

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

Academiejaar 2021-2022

Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Financiële analyse combilus met boosterwarmtepompen

Lens Dylan - 20193224

Van Hoeydonck Ruben - 20183785

PROMOTOR

Prof. Dr. Ir. Ivan Verhaert

Universiteit Antwerpen

CO-PROMOTOR

Ing. Stef Jacobs

Universiteit Antwerpen

**Bachelor of Science in de
industriële wetenschappen: elektromechanica**

Voorwoord

Eerst zouden wij graag enkele mensen willen bedanken voor hun bijdrage aan dit onderzoek. Zonder hun hulp en tijd zouden wij er niet in geslaagd zijn dit onderzoek te kunnen afleveren in de huidige vorm.

Eerst en vooral zouden wij onze promotoren Prof. dr. ir. Ivan Verhaert en ing. Stef Jacobs willen bedanken voor de grondige begeleiding van deze bachelorproef. Ook willen we graag Robin Baetens bedanken voor zijn hulp tijdens het contacteren van de bedrijven. Volgende bedrijven en personen zouden we willen bedanken voor hun tijd, informatie en interesse in dit onderzoek. Seppe Van hout en Stig Knapen van SEDS, Filip Grillet van SUREAL, Mathias Tytgat van Vaillant en Patrick Van Beeck van Daikin. Zonder jullie zou dit onderzoek niet tot op het punt geraakt zijn dat het nu is.

Hartelijk bedankt allemaal!

Inhoudsopgave

HOOFDSTUK 1: VERWARMINGSCONCEPTEN	6
1.1 Kadering.....	6
1.1.1 Inleiding	6
1.1.2 Verwarmen	6
1.1.3 Combilus	6
1.1.4 Boosterwarmtepomp	8
1.2 Probleemstelling.....	9
1.2.1 Onderzoeksvraag	9
HOOFDSTUK 2: METHODIEK	10
2.1 Cases.....	10
2.1.1 Omvang van gebouw	10
2.1.2 Afleverunits.....	10
2.1.2.1 Vloerverwarming.....	11
2.1.2.2 Koelen met vloerverwarming.....	11
2.1.3 Warmtebron.....	11
2.1.4 Koeling	13
2.2 Sensitiviteitsanalysen	14
HOOFDSTUK 3: KOSTENANALYSE	15
3.1 Inleiding.....	15
3.2 NBN EN15459-1	15
3.3 TCO	15
3.3.1 Disconteren	16
3.4 Ontwerpkost.....	17
3.5 CAPEX.....	18
3.6 OPEX.....	18
3.6.1 Verbruik.....	19
3.6.2 Onderhoud	19
3.6.3 Herinvestering	20
3.6.4 Voordelen	21
3.6.5 Resultaat OPEX	22
3.7 TCO resultaat.....	22
HOOFDSTUK 4: SENSITIVITEITSANALYSE	23
4.1 Energieprijs	23
4.2 CO2 taks	24
4.3 Zonnepanelen	25
4.3.1 OPEX met PV-panelen	25
4.3.1.1 Verbruik.....	25
4.3.1.2 Voordelen.....	26
4.3.1.3 Onderhoud en herinvestering.....	26
4.3.1.4 Resultaat OPEX met PV.....	26
4.3.2 CAPEX met PV-panelen	27
4.3.2.1 Installatie zonnepanelen.....	27
4.3.2.2 Installatie premie.....	28
4.3.2.3 Resultaat CAPEX met PV.....	28
4.3.3 TCO resultaat met PV	28

HOOFDSTUK 5: RESULTATEN	29
HOOFDSTUK 6: CONCLUSIE.....	30
HOOFDSTUK 7: BIBLIOGRAFIE.....	32

Figuren- en tabellenlijst

Figuur 1-1: Combilus: leidingsysteem waarbij de afleverset zorgt voor een regeling van de ruimteverwarming en de productie van SWW. [2]	6
Figuur 1-2: Lay-out BWP gebaseerd op de compressiekoeltechniek. [9]	8
Figuur 2-1: Verticale lusconfiguratie, waarbij een BEO-veld een specifieke vorm is. [16].....	12
Figuur 2-2: Combilus met woningstation, het regime 55/10 is de temperatuur dat hierbij van toepassing is. Het woningstation zorgt voor een regeling van het etnische water en de opwarming van SWW. [4]	13
Figuur 3-1: Formule TCO: deze formule geeft de totale kosten weer van een systeem. [25]	15
Figuur 3-2: Formule verdisconteren: deze formule geeft de huidige waarde van de toekomstige kasstromen weer. [27]	16
Figuur 3-3: Bepaling klasse barema: deze zijn gebaseerd op officiële documenten. [28].....	17
Figuur 3-4: Korting op onroerende voorheffing aan de hand van het E-peil. [33]	21
Figuur 4-1: gas- en elektriciteitsprijs evolutie per MWh bekeken over 1 jaar. [29].....	23
Tabel 3-1: CAPEX: geeft de initiële kosten weer voor beide concepten.....	18
Tabel 3-2: Elektriciteitsconsumptie: vergelijking tussen de 2 cases op vlak van verbruik.....	19
Tabel 3-3: geeft de onderhoudskosten weer per concept per appartement.	20
Tabel 3-4: levensduur componenten: specifiek verschil in afleverset.....	20
Tabel 3-5: Korting op onroerende voorheffing voor 5 jaar.....	21
Tabel 3-6: Resultaat OPEX voor 20 jaar voor beide concepten per appartement.	22
Tabel 3-7: TCO resultaat: per jaar worden de CAPEX en OPEX minus de restwaarde gediscoteerd, en dit over een periode van 20 jaar.	22
Tabel 4-1: Elektriciteitskost en TCO bij daling of stijging van de energieprij.	23
Tabel 4-2: CO2-taks over 20 jaar rekeninghoudend met 2% stijging per jaar.	24
Tabel 4-3: Verbruikskosten met PV-panelen voor het eerste jaar, er wordt rekening gehouden met een evolutie van elektriciteitsprijs en zonnepanelen degradatie per jaar.....	25
Tabel 4-4: Korting onroerende voorheffing met PV-panelen voor 5 jaar.	26
Tabel 4-5: OPEX met PV-panelen bekeken over 20 jaar voor 1 wooneenheid.	26
Tabel 4-6: CAPEX met PV-panelen: de installatie en de premie van PV-panelen worden ingecalculerd.	28
Tabel 4-7: TCO resultaat met PV panelen: de waardes per jaar zijn gediscoteerd.	28

Hoofdstuk 1: VERWARMINGSCONCEPTEN

1.1 Kadering

1.1.1 Inleiding

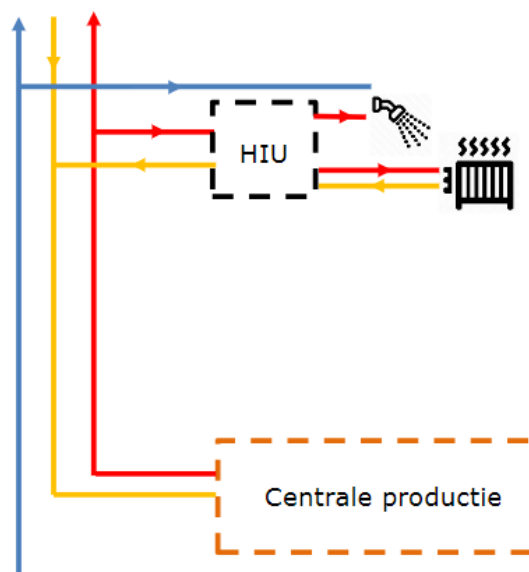
Om te kunnen voldoen aan de klimaatdoelstellingen van 2030 wordt er steeds meer gezocht naar duurzame verwarmingsconcepten. Uit deze duurzame vereisten volgt een nieuwe wetgeving met als doel tegen 2050 zo weinig mogelijke fossiele brandstoffen te gebruiken. Om woningen te verwarmen, worden hernieuwbare of elektrische alternatieven steeds belangrijker. Voor nieuwe grote verkavelingen, appartementsgebouwen en groepswoningen geldt vanaf 1 januari 2021 dat er geen aardgasaansluiting meer voorzien mag worden [1]. Een dergelijke aansluiting mag enkel nog wanneer het aardgas gebruikt wordt als bijverwarming in combinatie met een hoofdverwarming bestaande uit een hernieuwbaar energiesysteem (hybride systeem). Of indien de aansluiting gebruikt wordt in een collectieve verwarming op basis van een warmte-krachtkoppeling. Dit maakt het interessant om alternatieve gasvrije- of hybride systemen te onderzoeken.

1.1.2 Verwarmen

Het verwarmen van appartementsgebouwen kan op verschillende manieren gebeuren. Elk appartement kan voor zijn eigen verwarming zorgen of er kan een collectieve verwarmingsinstallatie gebruikt worden. Het is aantrekkelijk om te werken met een collectieve verwarmingsinstallatie, deze geeft de mogelijkheid om meer duurzame energiebronnen te integreren die door de stabielere warmtevraag van dit concept beter zullen werken [2]. Hier zal een gemeenschappelijke warmtebron het appartementsgebouw voorzien van het benodigde verwarmingsvermogen.

1.1.3 Combilus

Een interessante uitvoering van een collectief warmtenet in appartementsgebouwen zijn combilussystemen [3]. Figuur 1-1 geeft een schematische voorstelling van een traditionele combilus installatie.



Figuur 1-1: Combilus: leidingstelsel waarbij de afleverset zorgt voor een regeling van de ruimteverwarming en de productie van SWW. [2]

Alle leidingen die vertrekken en aankomen bij de centrale productieplaats behoren tot het primaire circuit, deze werkt op hoge temperatuur. Bij een combilus zijn aan de primaire zijde twee CV-leidingen, één aanvoer leiding en één retour leiding, verbonden met een centrale productie. Deze distribueren het primaire technische water voor zowel ruimteverwarming als sanitair warm water (SWW) naar elk appartement van het gebouw. De blauwe leiding in Figuur 1-1 is het sanitair koud water (SKW), deze wordt mee met het aanvoer CV-water richting elk appartementsgebouw getransporteerd.

In de appartementen zal via een Heat Interface Unit (HUI), wat de Engelse benaming is voor een afleverset, de afname van de benodigde warmte van het primair aanvoer CV-water geregeld worden [4]. Wanneer deze als scheiding werkt tussen het primaire en secundaire circuit, wordt er gesproken over een indirect systeem [4]. Alle leidingen achter deze HUI behoren tot het secundaire circuit of met andere woorden zijn dit de leidingen per appartement. Een veel voorkomende uitvoeringsvorm als scheiding tussen de twee circuits is het doorstroomsysteem [2]. Dit principe zorgt voor een regeling van de ruimteverwarming en de productie van het SWW. In dit systeem wordt de warmte van het warme primaire CV-water gebruikt om het secundaire circuit op te warmen. Dit wordt gedaan met een platenwarmtewisselaar waarbij de SWW-bereiding instant gebeurt [4].

Aangezien er diverse varianten zijn van een combilus installatie, zal het woord 'klassiek' gedefinieerd worden als een installatie dat veelvuldig in de praktijk gebruikt wordt. Er zal beschouwd worden dat een hoge temperatuur combilus met afleversets (HUI) als klassiek wordt gedefinieerd. Bij een klassieke combilus zal er voldaan moeten worden aan de minimale temperatuurvereisten. De temperatuurregimes hangen af van de drukval doorheen de leidingen van het gebouw. Hierdoor kan in het primaire circuit de aanvoertemperatuur tussen 65°C en 90°C liggen [5].

Bij 4-pijps systemen, wat geen combilus is, wordt ook het SWW opgewekt in de centrale productieplaats. Deze zal, in tegenstelling tot een combilus, ook mee in een leiding doorheen het gebouw getransporteerd worden. Bij de combilus wordt dus het aantal leidingen gereduceerd en spreekt men over een 2-pijps systeem. De leidingen van dit 2-pijps systeem hebben een grotere diameter, maar toch zullen er in vergelijking met het 4-pijps systeem minder distributieverliezen zijn [2]. Omdat zowel de combilus als het 4-pijps systeem op hoge temperatuur werken, zal door het verschil in distributieverliezen de combilus de betere optie zijn.

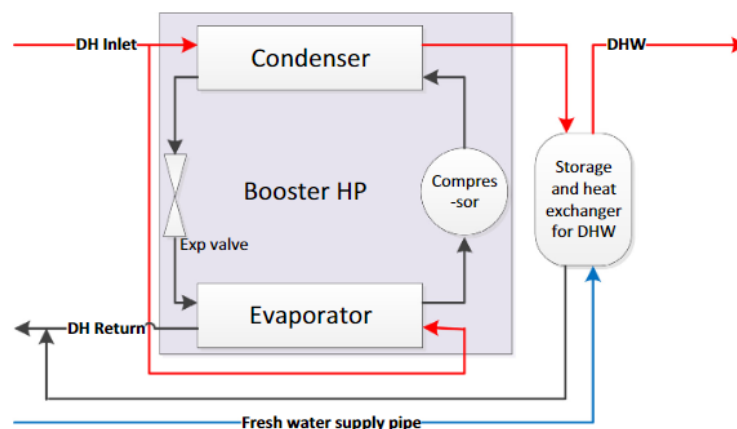
Deze distributieverliezen kunnen verder verminderd worden door met lagere regimetemperaturen te werken, hierdoor wordt een hogere Coefficient Of Performance (COP) voor de centrale warmteproductie haalbaar. Een voorbeeld van een lagere regimetemperatuur is 35/10. Een alternatief is om de warmte gedeeltelijk decentraal op te wekken, dit kan aan de hand van boostersystemen. Hierdoor zal de distributietemperatuur niet noodzakelijk gelijk moeten zijn aan de temperatuur van de meest kritische vrager, maar kan deze een mismatch van vraagtemperatuur oplossen. Mogelijke boostermethoden zijn nageschakelde bijstook/verwarming via een ketel of elektrische weerstand of via een boosterwarmtepomp waar in wat volgt verder op ingegaan wordt.

Deze lagere regimetemperaturen zijn niet mogelijk bij een klassieke combilus, omdat de temperatuur hier hoog genoeg moet zijn voor de productie van SWW. Zo zal het SWW steeds tot op een minimale noodzakelijke temperatuur gebracht moeten worden om de groei van de legionella bacterie tegen te gaan. Dit geldt ook voor het principe met boosterwarmtepomp. De minimale temperatuur is 55°C, vanaf deze temperatuur vindt afsterving van de bacterie plaats [6].

1.1.4 Boosterwarmtepomp

Een nieuwer concept is het gebruiken van boosterwarmtepompen (BWP) in combilussen ter vervanging van afleveringsunits met warmtewisselaars [7]. Het primaire aanvoer CV-water zal initieel door een centrale warmtepomp worden opgewarmd tot op een regimetemperatuur dat bruikbaar is voor lage temperatuur afgiftesystemen. In het appartement zal dit primaire aanvoer CV-water dienen voor het verwarmen en als warmtebron voor de BWP om SWW te produceren.

De boosterwarmtepomp werkt zoals elke warmtepomp, deze zijn gebaseerd op de compressietechniek [8]. De boosterwarmtepomp 'boost' de temperatuur van het water nadat het eerst al door een andere warmtebron op een regimetemperatuur werd gebracht. Op figuur 1-2 staat een mogelijke uitvoering van een BWP geïllustreerd.



Figuur 1-2: Lay-out BWP gebaseerd op de compressiekoeltechniek. [9]

Een boosterwarmtepomp lijkt energetisch goed te presteren, maar hoe het met de financiële kant zit moet verder onderzocht worden [2], [9], [10].

1.2 Probleemstelling

Het principe van de combilus met boosterwarmtepomp is al enige tijd gekend in de literatuur. Over het potentieel op vlak van energiebesparing en comfortwinst is er nog maar een beperkte kennis beschikbaar. Er blijven echter wel nog vragen of het ook economisch verantwoord is. De meeste studiebureaus die deze projecten ontwerpen, hebben dit nog niet geïmplementeerd. Hierdoor ontbreekt nog de nodige data ontbreekt om de analyse te kunnen maken. Voor een nieuw innovatief concept is het dus zeker nuttig om een financiële analyse uit te voeren, opdat het concept als gelijkwaardige potentiële installatie beoordeeld kan worden. Uit onderzoek is al wel duidelijk dat een goed gedimensioneerde opstelling, een hoger rendement kan verwezenlijken [2]. Naast de energetische efficiëntie heeft de economische zijde dan ook een zeer grote invloed op het toepassen van dit systeem.

De uiteindelijke overweging zal dus vanuit het financieel aspect bekeken worden, hierbij behoren ook factoren met een indirect financieel effect. Het boosterwarmtepomp-concept zorgt voor een reductie in het elektriciteitsverbruik, wat een verminderde CO₂-uitstoot oplevert. Dit kan in de toekomst een belangrijke factor zijn indien er CO₂ taksen zouden ingevoerd worden [11]. Dit geeft aanleiding tot het creëren van sensitiviteitsanalyses, waarbij er per parameter bepaald moet worden of een opstelling met een BWP wel of niet economisch voordeliger is in vergelijking met een klassieke combilus.

Dit onderzoek zal zich toespitsen op de financiële analyse van een combilus met boosterwarmtepompen en een inzicht geven in de prijsbepaling van een dergelijk concept. De conclusie zal aantonen of het ook economisch interessant is om zulke systemen in te bouwen. Bij een financiële analyse zal niet enkel gekeken worden of het concept in aankoop goedkoper is maar naar de total cost of ownership (TCO) [12]. De invloed van de sensitiviteitsanalyses op de TCO zullen een indicatie geven van de sensitiviteit van deze concepten.

1.2.1 Onderzoeksvraag

Op volgende onderzoeksvraag wordt een antwoord gezocht in dit onderzoek.

- Onder welke omstandigheden is een combilus met boosterwarmtepompen financieel rendabeler om te installeren dan een klassieke hoge temperatuur combilus?

Hoofdstuk 2: METHODIEK

Ten eerste dient een financiële analyse gemaakt te worden van een combilus met decentrale boosterwarmtepomp. Er zal een framework worden ontworpen om cases methodisch financieel te analyseren. Dit wordt bereikt door een case te ontwerpen dat de financiële zijde van het concept combilus met boosterwarmtepompen voorstelt. Ook is het belangrijk een case met een klassieke combilus als referentie te gebruiken. Zo kan er een representatieve case study opgesteld worden.

Een afbakening van de cases wordt hierdoor noodzakelijk om concrete info te kunnen verschaffen. De concrete info bestaat erin een financieel beeld te krijgen over beide cases. Zo zal er gevraagd worden naar de ontwerpkosten, de CAPEX (initiële kosten) en de OPEX (operationele kosten) van de cases die behandeld worden.

De data en offertes, die verkregen worden van bedrijven die installaties verrichten met dergelijke concepten, zullen een belangrijk aspect zijn van het onderzoek. Deze offertes moeten toelaten een globaal beeld te scheppen over de kosten van deze concepten. Eens deze gegevens beschikbaar zijn, zullen ze verder verwerkt en geanalyseerd worden in een Excel-bestand om een duidelijk beeld te creëren van de kosten, dit is het uiteindelijke framework.

De cases zullen in verschillende sensitiviteitsanalyses worden toegelicht. Deze analyses bevatten mogelijke reële externe factoren die een financiële invloed kunnen hebben. Vanuit deze analyses zal er geconcludeerd moeten worden of en zo ja in welke gevallen, een boosterwarmtepomp voordelig is, of niet is.

2.1 Cases

Er zullen twee concepten (cases) zijn waarover financiële data moet verschaft worden. Deze zullen voorgelegd worden aan de bedrijven. Er zal een vergelijking worden gemaakt tussen een combilus met een collectieve geothermische warmtepomp met boosterwarmtepompen voor SWW, en een klassieke combilus met standaard afleversets.

De principes die voor deze cases van belang zijn, zullen in dit hoofdstuk aangehaald worden.

2.1.1 Omvang van gebouw

Het gebouw waar dit onderzoek zich op zal toepassen is een fictief appartementsgebouw. Het gebouw is gelegen in Vlaanderen en telt 71 identieke appartementen. Verdieping 0 tot en met 6 heeft 9 appartementen per verdieping en verdieping 7 heeft 8 appartementen waarbij elk appartement een oppervlakte heeft van 85m².

2.1.2 Eindunits

Binnen de eindunits zijn er verschillende opdelingen mogelijk op basis van werkingstemperatuur. In dit deel wordt een lage temperatuur eindunit beschreven.

2.1.2.1 Vloerverwarming

Vloerverwarming is een afgifte systeem voor ruimteverwarming. Deze kan elektrisch werken of via warm water, met nog een onderscheid tussen een nat en een droog systeem. Vloerverwarming geeft een groot comfortgevoel doordat +/- 50% van de warmte-uitwisseling stralingswarmte is. Het principe gaat uit van een 'lage temperatuurverwarming' omdat wanneer deze vergeleken wordt met klassieke radiatoren, ze aan een lagere regimetemperaturen (vb. 35/10) werken.

In dit onderzoek zal er gerekend worden dat er in 70% van de oppervlakte van elk appartement vloerverwarming geïnstalleerd wordt. Dit omwille van de aanwezigheid van niet-verwarmde ruimten en permanente meubels. Dit zal 60m² zijn waarbij er gerekend wordt met 80 €/m² voor het materiaal inclusief de installatie [13]. Het systeem dat hiervoor gebruikt wordt is een nat systeem, deze heeft een dikke vloeropbouw. Deze opstelling heeft verschillende buisfixaties, hierop zal minstens een chape komen van 5 cm. Dit zorgt voor een grote warmteaccumulatie met als gevolg een trage reactie van het systeem [14].

2.1.2.2 Koelen met vloerverwarming

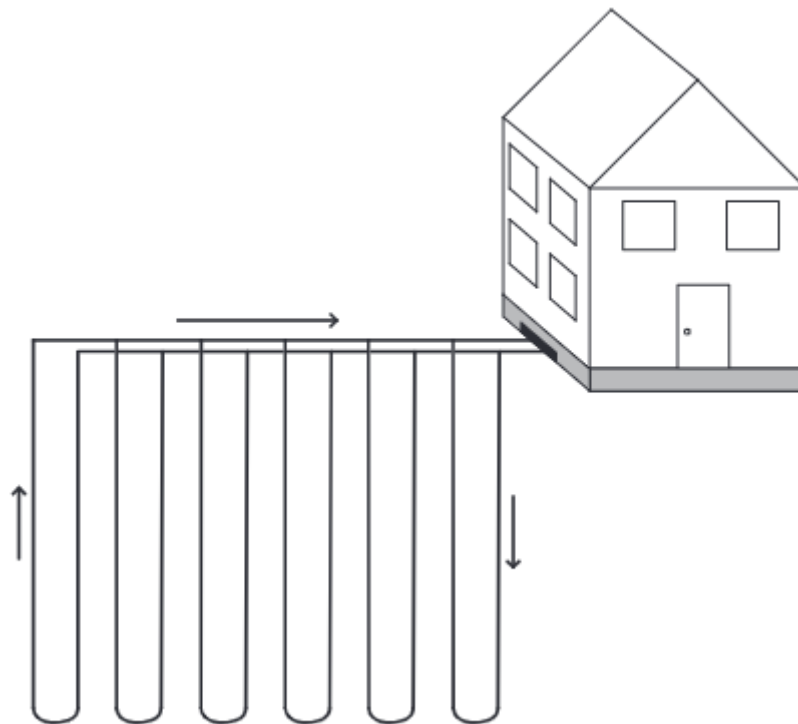
Het koelen met vloerverwarming, specifiek in de zomer, gebeurt door het stromen van koud water doorheen de buizenconfiguratie van de vloerverwarming. De koele buizenconfiguratie zal warmte onttrekken uit de ruimte. Belangrijk hierbij is dat het primaire aanvoer CV-water boven de dauwpunttemperatuur moet liggen opdat er geen condens zou ontstaan op de vloer. Deze waarde schommelt rond de 18 °C [15].

2.1.3 Warmtebron

Er zijn verschillende types warmtepompen die op een eigen specifieke manier warmte onttrekken. De warmte die zich onttrekt uit deze warmtebron zal afgegeven worden aan het watercircuit van het verwarmingssysteem.

Een geothermische warmtepomp haalt zijn warmte uit de aardbodem. Er zijn twee manieren waarop een geothermische warmtepomp kan ingedeeld worden. Een warmtepomp die warmte haalt uit grondwater of een warmtepomp die warmte haalt uit de bodem zelf.

Een bodem/water warmtepomp is de geothermische warmtepomp die voor beide cases van toepassing zal zijn. Deze warmtepomp wint warmte door een gesloten lus configuratie in de bodem te steken, deze heeft verschillende uitvoeringen [16]. Er kan een opdeling gemaakt worden in een enkelvoudige lus of dubbele lus. Binnen de dubbele lussen zelf is de verticale lusconfiguratie de meest gebruikte configuratie (figuur 2-1).



Figuur 2-1: Verticale lusconfiguratie, waarbij een BEO-veld een specifieke vorm is. [16]

Een andere configuratie die gebruikt wordt, is een horizontaal buizencircuit. Dit is een configuratie die veel plaats in beslag neemt en hierdoor ook minder toegepast wordt dan de verticale configuratie [17]. Ook blijft de grondtemperatuur hier minder constant. De case uit dit onderzoek zal zich dan ook beperken tot een verticale configuratie.

Een speciale vorm van een verticale gesloten lusconfiguratie is een Boorgat energie opslagveld (BEO-veld). Dit is de configuratie die op beide cases van toepassing is. Deze werkt als een warmtewisselaar in de grond waarbij deze in de zomer warmte zal opslaan om deze warmte terug te gebruiken in de winter. Het werkt dus als een opslagplaats. De grootte van een BEO-veld kan variëren naargelang het benodigd vermogen. Dit vermogen heeft een invloed op de dimensionering van dit systeem. De grootte kan verschillen van 2 pijpen voor één woning tot een grootschalig aantal pijpen voor collectieve verwarming [18].

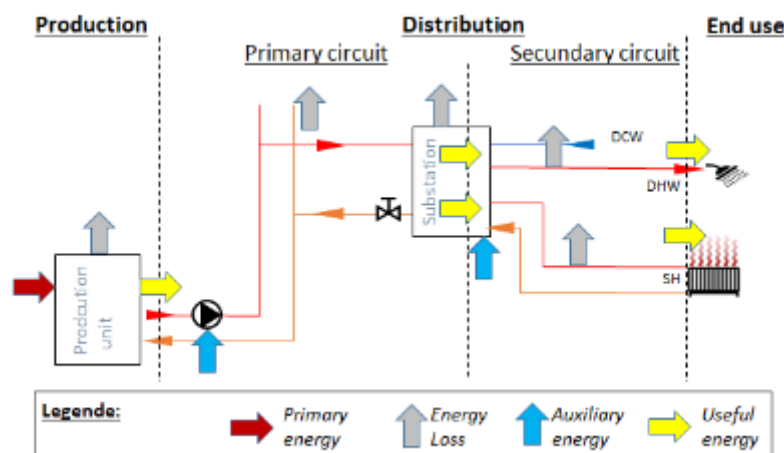
Aangezien het concept met BWP meer vermogen kan halen uit een BEO-veld, zal in dit geval het boringsveld groter gedimensioneerd zijn dan bij het klassieke combilus concept. De boringen van het BEO-veld zullen dus gedimensioneerd worden op het benodigd vermogen. Voor deze boringen wordt een kost van €1100/kW gehanteerd [19].

2.1.4 Koeling

Warmtepompen kunnen buiten verwarmen ook koelen, hier wisselen de verdamper en condensor van rol. Beide concepten in dit onderzoek maken gebruik van warmtepompen en zullen dus ook kunnen koelen. In de zomer zal de warmte uit de ruimte onttrokken worden via de vloerverwarming. Deze warmte zal uiteindelijk het BEO-veld bereiken en zijn warmte hier afstaan. Zo wordt in de winter warmte onttrokken uit het BEO-veld en in de zomer warmte geleverd aan het BEO-veld. In een ideaal scenario is deze uitwisseling in balans om de efficiëntie van het BEO-veld in de toekomst constant te houden [20], [21], [22]. Indien de installatie dus goed ontworpen en gedimensioneerd is zal er geen individuele koelinstallatie geïnstalleerd moeten worden.

2.1.5 Afleversets

Voor de cases van dit onderzoek zal het grootste verschil liggen op vlak van afleversets. Zo zal bij de case van de klassieke combilus de afleverset een woningstation met platenwarmtewisselaars zijn. Deze afleverset gaat uit van het doorstroomsysteem (§1.1.3). Hierbij zal de afleverset zorgen voor de opwarming van het SWW en het CV-water van het appartement. De regimetemperatuur voor het woningstation zal in dit geval 55/10 zijn [5]. In figuur 2-2 is er een schematische voorstelling van dit principe.



Figuur 2-2: Combilus met woningstation, het regime 55/10 is de temperatuur dat hierbij van toepassing is. Het woningstation zorgt voor een regeling van het technische water en de opwarming van SWW. [4]

De andere case, de combilus met BWP, zal gebruik maken van een decentrale BWP als afleverset. Deze is bedoeld voor het opwarmen van SWW (§1.1.4). Het opwarmen van het CV-water wordt rechtstreeks gedaan door de centraleproductieplaats. De regimetemperatuur voor het primaire circuit bedraagt 35/10.

2.2 Sensitiviteitsanalysen

De sensitiviteitsanalyses die op de cases worden toegepast, zullen een indicatie geven in welke gevallen een BWP in een combilus voordelig is of niet. Er worden 3 scenario's onderzocht die een mogelijke invloed hebben op de TCO.

Een sensitiviteitsanalyse die zal worden toegepast, is een variatie op de energieprijs. Aangezien gas niet van toepassing is als energiebron in deze scriptie, zal deze prijs meer bepaald gaan over de elektriciteitsprijs. Het energielandschap is voortdurend in beweging waardoor een plotse daling of stijging een directe impact kan hebben op het gebruik van BWP in een combilus [23]. Ook zou een CO₂-taks door de opmars van hernieuwbare energie een invloed kunnen hebben op het mogelijk gebruik van een combilus met BWP. Tenslotte zal het effect van zonnepanelen ook bestudeerd worden, opdat hier rekening mee kan worden gehouden bij een mogelijke realisatie van een installatie.

Hoofdstuk 3: KOSTENANALYSE

3.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 wordt een kostenanalyse gemaakt van beide concepten. Deze zullen een basis vormen over de totale kost van de systemen per appartement. In hoofdstuk 4 zullen op deze basis verschillende sensitiviteitsanalyses toegepast worden.

3.2 NBN EN15459-1

De NBN EN15459-1 is een Europese norm genaamd "Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings – Part 1: Calculation procedures, Module M1-14" [24]. Deze norm definieert hoe de berekeningen en evaluaties voor energiesystemen in gebouwen moeten worden uitgevoerd. De norm vormt dus de basis van deze kostenanalyse en bepaalt wat in rekening gebracht moet worden.

3.3 TCO

Total cost of ownership (TCO) is een methode om financiële analyses uit te voeren. Bij een TCO-analyse zal per 'periode' meestal in jaren gerekend een totaal som opgesteld worden van alle kosten. Vaak wordt de TCO ook beschreven als de life cycle cost (LCC). In figuur 3-1 staat de formule van de TCO-sommatie.

$$\mathbf{TCO} = \sum C_a + \sum C_b + \sum C_c + \sum C_d + \sum C_e$$

Where:

C_a = **Initial Asset Costs** / First Cost (one Time)

C_b = Cost of **Operations and Maintenance** (Annual Recurring)

C_c = Cost of **Utilities** (Annual Recurring)

C_d = Cost of **Renewal** (Periodic Recurring)

C_e = Cost at **End of Useful / Functional Life** (One Time)

Figuur 3-1: Formule TCO: deze formule geeft de totale kosten weer van een systeem. [25]

De eerste parameter stelt de initiële investering voor. Hier horen alle aankopen en investeringen bij zoals bijvoorbeeld de materiaalkosten. Deze kost zal waarschijnlijk het zwaarste doorwegen in TCO maar het is een éénmalige kost.

De tweede en derde parameter stellen de operationele kost voor. Deze parameters bevatten alle kosten die voorkomen tijdens de normale operationele werking van het te onderzoeken project of product. Voorbeelden van deze kosten zijn: elektriciteitsverbruik, brandstof, onderhoud en werkuren. Deze kost herhaalt zich elke periode en is onderhevig aan prijsstijgingen van producten of diensten. Een uitzondering hierop zijn voordelen en subsidies.

Deze parameters behoren ook bij de operationele kost, maar deze kunnen eenmalig zijn of een beperkte periode gelden.

De vierde parameter is de herinvesteringskost. Producten en diensten hebben een bepaalde levensduur en moeten periodiek vervangen of vernieuwd worden. Wanneer de te onderzoeken periode de levensduur overschrijdt, zal er een herinvesteringskost mee in rekening worden gebracht.

De vijfde en laatste parameter staat voor de restwaarde. Het is niet zo dat producten, die vervangen of vernieuwd moeten worden aan het einde van de onderzochte periode geen waarde meer hebben. Hier moet dus rekening mee gehouden worden in het onderzoek. Uit producten die aan het einde van hun levensduur zijn, kunnen vaak nog componenten gerecycleerd worden. De gerecycleerde componenten vormen een overgebleven restwaarde. Ook producten die nog niet aan het einde van hun levensduur zijn bezitten nog een restwaarde. Dit kan bijvoorbeeld zijn wanneer de levensduur van het product langer is dan de onderzochte periode. Restwaarde is ook van toepassing wanneer producten vervangen zijn tijdens de onderzochte periode en nog niet opnieuw aan vervanging toe zijn.

3.3.1 Disconteren

In een TCO-analyse wordt ook rekening gehouden met dat geld op dit moment meer waard is dan in de toekomst. Het terugrekenen van deze toekomstige kosten naar het jaar waarin de analyse uitgevoerd wordt (het basisjaar), heet het disconteren. De basis van het disconteren is de discontovoet. De discontovoet is een procentuele waarde en hangt af van het gewenste rendement en het risico van toekomstige kosten of wordt gelijkgesteld aan de actuele rentevoet [26]. In dit onderzoek is een discontovoet van 3% toegepast.

$$\frac{FV_1}{(1 + \text{Discount Rate})^n}$$

Where "FV" is the projected cash flow for each year and "n" is the number of periods out the cash flow is from the present.

Figuur 3-2: Formule verdisconteren: deze formule geeft de huidige waarde van de toekomstige kasstromen weer. [27]

De jaarlijkse totale kosten zullen dus gedeeld worden door de discontovoet en dit tot de n-de macht. Deze n-de macht stelt het jaar voor waaruit teruggerekend wordt te beginnen vanaf het basisjaar.

3.4 Ontwerpkost

Voor een project uitgevoerd kan worden, moet dit eerst ontworpen worden. Het project zal theoretisch berekend en ontworpen worden. Dit kan intern in het bedrijf maar ook door een externe partij uitgevoerd worden. Wanneer dit intern ontworpen wordt, zal de ontwerpkost de verloning van het betreffende personeel zijn. Wanneer het ontwerp wordt gemaakt door een externe partij zijn dit vaak studiebureaus. De tarieven van studiebureaus zijn opgesteld in barema's [28]. Deze barema's zijn officiële documenten waar er per type uit te voeren opdracht een tabel is voorzien. In deze tabellen staat de totale kostprijs van de werken in miljoen euro's uitgedrukt. Ook staan er verschillende klassen waaronder de basispercentages staan uitgedrukt. De klasse wordt bepaald door de bezoldiging van de ingenieur in kwestie en zijn ervaring in deze functie (figuur 3-3). De ontwerpkost is dus een percentage van de totale kost. De ontwerpkost zal echter in beide gevallen geen doorslaggevend verschil geven, daarom is ze niet opgenomen in de analyse.

Catégorie de personnel	Taux horaires hors TVA € Bezoldiging per uur exclusief BTW €			Personneelscategorie
	Expérience dans la fonction Ervaring in de functie			
	A 0 - 5 ans jaar	B 5 - 10 ans jaar	C 10 ans et plus jaar en meer	
1. Ingénieur Chef de Service, Ingénieur Chef de Département, Directeur de Projet, Expert (a)	155 - 195 €	181- 221 €	196 - 232 €	1.Ingenieur diensthoofd, Ingenieur afdelingshoofd, Projectdirecteur, Expert (a)
2. Chef de projet, Directeur de l'exécution des travaux	119 - 144 €	129 - 154 €	144 - 206 €	2. Projectleider, Werfleider
3. Ingénieur, Expert (b)	77 - 113 €	98 - 129 €	119 - 139 €	3. Ingenieur, Expert (b)
4. Projeteur, Inspecteur de chantier	72 - 108 €	93 - 123 €	118 - 134 €	4. Ontwerper, Werfinspecteur
5. Technicien, Agent technique, Agent administratif	62 - 87 €	78 - 97 €	99 - 113 €	5. Technicus, Technisch bediende, Administratief bediende
6. Mètreur, Topographe, Dessinateur d'étude, Surveillant de l'exécution	52 - 72 €	62 - 87 €	78 - 103 €	6. Opmeter, Landmeter-topograaf, Studietekenaar, Opzichter
7. Dessinateur d'exécution	44 - 61 €	57 - 77 €	72 - 91 €	7.Uitvoeringstekenaar
8. Dactylographe, Aide administratif	39 - 51 €	47 - 61 €	52 - 82 €	8. Typiste, Administratieve hulp

Figuur 3-3: Bepaling klasse barema: deze zijn gebaseerd op officiële documenten. [28]

3.5 CAPEX

Capital expenditures of kortweg CAPEX zijn de kapitaaluitgaven. Aangekochte producten of diensten met een levensduur van meer dan één jaar behoren tot de CAPEX. Dit is dus een som van de kost van alle nodige componenten om het systeem te laten werken. In tabel 3-1 staat een opsomming uitgewerkt van de in rekening genomen componenten. Niet alle componenten die in deze systemen zitten, zijn hierin opgenomen. Enkele componenten die in beide systemen voorkomen en dus dezelfde prijs omvang hebben, zijn niet aan bod kunnen komen in dit onderzoek. De vloerverwarming en bemetering worden wel mee gerekend om het resultaat toch zo reëel mogelijk voor te stellen. De bekomen resultaten stellen dus niet het prijskaartje voor van de installaties, maar kunnen wel gebruikt worden om de concepten te vergelijken.

Tabel 3-1: CAPEX: geeft de initiële kosten weer voor beide concepten.

Prijzen per appartement	Concept met BWP	Klassieke combilus
Collectieve W/W WP [€]	€ 817	€ 817
Collectief BEO-veld [€]	€ 3 630	€ 3 300
Vloerverwarming [€]	€ 4 800	€ 4 800
Bemetering [€]	€ 750	€ 750
BWP [€]	€ 3 515	/
Woningstation [€]	/	€ 1 047
Totaal CAPEX	€ 13 512	€ 10 714

Beide systemen werken met dezelfde collectieve geothermische warmtepompen. De totaalkost hiervan wordt over alle appartementen gelijk verdeeld. Het verschil in kost bij het collectief BEO-veld komt door het extra te installeren vermogen voor het BWP-concept. Dit concept kan meer energie uit het BEO-veld halen. De klassieke combilus zal dit extra vermogen elektrisch moeten leveren wat de OPEX naar boven zal trekken. Tussen de afleversets van beide concepten zit het grootste prijsverschil dit zijn dus de beslissende onderdelen voor het verschil in CAPEX. Als we de totale CAPEX van beide systemen bekijken, is het combilus concept met BWP dus de duurste optie.

3.6 OPEX

Operational expenditures wordt afgekort met de term OPEX. Dit zijn de operationele kosten voor een product, systeem of onderneming. Dit houdt in dat er rekening wordt gehouden met het verbruik, onderhoud en een eventuele herinvestering om het systeem in stand te houden. Voordelen op basis van energieprestaties worden ook in rekening gebracht ondanks dat deze, maar éénmalig zijn of voor een beperkte periode gelden.

3.6.1 Verbruik

Aangezien er in de cases geen gebruik wordt gemaakt van warmteopwekking met aardgas, zal enkel het elektriciteitsverbruik van belang zijn. Voor de berekeningen zal 392€/MWh als tarief gekozen worden, de energieprijis in februari 2022 [29]. De evolutie van de elektriciteitsprijs is iets wat mee in rekening gebracht moet worden. Deze is niet constant en hier moet dus een waarde voor vastgelegd worden. De waarde die is aangenomen is 4%, met deze factor zal elk jaar de prijs per MWh stijgen.

Tabel 3-2: Elektriciteitsconsumptie: vergelijking tussen de 2 cases op vlak van verbruik.

Elektriciteitsconsumptie	Evolutie elektriciteitsprijs [%]	Verbruik [MWh/appartement]	Prijs [€/MWh]	Totaal [€]
Concept met BWP	4%	1,83 MWh	392,014 €/MWh	€ 718
Klassieke combilus	4%	2,36 MWh	392,014 €/MWh	€ 926

De totale prijs van de elektriciteitsconsumptie is berekend voor het eerste jaar per appartement. Deze prijs stijgt naarmate de jaren vorderen.

Het verbruik per appartement voor één jaar is voor beide systemen berekend op een SWW vraag van 2200 kWh en een ruimteverwarmingsvraag van 6000 kWh. Voor de klassieke combilus en het BWP-concept is respectievelijk rekening gehouden met 5% en 3% distributieverliezen. Via Carnot wordt de COP berekend, deze bedraagt 3,64 voor de klassieke combilus en 6,16 voor het BWP-concept. Hieruit wordt het elektrisch verbruik bepaald dat in tabel 3-2 staat afgebeeld. Uiteindelijk geeft dit een berekende seasonal performance factor (SPF) van 3,47 voor de klassieke combilus en 4,48 voor het BWP-concept [30].

3.6.2 Onderhoud

Het onderhoud van een systeem is een kost die een impact heeft op de OPEX. De kosten op onderhoud zijn in tabel 3-3 uitgezet. De onderhoudskosten van de warmtepompen zijn de prijzen die Vaillant hanteert voor een standaard onderhoudscontract. Deze bedragen €200 per toestel voor een collectieve warmtepomp. Deze kost zal gelijk verdeeld worden over het aantal appartementen. Voor de afleversets zijn deze kosten van toepassing op elk appartement, deze kost bedraagt €150 per BWP en €27,43 voor het woningstation [31]. Deze kosten geven een beeld over het eerste operationele jaar op vlak van onderhoud. De prijzen stijgen elk jaar met een factor van 2%.

Tabel 3-3: geeft de onderhoudskosten weer per concept per appartement.

Onderhoud [prijs/appartement]	Evolutie prijs menselijke arbeid [%]	Collectieve W/W WP [€]	Bemetering [€]	BWP [€]	Woning station [€]	Totaal [€]
Concept met BWP	2%	€ 8,45	€ 15	€ 150	/	€ 173,45
Klassieke combilus	2%	€ 8,45	€ 15	/	€27,43	€ 50,88

De onderhoudskosten van het concept met BWP vallen duurder uit tegenover het klassieke combilus concept wegens de jaarlijkse onderhoudskost van de BWP. Deze kost heeft de grootste invloed op vlak van onderhoudskosten.

3.6.3 Herinvestering

De kosten van een herinvestering hangen af van de levensduur van de onderdelen die worden gehanteerd in het systeem.

Tabel 3-4: levensduur componenten: specifiek verschil in afleverset.

Levensduur producten [jaar]	Collectieve W/W WP	Collectief BEO-veld	Vloerverwarming	Bemetering	BWP	Woning station	PV-panelen
Concept met BWP	18 jaar	60 jaar	30 jaar	20 jaar	20 jaar	/	25 jaar
Klassieke combilus	18 jaar	60 jaar	30 jaar	20 jaar	/	18 jaar	25 jaar

Aangezien de collectieve WP een verwachte levensduur heeft van 18 jaar, zal deze als eerst vervangen worden voor beide systemen. Er zal hierbij een herinvestering kost nodig zijn €1167. Ook het woningstation zal na deze termijn vervangen worden. Er zal hierbij een herinvestering kost nodig zijn van €1495 voor de klassieke combilus. Deze waarde wordt bekomen door een prijsevolutie van menselijke producten van 2% in rekening te brengen tegenover de initiële aankoop prijs van de collectieve WP. De prijs van de herinvestering na n-aantal jaar wordt gegeven door volgende vergelijking:

$$Prijs (n - \text{aantal jaar}) = \text{Initiële kost} \cdot (1 + \text{prijsevolutie menselijke producten})^n$$

Met:

n = het aantal jaar tegenover het basisjaar

De herinvestering kost zal dus enkel van toepassing zijn wanneer de levensduur van een bepaald product overschreden wordt.

3.6.4 Voordelen

Door het gebouw energiezuinig te maken kan er korting verschaft worden, dit wordt bepaald aan de hand van EPB. Energie Prestatie en Binnenklimaat (EPB) zijn eisen op energetisch vlak waaraan een nieuw gebouw of een energetische renovatie moet voldoen [32]. Een factor hierbij is het energiepeil of E-peil, een score die aangeeft hoe energiezuinig een gebouw is. Er wordt getracht deze score zo laag mogelijk te houden want hoe lager deze score is, hoe energiezuiniger het gebouw [32].

De korting die toegekend wordt hangt af van het jaar van de bouwaanvraag. Wanneer de aanvraag voor stedenbouwkundige handeling wordt aangevraagd vanaf 1 januari 2022 tot en met 31 januari 2022, zal er 100% korting zijn op de onroerende voorheffing met een E-peil E10 [33]. Deze korting geldt voor 5 jaar. Wanneer de bouwaanvraag in dezelfde periode gebeurt voor een gebouw met E-peil E20, zal de korting op de onroerend voorheffing 50% zijn gedurende 5 jaar. Deze premies zullen behouden blijven voor het jaar 2023, met als nuance dat deze alleen nog maar gelden voor (gedeeltelijke) herbouw [34].

bouwaanvraagjaar	Maximaal E10	E11 t/m E20	E21 t/m E30	E31 t/m E40	E41 t/m E50	E51 t/m E60
vanaf 1 januari 2022 tot en met 31 december 2022	100% korting gedurende 5 jaar	50% korting gedurende 5 jaar	geen korting			

Figuur 3-4: Korting op onroerende voorheffing aan de hand van het E-peil. [33]

De combilus met BWP behoort tot de E20 wat zorgt voor een korting van € 250 [35]. De klassieke combilus valt buiten deze E20, maar door de installatie van PV-panelen kan dit systeem wel onder E20 vallen (zie §4.3.1.2). Voor dit onderzoek zal op deze premie een prijsevolutie op de onroerend voorheffing met factor 2% uitgeoefend worden voor de eerste 5 jaar.

Tabel 3-5: Korting op onroerende voorheffing voor 5 jaar.

Voordeel [€]	Jaar 0	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4
Concept met BWP (E20)	€ 250	€ 255	€ 260	€ 265	€ 271
Klassieke combilus (>E20)	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0

3.6.5 Resultaat OPEX

De uiteindelijke operationele kosten zullen weergegeven worden voor 1 wooneenheid over 20 jaar.

Tabel 3-6: Resultaat OPEX voor 20 jaar voor beide concepten per appartement.

	Concept met BWP	Klassieke combilus
Elektriciteitsverbruik [€]	€ 15 761	€ 20 335
Onderhoud [€]	€ 3 167	€ 929
Herinvestering [€]	€ 685	€ 1 563
Voordelen [€]	€ -1 226	€ 0
Totale OPEX 20 jaar [€]	€ 18 387	€ 22 827

De conclusie die uit deze waarden getrokken kan worden is dat het BWP-concept in gebruik voordeliger is. Door de combinatie van het lagere elektriciteitsverbruik en de toegekende voordelen is de OPEX aanzienlijk lager. Wat opvalt is dat de onderhoudskost bij het BWP-concept veel hoger ligt, maar dit verschil wordt deels gecompenseerd door de hogere herinvesteringskost van de klassieke combilus.

3.7 TCO resultaat

Het resultaat van de TCO-analyse komt uit de som van de totale CAPEX en OPEX waarden min de restwaarde over de onderzochte periode van 20 jaar. Per jaar worden deze waarden eerst gediscoteerd om daarna de totaalsom uit te werken om tot de TCO te komen.

Tabel 3-7: TCO resultaat: per jaar worden CAPEX en OPEX minus de restwaarde gediscoteerd, en dit over een periode van 20 jaar.

	Concept met BWP	Klassieke combilus
TCO over 20 jaar [€]	€ 29 237	€ 30 530

Uit de TCO-analyse over een periode van 20 jaar komt het BWP-concept het voordeligste uit. De initiële investeringskost per appartement van dit concept ligt aanzienlijk hoger wat op het eerste zicht het idee kan geven dat dit dus een duurder systeem is. Wanneer de operationele kost ook in rekening gebracht wordt, blijkt dit helemaal niet het geval te zijn. De parameter waar van verwacht wordt dat deze de grootste impact kan hebben in de analyse is de levensduur van de componenten. Een herinvestering is plots een heel aanzienlijke kost, indien de levensduur van de componenten dus wijzigt kan dit zeker de conclusie van de analyse veranderen.

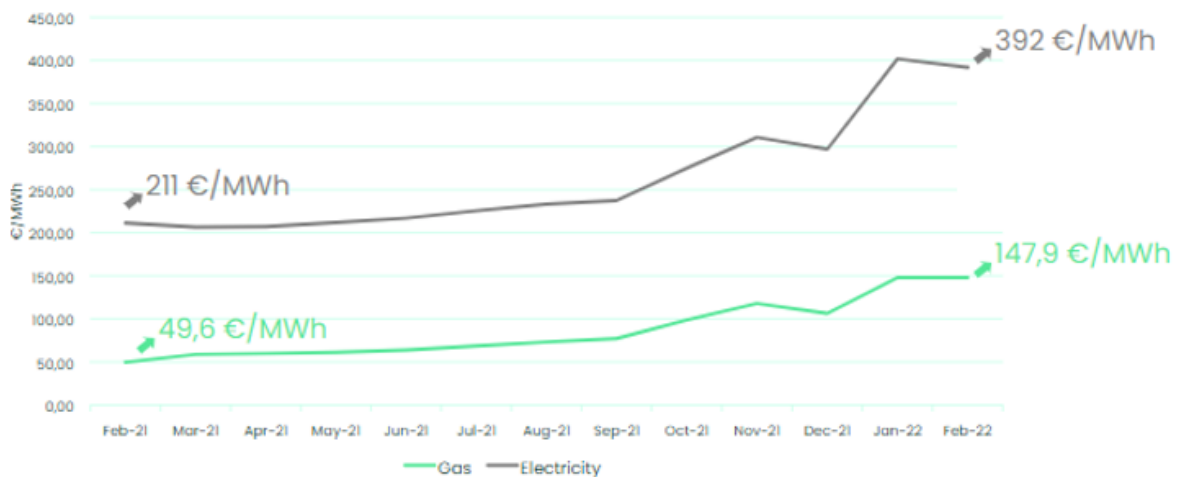
Buiten dat onder de onderzochte omstandigheden het BWP-concept de voordeligste optie is, zijn er mogelijks nog andere voordelen. Dit geeft aanleiding om onder andere omstandigheden of maatregelen de vergelijking opnieuw te maken. Zijn er omstandigheden die het BWP-concept gunstiger maken of juist niet? Dit wordt verder onderzocht in de sensitiviteitsanalyses in hoofdstuk 4.

Hoofdstuk 4: SENSITIVITEITSANALYSE

In dit hoofdstuk zullen de sensitiviteitsanalyses worden besproken die een invloed zouden kunnen hebben op de TCO. De impact op de kosten door deze parameters zullen dan ook uitgezet worden in een overzicht.

4.1 Energieprijs

Naar aanleiding van de steeds stijgende energieprijzen, is een analyse over de impact van de energieprijzen essentieel als sensitiviteitsanalyse. Op figuur 4-1 wordt de evolutie van de energieprijzen tussen februari 2021 en februari 2022 weergegeven [29]. Voor de berekeningen zal 392€/MWh als basistarief gekozen worden. Op dit basistarief zullen verschillende scenario's van prijsevolutie worden toegepast.



Figuur 4-1: gas- en elektriciteitsprijs evolutie per MWh bekeken over 1 jaar. [29]

Tabel 4-1: Elektriciteitskost en TCO bij daling of stijging van de energieprijzen.

Elektriciteitskost over 20 jaar	Concept met BWP	TCO BWP	Klassieke combilus	TCO klassieke combilus
0%	€ 11 000	€ 24 475	€ 14 192	€ 24 387
+2%	€ 13 107	€ 26 582	€ 16 910	€ 27 105
+5%	€ 17 341	€ 30 816	€ 22 373	€ 32 568
+10%	€ 28 781	€ 42 256	€ 37 133	€ 47 328
-2%	€ 9 321	€ 22 797	€ 12 026	€ 22 222
-5%	€ 7 408	€ 20 883	€ 9 557	€ 19 753
-10%	€ 5 305	€ 18 780	€ 6 844	€ 17 039

In tabel 4-1 staat de elektriciteitskost over 20 jaar per appartement bij verschillende prijsevoluties weergegeven. Deze percentages hebben geen achtergrond en zijn enkel opgesteld om het effect van prijsevolutie te kunnen onderzoeken. Het BWP-concept blijft in elk scenario de laagste elektriciteitskost hebben over 20 jaar. Als echter naar de TCO gekeken wordt, valt er een kantelpunt op. Vanaf het scenario van 0% en +2% zakt de TCO van de

klassieke combilus onder die van het BWP-concept. In het uitzonderlijke geval dat er praktisch geen prijsstijging is doorheen heel de periode, kan de klassieke combilus dus het voordeligste systeem zijn. Buiten dit geval blijft het BWP-concept de voordeligste optie en hoe meer de prijs stijgt hoe groter het verschil is in TCO.

4.2 CO₂ taks

Door het streven naar een duurzamer klimaat is de CO₂ uitstoot meer en meer een actueel onderwerp. De mogelijke invoering van een CO₂-taks lijkt dan ook niet onwaarschijnlijk.

In 2018 had België in totaal 130 miljoen ton CO₂ uitstoot, dat is 11,6 ton CO₂ per inwoner [36]. Momenteel is er in België nog geen CO₂-taks voor particulieren, wel bestaat er al een Europees initiatief voor de grote vervuilers. Dit initiatief heet de Europese handel in emissierechten (EU-ETS) en bestaat al sinds 2005 en heeft dus ook effect op sommige Belgische bedrijven [37].

In andere Europese landen bestaat er al wel één of andere vorm van CO₂-taks. Zo heeft Duitsland sinds begin 2021 een CO₂-taks op de warmte- en transportsector. Deze bedroeg toen 25 €/ton CO₂ en zal tegen 2025 systematisch stijgen tot 55 €/ton CO₂. De opbrengst van deze CO₂-taks kan vervolgens gebruikt worden om accijnzen en toeslagen op elektriciteit te verlagen. Dit wordt ook de tax shift genoemd en heeft als doel de bevolking te stimuleren duurzamere elektrische alternatieven te overwegen.

Uitgaande van twee basisscenario's waarbij de CO₂-taks 25 €/ton CO₂ en 50 €/ton CO₂ bedraagt, wordt het totaalbedrag over 20 jaar berekend rekeninghoudend met een stijging van 2% per jaar.

Er wordt gerekend met een emissie factor van 0,285 ton CO₂/MWh [38]. Deze emissiefactor wordt toegepast op het totale verbruik per installatie, hieruit bekomen we de waarden in tabel 4-2.

Tabel 4-2: CO₂-taks over 20 jaar rekeninghoudend met 2% stijging per jaar.

CO ₂ -taks over 20 jaar	Concept met BWP	Klassieke combilus
25€/ton CO ₂	€ 255	€ 317
50€/ton CO ₂	€ 492	€ 634

Deze waarden staan in rechtstreeks verband met het eerder besproken energieverbruik. Hierdoor is duidelijk dat het BWP-concept altijd voordeliger zal zijn. Het verschil in de CO₂-taks zal dus dezelfde verhouding zijn als het verschil in energieverbruik, en bedraagt 29%.

4.3 Zonnepanelen

Zonnepanelen (PV-panelen) zorgen voor een duurzame elektriciteitsproductie. De impact van zonnepanelen heeft een invloed op de totale kosten van een systeem, zowel op vlak van aankoop als op operationeel vlak.

4.3.1 OPEX met PV-panelen

4.3.1.1 Verbruik

De kostenberekening van het verbruik start bij het bepalen van het vermogen dat een paneel kan leveren. Dit vermogen wordt uitgedrukt met de eenheid kilowattpiek (kWp), wat het maximaal elektrisch vermogen bij standaardomstandigheden uitdrukt [39]. Deze waarde wordt gebruikt om het uiteindelijke paneel te kiezen en om het aantal panelen te berekenen dat geïnstalleerd dient te worden. De vermogens van zonnepanelen kunnen starten bij 250 Wp en oplopen tot een waarde van 500 Wp [40]. Voor beide cases zal gewerkt worden met een vermogen van 360 Wp/paneel [35]. Wat in theorie wil zeggen dat er 360 kWh per paneel wordt ontwikkeld onder standaardomstandigheden, toch is in de praktijk de elektriciteitsopwekking in kWh maar 90% van het aantal Wp [40]. Dit zal in rekening worden gebracht.

Voor beide concepten zal er een vermogen nodig zijn van 500 Wp/appartement. Daardoor zal er gerekend worden met een elektriciteitsopwekking van 450 kWh of 0,45 MWh [41]. Van deze 0,45 MWh zal er 0,18 MWh gebruikt worden voor auto-consumptie en zal 0,27 MWh op het elektriciteitsnet geplaatst worden. De overige elektriciteitsopwekking vanuit het net is voor beide concepten verschillend.

Tabel 4-3: Verbruikskosten met PV-panelen voor het eerste jaar, er wordt rekening gehouden met een evolutie van elektriciteitsprijs en zonnepanelen degradatie per jaar.

PV-panelen verbruik	Concept met BWP	Klassieke combilus
Elektriciteitsnetverbruik met zonnepanelen [MWh]	1,65 MWh	2,36 MWh
Elektriciteitsopwekking zonnepanelen [MWh]	0,45 MWh	0,45 MWh
Elektriciteitsopwekking zonnepanelen auto-consumptie [MWh]	0,18 MWh	0,18 MWh
Elektriciteitsopwekking zonnepanelen naar net [MWh]	0,27 MWh	0,27 MWh
Elektriciteitsconsumptie [€/MWh]	392,014 €/MWh	392,014 €/MWh
Elektriciteitsinjectie naar net [€/MWh]	35 €/MWh	35 €/MWh
Evolutie elektriciteitsprijs [%]	4%	4%
Zonnepanelen degradatie [%]	0,5 %	0,5%
Elektriciteitsnet verbruik zonder injectie [€]	€ 647,27	€ 855,57
Elektriciteitsinjectie [€]	€ -9,45	€ -9,45
Totaal elektriciteitsverbruik (voor jaar 0) [€]	€ 637,82	€ 846,12

Er is rekening gehouden met een evolutie van de elektriciteitsprijs met een factor van 4%. Ook is een factor 0,5% voor zonnepanelen degradatie aangenomen, deze factor heeft betrekking op de elektriciteitsopwekking van zonnepanelen. De injectieprijs bedraagt 35 €/MWh waardoor er een premie wordt verkregen en er een uiteindelijke verbruiksprijs kan berekend worden voor 1 appartement voor het eerste jaar [42].

4.3.1.2 Voordelen

Door het installeren van zonnepanelen zal het gebouw energetisch zuiniger worden, het E-peil in beide concepten zakt hierdoor. De grootteorde waarmee het energiepeil zakt, hangt af van de eigenschappen van een woning zoals bijvoorbeeld het verliesoppervlak [43]. Een geschatte waarde ligt van 1 punt tot 1,5 punten waarmee het E-peil verlaagt per paneel [44]. Bijgevolg zal een zakking van het E-peil zorgen voor een eventuele verhoging van een korting. Door het installeren van zonnepanelen zal het BWP-concept onder de E10 categorie vallen en de klassieke combilus onder E20. De voordelen die hierdoor verkregen zijn staan in tabel 4-4 per systeem weergegeven.

Tabel 4-4: Korting onroerende voorheffing met PV-panelen voor 5 jaar.

Voordeel [€]	Jaar 0	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4
Concept met BWP (E10)	€ -500	€ -510	€ -520	€ -531	€ -541
Klassieke combilus (E20)	€ -250	€ -255	€ -260	€ -265	€ -271

4.3.1.3 Onderhoud en herinvestering

De onderhoudskosten en herinvesteringkosten zullen nagenoeg niet veranderen wanneer er wel of geen zonnepanelen gebruikt worden. De levensduur van zonnepanelen bedraagt 25 jaar en is dus voor het eerste jaar voor de operationele kosten te verwaarlozen. Het onderhoud van de PV-panelen per jaar zal €3 zijn per appartement voor het eerste jaar, wat ook weinig impact zal hebben.

De kosten op vlak van onderhoud en herinvestering zullen dan nagenoeg dezelfde zijn als in hoofdstuk 3.

4.3.1.4 Resultaat OPEX met PV-panelen

De uiteindelijke operationele kosten met zonnepanelen worden weergegeven voor 1 wooneenheid over 20 jaar.

Tabel 4-5: OPEX met PV-panelen bekeken over 20 jaar voor 1 wooneenheid.

OPEX met PV-panelen	Concept met BWP	Klassieke combilus
Elektriciteitsverbruik [€]	€ 14 286	€ 18 859
Onderhoud [€]	€ 3 222	€ 984
Herinvestering [€]	€ 685	€ 1 563
Voordelen [€]	€ -2 452	€ -1 226
Elektriciteitsinjectie [€]	€ -198	€ -198
Totale OPEX 20 jaar [€]	€ 15 543	€ 19 982

De conclusie die uit deze waarden getrokken kan worden, is dat het BWP-concept in gebruik opnieuw voordeliger is. Wat er verandert met de installatie van zonnepanelen is dat bij beide systemen het E-peil daalt. Door dit lagere E-peil krijgen beide systemen een groter voordeel toegekend waardoor het installeren van zonnepanelen op vlak van OPEX voor beide concepten voordelig is. Ook speelt de injectie van elektriciteit terug naar het net een rol, maar dit is bij beide systemen het geval, dus maakt dit in de vergelijking geen verschil.

4.3.2 CAPEX met PV-panelen

4.3.2.1 Installatie zonnepanelen

Het installeren van zonnepanelen zorgt voor een extra investeringskost, de CAPEX zal hierdoor beïnvloed worden. De prijs hangt af van het type zonnepaneel, maar zal gemiddeld liggen bij €1,35/Wp [45]. Om de CAPEX te berekenen per appartement wordt gebruik gemaakt van panelen met een vermogen van 360 Wp. Het benodigde vermogen per appartement ligt bij 500 Wp. Het aantal panelen dat per appartement nodig zal zijn, wordt berekend met volgende formule:

$$\text{Aantal panelen/appartement} = \frac{\text{Aantal Wp nodig} / \text{appartement}}{\text{Aantal Wp geleverd} / \text{paneel}}$$

Met de bovenstaande formule wordt er een waarde bekomen van 1,3888 panelen/appartement. Deze waarde zal vermenigvuldigd worden met het aantal appartementen.

$$\text{Totaal aantal panelen} = \frac{\text{Aantal panelen}}{\text{appartement}} \cdot \text{aantal appartementen}$$

Voor een gebouw met 71 appartementen zal het aantal benodigde panelen met afronding een waarde van 100 panelen zijn. Het totale vermogen van alle panelen samen wordt dan bepaald met volgende formule:

$$\text{Totale vermogen} = \text{totaal aantal panelen} \cdot \frac{\text{Aantal Wp geleverd}}{\text{paneel}}$$

Het totale vermogen geleverd door alle panelen is 36 000 Wp voor een gebouw met 71 appartementen. Met deze waarde valt de totale installatieprijs te bepalen voor dit gebouw.

$$\text{Totale prijs voor gebouw} = \text{Totale vermogen} \cdot \frac{\text{Prijs in €}}{\text{Wp}}$$

Hierdoor wordt de prijs voor een gebouw met 71 appartementen gemiddeld gezien € 48 600. Hiermee kan de prijs per appartement berekend worden, deze bedraagt € 684,51 [45].

4.3.2.2 Installatie premie

Er zal een éénmalige investeringspremie uitgekeerd worden bij het installeren van zonnepanelen, deze premie is gebaseerd op het vermogen van een zonnepaneel [46]. In het jaar 2022 geldt dat er €300/kWp uitgekeerd wordt voor de eerste 4 kWp en er €150/kWp wordt uitgekeerd voor de schijf tussen 4kWp en 6kWp. In 2023 zal deze premie gereduceerd worden tot €150/kWp voor de eerste 4kWp en €75/kWp voor de schijf tussen 4kWp en 6kWp [47]. Voor beide cases zal er 500 Wp per appartement vermogen uitgerekend zijn, dit zorgt voor een éénmalige premie van €150/appartement voor het jaar 2022.

4.3.2.3 Resultaat CAPEX met PV

De CAPEX met PV-panelen is dezelfde als de CAPEX van de basisconcepten uit hoofdstuk 3 enkel zal deze verschillen op vlak van installatiekosten van de PV-panelen.

Tabel 4-6: CAPEX met PV-panelen: de installatie en de premie van PV-panelen worden ingecalculleerd.

Prijzen per appartement	Concept met BWP	Klassieke combilus
Totale CAPEX zonder PV-panelen [€]	€ 13 511	€ 10 713
Installatie PV-panelen [€]	€ 685	€ 685
Installatie premie [€]	€ -150	€ -150
Totaal CAPEX met PV-panelen [€]	€ 14 045	€ 11 248

Deze totale CAPEX met PV-panelen waarde geeft de totale initiële kost weer voor beide concepten. Deze geeft weer dat de initiële kosten voor een concept met BWP hoger liggen dan de initiële kosten van een klassieke combilus.

4.3.3 TCO resultaat met PV

Het resultaat van de TCO-analyse komt opnieuw uit de som van de totale CAPEX en OPEX waarden over de onderzochte periode van 20 jaar. Door de aanwezigheid van PV-panelen in deze sensitiviteitsanalyse zullen de CAPEX en OPEX veranderen wat een wijziging van TCO als gevolg heeft. Per jaar worden deze waarden eerst gediscoteerd om daarna de totaalsom uit te werken om tot slot tot de TCO te komen.

Tabel 4-7: TCO resultaat met PV panelen: de waardes per jaar zijn gediscoteerd.

	Concept met BWP	Klassieke combilus
TCO over 20 jaar zonder PV [€]	€ 29 237	€30 530
TCO over 20 jaar met PV [€]	€ 26 866	€ 28 160

De conclusie over de TCO met zonnepanelen is dezelfde als deze zonder zonnepanelen. Ondanks de extra investering in de zonnepanelen is de TCO lager dan wanneer er geen zonnepanelen geïnstalleerd werden. Zonnepanelen installeren is voor beide concepten een voordeel en lijkt dus de investering waard.

Hoofdstuk 5: RESULTATEN

Tabel 5-1: Samenvatting resultaten.

Prijzen per appartement	Concept met BWP	Klassieke combilus
Collectieve W/W WP [€]	€ 817	€ 817
Collectief BEO-veld [€]	€ 3 630	€ 3 300
Vloerverwarming [€]	€ 4 800	€ 4 800
Bemetering [€]	€ 750	€ 750
BWP [€]	€ 3 515	/
Woningstation [€]	/	€ 1 047
Totaal CAPEX	€ 13 512	€ 10 714
Elektriciteitsverbruik [€]	€ 15 761	€ 20 335
Onderhoud [€]	€ 3 167	€ 929
Herinvestering [€]	€ 685	€ 1 563
Voordelen [€]	€ -1 226	€ 0
Totale OPEX 20 jaar [€]	€ 18 387	€ 22 827
Installatie PV-panelen [€]	€ 685	€ 685
Installatie premie [€]	€ -150	€ -150
Totaal CAPEX met PV-panelen [€]	€ 14 045	€ 11 248
Elektriciteitsverbruik [€]	€ 14 286	€ 18 859
Onderhoud [€]	€ 3 222	€ 984
Herinvestering [€]	€ 685	€ 1 563
Voordelen [€]	€ -2 452	€ -1 226
Elektriciteitsinjectie [€]	€ -198	€ -198
Totale OPEX 20 jaar met PV-panelen [€]	€ 15 543	€ 19 982
TCO over 20 jaar zonder PV [€]	€ 29 237	€30 530
TCO over 20 jaar met PV [€]	€ 26 866	€ 28 160

Bij deze waarde moet er in acht genomen worden dat CAPEX en OPEX bij elkaar opgeteld niet gelijk is aan de TCO. Dit komt omdat er nog rekening moet gehouden worden met de restwaarde na een herinvestering van bepaalde componenten.

Hoofdstuk 6: CONCLUSIE

In deze scriptie is een financiële analyse uitgewerkt voor een lage temperatuur-combilus met decentrale boosterwarmtepompen en een hoge temperatuur-combilus met standaard afleversets. Deze twee concepten werden beschouwd als twee cases waarop de analyse werd uitgevoerd. Er is uitgegaan van een total cost of ownership (TCO)- analyse waarbij alle kosten doorheen een bepaalde periode in rekening worden gebracht. Dit werd gedaan aan de hand van een framework in de vorm van een Excel-bestand. Op deze kostenanalyse werden verschillende sensitiviteitsanalyses toegepast die, onder andere omstandigheden en maatregelen, een invloed zouden hebben op de TCO.

Bij de case studie werd er uit gegaan van een appartementgebouw met 71 identieke appartementen waarop beide systemen werden toegepast. De collectieve verwarmingsinstallatie was voor beide concepten dezelfde, net zoals de vloerverwarming. De dimensionering van het BEO-veld was anders voor beide concepten wegens een verschil in benodigd vermogen. Het grootste onderscheid tussen beide concepten is een discrepantie in afleversets. Hiermee werd bij de kostenanalyse rekening gehouden.

Op deze twee cases werd via een framework van de kostenanalyse een beeld ontwikkeld over het totale kostenplaatje. Deze analyse werd opgedeeld in CAPEX en OPEX, waarbij CAPEX de initiële kosten aantoonde voor alle componenten van beide concepten. Er werd een vergelijking gemaakt waarin werd aangetoond dat de initiële kosten van het boosterwarmtepomp concept duurder uitvielen dan het hoge temperatuur-combilus concept. Voor OPEX werd er gekeken naar de operationele kosten van beide cases. Hierbij werd rekening gehouden met het energieverbruik, het onderhoud, herinvestering van componenten en voordelen. Uit deze resultaten kon geconcludeerd worden dat de operationele kosten van de case met boosterwarmtepomp voordeliger uitkwamen dan bij de case met de klassieke combilus.

Uit de initiële en operationele kosten kon er een conclusie getrokken worden over de TCO, na dit te hebben verdisconteerd. De restwaarde werd hierbij ingecalculeerd. De conclusie beschouwde dat de totale kost voor het systeem met boosterwarmtepomp lucratiever was dan het klassieke combilussysteem. Hiermee werd een basis gecreëerd waarop verschillende sensitiviteitsanalyses werden toegepast. Hiermee werd de volatiliteit van elke gevoeligheidsanalyse aangetoond.

De sensitiviteitsanalyses waren gebaseerd op 3 essentiële parameters:

- Elektriciteitsverbruik
- CO₂ taks
- Zonnepanelen

Bij het elektriciteitsverbruik werd de invloed van een stijgende of dalende elektriciteitsprijs onderzocht. Deze analyse toonde aan dat een stijgende elektriciteitsprijs gunstiger was voor het BWP-concept dan het klassieke combilus concept. Niet op vlak van de absolute prijs, aangezien deze voor beide concepten steeg, maar wel relatief gezien tegenover elkaar.

Bij de invloed van de CO_2 taks werd er gekeken naar het eventueel invoeren van dit principe. Er werd uitgegaan van 2 scenario's waarin er een prijs per ton CO_2 werd weergegeven. De invloed van beide scenario's werd beschouwd op een periode van 20 jaar waaruit opgemaakt kon worden dat relatief gezien een CO_2 taks opnieuw gunstiger was voor het BWP-concept.

Bij de laatste parameter van de sensitiviteitsanalyse werd de impact van zonnepanelen onderzocht. Er werd gekeken naar OPEX en CAPEX maar dan in het geval met zonnepanelen. Daaruit bleek dat de initiële kosten voor beide cases steeg tegenover een systeem zonder zonnepanelen. Deze kost werd gecompenseerd door de operationele kosten aangezien deze voor beide concepten voordeliger uitkwamen dan voor beide concepten zonder PV-panelen. Uit de TCO kwam het gedecideerde besluit dat voor zowel het concept met BWP, als het klassieke combilus concept een installatie van zonnepanelen in acht genomen dient te worden.

Algemeen gezien kan er besloten worden, dat het installeren van zonnepanelen een positieve invloed heeft op het totale kostenplaatje voor beide concepten. Het zal dus van belang zijn altijd zonnepanelen te overwegen. Ook zal het lage temperatuur-combilus met decentrale boosterwarmtepompen concept beter bestand zijn tegen eventuele wijzigingen op duurzaam vlak. Wanneer er van dit systeem gebruik wordt gemaakt, zal dit een robuuste investering zijn in een duurzame toekomst. Tot slot is er een framework gecreëerd dat een realistisch beeld geeft over een bepaalde case door het methodisch financieel te analyseren. Dit framework, in de vorm van een Excel-bestand, zal toegepast kunnen worden op verschillende cases.

Hoofdstuk 7: BIBLIOGRAFIE

- [1] Vlaamse Overheid, “Vanaf 2021 geen aardgasaansluitingen meer bij nieuwe grote projecten.’ Wat houdt dat concreet in?,” Feb. 24, 2021. <https://www.energiesparen.be/verwarmen/aardgas-grote-projecten> (accessed Apr. 06, 2022).
- [2] S. Jacobs, “Lage temperatuur-combilus met boosterwarmtepompen: een conceptstudie,” 2019.
- [3] Vlaamse overheid, “Combilus: werking,” Jan. 28, 2021. <https://www.energiesparen.be/EPB-pedia/combilus/werking> (accessed Apr. 06, 2022).
- [4] I. Verhaert, “Conceptfiche combilus en afleversets.”
- [5] Vaillant, “Maatschets en aansluitpunten,” 2018. [Online]. Available: www.vaillant.be
- [6] rijksoverheid, “Legionella Antwoord op de meest gestelde vragen.”
- [7] S. Jacobs, I. Verhaert, M. de Pauw, and F. van Riet, “Infofiche: Combilus met boosterwarmtepompen TETRA: kwalitatieve warmtenetten,” 2021. [Online]. Available: <http://www.uantwerpen.be/en/rg/emib/>
- [8] VIS-traject instal202, “Conceptfiche : Warmtepompen.”
- [9] P. A. Østergaard and A. N. Andersen, “Booster heat pumps and central heat pumps in district heating,” *Applied Energy*, vol. 184, pp. 1374–1388, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.144.
- [10] heleen Jeurink, “Het opwekken van hernieuwbare energie in appartementsgebouwen,” Jul. 2018.
- [11] K. Burggraeve, J. de Mulder, and G. de Walque, “Fighting global warming with carbon pricing : how it works, field experiments and elements for the Belgian economy.”
- [12] B. G. Ferrin and R. E. Plank, “Total Cost of Ownership Models: An Exploratory Study,” *The Journal of Supply Chain Management*, vol. 38, no. 3, pp. 18–29, Jun. 2002, doi: 10.1111/j.1745-493X.2002.tb00132.x.
- [13] P. Viveen, “Vloerverwarming Prijs | De kosten per m², Infrezen en Offerte,” Mar. 15, 2022. <https://www.verbouwkosten.com/beste-verwarming/vloerverwarming/prijs/> (accessed Apr. 20, 2022).
- [14] Jan Van de Paer, “Deel 3: Verwarming D3-2,” 2021.
- [15] Y. Karakoyun, O. Acikgoz, Z. Yumurtacı, and A. S. Dalkilic, “An experimental investigation on heat transfer characteristics arising over an underfloor cooling system exposed to different radiant heating loads through walls,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 164, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114517.
- [16] S. J. Self, B. v. Reddy, and M. A. Rosen, “Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options,” *Applied Energy*, vol. 101, pp. 341–348, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.01.048.
- [17] “MP-M-24_00”.
- [18] M. Lanahan and P. C. Tabares-Velasco, “Seasonal thermal-energy storage: A critical review on BTES systems, modeling, and system design

- for higher system efficiency,” *Energies*, vol. 10, no. 6. MDPI AG, Jun. 01, 2017. doi: 10.3390/en10060743.
- [19] M. Tytgat, “Mail vaillant.” May 04, 2022.
- [20] I. Sarbu and C. Sebarchievici, “General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 70, pp. 441–454, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.068.
- [21] R. J. F. van Gerwen, “Kansen voor lage-temperatuurwarmte in combinatie met warmtepompen en warmte-opslag in aquifers Deelrapport: opties voor koelen en ontvochtigen”.
- [22] M. Telle and K. van ’t Klooster, “Koelen met een warmtepomp.”
- [23] VREG, “Energieprijs,” s.d. <https://www.vreg.be/nl/energieprijs> (accessed Apr. 08, 2022).
- [24] nbn bureau voor normalisatie, “NBN EN15459-1: Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings – Part 1: Calculation procedures, Module M1-14,” Brussels, May 2017.
- [25] j Lauria, “An Introduction to Total Cost of Ownership,” Apr. 2021. <https://www.appa.org/facilities-manager/an-introduction-to-total-cost-of-ownership/> (accessed Apr. 27, 2022).
- [26] S. Rienstra and W. Groot, “Advies te hanteren discontovoet bij de Life Cycle Cost analyse,” 2012.
- [27] A. Gallo, “A Refresher on Net Present Value,” 2014. [Online]. Available: www.business-literacy.com.
- [28] des Ingénieurs-Conseils C.Ir. FABI, “Raadgevend Ingenieurs à partir du 1 janvier 2014 vanaf 1 januari 2014.”
- [29] “VREG.BE.” <https://www.vreg.be/nl> (accessed Apr. 30, 2022).
- [30] R. van Hoeydonck and D. Lens, “EXCEL: financiële_analyse_bp.”
- [31] Geschillencommissie Energie, “Kosten centrale afleverset; ingevolge de Warmtewet mag een ondernemer niet meer dan redelijke kosten voor ter beschikking stellen van de afleverset bij de consument in rekening brengen.,” Oct. 02, 2015.
- [32] Vlaamse overheid, “E-peil.” <https://www.vlaanderen.be/e-peil> (accessed Apr. 29, 2022).
- [33] Vlaamse overheid, “Korting op onroerende voorheffing voor nieuwbouwwoningen met verlaagd E-peil,” 2021. <https://www.energiesparen.be/korting-op-onroerende-voorheffing-voor-nieuwbouwwoningen-met-verlaagd-e-peil> (accessed Apr. 29, 2022).
- [34] Vlaamse overheid, “Vermindering van de onroerende voorheffing voor energiezuinige gebouwen,” 2022.
- [35] P. Grillet, “Energieconcept SEDS/Surreal,” Feb. 2021.
- [36] D. Cornille, R. Schoonackers, P. Stinglhamber, and S. van Parys, “Fiscal policy instruments to mitigate climate change-A Belgian perspective.”
- [37] F. Maet and V. Goossens, “Hoe hoog wordt de CO2-taks?,” Mar. 05, 2021. <https://www.belfius.be/retail/nl/publicaties/actualiteit/2021-w09/CO2-taks/index.aspx> (accessed Apr. 28, 2022).

- [38] “The emission factors.”
https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/technical_annex_en.pdf
(accessed Apr. 30, 2022).
- [39] Energids, “Wat is een kilowattpiek?” 2022.
<https://www.energids.be/nl/vraag-antwoord/wat-is-een-kilowattpiek/1409/>
(accessed May 01, 2022).
- [40] Solvari, “Zonnepanelen vermogen,” 2022.
<https://www.zonnepanelen.net/vermogen/> (accessed May 01, 2022).
- [41] F. Grillet, “Gesprek Sural,” Apr. 22, 2022.
- [42] K. Deman, “Injectietarieven 2022: hoeveel ontvangen nieuwe prosumenten voor te veel geproduceerde elektriciteit?” Apr. 07, 2022.
<https://www.mijnenergie.be/blog/injectietarieven/> (accessed Apr. 30, 2022).
- [43] Bouw-energie, “E40 of BEN? 9 efficiënte manieren om het E-peil te verlagen,” 2018. <https://bouw-energie.be/nl-be/blog/post/e40-of-ben-9-efficiënte-manieren-om-het-e-peil-te-verlagen> (accessed May 01, 2022).
- [44] GeoTherma, “E-peil verlagen: de top 5 meest efficiënte manieren,” 2021.
<https://www.geotherma.be/e-peil-verlagen/> (accessed May 01, 2022).
- [45] Peter Viveen, “Zonnepanelen prijs | Zonnepanelen prijzen uit de praktijk,” Apr. 12, 2022. <https://www.verbouwkosten.com/zonnepanelen/prijs/> (accessed May 01, 2022).
- [46] Vlaamse overheid, “Investeringspremie van de netbeheerder voor zonnepanelen,” 2022. <https://www.vlaanderen.be/investeringspremie-van-de-netbeheerder-voor-zonnepanelen> (accessed May 01, 2022).
- [47] EnergyProtect, “Premie zonnepanelen 2022,” 2022.
https://www.energyprotect.be/nl/zonnepanelen/subsidies/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=ads&gclid=Cj0KCQjwvLOTBhCJARIsACVIdV0Tv1Bm2pMAL0xboxOWEdCoOINIsRjeZ9OzIY2Uf18Sr92ziluSZIlaAtT1EALw_wcB (accessed May 01, 2022).