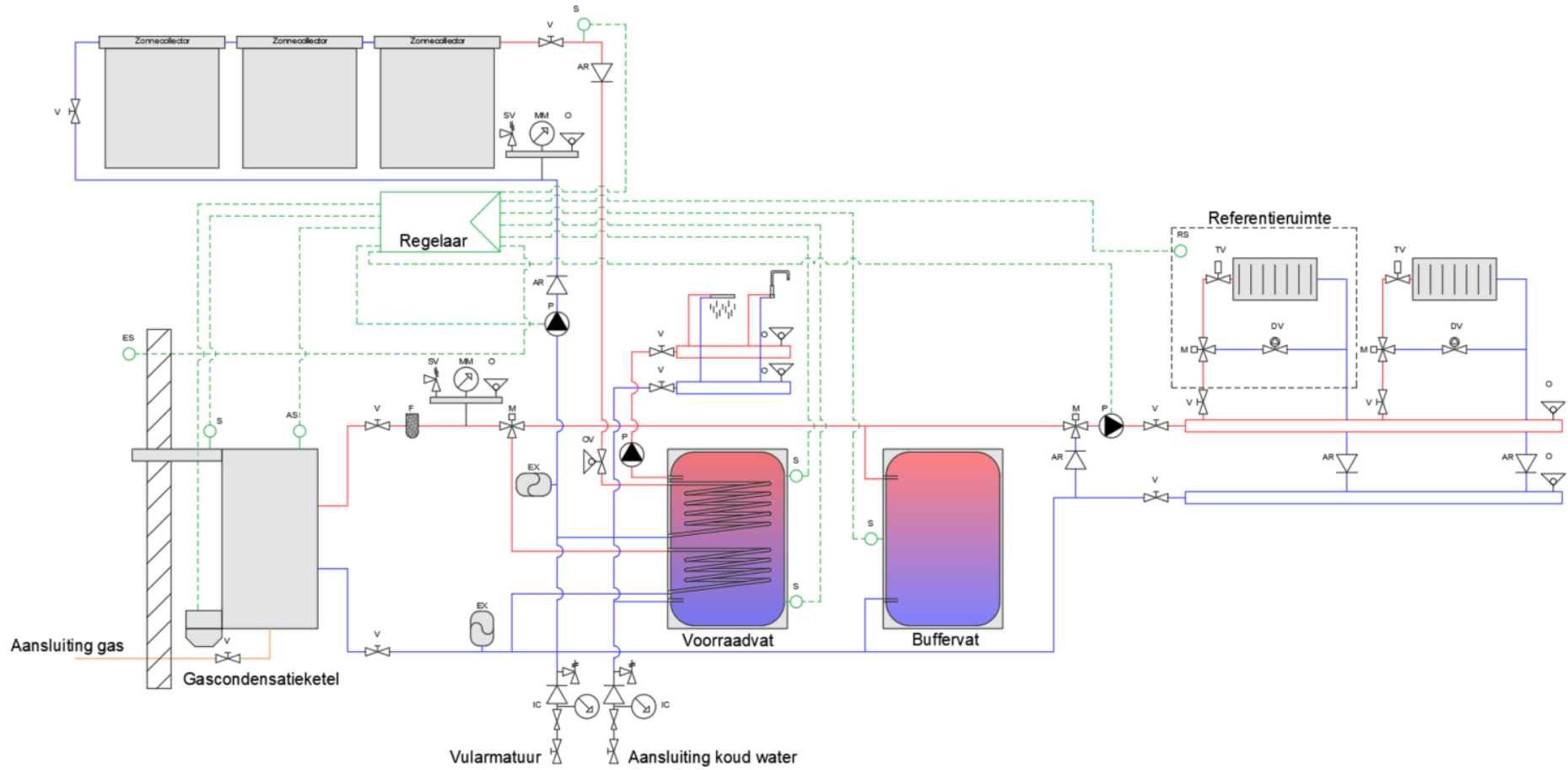
	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,39	kg	0,05
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,18	kg	0,02
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	1,27	kg	0,15
	Afsluitkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,33	kg	0,04
Waterleiding, RVW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,01
Waterleiding, SWW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18
Waterleiding dist		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	27,00	m	60	1,22	kg	0,14
Douchekraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16
Keukenkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63
Wastafelkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,29

Tabel B35. Inventaris van RVW_SWW_S3 - Distributie en emissie/tappunten

RVW_SWW_S3 - REGELSYSTEEM								
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht		tkm	
Thermostaat		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Kamertemperatuur-sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 80x20 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Buitentemperatuur-sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	4	p	20	1,20	kg	0,14

Tabel B36. Inventaris van RVW_SWW_S3 - Regelsysteem

RVW_SWW_S4_Zonneboiler_Gascondensatieketel



Figuur B13. Principeschema van RVW_SWW_S4

RVW_SWW_S4 - PRODUCTIE									
Component		SimaPro naam		Aantal	Jaar	Gewicht		tkm	
Gascondensatieketel		Gas boiler {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	434,19	kg	58,62
Toevoerleiding gas		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S		11	m	60	6,78	kg	0,80
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	0,33	kg	0,04
Schouw		Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, S		1,65	m	20	9,21	kg	1,08
Vorraadvat, 300 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S		12	p	20	292,50	kg	39,49
Buffervat, 250 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S		10	p	20	243,75	kg	32,91
Membraanexpansievat, 8 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S		0,64	p	20	15,60	kg	2,11
Vlakkeplaatcollector		Flat plate solar collector, Cu absorber {GLO} market for Cut-off, S		3	p	20	552,86	kg	74,64
Collectorsteunen, 2,51 m ² per collector		Photovoltaic mounting system, for slanted-roof installation {GLO} market for Cut-off, S		3	p	60	150,00	kg	17,63

Tabel B37. Inventaris van RVW_SWW_S4 - Productie

RVW_SWW_S4 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE/TAPPUNTEN									
Component		SimaPro naam		Aantal	Jaar	Gewicht		tkm	
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S		1	p	60	19,11	kg	2,58
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S		2	p	60	0,42	kg	0,05
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S		2	p	60	89,44	kg	12,07
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		2	p	20	0,60	kg	0,07
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S		4	p	60	0,84	kg	0,10
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S		1	p	60	17,06	kg	2,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S		2	p	60	0,42	kg	0,05
Radiator slaapkamer 1	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S		1	p	60	31,85	kg	4,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S		2	p	60	0,42	kg	0,05
Radiator slaapkamer 2	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S		1	p	60	28,24	kg	3,81
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	0,30	kg	0,04

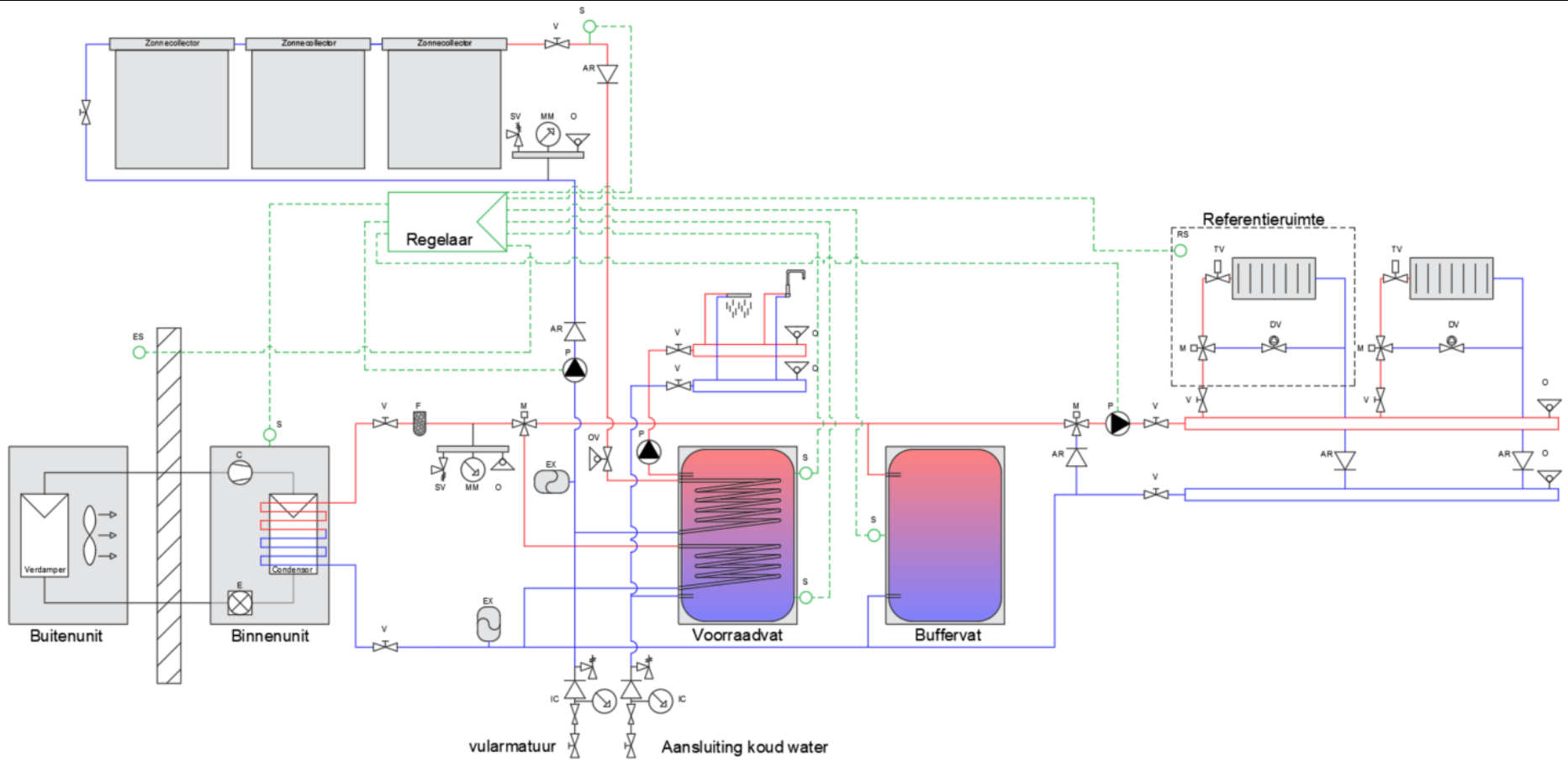
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
Radiatori slaapkamer 3	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	29,80	kg	4,02
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	3,30	kg	0,39
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	21	p	20	6,93	kg	0,81
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	12	p	20	4,68	kg	0,55
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,36	kg	0,04
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	12	p	20	5,76	kg	0,68
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	3	p			kg	
Verdeelcollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	10	p	60	2,00	kg	0,24
Drukverschilventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	2,31	kg	0,27
Inlaatcombinatie	Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07
	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,78	kg	0,09
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,36	kg	0,04
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	2,54	kg	0,30
	Afsluitkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,66	kg	0,08
Waterleiding, RVW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,01
Waterleiding, SWW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18
Waterleiding dist		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	27,00	m	60	1,22	kg	0,14
Douchekraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16
Keukenkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63
Wastafelkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,29
Luchtafscheider		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	2,95	kg	0,35
Leiding zonnecollector		Aluminium around steel bi-metal stranded cable, 3x3.67mm external diameter wire {GLO} market for Cut-off, S	20,00	m	60	18,10	kg	2,13
Koelvloeistof		Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	16	l	60	20,76	kg	2,44

Tabel B38. Inventaris van RVW_SWW_S4 - Distributie en emissie/tappunten

RVW_SWW_S5 - REGELSYSTEEM									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Thermostaat		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Draadloze repeater	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	1,10	m	60	0,03	kg	0,004	
	Toestel, 93x32 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Kamertemperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05	
	Toestel, 80x20 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Dompeltemperatuursensor		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Dompeltemperatuur-regelaar	kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	4,20	m	60	0,12	kg	0,01	
	Toestel, 72x130x95 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Aquastaat		Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Buitentemperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05	
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Rookgastemperatuursensor		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	20	1,31	kg	0,15	
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	4	p	20	1,20	kg	0,14	
Display zonneboiler		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	1,11	kg	0,13	

Tabel B39. Inventaris van RVW_SWW_S5 - Regelsysteem

RVW_SWW_S5_Zonneboiler_Lucht-waterwarmtepomp



Figuur B14. Principeschema van RVW_SWW_S5

RVW_SWW_S5 - PRODUCTIE									
Component		SimaPro naam	Aantal		Jaar	Gewicht		tkm	
Lucht-waterwarmtepomp	Lucht-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	1,9	p	20	764,40	kg	103,19	
	Extra koelvloeistof	Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	4E-6	kg	60	4E-6	kg	4E-7	
	Ventilator	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01	
Membraanexpansievat, 8 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	0,64	p	20	15,60	kg	2,11	
Buffervat, 250 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, U	10	p	20	240,00	kg	32,40	
Voorraadvat, 300 liter		Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S	12	p	20	292,50	kg	39,49	
Vlakkeplaatcollector		Flat plate solar collector, Cu absorber {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	552,86	kg	74,64	
Collectorsteunen, 2,51 m ² per collector		Photovoltaic mounting system, for slanted-roof installation {GLO} market for Cut-off, S	3	p	60	150,00	kg	17,63	

Tabel B40. Inventaris van RVW_SWW_S5 - Productie

RVW_SWW_S5 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE/TAPPUNTEN									
Component		SimaPro naam	Aantal		Jaar	Gewicht		tkm	
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	19,11	kg	2,58	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	89,44	kg	12,07	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,84	kg	0,10	
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	17,06	kg	2,30	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator slaapkamer 1	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	31,85	kg	4,30	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05	
Radiator slaapkamer 2	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	28,24	kg	3,81	
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	

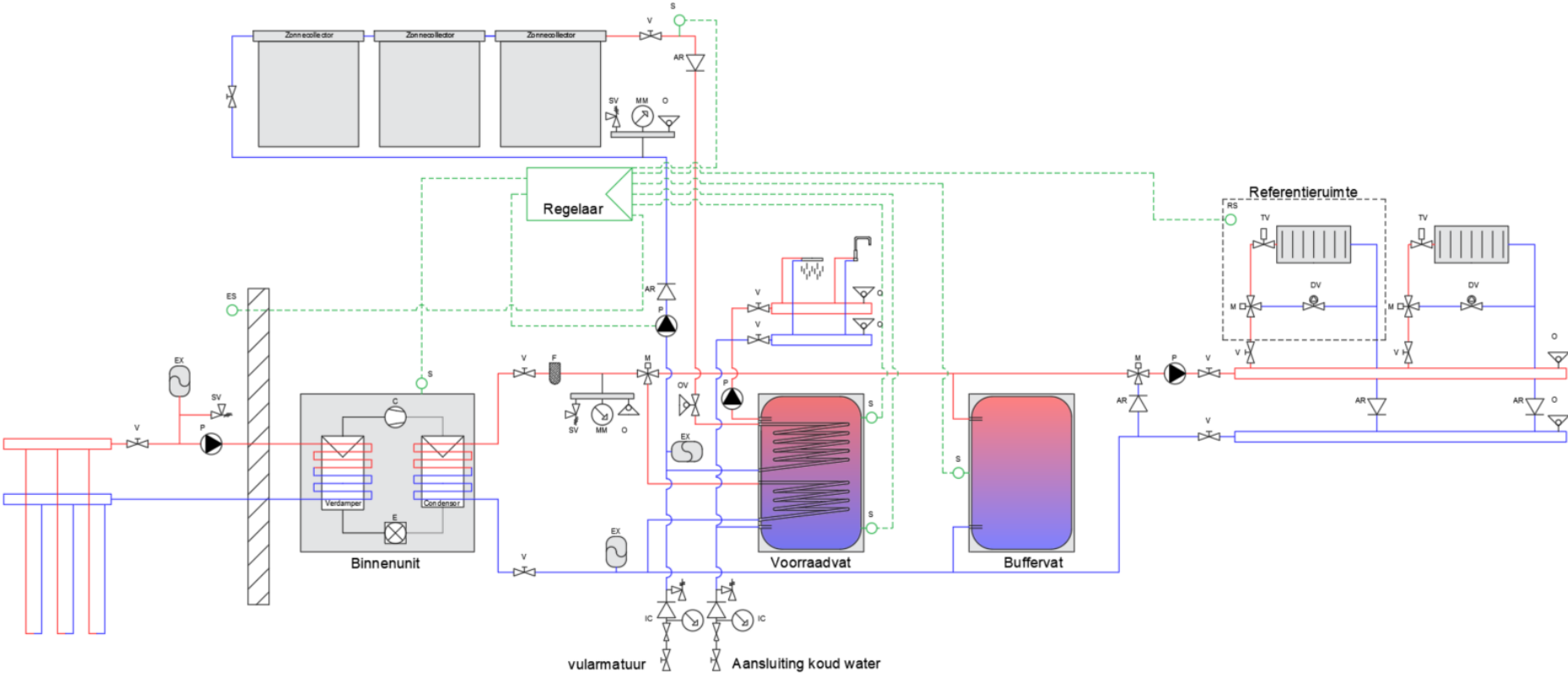
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
Radiator slaapkamer 3	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	29,80	kg	4,02
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	3,30	kg	0,39
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	21	p	20	6,93	kg	0,81
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	12	p	20	4,68	kg	0,55
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,31
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,36	kg	0,04
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	12	p	20	5,76	kg	0,68
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	22,50	kg	3,04
Verdeelcollector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	10	p	60	2,00	kg	0,24
Drukverschilventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	2,31	kg	0,27
Inlaatcombinatie	Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07
	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,78	kg	0,09
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,36	kg	0,04
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	2,54	kg	0,30
	Afsluitkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,66	kg	0,08
Waterleiding, RVW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,01
Waterleiding, SWW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18
Waterleiding dist		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	27,00	m	60	1,22	kg	0,14
Douchekraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16
Keukenkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63
Wastafelkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,29
Luchtafscheider		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	2,95	kg	0,35
Leiding zonnecollector		Aluminium around steel bi-metal stranded cable, 3x3.67mm external diameter wire {GLO} market for Cut-off, S	20,00	m	60	18,10	kg	2,13
Koelvloeistof		Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	16	l	60	20,76	kg	2,44

Tabel B41. Inventaris RVW_SWW_S5 - Distributie en emissie/tappunten

RVW_SWW_S5 - REGELSYSTEEM									
Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Thermostaat		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Kamertemperatuur– sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05	
	Toestel, 80x20 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Buitentemperatuur– sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05	
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04	
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00	m	60	0,44	kg	0,05	
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	5	p	20	1,50	kg	0,18	
Display zonneboiler		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	1,11	kg	0,13	

Tabel B42. Inventaris van RVW_SWW_S5 - Regelsysteem

RVW_SWW_S6_Zonneboiler_Grond-waterwarmtepomp



Figuur B15. Principeschema van RVW_SWW_S6

RVW_SWW_S6 - PRODUCTIE								
Component	SimaPro naam		Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Grond-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	389,10	kg	52,53
Aardsondes, PE	Borehole heat exchanger, 150m {GLO} market for Cut-off, S		300,00	m	60	54,29	kg	6,38
Membraanexpansievat, 8 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S		0,64	p	20	15,60	kg	2,11
Buffervat, 250 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S		10	p	20	240,00	kg	32,40
Circulatiepomp grondcircuit	Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	7,50	kg	1,01
Buitencollector	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		2	p	60	0,40	kg	0,05
Afsluitkraan, kogelkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S		1	p	20	0,33	kg	0,04
Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S		1	p	20	0,30	kg	0,04
Vorraadvat, 300 liter	Expansion vessel, 25l {GLO} market for Cut-off, S		12	p	20	292,50	kg	39,50
Vlakkeplaatcollector	Flat plate solar collector, Cu absorber {GLO} market for Cut-off, S		3	p	20	552,86	kg	74,64
Collectorsteunen, 2,51 m ² per collector	Photovoltaic mounting system, for slanted-roof installation {GLO} market for Cut-off, S		3	p	60	150,00	kg	17,63

Tabel B43. Inventaris van RVW_SWW_S6 - Productie

RVW_SWW_S6 - DISTRIBUTIE EN EMISSIE/TAPPUNTEN								
Component	SimaPro naam		Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Radiator badkamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	19,11	kg	2,58
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
Radiator eet- en zitruimte	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	89,44	kg	12,07
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	4	p	60	0,84	kg	0,10
Radiator hobbykamer	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	17,06	kg	2,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
Radiator slaapkamer 1	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	31,85	kg	4,30
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05

Radiator slaapkamer 2	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	28,24	kg	3,81
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
Radiator slaapkamer 3	Radiator, staal	Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	60	29,80	kg	4,02
	Thermostaatknop	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
	Ophangbeugels	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2	p	60	0,42	kg	0,05
Driewegmengkraan		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	11	p	20	3,30	kg	0,39
Afsluitkraan, kogelkraan		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	21	p	20	6,93	kg	0,81
Terugslagklep		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	12	p	20	4,68	kg	0,55
Vuilfilter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	0,30	kg	0,04
Manometer		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,36	kg	0,04
Ontluchter		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	12	p	20	4,68	kg	0,55
Overstortventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07
Circulatiepomp		Pump, 40W {GLO} market for Cut-off, S	3	p	20	22,50	kg	3,04
Collector		Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	10	p	20	6,00	kg	0,71
Drukverschilventiel		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	7	p	20	2,31	kg	0,27
Inlaatcombinatie	Overstortventiel	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,60	kg	0,07
	Terugslagklep	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,78	kg	0,09
	Manometer	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	0,36	kg	0,04
	Drukregelaar	Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	2	p	20	2,54	kg	0,30
	Afsluitkraan	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	0,66	kg	0,08
Waterleiding, RVW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,01
Waterleiding, SWW		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	34,60	m	60	1,57	kg	0,18
Waterleiding dist		Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	27,00	m	60	1,22	kg	0,14
Douchekraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	9,90	kg	1,16
Keukenkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	5,37	kg	0,63
Wastafelkraan		Chromium {GLO} market for Cut-off, S	2	p	20	10,98	kg	1,29
Luchtafscheider		Brass {RoW} market for brass Cut-off, S	1	p	20	2,95	kg	0,35
Leiding zonnecollector		Aluminium around steel bi-metal stranded cable, 3x3.67mm external diameter wire {GLO} market for Cut-off, S	20,00	m	60	18,10	kg	2,13
Koelvloeistof		Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	16	l	60	20,76	kg	2,44

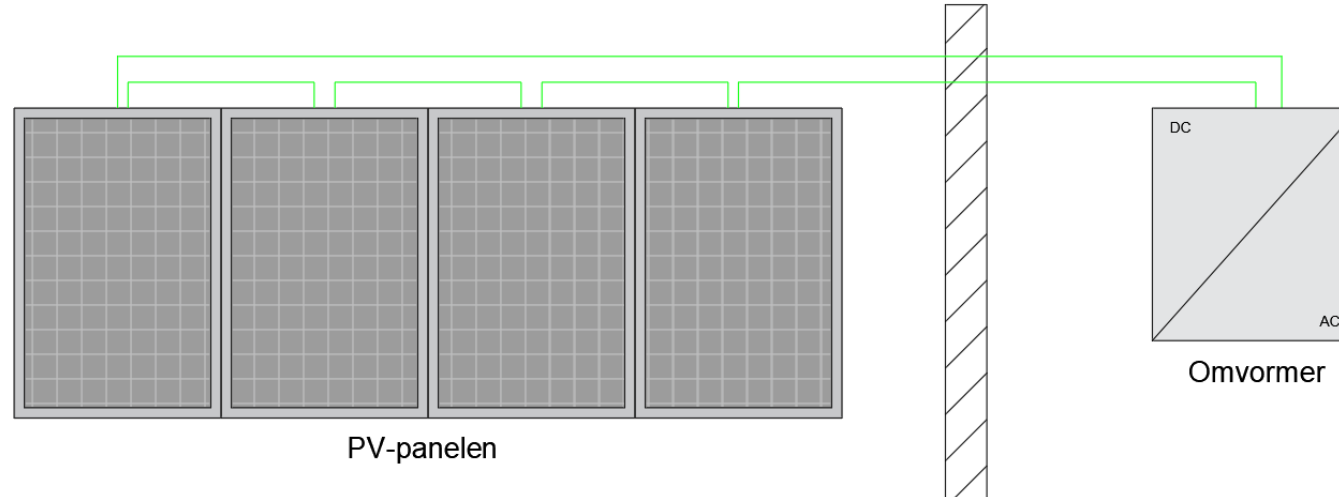
Tabel B44. Inventairs RVW_SWW_S6 - Distributie en emissie/tappunten

RVW_SWW_S6 - REGELSYSTEEM

Component		SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm
Thermostaat		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
Kamertemperatuur-sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00 m	60	0,44 kg	0,05
	Toestel, 80x20 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
Buitentemperatuur-sensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00 m	60	0,44 kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	0,30 kg	0,04
Temperatuursensor	Kabel	Aluminium around steel bi-metal wire, 3.67mm external diameter {GLO} market for Cut-off, S	15,00 m	60	0,44 kg	0,05
	Toestel, 41x66x80 mm	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	5 p	20	1,50 kg	0,18
Display zonneboiler		Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	1 p	20	1,11 kg	0,13

Tabel B45. Inventaris van RVW_SWW_S6 - Regelsysteem

PV-panelen



Figuur B16. Principeschema van PV-panelen

PV-panelen									
Component		SimaPro naam	Aantal		Jaar	Gewicht		tkm	
PV-panelen	Mono-Si	Photovoltaic panel, single-Si wafer {GLO} market for Cut-off, S	1	p	30	74	kg	9,99	
	Poly-Si	Photovoltaic panel, multi-Si wafer {GLO} market for Cut-off, S	1	p	30	74,00	kg	9,99	
	Ribbon-Si	Photovoltaic panel, ribbon-Si {GLO} market for Cut-off, S	1	p	30	74,00	kg	9,99	
	a-Si	Photovoltaic panel, a-Si {GLO} market for Cut-off, S	1	p	30	74,00	kg	9,99	
	Ci-S	Photovoltaic panel, CIS {GLO} market for Cut-off, S	1	p	30	74,00	kg	9,99	
Bevestigingsconstructie		Photovoltaic mounting system, for slanted-roof installation {GLO} market for Cut-off, S	13,28	m ²	60	400,00	kg	47,00	
Elektrische installatie		Photovoltaic plant, electric installation for 3kWp module {GLO} market for photovoltaics, electric installation for 3kWp module, at building Cut-off, S	0,10	p	60	35,00	kg	4,73	
Omvormer		Inverter, 2.5kW {GLO} market for Cut-off, S	0,48	p	15	40,00	kg	5,40	

Tabel B46. Inventaris van PV-panelen

Bijlage C. Analyse van de milieu-impact

1. Operationele energie van de warmtepomp en gascondensatieketel

Om een beter zicht te krijgen op de bepaling van het operationeel energiegebruik wordt er gekeken naar de achtergrondbijlage V van de EPB 3G-software (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020). De bepaling van het eindenergiegebruik, in het geval van één preferente opwekker, gebeurt aan de hand van volgende formule:

$$Q_{heat,final,sec\ i,m} = \frac{Q_{heat,gross,sec\ i,m}}{\eta_{gen,heat}} \quad (1)$$

Met:

- $Q_{heat,final,sec\ i,m}$: het eindenergiegebruik
- $Q_{heat,gross,sec\ i,m}$: de maandelijkse bruto energiebehoefte voor ruimteverwarming van energiesector i
- $\eta_{gen,heat}$: het opwekkingsrendement van de warmteopwekker

Het opwekkingsrendement van de elektrische warmtepompen in deze masterproef gebeurt aan de hand van volgende formule:

$$\eta_{gen,heat} = \frac{P_{nom} \cdot t_{on}}{\frac{P_{nom} \cdot t_{on}}{SPF_{inst}} + P_{TO} \cdot t_{TO} + P_{CCH} \cdot t_{CCH} + P_{off} \cdot t_{off} + P_{SB} \cdot t_{SB}} \quad (2)$$

Voor de betekenis van alle symbolen wordt verwezen naar bijlage V (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020). Het belangrijkste component uit bovenstaande formule is de SPF_{inst} , dit is de prestatiecoëfficiënt in actieve modus die bepaald wordt volgens onderstaande formule:

$$SPF_{inst} = f_{\theta,em} \cdot f_{\theta,source} \cdot f_{\Delta\theta} \cdot f_{pumps} \cdot f_{AHU} \cdot f_{dim,gen,heat} \cdot SPF_{on} \quad (3)$$

De formule van SPF_{inst} houdt dus rekening met verschillende correctiefactoren die afhankelijk zijn van het temperatuurregime. Zo is $f_{\theta,em}$ een correctiefactor voor het verschil tussen de vertrekwatertemperatuur naar het systeem van warmteafgifte en de uitlaattemperatuur van de condensor waarop SPF_{on} is gebaseerd en $f_{\theta,source}$ een correctiefactor voor het verschil tussen de temperatuur van de warmtebron en de inlaattemperatuur van de verdamer waarvoor SPF_{on} bepaald werd.

Het opwekkingsrendement van de gascondensatieketel in deze masterproef gebeurt aan de hand van volgende formule:

$$\eta_{gen,heat} = f_{dim,gen,heat} \cdot \left\{ \eta_{part,GCV} + \left[f_{\frac{NCV}{GCV}} \cdot 0,003 \cdot (\theta_{part,GCV} - \theta_{ave,boiler}) \right] \right\} - a_{loc} - a_{perm} \quad (4)$$

Voor de betekenis van alle symbolen wordt verwezen naar p. 82 van bijlage V van de EPB 3G-software (Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, 2020). In deze formule is enkel $\theta_{part, GCV}$, de ketelinlaattemperatuur waarbij het deellastrendement bepaald is, en $\theta_{ave, boiler}$, de te hanteren seizoensgemiddelde ketelwatertemperatuur, van belang.

2. Gascondensatieketel

De gascondensatieketel wordt in SimaPro ingegeven aan de hand van de materialen van een olietketel. Enkel de materialen die rechtstreeks gelinkt zijn aan het opwekkingscomponent van de olietketel zijn in rekening gebracht bij de bepaling van het gewicht uit Ecoinvent (EI) en zijn weergegeven in tabel C1. De materialen die niet tot het opwekkingscomponent behoren zijn cursief weergegeven. Het totale gemiddeld gewicht (GG) wordt bepaald aan de hand van de vergelijking van verschillende gascondensatieketels van fabrikanten, zie tabel C2. Op die manier wordt elk materiaal procentueel minder in rekening gebracht.

Materiaal olietketel	EI [kg]	GG [kg]
Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {RER} market for alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state Cut-off, U	1,25	0,33
Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U	7,50	2,00
Brass {CH} market for brass Cut-off, U	0,05	0,01
Brazing solder, cadmium free {GLO} market for Cut-off, U	4,00	1,07
Copper {GLO} market for Cut-off, U	3,03	0,81
<i>Corrugated board box {RER} market for corrugated board box Cut-off, U</i>	<i>5,00</i>	<i>5,00</i>
Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U	0,90	0,24
Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO} market for Cut-off, U	5,00	1,33
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, U	115,00	30,67
Stone wool, packed {GLO} market for stone wool, packed Cut-off, U	8,00	2,13
<i>Tap water {CH} market for Cut-off, U</i>	<i>182,00</i>	<i>182,00</i>
<i>Waste paperboard, unsorted {GLO} waste paperboard, unsorted, Recycled Content cut-off Cut-off, U</i>	<i>-5,00</i>	<i>-5,00</i>
TOTAAL	144,73	38,60

Tabel C1. Materialen van de olietketel en bijhorend gewicht

Product ID (merk)	Fabrikant	Vermogen [kW]	Gewicht [kg]
Ecoinvent databank	Ecoinvent	10,00	144,73
Vitocrossal 300 CU3A	Viessmann	12,00	119,00
Vitodens 100-W B1HF	Viessmann	11,00	33,00
Vitodens 100-W B1HF	Viessmann	19,00	33,00
Vitodens 111-W B1LF	Viessmann	19,00	68,00
ecoTEC plus VC 126/5-5	Vaillant	12,00	33,50

ecoTEC plus VC 206/5-5	Vaillant	20,00	33,50
ecoTEC pure VC 186/7-2	Vaillant	18,00	30,00
icoVIT exclusiv VKO 156/3-7	Vaillant	15,00	140,00
JA69 Remeha Calora TOWER Gas 15 Si	Remeha	14,90	50,00
Tzerra Ace 15 solo G20	Remeha	14,90	25,00
Calenta Ace 15s	Remeha	12,40	38,00
GC7000iW 14 23/21	Bosch	14,00	45,50
ZSB 14-1 DE 23 S3600	Bosch	13,00	44,50
TOP 14-3 CE ZSB	Bosch	13,00	41,00
D2xND 2TND012A4A	Daikin	12,00	27,00
AS 12A	Bulex	13,20	37,10
Q15S	ATAG	14,40	50,00
GEMIDDELDE			38,60

Tabel C2. Lijst van gascondensatieketels van fabrikanten met bijhorend nominaal vermogen en gewicht

GECORRIGEERDE GASCONDENSATIEKETEL					
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm
Gascondensatieketel	Gas boiler {GLO} market for Cut-off, S	0,27	p 20	115,80 kg	15,63

Tabel C3. Inventaris van de gecorrigeerde gascondensatieketel met een gewicht van 38,60 kg

3. Lucht-waterwarmtepomp

De lucht-waterwarmtepomp wordt in SimaPro ingegeven aan de hand van de grond-waterwarmtepomp, mits een aantal aanpassingen zoals beschreven in 6.2.2. De materialen zijn met een factor 1,9 vermenigvuldigd. Een extra ventilator wordt als hoeveelheid staal toegevoegd. In tabel C4 zijn de materialen van de grond-waterwarmtepomp weergegeven met bijhorend gewicht volgens de Ecoinvent-databank (EI) en het gecorrigeerd gemiddeld gewicht (GG) bepaald volgens de vergelijking van lucht-waterwarmtepompen van fabrikanten, zie tabel C5.

Materiaal grond-waterwarmtepomp	EI [kg]	GG [kg]
Copper {GLO} market for Cut-off, U	41,80	19,35
Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	3,23	1,50
Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, U	1,90	0,88
Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, U	5,87	2,72
Reinforcing steel {GLO} market for Cut-off, U	142,50	65,98
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, U	38,00	17,59
Tube insulation, elastomere {GLO} market for Cut-off, U	19,00	8,80
Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	2,50	2,50
TOTAAL	254,80	119,31

Tabel C4. Materialen van de lucht-waterwarmtepomp en bijhorend gewicht

Product ID (merk)	Fabrikant	Vermogen [kW]	Gewicht [kg]
Ecoinvent databank	Ecoinvent	5,00	254,80
Vitocal 200-S 201.D10	Viessmann	5,00	182,00
Vitocal 200-S 201.D08	Viessman	4,00	143,00
Vitocal 100-S 101.A06	Viessmann	6,00	122,00
Arotherm VWL 55/5 AS 230V + VWL 57/5 IS	Vaillant	5,00	105,00
Flexotherm VWF 57/4 S1 400V + VWL 11/4 SA	Vaillant	4,00	240,00
Neptuna E 4,5 kW monofasig	Remeha	4,60	113,00
08D6V + 06DV	Daikin	6,00	100,50
Logatherm WPL 6 AR	Buderus	6,00	106,00
Aquarea high performance H	Panasonic	5,00	83,00
Waterstage Comfort WC08	Fujitsu	5,60	84,00
GEMIDDELDE			119,31

Tabel C5. Lijst van lucht-waterwarmtepompen van fabrikanten volgens hun nominaal vermogen en gewicht

GECORRIGEERDE LUCHT-WATERWARMTEPOMP							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Lucht-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	0,89	p	20	357,93	kg	48,32
Extra koelvloeistof	Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, S	4E-6	kg	60	4E-6	kg	5E-7
Ventilator	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	1	p	20	7,50	kg	1,01

Tabel C6. Inventaris van de gecorrigeerde lucht-waterwarmtepomp met een gewicht van 119,31 kg

4. Grond-waterwarmtepomp

In SimaPro is het mogelijk om meteen een grond-waterwarmtepomp te selecteren. In tabel C7 zijn de materialen weergegeven volgen het gewicht uit de Ecoinvent-databank (EI) en het gecorrigeerd gewicht (GG) bepaald volgens de vergelijking van grond-waterwarmtepompen van fabrikanten, zie tabel C8.

Materiaal grond-waterwarmtepomp	EI [kg]	GG [kg]
Copper {GLO} market for Cut-off, U	22,00	26,38
Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	1,70	2,04
Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, U	1,00	1,20
Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, U	3,09	3,09
Reinforcing steel {GLO} market for Cut-off, U	75,00	89,92
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, U	20,00	23,98
Tube insulation, elastomere {GLO} market for Cut-off, U	1,00	11,99
TOTAAL	129,70	155,50

Tabel C7. Materialen van de grond-waterwarmtepomp en bijhorend gewicht

Product ID (merk)	Fabrikant	Vermogen [kW]	Gewicht [kg]
Ecoinvent-databank	Ecoinvent	5,00	129,70

Vitocal 200-G BWC 201.B06	Viessmann	5,80	145,00
Vitocal 200-G BWC 201.B08	Viessmann	7,50	148,00
Vitocal 300-G BWC 301.C06	Viessmann	4,30	149,00
Vitocal 300-G BWC 301.C12	Viessmann	5,30	154,00
Flexotherm exclusive VWF 57/4 400 V	Vaillant	5,30	151,00
Flexotherm exclusive VWF 57/4 230 V	Vaillant	5,40	157,00
Flexotherm exclusive VWF 87/4 230 V	Vaillant	8,40	173,00
Flexotherm exclusive VWF 87/4 400V	Vaillant	8,90	167,00
HPG-I 06 S Premium	Stiebel Eltron	6,60	180,00
HPG-I 08 IS Premium	Stiebel Eltron	7,60	180,00
SW 41H3	Alpha Innotec	4,70	90,00
SW 82H3	Alpha Innotec	7,70	110,00
BW EVI	Enerso	6,08	138,00
BWS-1 06	Wolf	5,90	141,00
BWS-1 08	Wolf	8,40	145,00
BWS-1 10	Wolf	10,80	149,00
GEMIDDELDE			155,50

Tabel C8. Lijst van grond-waterwarmtepompen van fabrikanten volgens hun nominaal vermogen en gewicht

GECORRIGEERDE GROND-WATERWARMTEPOMP						
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm	
Grond-waterwarmtepomp	Heat pump, brine-water, 10kW {GLO} market for Cut-off, S	1,20	p	20	466,50 kg	62,98

Tabel C9. Inventaris van de gecorrigeerde grond-waterwarmtepomp met een gewicht van 155,50 kg

5. Aardsondes en koelmiddel

De materialen nodig voor de productie en constructie van 125 meter aardsonde zijn weergegeven in tabel C10. Dit component bevat ook al de hoeveelheid warmtedragend medium, hier een mengsel van water-glycol.

Materiaal grondwarmtewisselaar	Gewicht [kg]
Activated bentonite {GLO} market for Cut-off, U	6,64
Cement, unspecified {CH} market for cement, unspecified Cut-off, U	27,39
Ethylene glycol {GLO} market for Cut-off, U	84,66
Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, U	149,40
Reinforcing steel {GLO} market for Cut-off, U	27,39
TOTAAL	295,48

Tabel C10. Materialen van 125 meter aardsondes

Rekening houdend met de massadichtheid is in tabel C11 het gewicht van vier types koelvloeistoffen weergegeven.

Materiaal	Massadichtheid [kg/m ³]	Volume [m ³]	Massa [kg]
Glycol	1110	0,001	1,11
R290	4930	0,001	4,93
R314a	1261	0,001	1,26
R22	3660	0,001	3,66

Tabel C11. Gewicht van 1 liter koelvloeistoffen

6. Waterleiding

In het standaard scenario is gebruik gemaakt van polyethyleen, maar er zijn nog andere materialen mogelijk. In tabel C12 zijn het aantal, de levensduur, het gewicht en bijhorend transportafstand van fabriek naar de werf van zowel koper, staal als PE geïnventariseerd.

VERGELIJKING WATERLEIDING							
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm		
Koper	Copper {GLO} market for Cut-off, U	190,78	m	60	80,28	kg	9,433
Staal	Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	70,12	kg	8,240
PE	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	190,78	m	60	8,63	kg	1,014

Tabel C12. Inventaris van de waterleidingen met een lengte van 190,78 m

De dimensionering van de vloerverwarming gebeurt volgens Rapport nr. 18 van het WTCB (WTCB, 2016). In het standaard scenario werd echter gewerkt met de leidinglengte volgens het verlegplan. In tabel C13 is de inventaris weergegeven van de vloerverwarming, bepaald volgens de theoretische formule.

THEORETISCHE VLOERVERWARMING							
Component	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm			
Vloerverwarming eet- en zitruimte	202,72	m	60	12,23	kg	1,44	
Vloerverwarming keuken	32,13	m	60	1,94	kg	0,23	
Vloerverwarming berging +0	16,07	m	60	0,97	kg	0,11	
Vloerverwarming WC + inkomhal	38,00	m	60	2,29	kg	0,27	
Vloerverwarming hobbykamer	63,29	m	60	3,82	kg	0,45	
Vloerverwarming slaapkamer 2	84,19	m	60	5,08	kg	0,60	
Vloerverwarming slaapkamer 3	70,20	m	60	4,23	kg	0,50	
Vloerverwarming badkamer	52,36	m	60	3,16	kg	0,37	
Vloerverwarming nachthal	16,63	m	60	1,00	kg	0,12	
Vloerverwarming slaapkamer 1	111,77	m	60	6,74	kg	0,79	

Tabel C13. Inventaris van de theoretische leidinglengte van vloerverwarming

7. Vlakkeplaatcollector

Het is mogelijk om direct een vlakkeplaatcollector te selecteren in SimaPro. De materialenlijst van de collector met bijhorend gewicht is terug te vinden in tabel C14. In het gewicht uit

Ecoinvent van 26,30 kg (EI) zitten enkel de materialen die rechtstreeks kunnen worden toegewezen aan het opwekkingscomponent. De materialen nodig voor de productie en verpakking staan cursief weergegeven en blijven hetzelfde in de bepaling van het gecorrigeerd gewicht (GG).

Materialen vlakkeplaatcollector	EI [kg]	GG [kg]
Aluminium, wrought alloy {GLO} market for Cut-off, U	3,93	2,59
Anti-reflex-coating, etching, solar glass {GLO} market for Cut-off, U	0,15	0,10
Brazing solder, cadmium free {GLO} market for Cut-off, U	0,0037	0,0024
Copper {GLO} market for Cut-off, U	2,82	1,86
<i>Corrugated board box {RER} market for corrugated board box Cut-off, U</i>	<i>3,68</i>	<i>3,68</i>
<i>Propylene glycol, liquid {RER} market for propylene glycol, liquid Cut-off, U</i>	<i>1,01</i>	<i>1,01</i>
Selective coat, copper sheet, black chrome {RER} selective coating, copper sheet, black chrome Cut-off, U	0,03	0,02
Sheet rolling, copper {RER} processing Cut-off, U	2,82	1,86
Silicone product {RER} market for silicone product Cut-off, U	0,06	0,04
Soft solder, sn97cu3 {RER} market for soft solder, Sn97Cu3 Cut-off, U	0,06	0,04
Solar glass, low-iron {GLO} market for Cut-off, U	9,12	6,02
Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO} market for Cut-off, U	4,14	2,73
Stone wool, packed {GLO} market for stone wool, packed Cut-off, U	2,43	1,60
Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U	0,73	0,48
<i>Tap water {CH} market for Cut-off, U</i>	<i>9,40</i>	<i>9,40</i>
<i>Waste paperboard, unsorted {GLO} waste paperboard, unsorted, Recycled Content cut-off Cut-off, U</i>	<i>-3,68</i>	<i>-3,68</i>
<i>Water, completely softened {RER} market for water, completely softened Cut-off, U</i>	<i>1,38</i>	<i>1,38</i>
TOTAAL	26,30	17,35

Tabel C14. Materialen van de vlakkeplaatcollector en bijhorend gewicht

Om de vlakkeplaatcollectoren op eerlijke basis met elkaar te kunnen vergelijken wordt het totale gewicht van de collector omgezet naar een gewicht per m² apertuoppervlakte. Tabel C15 biedt een weergave van de lijst met producten die gebruikt worden om een gemiddeld gewicht per m² apertuoppervlakte voor de vlakkeplaatcollector te bepalen.

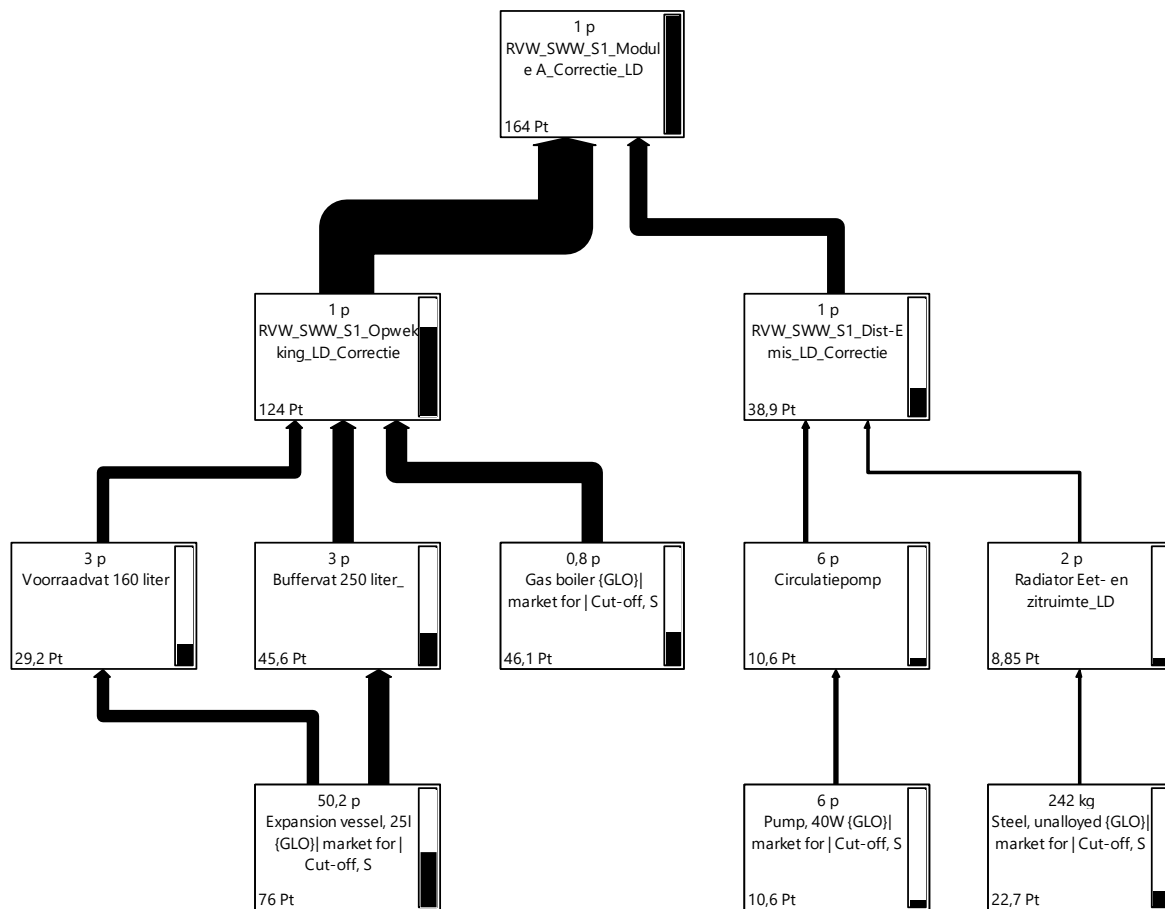
Product ID	Fabrikant	Apertuopp. [m ²]	Gewicht [kg]	Gewicht per m ² apertuopp.
Ecoinvent-databank	Ecoinvent	1,00	26,30	26,30
Vitosol 100-FM, type SV1F	Viessmann	2,33	41,50	17,81
Vitosol 200-FM, type SV2F	Viessmann	2,33	41,00	17,60
VFK 145 H	Vaillant	2,35	38,00	16,17
VFK 145 V	Vaillant	2,35	38,00	16,17
V21P	Daikin	1,79	35,00	19,55
V26P	Daikin	2,35	42,00	17,87
DB200V	Remeha	1,89	32,5	17,20
SKT1.0-s	Buderus	2,43	45	18,52
HPC-2,5 collector	Hrsolar	2,28	39,00	17,11
Nero	Hrsolar	1,53	23,80	15,56

Tabel C15. Lijst van vlakkeplaatcollectoren van fabrikanten volgens hun apertuuroppervlakte en bijhorend gewicht

GECORRIGEERDE VLAKKEPLAATCOLLECTOR						
Component	SimaPro naam	Aantal	Jaar	Gewicht	tkm	
Vlakkeplaatcollector	Flat plate solar collector, Cu absorber {GLO} market for Cut-off, S	0,66	p	20	87,42	kg 11,80

Tabel C16. Inventaris van de gecorrigeerde vlakkeplaatcollector

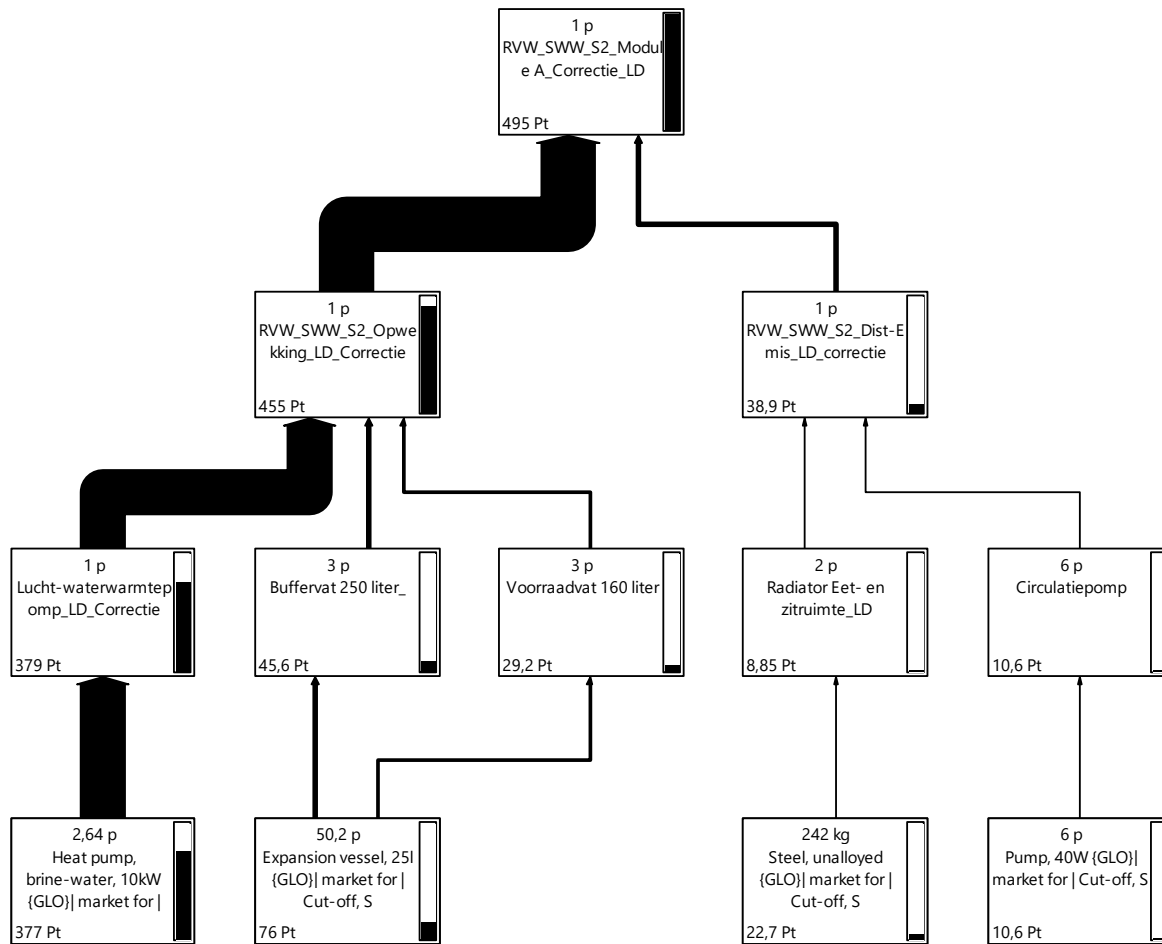
8. Milieu-impact van module A van RVW_SWW_S1



Figuur C1. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S1 voor een levensduur van 60 jaar

Figuur C1 toont de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S1 voor een levensduur van 60 jaar. De gascondensatieketel en het buffervat zijn verantwoordelijk voor de grootste impact. In tegenstelling tot het standaard scenario RVW_S1 waar de gascondensatieketel met 173 milieupunten een 3,8 keer grotere impact heeft dan het buffervat zijn de impacten hier quasi gelijkaardig.

9. Milieu-impact van module A van RVW_SWW_S2

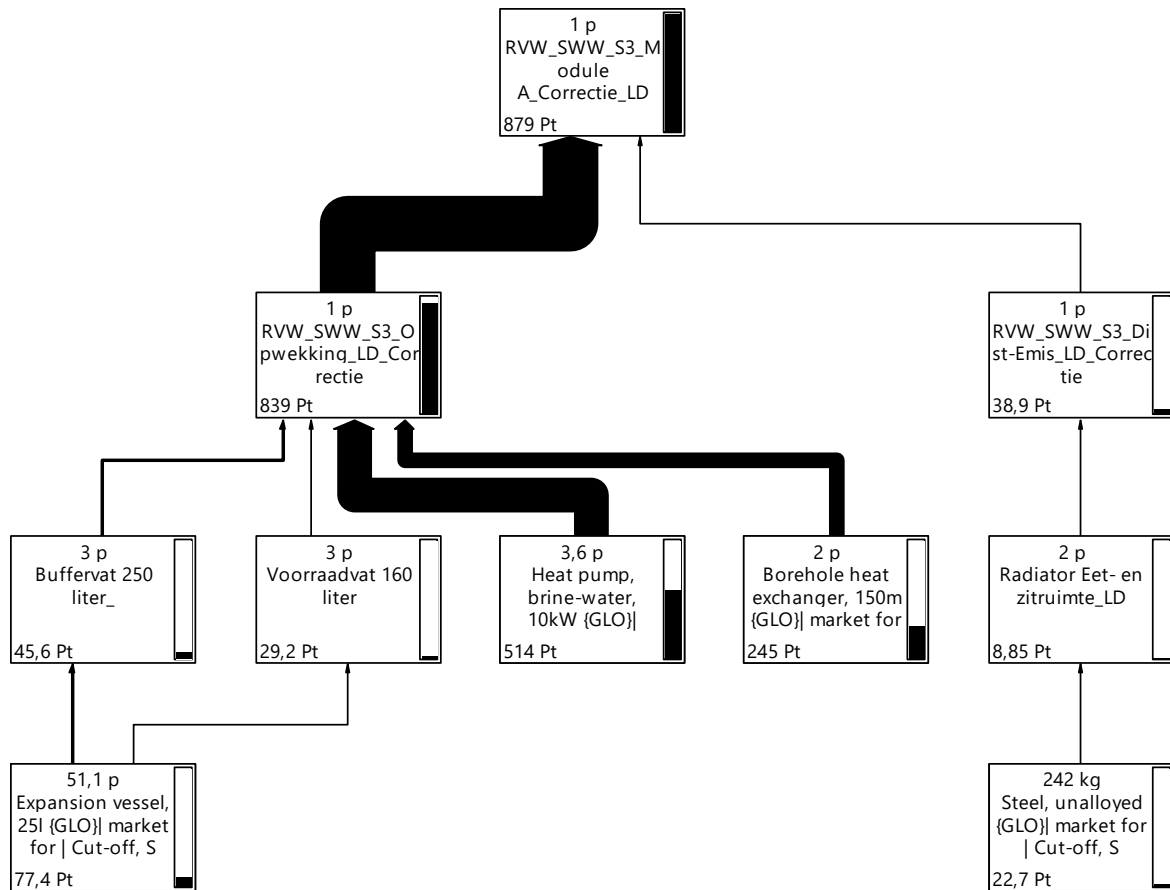


Figuur C2. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S2 voor een levensduur van 60 jaar

Uit figuur C2 blijkt module A van de lucht-waterwarmtepomp met 379 milieupunten voor 76,56% verantwoordelijk te zijn voor totale impact van module A. In RVW_S3 had de lucht-waterwarmtepomp nog een impact van 816 milieupunten.

10. Milieu-impact van module A en C van RVW_SWW_S1

De grootste impact van RVW_SWW_S3 komt door de grond-waterwarmtepomp met 514 milieupunten. Verder hebben ook de aardsondes met 245 milieupunten een niet te verwaarlozen impact



Figuur C3. Netwerk van de grootste bijdrages tot de milieu-impact van module A van RVW_SWW_S3 voor een levensduur van 60 jaar

Milieu-impact van ruimteverwarming en warmwateropwekking in eengezinswoningen

Ian Spriet

Studentennummer: 01506419

Promotoren: prof. dr. ir. Arnold Janssens, prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman
Begeleiders: dr. ir. arch. Eline Himpe, ir.-arch. Stijn Van de Putte, ir.-arch.
Yanaika Decorte

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

Academiejaar 2020-2021