



Onderzoek naar beleidsmaatregelen omtrent hybride warmtepompen in bestaande woongebouwen

Onderzoek in opdracht van het Vlaams Energie- en Klimaatagentschap

Birgit Vandeveld (EnergyVille/VITO)
Glenn Reynders (EnergyVille/VITO)
Jan Verheyen (EnergyVille/VITO)

Mohsen Sharifi (EnergyVille/VITO)
Pieter Vingerhoets (EnergyVille/VITO)

Maart 2023

Dit rapport werd opgesteld door de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), KBO 0244.195.916, en is de weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek.

Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij VITO en dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of publiek verspreid.

VITO is niet aansprakelijk voor het gebruik dat wordt gemaakt van het rapport of van de informatie vervat in het rapport. Bovendien kan elk commercieel gebruik van de informatie vervat in het rapport het verwerven van een voorafgaande toestemming van de eigenaar van deze informatie vereisen.

Managementsamenvatting

Bij het onderzoek naar de illustratieve cases werd de haalbaarheid van verwarming door middel van een warmtepomp onderzocht op basis van simulaties voor verschillende typologieën (vrijstaand, halfopen, open, appartementen) en verschillende groottes (voor wooneenheden) of mate van blootgesteldheid (voor appartementen), gecombineerd met verschillende isolatiegraden (a tot f). De isolatiegraden geven enkel een inschatting van de kwaliteit van de gebouwschil en houden geen rekening met o.m. compactheid of de aanwezige installaties en kunnen daarom niet zonder meer vergeleken worden met EPC-labels. Om de mogelijkheid tot lage temperatuurverwarming te berekenen werd onderscheid gemaakt of deze isolatiegraad de oorspronkelijke toestand is, dan wel reeds het resultaat van eerdere renovaties, om in te schatten in welke mate het oorspronkelijke afgiftesysteem overgedimensioneerd is, naast een eventueel initiële overdimensionering van dit afgiftesysteem.

Bij de simulaties werd het aandeel van de warmte geleverd door de warmtepomp versus door de ketel voor een eventuele hybride warmtepomp onderzocht, waarbij het omslagpunt tussen beide installaties afhankelijk is van de economisch meest voordelige optie. Daarbij werd de invloed van meerdere parameters (prijsverhouding, dimensionering van radiatoren en verwarmingsregime) onderzocht. Er werden zowel simulaties uitgevoerd voor woningen die nog niet gerenoveerd zijn, als voor woningen die al eerdere renovatie(s) hebben ondergaan. De oorspronkelijke isolatiegraad wordt in de matrix voorgesteld op de verticale as, de huidige isolatiegraad wordt horizontaal weergegeven. De cijfers op de diagonaal geven dus de resultaten voor woningen die nog niet gerenoveerd werden. Uit de resultaten blijkt dat vooral de prijsverhouding tussen elektriciteit en gas sterk bepalend is voor het aandeel van de warmtepomp.

prijsratio elek/gas = 4.5							prijsratio elek/gas = 3.5							prijsratio elek/gas = 2.5							prijsratio elek/gas = 1.8										
isolatie		a	b	c	d	e	f	isolatie		a	b	c	d	e	f	isolatie		a	b	c	d	e	f	isolatie		a	b	c	d	e	f
gestl_M	a	0,13						a	0,93							a	1,00							a	1,00						
	b	0,13	0,10					b	0,93	0,71						b	1,00	1,00						b	1,00	1,00					
	c	0,13	0,10	0,08				c	0,93	0,71	0,42					c	1,00	1,00	0,93					c	1,00	1,00	1,00				
	d	0,14	0,11	0,09	0,07			d	0,95	0,76	0,47	0,28				d	1,00	1,00	0,96	0,74				d	1,00	1,00	1,00	0,97			
	e	0,15	0,12	0,09	0,07	0,06		e	0,96	0,78	0,49	0,31	0,25			e	1,00	1,00	0,98	0,78	0,68			e	1,00	1,00	1,00	0,99	0,94		
	f	0,19	0,14	0,11	0,09	0,08	0,06		f	0,98	0,85	0,60	0,40	0,33	0,23		f	1,00	1,00	1,00	0,90	0,83	0,62		f	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90

Er kan besloten dat met een PEF van 2.5, vanuit het standpunt van primaire energiebesparing, warmtepompen een belangrijke rol spelen. Hybride systemen zijn vanuit dit standpunt enkel noodzakelijk voor woningen met isolatieniveau d-f, tenzij de gebouwschil reeds werd geïsoleerd van niveau f tot d. Bovendien zijn deze resultaten niet sterk afhankelijk van het gebouwtype. Wel moet worden opgemerkt dat voor de woningen met een isolatiekwaliteit d-f het nodige vermogen zodanig hoog oploopt dat de investeringskost voor de warmtepomp zeer sterk zal stijgen. In dat geval is een hybride oplossing ook een belangrijke manier om – ongeacht de operationele energiekost – de investering te drukken. Rekening houdend met de renovatieverplichting¹ en de langetermijndoelstellingen² is het echter prioritair om in te zetten op verbetering van de gebouwschil van deze woningen.

Het kantelpunt voor de rendabiliteit van de huidige generatie warmtepompen zit duidelijk in de range van prijsverhoudingen tussen 3.5 en 2.5. Waar bij 2.5 een warmtepomp meer dan 80% van de warmte levert voor woningen met isolatiekwaliteit c of beter, is dat bij 3.5 slechts het geval voor woningen die tot b of zelfs a gerenoveerd werden. Bij isolatiekwaliteit c daalt het aandeel van de warmtepomp reeds tot minder dan 50% indien de woning oorspronkelijk ook een c-niveau had.

Wordt energieprestatie een hogere prioriteit gegeven dan louter kostenminimalisatie, kunnen de resultaten bij prijsverhoudingen 2.5 en 1.8 ook richtinggevend zijn en geïnterpreteerd worden voor situaties waarbij sturing tussen warmtepompgedeelte en ketelgedeelte op basis van respectievelijk minimalisatie van primaire energie en minimalisatie van emissies zou gebeuren.

Het bijkomend voordeel van plaatsing van een PV-installatie specifiek voor de warmtepomp is beperkt, gezien de dekkingsgraad voor ruimteverwarming van ongeveer 10%. Dit is te verklaren door enerzijds de onbalans tussen de zomer (piek PV-productie) en winter (piek elektriciteitsvraag warmtepomp) en anderzijds ook door de onbalans op dagbasis waarbij de elektriciteitsvraag van de warmtepomp hoofdzakelijk geconcentreerd is in de vroege ochtend en avond. Slimme controle in combinatie met buffering kan deze dekkingsgraad verhogen.

¹ <https://www.vlaanderen.be/een-woning-kopen/renovatieverplichting-voor-residentiele-gebouwen-vanaf-2023>

² <https://www.vlaanderen.be/veka/vlaamse-langetermijnrenovatiestrategie-voor-gebouwen-2050>

De kostprijs voor gebouwgebruikers tussen verschillende mogelijke opties om een bestaande fossiele installatie te vervangen is eveneens sterk afhankelijk van de (verhouding van) de energieprijzen. Ook het nagestreefde comfortniveau in de woning (binnentemperatuur en aandeel verwarmde ruimtes) is daarbij sterk bepalend.

Op macro niveau zou een vervanging van alle bestaande te vervangen residentiële installaties door een warmtepomp vanaf 2025 in 2035 een bijkomende besparing van ongeveer 3 Mton (herschaald naar gecorrigeerd verbruiken) ten opzichte van het vervangen van deze installaties door condenserende gasketels betekenen.

Een ambitieuze uitrol van warmtepompen kan een elektrische verbruikspiek van verschillende GW met zich meebrengen tegen 2030, afhankelijk van het scenario. Ook bij massale uitrol van hybride warmtepompen kan er nog een grote impact op het elektriciteitsnet zijn, vooral wanneer deze ook in slecht geïsoleerde huizen geïnstalleerd worden. Elektrische warmtepompen installeren in de best geïsoleerde huizen is een valabele alternatieve manier om het elektriciteitsnet te ontlasten.

In deze studie werd geen rekening gehouden met eventuele kosten die gepaard gaan met het gasdistributienet langer in stand te houden door de inzet van hybride warmtepompen.

Inhoudstafel

Managementsamenvatting.....	3
Inhoudstafel	5
1. Inleiding.....	7
1.1. Onderzoeksvragen in de opdracht	7
1.2. Doelstellingen van de opdracht	8
1.2.1. Deeltaak 1: illustratieve cases (micro-economisch).....	8
1.2.2. Deeltaak 2: mogelijke vuistregels voor full electric warmtepomp	8
1.2.3. Deeltaak 3: impact op Vlaams energiegebruik en broeikasgasuitstoot (macro-economisch).....	8
2. Micro-economische analyse van de illustratieve cases	9
2.1. Cases	9
2.1.1. Geometrische parameters	9
2.1.2. Isolatiegraad	10
2.1.3. Technische installaties.....	11
2.1.4. Indicatieve bepaling bestaande toestand.....	11
2.2. Mogelijkheid tot lagetemperatuurverwarming	11
2.2.1. Methodologie.....	12
2.2.2. Onderzochte parameters	14
2.3. Resultaten dynamische simulaties.....	16
2.3.1. Invloed prijsverhouding.....	18
2.3.2. Invloed dimensionering radiatoren	19
2.3.3. Invloed verwarmingsregime.....	19
2.3.4. Zelfconsumptie PV.....	20
2.3.5. Analyse van de lucht-lucht warmtepomp in hybride opstelling als bijverwarming.....	21
2.4. Vergelijking vijf verschillende installaties volgens EPC methodologie.....	22
2.4.1. Aannames	23
2.4.2. Resultaten	23
3. Analyse warmtepomp vs. hybride warmtepomp.....	24
3.1. Algemeen	24
3.1.1. Voor- en nadelen van (hybride) warmtepomptechnologie.....	25
3.2. Technische haalbaarheid	26
3.2.1. Afgiftesysteem op lage temperatuur.....	27
3.3. Economische haalbaarheid.....	28
3.3.1. Impact PV	31
3.4. Beleid omringende landen	34
3.4.1. EU-beleid	35
3.4.2. Frankrijk	36
3.4.3. Nederland	36
3.4.4. Duitsland	37
3.4.5. Verenigd Koninkrijk	39
3.4.6. Mogelijke regelgevende aanpak voor de uitfasering van fossiele brandstoffen.....	39
4. Macro-analyse.....	41

4.1. Vlaams niveau	41
4.1.1. Aannames gebouwstock	41
4.1.2. Onderzochte pistes.....	42
4.1.3. Resultaten	43
4.2. Impact warmtepompen op de Belgische elektriciteitsvraag.....	46
Annex 1 – Resultaten 5 installaties per type en isolatiegraad	50

1. Inleiding

De zorgwekkende toestand van de Vlaamse gebouwen en hun impact op de uitstoot van broeikasgasemissies zijn stilaan bekend. Met de ambitie die Vlaanderen heeft om de broeikasgasemissies in de niet-ETS sectoren tegen 2030 met 40% te reduceren ten opzichte van 2005, is de defossilisering van de gebouwen – verantwoordelijk voor 27% van de niet ETS-broeikasgasemissies (2018) – dus cruciaal.³

Voor het grootste deel is het energiegebruik van huishoudens bestemd voor het verwarmen van de woning. Hierbij worden de fossiele brandstoffen aardgas en stookolie, met respectievelijk 64% en 24% (2018), veruit het meest toegepast.

Terwijl de klimaatcrisis een mondiale problematiek is, heeft de energiecrisis ook een onmiddellijke en directe economische impact op de Vlaamse huishoudens. De sterke stijgingen in 2022 van de energieprijzen zorgden voor een zware druk op het budget van vele huishoudens. De energievraag verminderen en tegelijkertijd een voldoende hoog comfort garanderen, is de meest duurzame manier om deze prijsstijgingen op te vangen en de energiefactuur blijvend te verlagen.

Het verduurzamen van het gebouwenpark, zowel residentieel als niet-residentieel, is bijgevolg een grote uitdaging. Op Europees niveau wordt deze verduurzaming hoofdzakelijk gestuurd door de EPBD regelgeving, die geïmplementeerd werd via maatregelen op niveau van de lidstaten of gewesten.

Zo moeten nieuwbouwwoning in Vlaanderen sinds 2006 voldoen aan de EPB-regelgeving die stelselmatig verstrengd werd, wat leidt tot de huidige BEN-norm voor nieuwbouw.

Voor bestaande gebouwen was er lange tijd geen verplichting tot een minimale energieprestatie. De invoering van het EPC in 2008 zorgde wel voor een eenduidige informatie over de energiezuinigheid van een woning. Een theoretische berekening, los van het gebruikersprofiel, geeft toekomstige kopers en huurders daardoor een eenvoudige vergelijkingsbasis.

Recent werd voor bestaande woningen echter de renovatieplicht voorgesteld. Vanaf 2023 zullen woningen met een label E of F die verkocht of verhuurd worden, gerenoveerd moeten worden tot een label D of beter. Dat houdt in dat het theoretisch berekend jaarlijks primair energiegebruik voor deze woningen minder dan 400 kWh/(m²jaar) zal moeten bedragen.

Naast deze verplichte renovatie van de energetisch meest slechte woningen, moeten ook de energiedoelstellingen voor 2050 in beschouwing genomen worden. Hoewel er momenteel geen verplichtingen verbonden zijn aan deze doelstellingen, is het bij energierenovaties aanbevolen toekomstgericht te denken. De energiedoelstellingen voor 2050 die werden opgesteld binnen het kader van het Renovatiepact, volgen een tweesporenbeleid waarbij ofwel een pakket aan afzonderlijke maatregelen gevolgd kan worden, of een specifiek label (A of A+) als einddoel wordt gesteld. Deze langetermijndoelstellingen vinden ook aansluiting bij het voorstel tot aanpassing van de EPBD regelgeving, waar gestreefd wordt naar defossilisering van het gebouwenbestand tegen 2050⁴.

De transitie naar een duurzamere gebouwde omgeving die minder energie verbruikt is een complex vraagstuk met meerdere variabelen. Deze studie zoomt specifiek in op de rol die (hybride) warmtepompen kunnen spelen in de defossilisering van de energievraag van residentiële woningen in Vlaanderen. Daarbij worden verschillende aspecten onderzocht op micro- en macro-economisch niveau.

1.1. Onderzoeksvragen in de opdracht

Sinds de invoering van de Energieprestatieregelgeving zijn de nieuwbouwwoningen er sterk op vooruit gegaan qua energiezuinigheid en comfort. Echter, een aanzienlijk deel van het huidige woningenpark in Vlaanderen dateert van voor deze periode en was tijdens de bouw onderworpen aan geen of weinig eisen qua isolatie. Het merendeel van deze woningen zal ook nog deel uitmaken van het gebouwenbestand in 2050. Het verduurzamen van deze bestaande woningen is dus een belangrijke schakel om de Vlaamse klimaatdoelstellingen te halen.

Door de toenemende isolatiekwaliteit in nieuwbouwwoningen en de verplichting tot toepassing hernieuwbare energie in nieuwbouwwoningen, raakt ook het gebruik van warmtepompen in deze categorie steeds meer

³ <https://www.milieurapport.be/sectoren/huishoudens/brongebruik/energiegebruik>

Vlaamse Regering, "DERDE VOORTGANGSRAPPORT VLAAMS MITIGATIEPLAN 2013-2020," 2020

⁴ <https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/proposal-recast-energy-performance-buildings-directive.pdf>

ingeburgerd. Het aandeel van warmtepompen in nieuwbouwwoningen zal nog verder toenemen met het zicht op het verbod op een aardgasaansluiting in nieuwbouwwoningen met vergunningsaanvragen vanaf 2025.

Waar in bestaande woningen reeds maatregelen zijn uitgevoerd om de energievraag te verminderen, is het beschikbaar vermogen van het originele afgiftesysteem vaak groter dan de huidige behoefte. Hierdoor kan de toevoertemperatuur lager, en is de installatie van een warmtepomp eventueel mogelijk zonder vloer- of wandverwarming te moeten installeren. Het benodigde vermogen en/of de aanvoertemperatuur in de koudste periodes is in sommige gevallen echter nog te hoog om op een efficiënte manier volledig naar een warmtepomp over te schakelen.

De markttuitrol van hybride warmtepompen is momenteel slechts heel beperkt en de meningen over deze technologie als (tussen)oplossing om bestaande woningen te verduurzamen zijn tegenstrijdig. De aanleiding van deze studie is dan ook om het Vlaams Energie- en Klimaatagentschap (VEKA) op een wetenschappelijk onderbouwde manier de impact van beleidsmaatregelen betreffende de verplichte invoering van (al dan niet hybride) warmtepomp te kunnen evalueren.

1.2. Doelstellingen van de opdracht

De opdracht bestaat er in de impact van maatregelen betreffende een verplichting tot installatie van minstens een hybride warmtepomp in specifieke situaties te onderzoeken op micro- en macro-economisch niveau.

De algemene doelstelling werd verder opgesplitst in volgende drie deeltaken.

1.2.1. Deeltaak 1: illustratieve cases (micro-economisch)

Er werd gevraagd om voor (minstens) drie typegebouwen en voor zes isolatiegraden (weerspiegeling gemiddelde EPC labels A t.e.m. F) een kostprijsberekening te maken (zowel energie, investering als totaal), aangevuld met een berekening van het energiegebruik en de broeikasgasuitstoot. Voor deze berekeningen moesten twee startsituatie worden verondersteld: ofwel het theoretisch jaarlijks energiegebruik zoals berekend in een EPC, ofwel het werkelijk verbruik voor een standaard gebruikersprofiel. De door te rekenen maatregelen gaan over de vervanging van een bestaande ketel (opwekker voor ruimteverwarming en sanitair warm water) door:

- een nieuwe condenserende gasketel,
- de combinatie van een nieuwe condenserende gasketel met een lucht-lucht warmtepomp in de leefruimte,
- een hybride warmtepomp (gasketel met lucht-water warmtepomp),
- een lucht-water warmtepomp of
- een geothermische warmtepomp.

Voor elk van deze gevallen werd gevraagd om de toevoertemperatuur van het afgiftesysteem te bepalen, gezien deze een invloed heeft op de efficiëntie en investerings- en werkingskosten van de ketel en/of de warmtepomp. Aanvullend werd gevraagd de impact van een bijkomende PV-installatie te onderzoeken.

1.2.2. Deeltaak 2: mogelijke vuistregels voor full electric warmtepomp

De resultaten van de berekeningen in deeltaak 1 vormen de basis voor deeltaak 2, waarbij deze werden vergeleken op basis van enkele differentiërende kenmerken van de woningen. Het doel van deze deeltaak was om te kijken of een hybride warmtepomp in bepaalde situaties een overbodige tussenstap is.

Daarnaast was gevraagd om in deeltaak 2 een analyse uitgevoerd van het beleid (wetgeving, communicatie, etc.) en onderzoek in onze omringende landen (UK, Frankrijk, Nederland en Duitsland) over de voorwaarden waar een woning aan moet voldoen om een full-electric warmtepomp te installeren.

1.2.3. Deeltaak 3: impact op Vlaams energiegebruik en broeikasgasuitstoot (macro-economisch)

Deeltaak 3 onderzoekt de macro-economische impact van scenario's met combinaties van mogelijke maatregelen op het Vlaams energiegebruik en de broeikasgasuitstoot.

2. Micro-economische analyse van de illustratieve cases

Voor de micro-economische analyse worden eerst de representatieve geometrieën bepaald, waarna de te beschouwen isolatiegraden worden vastgelegd. Door de combinatie van de representatieve geometrieën met deze isolatiegraden, ontstaan door te rekenen varianten waarvoor de mogelijkheid tot lage temperatuursverwarming wordt onderzocht, gezien de afgiftetemperatuur bepalend is voor de efficiëntie van een warmtepomp. Op basis van dynamische simulaties werd bepaald welk aandeel van de warmtevraag door een warmtepomp wordt gedekt in geval van een hybride systeem, waarbij een economisch omslagpunt wordt vooropgesteld. De invloed van meerdere parameters op deze berekening werd daarbij onderzocht. Naast de dynamische simulatie werd ook de berekening gemaakt volgens de geldende EPC methodologie, voor de vijf gevraagde (combinaties van) installaties.

2.1. Cases

Voor de illustratieve cases werden een eerste opsplitsing gemaakt volgens vier woningtypes: een vrijstaande woning, een halfopen woning, een rijwoning en een appartement. Bijkomend werd onderscheid gemaakt qua grootte voor de woningen en qua mate van ingeslotenheid (aantal schildelen grenzen aan de buitenomgeving) voor het appartement. Dit resulteerde in volgende 11 wooneenheden, met de verder gebruikte korte naamgeving per type:

- Open_L: Vrijstaande woning – groot
- Open_M: Vrijstaande woning – gemiddeld
- Open_S: Vrijstaande woning – klein
- HOB_L: Halfopen – groot
- HOB_M: Halfopen – gemiddeld
- HOB_S: Halfopen – klein
- Gesl_L: Rijwoning – groot
- Gesl_M: Rijwoning – gemiddeld
- Gesl_S: Rijwoning – klein
- App_in: Appartement – ingesloten
- App_ex: Appartement – blootgesteld

Merk op dat bij deze bepaling geen opsplitsing op basis van label wordt gemaakt, gezien de isolatiegraad van de woning wordt vastgelegd in een volgende stap. Ook een opsplitsing op basis van bouwjaar werd niet gemaakt, gezien deze meestal gebruikt wordt voor een indicatie van de hoeveelheid gebruikte isolatie, die in deze studie wordt losgekoppeld via de isolatiegraad.

2.1.1. Geometrische parameters

Voor de bepaling van de geometrische eigenschappen van deze 11 wooneenheden wordt niet uitgegaan van werkelijke wooneenheden, maar wordt gewerkt met het gemiddelde van de geometrische eigenschappen voor de specifieke subset van wooneenheden uit de energieprestatiedatabank (versie 2016). Daarbij werden de aanwezige wooneenheden eerst verdeeld volgens types en vervolgens per type in drie subsets verdeeld op basis van beschermd volume voor de woningen. Vervolgens werd per deelset van de energieprestatiedatabank een gemiddelde genomen voor de relevante energetische parameters (beschermd volume, bruikbare vloeroppervlakte, oppervlakte van de verschillende schildelen, ...).

Voor de appartementen werd een aangepaste werkwijze gevolgd, waarbij ingesloten en blootgestelde appartementen werden geïdentificeerd. Als ingesloten appartement werd daarbij verondersteld dat het appartement geen vloer- of dakoppervlak als verliesoppervlakte heeft, en dat de verhouding van gevel tot vloeroppervlakte kleiner is dan 0,3, wat een inschatting is voor appartementen met maar een geveldeel grenzend aan de buitenomgeving. Analooog werd voor blootgestelde appartementen gezocht naar appartementen die geen vloer als verliesoppervlakte hebben, maar wel een dak (of plafond). Gezien we bij deze appartementen uitgaan van minstens drie gevels grenzend aan de buitenomgeving, werd gefilterd op een verhouding van verliesoppervlakte van de gevel ten opzichte van de bruikbare vloeroppervlakte van minstens 1. Vervolgens werden op deze twee subsets opnieuw de gemiddelden berekend voor de nodige geometrische kenmerken. De voornaamste geometrische kenmerken van de verschillende wooneenheden zijn samengevat in

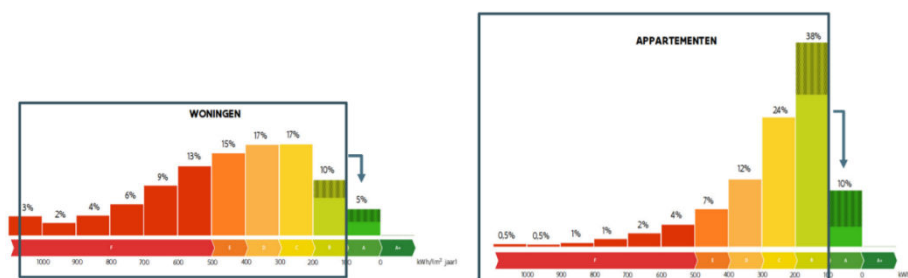
Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht geometrische kenmerken per wooneenheid

Eenheid	Bescherm volume	Bruikbare vloeropp.	Gevelopp. (opaak)	Gevelopp. (transparant)	Deuopp.	Dakopp.	Vloeropp.
Gesl_S	297 m ³	102 m ²	59 m ²	11 m ²	4 m ³	61 m ²	56 m ²
Gesl_M	429 m ³	143 m ²	77 m ²	17 m ²	4 m ²	77 m ²	70 m ²
Gesl_L	636 m ³	203 m ²	106 m ²	23 m ²	6 m ²	100 m ²	89 m ²
HOB_S	316 m ³	110 m ²	103 m ²	14 m ²	4 m ²	71 m ²	66 m ²
HOB_M	449 m ³	152 m ²	129 m ²	17 m ²	8 m ²	92 m ²	84 m ²
HOB_L	645 m ³	210 m ²	163 m ²	20 m ²	12 m ²	121 m ²	107 m ²
Open_S	365 m ³	127 m ²	138 m ²	19 m ²	4 m ²	102 m ²	95 m ²
Open_M	542 m ³	182 m ²	173 m ²	24 m ²	8 m ²	136 m ²	123 m ²
Open_L	788 m ³	256 m ²	211 m ²	29 m ²	12 m ²	177 m ²	152 m ²
Apt_in	249 m ³	85 m ²	22 m ²	23 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²
Apt_ex	248 m ³	86 m ²	51 m ²	25 m ²	0 m ²	86 m ²	0 m ²

2.1.2. Isolatiegraad

Naast de geometrische parameters is ook de isolatiegraad een belangrijke factor in de voorliggende onderzoeksvraag. Er werd gevraagd om zes gevallen door te rekenen die de gemiddelde isolatiegraad weerspiegelen van EPC-label A tot en met F. Gezien het EPC-label niet enkel afhankelijk is van geometrie en isolatiegraad, maar ook van de aanwezige technische installaties, zal het onderscheid niet op EPC-label gemaakt worden, maar wel op het isolatieniveau van de individuele schildelen. Daarbij werd het pakket aan maximale U-waarden van de huidige EPB-eisen, dat grotendeels overeenkomt met een van beide sporen van de langetermijndoelstellingen voor 2050, als uitgangspunt genomen worden voor isolatiegraad a, die verwacht wordt representatief te zijn voor EPC-label A. De maximale U-waarden van bij de invoering van de EPB-regelgeving in 2006 werden als bijkomende set gebruikt worden voor isolatiegraad b. Aanvullende gegevens voor isolatiegraden die de andere labels representeren zullen bepaald worden op basis van de TABULA gebouwtypologie en de analyse van de EPC databank gemaakt binnen het Steunpunt Wonen⁵ en de gegevens uit 'EPB in cijfers'⁶ en meer specifiek het 'Cijferrapport: 10 jaar Energieprestatieregelgeving'⁷. Gezien EPC-label F een grote range aan mogelijke kengetallen (>500 kWh/(m²jaar) omvat, zoals getoond in Figuur 1,



konden ook de U-waarden voor de corresponderende isolatiegraad sterk variëren.

Figuur 1: Spreiding van de woningen (links) en appartementen (rechts) volgens EPC-label (bron: VEKA, presentatie 5 jaar Renovatiepact)⁸

⁵ https://archief.steunpuntwonen.be/Documenten_2012-2015/Onderzoek_Werkpakketten/WP5_Samenvattend_rapport_Analyse_van_de_epc_resultaten_tem_2014.pdf

⁶ <https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/epb-beleid/epb-in-cijfers>

⁷ Cijferrapport: 10 jaar energieprestatieregelgeving. Procedures, resultaten en energetische karakteristieken van het Vlaamse gebouwenbestand – periode 2006 – 2015, Vlaams Energieagentschap, april 2016.

⁸ <https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/studiedag%205%20jaar%20Renovatiepact%20-%20VEA.pdf>

De U-waarden werden bepaald op basis van de verschillende bronnen en zijn voor de zes isolatiegraden samengevat in onderstaande tabel. Ook de gehanteerde luchtdichtheid per isolatiegraad is hierbij opgenomen.

Tabel 2: Veronderstelde U-waarden in $W/(m^2K)$ en luchtdichtheid in $m^3/(hm^2)$ per isolatiegraad

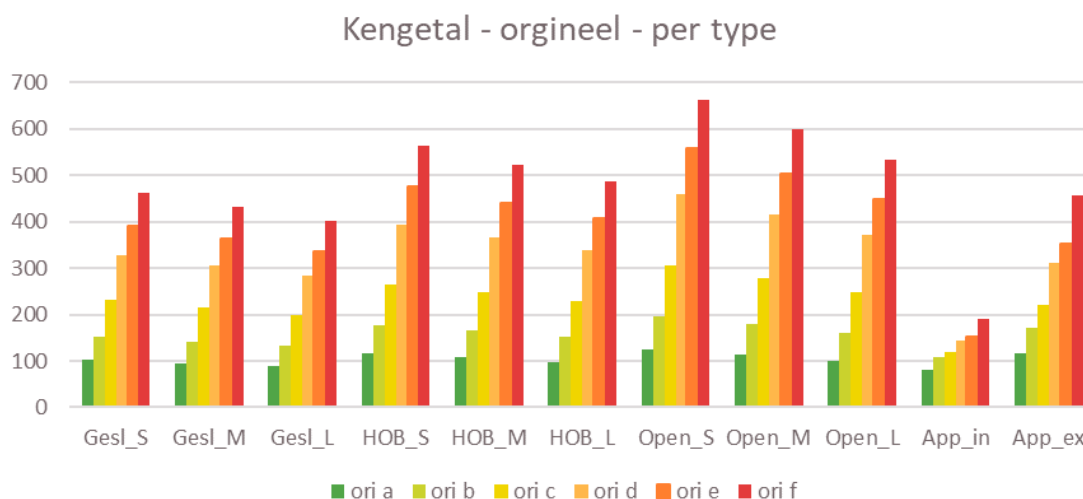
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Ramen	1,5	2,5	3	3,5	3,6	5
Daken en plafonds	0,24	0,4	0,8	1,2	1,3	1,9
Muren	0,24	0,6	0,6	1,4	1,9	2,2
Vloeren	0,24	0,4	1,5	2,1	2,7	2,8
Deuren en poorten	2	2,9	3,5	3,8	4	4
Luchtdichtheid	3.2	4	6	8	10	12

2.1.3. Technische installaties

Om na te kijken of de waarden voorgesteld voor de isolatiegraden zorgen voor een voldoende spreiding in de labels zoals vooropgesteld, werden controleberekeningen uitgevoerd voor de 11 geïdentificeerde geometrieën. Daarvoor werd een veronderstelling gemaakt van een condenserende gasketel die instaat voor ruimteverwarming (RV) en sanitair warm water (SWW). Omwille van de focus op de schil, werd verder verondersteld dat er geen PV aanwezig is en geen mechanische ventilatie.

2.1.4. Indicatieve bepaling bestaande toestand

Op basis van de geometrische kenmerken en de aannames voor de isolatiegraad en de technische installaties, werden de EPC-labels voor de verschillende combinaties doorgerekend. Figuur 2 toont aan dat de gevraagde spreiding hierdoor bereikt wordt. De ingesloten appartementen scoren nooit slechter dan label B, maar dat is gezien hun beperkte verliesoppervlakte een logisch resultaat.



Figuur 2: EPC-label per type wooneenheid voor de verschillende isolatiegraden

2.2. Mogelijkheid tot lagetemperatuurverwarming

Om de mogelijkheid tot lagetemperatuurverwarming te onderzoeken wordt aan de hand van dynamische energiesimulaties een afweging gemaakt tussen warmtelevering met een condenserende gasketel dan wel met een warmtepomp. Deze afweging veronderstelt dat beide systemen aanwezig zijn (hybride toestand) en dat de keuze tussen gas of elektriciteit (via de warmtepomp) gemaakt wordt aan de hand van het verschil in

elektriciteits- en gasprijs enerzijds en het verschil tussen COP van de warmtepomp en rendement van de gasketel anderzijds. De afweging wordt gemaakt voor elk uur van het jaar en dit voor verschillende uitgangspunten. Onderstaande paragrafen bespreken achtereenvolgens de methodologie en de set aan varianten die werden bekeken.

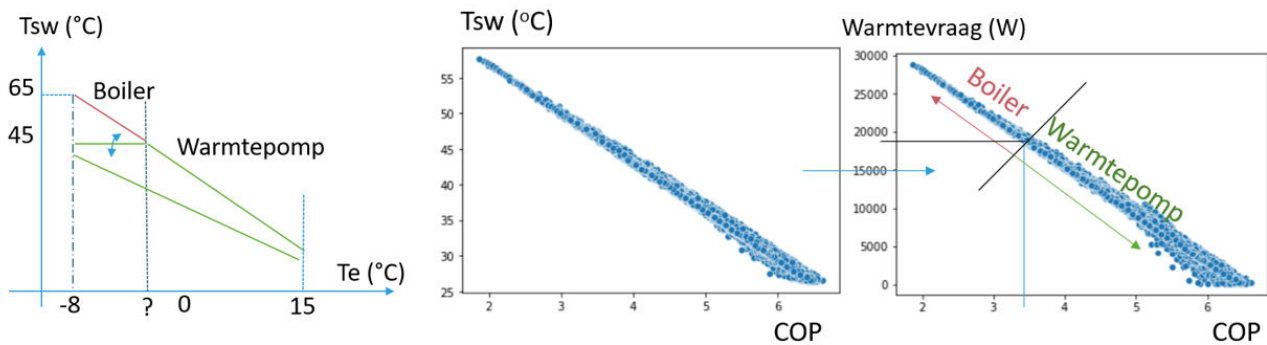
2.2.1. Methodologie

De methodologie voor het bepalen van het aandeel van de warmtevraag dat wordt ingevuld door de warmtepomp in een hybride configuratie is gebaseerd op een economische afweging waarbij de warmtepomp zal worden ingezet indien de elektriciteitskost voor het produceren van die warmte lager ligt dan de overeenkomstige gaskost. Beide worden respectievelijk berekend door:

$$C_{elek} = \frac{p_{elek} Q_{verw,bruto}(t)}{COP(t)}$$

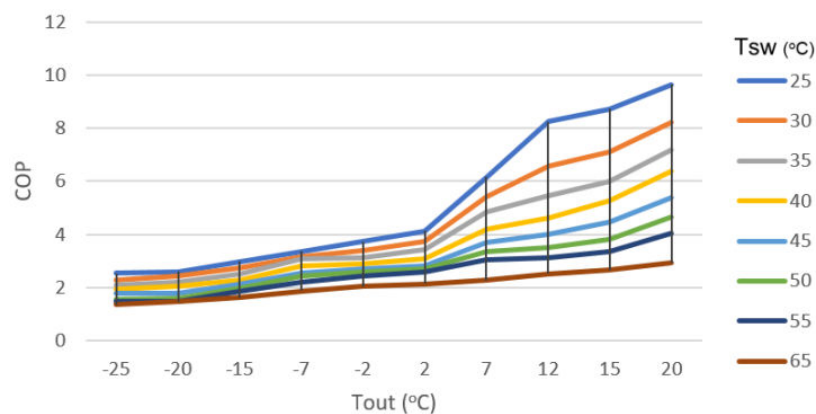
$$C_{gas} = p_{gas} Q_{verw,bruto}(t) / \eta_{prod}$$

met $Q_{verw,bruto}(t)$ de bruto warmtevraag voor tijdstip t , $COP(t)$ de coëfficiënt of performance van de warmtepomp in functie van de tijd, p_{elek} en p_{gas} respectievelijk de elektriciteitsprijs en gasprijs en η_{prod} het rendement van de gasboiler. In deze vergelijking is het belangrijk om mee te nemen dat de COP van de warmtepomp niet constant is, maar functie is van het werkingsregime. In deze studie is die afhankelijkheid gereduceerd verondersteld tot een afhankelijkheid in functie van de vertrektemperatuur van het water in het verwarmingssysteem (T_{sw}) enerzijds en de buitentemperatuur (T_{out}) anderzijds. Het schematische overzicht van deze relatie en hoe daaruit de draaiuren voor de warmtepomp en de boiler berekend worden is weergegeven in Figuur 3.



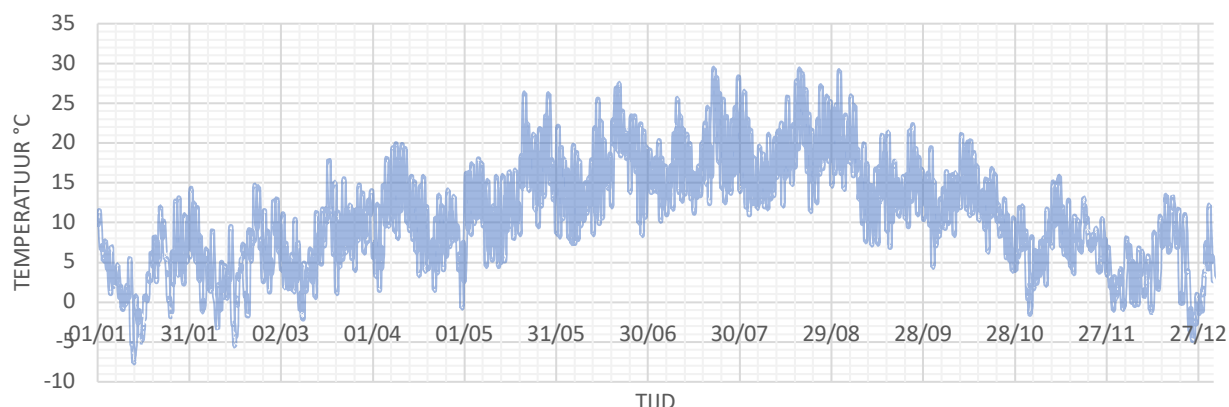
Figuur 3: Schematische voorstelling van de berekening: (links) relatie tussen buitentemperatuur en aanvoertemperatuur voor verwarming zoals opgelegd in de stooklijn, (midden) de relatie tussen de aanvoertemperatuur en de temperatuursafhankelijke COP zoals bekomen uit Figuur 4; (rechts) relatie tussen COP en warmtevraag met aanduiding van de opplitsing tussen de warmtevraag die ingevuld wordt door de warmtepomp (scenario $COP > 3.5$) en de warmte die ingevuld wordt door de boiler.

Figuur 4 toont deze afhankelijkheid voor de lucht-water warmtepomp die werd gehanteerd in deze studie. De gegevens zijn gebaseerd op vandaag commercieel beschikbare systemen.



Figuur 4: COP van de gesimuleerde lucht-water warmtepomp in functie van vertrektemperatuur (T_{sw}) en buitentemperatuur (T_{out})

Voor de dynamische simulaties is de buitentemperatuur bepaald voor de standaard klimaatfile (TMY3) van Ukkel. In de context van de klimaatverandering is dit een relatief conservatieve klimaatfile omdat deze gebaseerd is op historische weerdata, waar men de laatste jaren typisch zachtere winters ziet. Figuur 5 toont de buitenluchttemperatuur zoals deze is meegenomen in de berekeningen via de het referentieklimaat.



Figuur 5: Buitenluchttemperatuur zoals opgenomen in de referentieklimaatfile.

Tabel 3: Vergelijking maandgemiddelde temperatuurgegevens voor simulatie vs. KMI data (2021 en 'normaal jaar')

	klimaatfile	meteo.be	
		2021	Normaal
Jan	3.6	3	3.7
Feb	4.5	5.3	4.2
Mar	7.3	7.4	7.1
Apr	9.8	7.3	10.4
May	13.9	11.6	13.9
Jun	16.5	18.6	16.7
Jul	18.1	17.9	18.7
Aug	18.7	16.9	18.4
Sep	15.3	16.6	15.2
Oct	11.6	11.5	11.3
Nov	6.7	6.4	7.2
Dec	4.0	5.6	4.3

De vertrektemperatuur hangt af van twee elementen. Enerzijds van de ontwerptemperatuur van het verwarmingssysteem. In deze studie zijn volgende temperatuurregimes verondersteld:

- 90°C/70°C voor isolatiegraad f en e
- 75°C/55°C voor isolatiegraad d en c
- 65°C/55°C voor isolatiegraad b en a

Anderzijds wordt een regeling met stooklijn verondersteld waarbij de watertemperatuur daalt naarmate de buitentemperatuur toeneemt. Dat betekent dat de ontwerptemperatuur nodig geacht wordt bij -9°C buitentemperatuur, maar dat lagere aanvoertemperaturen gebruikt worden naarmate het buiten warmer wordt. Indien die warmte geproduceerd wordt met de warmtepomp zal de COP van die warmtepomp dus sterk gaan stijgen met stijgende buitentemperatuur. De minimale aanvoertemperatuur bedraagt 30°C.

Rekening houdend met deze temperatuurafhankelijke COP kan voor elk gebouw aan de hand van de dynamische simulaties het aandeel van de warmtevraag berekend worden dat op economisch rendabele manier qua werkingskost kan worden ingevuld door de warmtepomp. Dit doen we voor alle woning- en isolatievarianten. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen gebouwen in hun “oorspronkelijke toestand” en

gerenoveerde woningen. Bij de woningen in “oorspronkelijke toestand” is de veronderstelling dat de isolatiekwaliteit nog niet werd verbeterd waardoor het geïnstalleerde vermogen aan afgifte overeenkomt met het nodige ontwerpvermogen voor die isolatiekwaliteit. Bij de gerenoveerde woningen wordt verondersteld dat de gebouwschil werd gerenoveerd, maar dat het oorspronkelijke afgiftesysteem werd behouden. Dat afgiftesysteem is bijgevolg overgedimensioneerd voor de gerenoveerde toestand. Bijgevolg zal de vertrektemperatuur bij de gerenoveerde woning significant lager kunnen liggen dan in diens oorspronkelijke toestand.

2.2.2. Onderzochte parameters

Naast de verschillende woning- en isolatievarianten, is de oefening tevens uitgevoerd voor verschillende invloedsparameters.

A. Energieprijzen

Omdat de verhouding tussen gas- en elektriciteitsprijs een belangrijke invloed hebben op de resultaten vormen zij onderdeel van een eerste set variaties. Er werd onderscheid gemaakt tussen 5 prijsscenario's. De eerste 4 veronderstellen een constante gas- en elektriciteitsprijs doorheen het jaar:

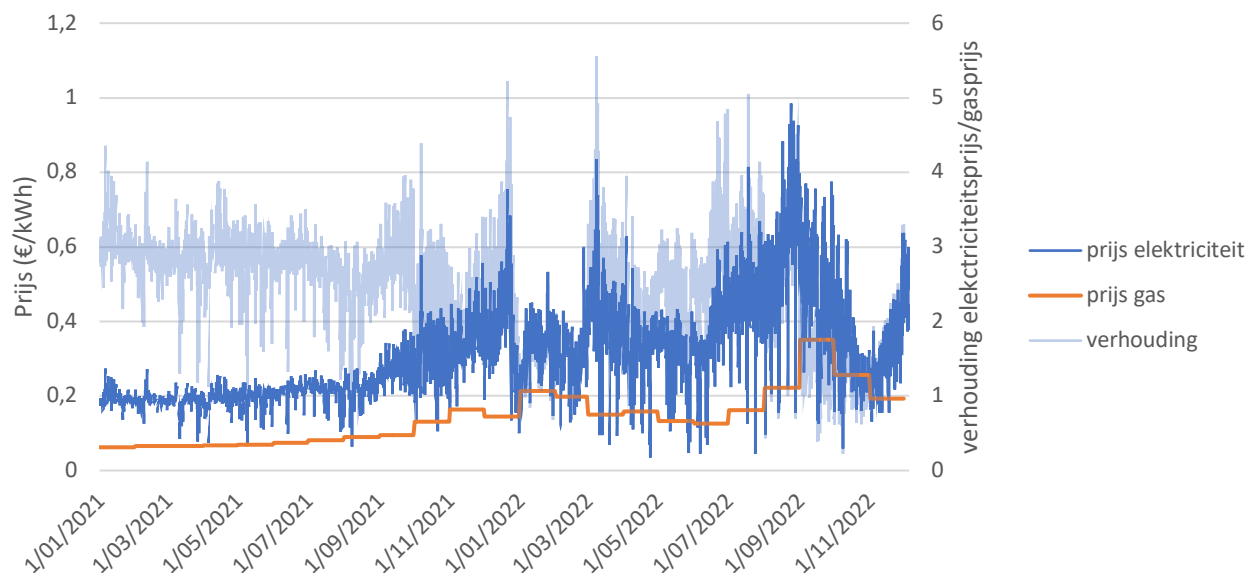
- $C_{ele}/C_{gas} = 4.5 \rightarrow$ dus bij **COP < 4.5** heeft warmtepomp hogere energiekost dan gasketel (*cfr. Pre 2022*)
- $C_{ele}/C_{gas} = 3.5 \rightarrow$ dus bij **COP < 3.5** heeft warmtepomp hogere energiekost dan gasketel (*cfr. Q3 2022*)
- $C_{ele}/C_{gas} = 2.5 \rightarrow$ dus bij **COP < 2.5** heeft warmtepomp hogere energiekost dan gasketel (*cfr. PEF⁹ EPB/EPC*)
- $C_{ele}/C_{gas} = 1.8 \rightarrow$ dus bij **COP < 1.8** heeft warmtepomp hogere energiekost dan gasketel

Naast deze vier prijsscenario's werd ook een dynamisch tarief gesimuleerd. Hiertoe werd de prijszetting van het dynamische tarief van Engie¹⁰ overgenomen en toegepast op de Belpex prijzen van 2021 en 2022. Figuur 6 toont de evolutie van de dynamische elektriciteitsprijs in vergelijking met de gasprijs¹¹. Op de rechtse as wordt de verhouding tussen beiden uitgezet die voor 2021 en 2022 respectievelijk 2.65 en 2.1 bedraagt. Opvallend is daarbij telkens de zeer lage waarden voor elektriciteit in de winterperiode. Daarnaast lag de verhouding in de eerste helft van 2021, door de zeer lage gasprijs, nog op 2.84. Ten slotte is het interessant om op te merken dat naast de stijging van de gemiddelde elektriciteitsprijs, ook de dagelijkse schommelingen enorm gestegen zijn. Zoals verder aangehaald bij de analyse van de resultaten schept dit opportuniteiten om de thermische buffercapaciteit van woningen en de opslagcapaciteit van sanitair warm water te gaan gebruiken om met actieve vraagsturing van de warmtepomp de energiekosten – en de match met hernieuwbare energieproductie – te gaan optimaliseren.

⁹ PEF = primaire energiefactor; de gehanteerde PEF bij de EPC- en EPB-methodologie bedraagt 2.5

¹⁰ <https://www.engie.be/nl/dynamic-tarief/>

¹¹ Data via: https://dashboard.vreg.be/report/DMR_Prijzen_gas.html (woning 23.260 kWh)



Figuur 6: Vergelijking evolutie dynamische elektriciteitsprijs op basis van Belpex, evolutie gasprijs (vreg.be) en de verhouding tussen beiden (rechtse as)

B. Geïnstalleerd vermogen afgifte

In de basiscase wordt verondersteld dat het geïnstalleerde vermogen aan afgifte overeenkomt met het ontwerpvermogen van de woning. Echter werden historisch vaak grotere (en meer) radiatoren geplaatst dan strikt noodzakelijk. Aangezien dat hierdoor de watertemperatuur ook in gebouwen in hun huidige toestand vaak lager kan worden ingesteld dan hun ontwerptemperatuur, is de impact hiervan ook in deze studie onderzocht. Hiertoe werden volgende 3 scenario's gehanteerd:

- Geïnstalleerd vermogen = nominaal vermogen
- Geïnstalleerd vermogen = 1.3 x nominaal vermogen
- Geïnstalleerd vermogen = 1.45 x nominaal vermogen

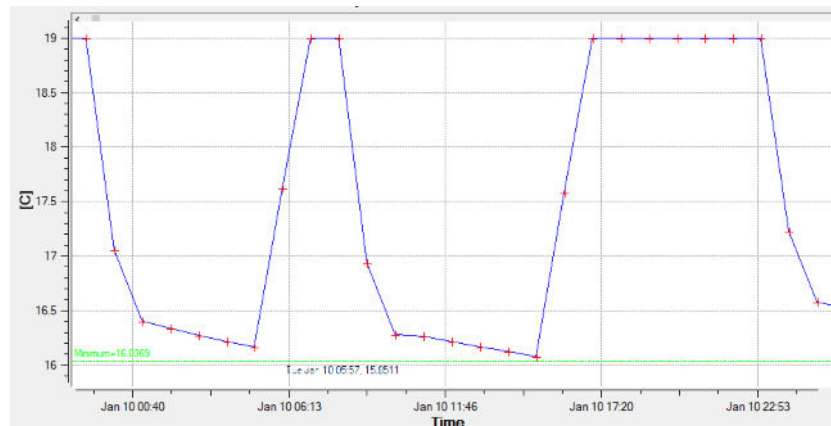
Het nominale vermogen wordt dus bepaald op basis van de gebouweigenschappen en uitgaande van de ontwerpcondities voor de vertrek- en retourtemperatuur. De werkelijke watertemperatuur wordt vervolgens met de stooklijn bepaald uitgaande van een beschikbaar afgiftevermogen dat 1, 1.3 of 1.45 keer groter is dan het vermogen bij ontwerpcondities.

C. Gebruikersgedrag

Ten slotte wordt de invloed van gebruikersgedrag op de resultaten onderzocht. Hiertoe zijn 3 regimes voor de insteltemperatuur van de centrale thermostaat verondersteld:

- $T_{\text{set}} = 18^{\circ}\text{C}$ (constant, conform EPC)
- $T_{\text{set}} = 21^{\circ}\text{C}$ (constant)

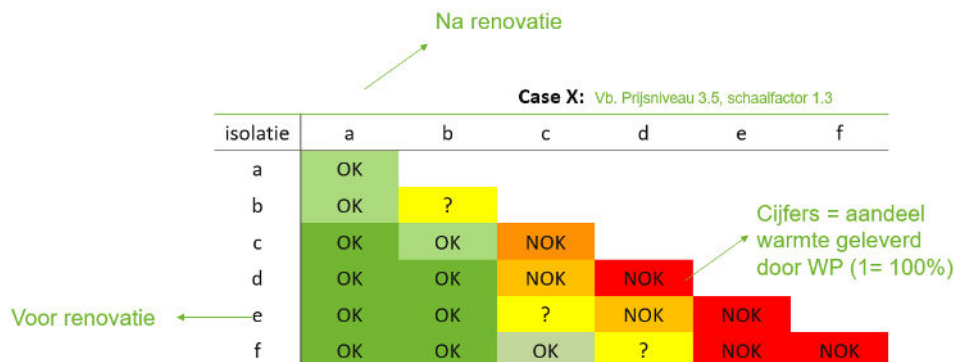
- $T_{\text{set}} = 19^\circ/16^\circ$ (vast profiel¹², ~werkend gezin)



Figuur 7: Temperatuurprofiel 'werkend gezin'

2.3. Resultaten dynamische simulaties

De resultaten van alle berekeningen worden samengevat voorgesteld in een 'beslissingsmatrix' (Figuur 8). Elk getal in deze tabel toont het aandeel van de warmte geleverd door de warmtepomp in het hybride systeem. Lage waarden (rood) tonen dat de warmte voornamelijk door de gasketel geleverd wordt. Hoge waarden (groen) tonen dat voornamelijk de warmtepomp gebruikt wordt. Voor de regio tussen 20%-80% (geel, oranje) is er sprake van een duidelijke hybride werking. Op de diagonaal van de matrix vind je de gebouwen in hun 'oorspronkelijke toestand.' Horizontaal naar links, krijg je voor die gebouwen dan telkens de resultaten 'na renovatie.'



Figuur 8: Voorstellingswijze resultaten in 'beslissingsmatrix'

De resultaten voor elke van de varianten is terug te vinden in bijlage. In deze sectie worden de resultaten voor een centraal scenario besproken. De volgende paragrafen tonen achtereenvolgens de invloed van prijs, overdimensionering en gebruikersgedrag op de resultaten.

Als centraal scenario toont Figuur 9 de resultaten voor elk van de woning- en isolatievarianten bij een verhouding van 2.5 tussen elektriciteit- en gasprijs, een afgiftesysteem dat 1.3 keer overgedimensioneerd is en voor de simulaties met een constante binnentemperatuur van 18°C. Ondanks dat deze prijsverhouding optimistischer is dan de historische prijzen, werd toch dit scenario als referentie gebruikt. Behalve dat dit prijsscenario algemeen wenselijk is om de rendabiliteit van warmtepompen te ondersteunen¹³, zorgt dit scenario ook voor een omslag bij een COP van 2.5. Met een primaire energiefactor van 2.5 in EPC, is dit dus ook het omslagpunt dat vanuit primaire energiestandpunt in EPC zou worden genomen.

In de resultaten van dit scenario (Figuur 9) komen reeds een aantal interessante elementen naar voor:

- Voor woningen die in hun huidige toestand minstens voldoen aan de isolatiekwaliteit c, is een warmtepomp steeds in staat om meer dan 80% van de warmtevraag te dekken
- Voor gerenoveerde woningen kan dit – behalve voor de rijwoningen – reeds vanaf isolatiekwaliteit d.

¹² Weekdagen: 16°C van 00.00u tot 06.00u, 19°C van 06.00u tot 09.00u, 16°C van 09.00u tot 16.00u, 19°C van 16.00u tot 00.00u; Weekenddagen: 16°C van 00.00u tot 06.00u, 19°C van 06.00°C tot 00.00°C

¹³<https://www.energyville.be/pers/factcheck-hoe-beinvloeden-de-energieprijzen-de-rendabiliteit-van-warmtepompen-voor-bestaande>

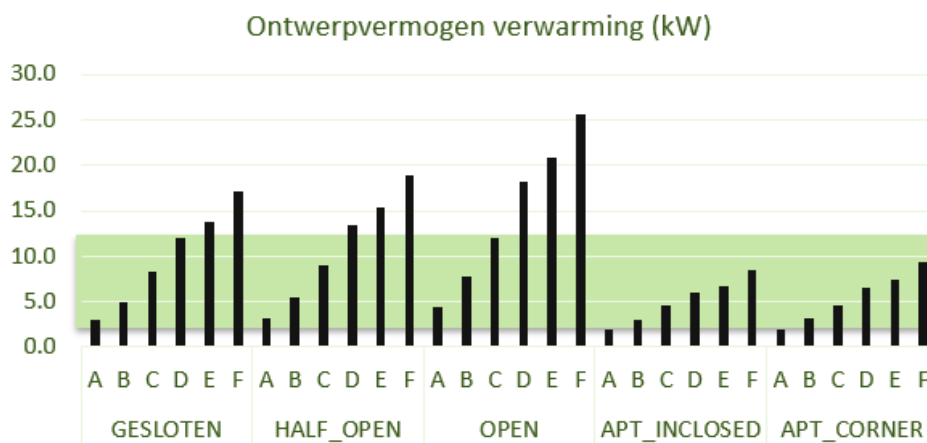
- Bij bestaande woningen met isolatiekwaliteit e-f zal een aanzienlijk aandeel (>30%) echter nog worden ingevuld door de gasketel.

		prijsratio elek/gas = 2.5					
	isolatie	a	b	c	d	e	f
gesl_M	a	1.00					
	b	1.00	1.00				
	c	1.00	1.00	0.93			
	d	1.00	1.00	0.96	0.74		
	e	1.00	1.00	0.98	0.78	0.68	
	f	1.00	1.00	1.00	0.90	0.83	0.62
HOB_M	a	1.00					
	b	1.00	1.00				
	c	1.00	1.00	0.89			
	d	1.00	1.00	0.98	0.76		
	e	1.00	1.00	0.99	0.80	0.69	
	f	1.00	1.00	1.00	0.91	0.83	0.63
open_M	a	1.00					
	b	1.00	1.00				
	c	1.00	1.00	0.81			
	d	1.00	1.00	0.98	0.77		
	e	1.00	1.00	1.00	0.81	0.70	
	f	1.00	1.00	1.00	0.91	0.82	0.64
app_in	a	1.00					
	b	1.00	0.99				
	c	1.00	0.99	0.76			
	d	1.00	1.00	0.92	0.70		
	e	1.00	1.00	0.93	0.72	0.64	
	f	1.00	1.00	0.99	0.87	0.80	0.59
app_ex	a	1.00					
	b	1.00	0.97				
	c	1.00	0.99	0.75			
	d	1.00	1.00	0.96	0.73		
	e	1.00	1.00	0.97	0.77	0.67	
	f	1.00	1.00	1.00	0.89	0.81	0.61

Figuur 9: Beslissingmatrix voor basisscenario met prijsverhouding 2.5, 1.3 keer overdimensionering en 18°C binnentemperatuur

Hieruit kan worden besloten dat met een PEF van 2.5, vanuit het standpunt van primaire energiebesparing, warmtepompen een belangrijke rol spelen. Hybride systemen zijn vanuit dit standpunt enkel noodzakelijk voor woningen met isolatieniveau d-f, tenzij de gebouwschil reeds werd geïsoleerd van niveau f tot d. Bovendien zijn deze resultaten gelijkaardig voor alle types, waardoor voor leesbaarheid in de volgende figuren enkel de gesloten bebouwing wordt getoond. De volledige tabellen zijn terug te vinden in bijlage. Wel moet worden opgemerkt dat voor de woningen met een isolatiekwaliteit d-f (na renovatie) het nodige thermische vermogen zodanig hoog oploopt, waardoor deze buiten de range valt van toestellen die courant op de markt¹⁴ zijn (groene band in Figuur 10) en dus de investeringskost zeer sterk zal stijgen. In dat geval is een hybride oplossing ook een belangrijke manier om – ongeacht de operationele energiekost – de investering te drukken.

¹⁴ Op basis van productcatalogi van grote warmtepompproducenten.



Figuur 10: Ontwerpvermogen voor de verschillende woningtypes en isolatiekwaliteiten

Een analoge redenering kan opgebouwd worden vanuit het oogpunt op het minimaliseren van emissies. De verhouding van de CO₂ emissiefactoren in EPC is 1,65¹⁵. Kijken we naar de resultaten voor een prijsratio van 1,8 (zie Figuur 11 in de paragraaf hieronder) kunnen we besluiten dat vanuit het oogpunt op minimalisatie van emissies, full electric warmtepompen in alle gevallen de voorkeur genieten. De opmerking in verband met de sterk oplopende investeringskost bij de nodige hoge vermogens van warmtepompen voor woningen met isolatiekwaliteit d-f blijft ook hier gelden. Ook de impact op het distributienet en bijkomende investeringen ten gevolge van grootschalige uitrol van full electric warmtepompen moeten mee beschouwd worden (zie hoofdstuk 4.2). Aanvullende aspecten van belang bij de vergelijking tussen de verschillende technologieën zijn opgenomen in hoofdstuk 3.1.1.

2.3.1. Invloed prijsverhouding

Ter vergelijking met het centrale scenario, toont Figuur 11 de invloed van de prijsverhouding voor de vier vaste prijs scenario's, hier enkel voor gesloten bebouwing weergegeven. Zoals verwacht heeft het prijsratio een significante impact op het aandeel van de warmtepomp in de totale warmteproductie. Voor een prijsverhouding van 4.5 – conform met prijzen in Vlaanderen vanaf 2015 – is het voor geen enkel isolatieniveau interessant om een warmtepomp (noch hybride) te plaatsen, met een maximaal aandeel van 19% voor sterk gerenoveerde woningen (f→a). In het andere uiterste is bij een verhouding van 1.8 het inzetten van warmtepompen vanzelfsprekend, zelfs voor de slecht geïsoleerde woningen. Echter speelt voor de laagste isolatiekwaliteiten zoals in vermeld in vorige paragraaf ook de impact van het ontwerpvermogen – en dus de investeringskost van de warmtepomp – een belangrijke rol in de afweging.

prijsratio elek/gas = 4.5							prijsratio elek/gas = 3.5							prijsratio elek/gas = 2.5							prijsratio elek/gas = 1.8						
isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f
a	0.13						a	0.93						a	1.00						a	1.00					
b	0.13	0.10					b	0.93	0.71					b	1.00	1.00					b	1.00	1.00				
c	0.13	0.10	0.08				c	0.93	0.71	0.42				c	1.00	1.00	0.93				c	1.00	1.00	1.00			
d	0.14	0.11	0.09	0.07			d	0.95	0.76	0.47	0.28			d	1.00	1.00	0.96	0.74			d	1.00	1.00	1.00	0.97		
e	0.15	0.12	0.09	0.07	0.06		e	0.96	0.78	0.49	0.31	0.25		e	1.00	1.00	0.98	0.78	0.68		e	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	
f	0.19	0.14	0.11	0.09	0.08	0.06	f	0.98	0.85	0.60	0.40	0.33	0.23	f	1.00	1.00	1.00	0.90	0.83	0.62	f	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90

Figuur 11: Invloed van prijsverhouding op de beslissingsmatrix voor gesloten bebouwing, bij overdimensionering 1.3 en 18°C

Het kantelpunt voor de rendabiliteit van de huidige generatie warmtepompen zit duidelijk in de range van prijsverhoudingen tussen 3.5 en 2.5. Waar bij 2.5 een warmtepomp meer dan 80% van de warmte levert voor woningen met isolatiekwaliteit c of beter, is dat bij 3.5 slechts het geval voor woningen die tot b of zelfs a gerenoveerd werden. Bij isolatiekwaliteit c daalt het aandeel van de warmtepomp reeds tot minder dan 50% indien de woning oorspronkelijk ook een c-niveau had.

¹⁵ De verhouding van de CO₂ emissiefactor voor elektriciteit niet opgewekt door PV ten opzichte van deze van aardgas is gelijk aan 1,65 (0,0925/0,056 (kg/MJ))/(kg/MJ))

Voor een dynamische elektriciteitsprijs – op basis van Belpex voor 2021 en 2022 – wordt een gemiddelde verhouding van ongeveer 3 bekomen. Het aandeel van de warmtepomp houdt dan ook het midden tussen de hierboven getoonde resultaten.

dynamisch prijstarief						
isolatie	a	b	c	d	e	f
a	0.97					
b	0.97	0.92				
c	0.97	0.92	0.79			
d	0.98	0.94	0.82	0.64		
e	0.98	0.94	0.83	0.67	0.58	
f	0.98	0.96	0.89	0.77	0.70	0.53

Figuur 12: Resultaten voor variabele prijs, bij overdimensionering 1.3 en 18°C

2.3.2. Invloed dimensionering radiatoren

De beschikbaarheid aan geïnstalleerd radiatorvermogen is een bepalende factor in de mate waarin de watertemperatuur kan verlaagd worden in functie van de gewenste binnentemperatuur. Zoals uiteengezet in de methodologie werden drie scenario's doorgerekend. Het eerste ('scaling factor 1') veronderstelt dat het geïnstalleerd vermogen aan radiatoren exact overeenkomt met het ontwerpvermogen uitgaande van de opgegeven temperatuurregimes per woning. Figuur 13 toont de beslissingsmatrices voor de drie varianten waarbij een duidelijke toename te zien is in de hoeveelheid warmte die door de warmtepomp geleverd kan worden naarmate het geïnstalleerde vermogen aan radiatoren toeneemt. Vanaf een overcapaciteit van meer dan 30% kunnen ook woningen van isolatiekwaliteit c hun volledige warmtevraag efficiënt met een warmtepomp invullen. Bij 45% overcapaciteit zal ook de hybride warmtepomp in de isolatieniveaus d-e-f meer dan 70% van de warmte kunnen leveren.

overdimensionering radiatoren 1							overdimensionering radiatoren 1.3							overdimensionering radiatoren 1.45						
isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f
a	1,00						a	1,00						a	1,00					
b	1,00	1,00					b	1,00	1,00					b	1,00	1,00				
c	1,00	1,00	0,72				c	1,00	1,00	0,93				c	1,00	1,00	0,98			
d	1,00	1,00	0,78	0,51			d	1,00	1,00	0,96	0,74			d	1,00	1,00	1,00	0,84		
e	1,00	1,00	0,82	0,55	0,45		e	1,00	1,00	0,98	0,78	0,68		e	1,00	1,00	1,00	0,87	0,77	
f	1,00	1,00	0,94	0,69	0,59	0,40	f	1,00	1,00	1,00	0,90	0,83	0,62	f	1,00	1,00	1,00	0,96	0,90	0,72

Figuur 13: Beslissingsmatrix voor de 3 varianten in geïnstalleerd vermogen aan radiatoren voor een prijsverhouding van 2.5 en 18°C binnentemperatuur.

2.3.3. Invloed verwarmingsregime

De laatste variant behandelt de impact van het verwarmingsschema. In de referentietoestand werd uitgegaan van een constante temperatuur van 18°C in de woning, conform de aanname in EPC. Ter vergelijking werden een variant met constant 21°C en een variant met variabele temperatuur volgens een vast verwarmingsschema doorgerekend. Figuur 14 toont hoe de hogere insteltemperatuur (21°C) zoals verwacht een daling oplevert van de hoeveelheid warmte die met de warmtepomp wordt ingevuld. De hogere insteltemperatuur van de thermostaat vraagt om hogere vermogens voor verwarming, wat op zich leidt tot hogere watertemperaturen en een lager COP van de warmtepomp.

constante temperatuur 18°C							constante temperatuur 21°C							verwarmingsschema						
isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f
a	1.00						a	1.00						a	1.00					
b	1.00	1.00					b	1.00	1.00					b	1.00	0.95				
c	1.00	1.00	0.93				c	1.00	1.00	0.76				c	1.00	0.98	0.87			
d	1.00	1.00	0.96	0.74			d	1.00	1.00	0.95	0.72			d	1.00	1.00	0.95	0.86		
e	1.00	1.00	0.98	0.78	0.68		e	1.00	1.00	0.97	0.76	0.64		e	1.00	1.00	0.95	0.85	0.82	
f	1.00	1.00	1.00	0.90	0.83	0.62	f	1.00	1.00	1.00	0.88	0.77	0.58	f	1.00	1.00	0.98	0.91	0.88	0.76

Figuur 14: Beslissingsmatrices voor de 3 varianten in temperatuurregime voor een overcapaciteit van 1.3 en prijsverhouding van 2.5

In het verwarmingsschema wordt de hogere temperatuur tijdens de verwarmde uren gecompenseerd door lagere insteltemperaturen tijdens de onverwarmde uren. Dit effect is groter voor de slecht geïsoleerde woningen waar bijgevolg het percentage aan warmte dat door de warmtepomp geleverd wordt licht stijgt. Voor de goed geïsoleerde woningen, verschuift het grootste deel van de warmtevraag dan weer net naar de vroege

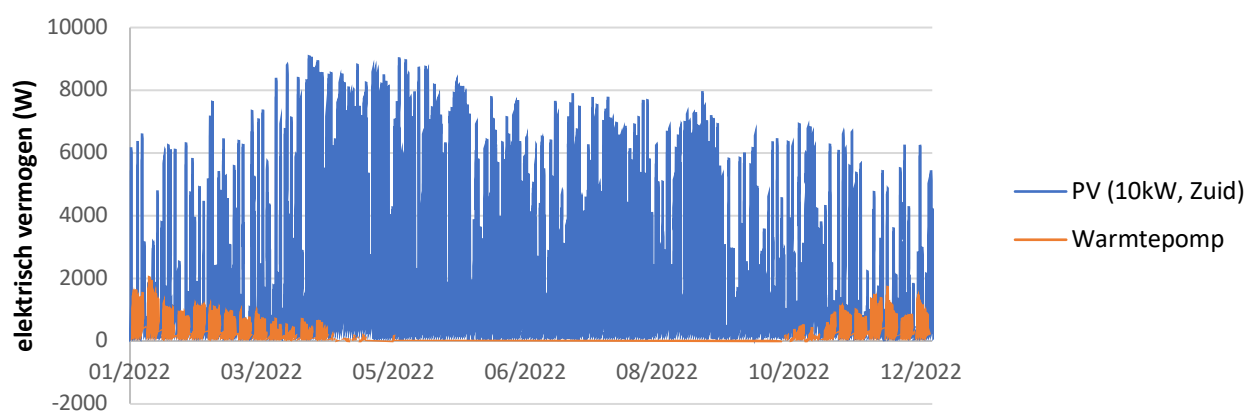
ochtend wanneer het systeem moet recupereren van nachtverlaging. Hierdoor moet de warmtepomp relatief meer draaien op de koudste uren van de dag. Desondanks kan de warmtepomp meer dan 95% van de warmte in isolatieniveau a en b efficiënt gaan invullen.

2.3.4. Zelfconsumptie PV

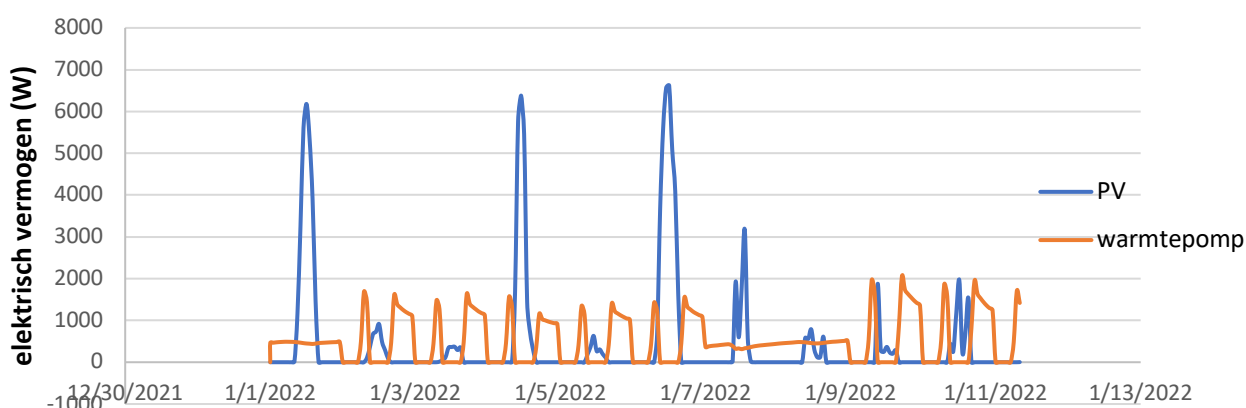
In bovenstaande werd de afweging tussen warmte leveren met warmtepomp of met gasketel in een hybride opstelling nagegaan op basis van de energieprijzen voor gas en elektriciteit. Daarbij was telkens het uitgangspunt dat de elektriciteit aangekocht werd op de elektriciteitsmarkt eerder dan lokaal opgewekt via fotovoltaïsche zonnepanelen (PV).

Het gebruik van lokale PV-productie kan in twee richtingen worden bekeken. Enerzijds ligt de equivalente elektriciteitsprijs voor eigenproductie typisch lager dan voor energie van het net. Bijgevolg kan je de kostprijs voor het gebruik van de warmtepomp drukken door lokale eigenconsumptie. Met andere woorden, meer beschikbare PV zal het aantal draaiuren van de warmtepomp in een hybride opstelling verhogen.

Anderzijds, gaat het plaatsen van een warmtepomp in een bestaande woning er ook toe leiden dat meer zonnepanelen nodig zullen zijn om het jaarlijkse energiegebruik te dekken. Met andere woorden: “meer warmtepomp, is meer nood aan zonnepanelen”. Dit laatste is in het laatste half jaar, mede door afschaffing van de terugdraaiende teller en de sterke stijging van injectievergoedingen, echter minder relevant geworden, aangezien de meest economische situatie er vandaag typisch in bestaat om het dakoppervlak maximaal te benutten (tot het maximum van 10kWp).



Figuur 15: Overzicht elektriciteitsvraag warmtepomp voor grote rijwoning met isolatieniveau a en lokale PV productie (10kWp installatie, zuid georiënteerd)



Figuur 16: Detail van koude winterweek - vergelijking vermogen warmtepomp voor grote rijwoning met isolatieniveau A en lokale PV productie (10kW installatie, zuid georiënteerd)

Figuur 15 en Figuur 16 tonen de resultaten voor de elektriciteitsvraag van de warmtepomp – grote rijwoning met isolatieniveau a) in functie van de tijd in vergelijking met de productie uit een zuid-gerichte PV-installatie van 10kWp (gunstige aanname). Met een gemiddelde dekkingsgraad van net geen 10% ligt het aandeel van het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp dat ingevuld wordt door lokale PV-productie laag. Figuur 15 toont hoe dit in hoofdzaak te maken heeft met de onbalans tussen zomer en winter, waarbij de

elektriciteitsvraag van de warmtepomp geconcentreerd is in perioden waar de PV-productie laag is (winter). Bovendien toont Figuur 16 dat met een klassieke regeling en een standaard thermostaatprofiel van een werkend gezin, de elektriciteitsvraag van de warmtepomp voor ruimteverwarming tevens geconcentreerd zit in de vroege ochtend en de avond, waardoor weinig gebruik gemaakt wordt van de lokale PV-productie doorheen de dag.

Met een klassieke sturing en enkel kijkend naar ruimteverwarming kan dus worden besloten dat warmtepompen slechts in zeer beperkte mate van PV-energie gebruik zal maken. Deze bevinding is echter niet nieuw en werd reeds door verschillende onderzoeken geïllustreerd (Reynders et al., 2013; Turner et al., 2015). Tegelijk tonen verschillende onderzoeken ook aan dat door gebruik te maken van intelligente sturing die inspeelt op de thermische buffercapaciteit van gebouwen, de elektriciteitsvraag met enkele uren kan worden verschoven in goed geïsoleerde gebouwen om zo de match met lokale PV-productie te verbeteren (Uytterhoeven et al., 2018; Reynders et al., 2013). Deze strategieën laten uiteraard niet toe om de vraag te verschuiven over de seizoenen heen, waardoor in de beste gevallen de dekkingsgraad beperkt blijft tot ongeveer 15 à 20%. Voor sanitair warm water, waarvoor de warmtevraag nagenoeg constant is doorheen het jaar, kunnen hogere dekkingsgraden worden bekomen (tot meer dan 60%).

PV - constante temperatuur 18°C							PV - constante temperatuur 21°C							PV - verwarmingsschema						
isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f
a	0.97						a	0.97						a	0.89					
b	0.97	0.93					b	0.97	0.90					b	0.93	0.80				
c	0.97	0.93	0.81				c	0.97	0.90	0.68				c	0.95	0.86	0.74			
d	0.98	0.94	0.83	0.67			d	0.98	0.95	0.84	0.66			d	0.96	0.91	0.82	0.74		
e	0.98	0.95	0.85	0.70	0.62		e	0.98	0.96	0.85	0.69	0.61		e	0.96	0.91	0.82	0.73	0.69	
f	0.98	0.97	0.90	0.79	0.73	0.57	f	0.98	0.97	0.89	0.78	0.70	0.57	f	0.97	0.93	0.85	0.78	0.75	0.66
geen PV - constante temperatuur 18°C							geen PV - constante temperatuur 21°C							geen PV verwarmingsschema						
isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f
a	0.97						a	0.96						a	0.89					
b	0.97	0.92					b	0.96	0.89					b	0.92	0.80				
c	0.97	0.92	0.79				c	0.96	0.89	0.65				c	0.94	0.86	0.73			
d	0.98	0.94	0.82	0.64			d	0.98	0.94	0.82	0.62			d	0.96	0.91	0.82	0.72		
e	0.98	0.94	0.83	0.67	0.58		e	0.98	0.95	0.84	0.66	0.57		e	0.96	0.90	0.81	0.71	0.67	
f	0.98	0.96	0.89	0.77	0.70	0.53	f	0.98	0.97	0.88	0.76	0.67	0.52	f	0.97	0.93	0.84	0.77	0.73	0.64

Figuur 17: Beslissingsmatrix voor de 3 varianten in temperatuurregime voor een overcapaciteit van 1.3 en dynamisch prijstarief, al dan niet met toepassing van PV.

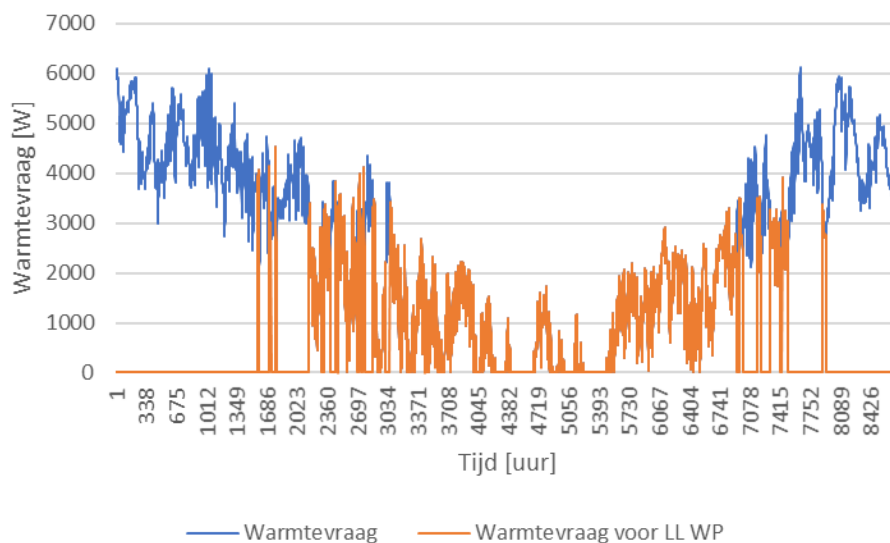
De beperkte zelfconsumptie van PV door de warmtepomp toont zich ook in Figuur 17, waar de beslissingsmatrices worden weergegeven voor verschillende temperatuurregimes met een dynamisch prijstarief. De invloed van PV vertaalt zich slechts beperkt in een toename (1-5%) van het aandeel van de warmtepomp.

2.3.5. Analyse van de lucht-lucht warmtepomp in hybride opstelling als bijverwarming

De voorgaande analyse berekent het aandeel van de warmtepomp in hybride opstelling met radiatoren als afgiftesysteem wanneer deze wordt ingezet als hoofdverwarming ter vervanging of aanvullend op de bestaande gasketel. Een tweede interessante opstelling voor het hybride warmtepomp-concept is deze waarbij een lucht-lucht warmtepomp als bijverwarming wordt geplaatst in de leefruimte. Deze 'airco' units worden vandaag steeds vaker toegepast voor het invullen van de koelvraag, maar met een SCOP van 4.2 voor verwarming, kunnen ze ook interessant zijn om in het tussenseizoen de verwarming van de leefruimtes over te nemen van de bestaande (fossiele) stookinstallatie.

Twee grote beperkingen bij deze opstelling zijn dat het enerzijds niet mogelijk is om ook sanitair warm water te produceren met deze warmtepomp en anderzijds dat omwille van het beperkte ruimt bereik en het beperkte vermogen van een opstelling in de leefruimte niet de hele woning kan verwarmd worden. Hoewel in theorie beide systemen gelijktijdig zouden kunnen werken (de warmtepomp verwarmt lokaal de leefruimte, de hoofdverwarming de rest van de woning), verwachten we in de praktijk vooral dat de warmtepomp ertoe zal leiden dat de het opstarten van de hoofdininstallatie wordt uitgesteld om zo het stookseizoen voor de centrale verwarming te verkorten.

Van dit laatste scenario werd uitgegaan om de impact van de lokale opstelling met lucht-lucht warmtepomp in de leefruimte op het totale gasverbruik van een voorbeeldwoning te berekenen. Hiertoe is voor de halfopen bebouwing van isolatieniveau c een berekening gemaakt (zie waarbij de totale warmtevraag (blauw) van de woning wordt toegekend aan de lucht-lucht warmtepomp (oranje) indien het nodige gemiddelde vermogen doorheen de dag kleiner is dan 3000W.



Figuur 18: Opsplitsing van de warmtevraag van de halfopen woning met isolatieniveau c naar inschatting van het vermogen voor de lucht-lucht warmtepomp

Voor deze woning is de totale warmtevraag gelijk aan 19500 kWh per jaar. Hiervan zal 13700 kWh zeker worden ingevuld door de gasketel (blauw). De resterende 5800 kWh per jaar zal moeten worden opgevangen door de bijverwarming met de warmtepomp. Omdat deze enkel de leefruimte kan verwarmen, veronderstellen we dat 40% van de warmtevraag niet kan worden ingevuld en resulteert in een lager thermisch comfort in die ruimtes die niet door de warmtepomp kunnen worden verwarmd. De overige 60% wordt opgevangen door de warmtepomp wat met een SCOP van 4.2 aanleiding geeft tot een elektriciteitsverbruik van 830kWh.

2.4. Vergelijking vijf verschillende installaties volgens EPC methodologie

Gezien de onderzoeksvraag van de studie gaat over de mogelijke opties voor de vervanging van de bestaande ketel voor ruimteverwarming en sanitair warm water, worden geen bijkomende berekeningen gemaakt over de bestaande ketel in de woning. Wel worden verschillende alternatieven voor de vervanging ervan onderzocht specifiek volgens de EPC-methodologie:

- Een nieuwe condenserende gasketel (CK G);
- Een nieuwe condenserende gasketel, waarbij tegelijk een lucht-lucht warmtepomp in de leefruimte wordt geplaatst (leefr);
- Een hybride warmtepomp die bestaat uit een gasketel en een lucht-water warmtepomp aangeboden als één toestel (hybr);
- Een lucht-water warmtepomp (L/W);
- Een geothermische warmtepomp (B/W).

Voor de optie waarbij zowel een nieuwe condenserende gasketel wordt geplaatst als een lucht-lucht warmtepomp in de leefruimte, werd een aanname gemaakt dat het aandeel van deze leefruimte in het beschermd volume 35% bedraagt, gebaseerd op oppervlaktes van leefruimtes versus de totale oppervlakte zoals vermeld in het groot woononderzoek¹⁶. Er werd geen berekening of inschatting gemaakt van de nodige nominale vermogens voor ketel en warmtepomp, maar gewerkt met de waarden bij ontstentenis voor de bepaling van de maandelijkse dekkingsgraad in het EPC.

Voor appartementen werd steeds verondersteld dat het om individuele installaties gaat, gezien collectieve installaties afhankelijk zijn van meerdere ongekende factoren zoals het aantal aangesloten eenheden op de

¹⁶ Vanderstraeten L., Vanneste D. & Ryckewaert M. (2016), Grote Woononderzoek 2013. Transitie en continuïteit in het Vlaamse woonmodel. Trends in woningtypologie, grootte en -bezetting tussen 2001 en 2013, Steunpunt Wonen, Leuven

installatie, en gezien de beslissing tot vervanging van een collectieve installatie niet enkel genomen wordt door de eigenaar van het individuele appartement.

Warmtepompen kunnen vaak ook reversibel ingezet worden. In het kader van dit onderzoek werd hier echter niet dieper op ingegaan, gezien het voorzien van actieve koeling steeds zal leiden tot bijkomend energiegebruik in een EPC-berekening. Het voorzien van actieve koeling is ook hoofdzakelijk geïnspireerd door het nastreven van een hoger comfort in de zomer en niet zozeer door duurzaamheid. Bovendien zou voor het berekenen van de koelbehoefte een bijkomende inschatting gemaakt moeten worden van een aantal parameters, waaronder grootte en oriëntatie van de ramen en aanwezigheid van zonwering.

2.4.1. Aannames

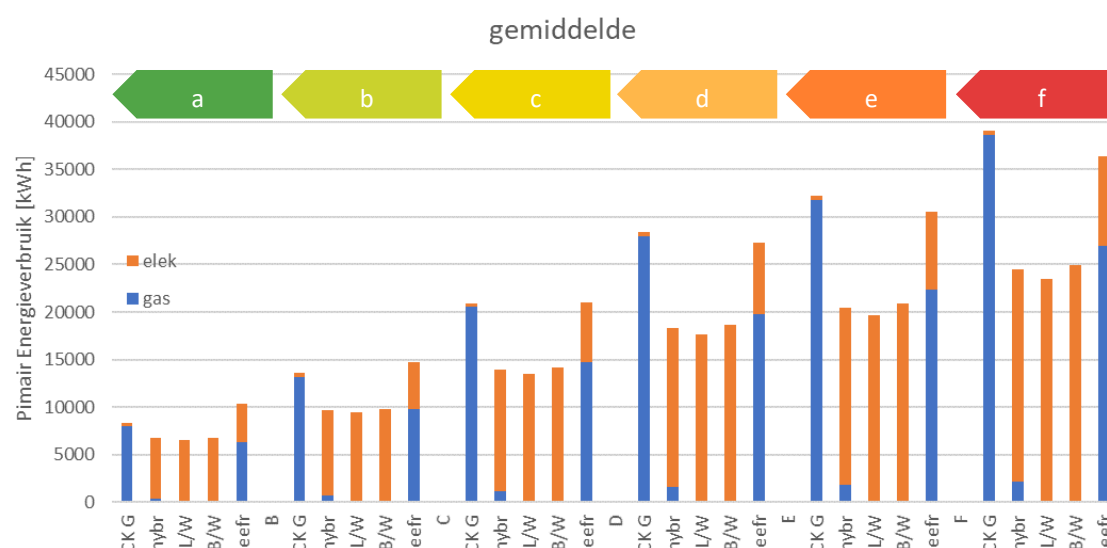
Voor de EPC-berekening werd uitgegaan van regeling via buitenvoeler, kamerthermostaat en thermostaatkranen, zonder leidingen buiten het beschermd volume. Daarnaast werd oppervlakteverwarming en een $T_{afgifte}$ van 55° verondersteld. Er werd voor de condenserende gasketel aangenomen dat de ketel zich in het beschermd volume bevindt, jonger is dan 1990 en een rendement van 107% t.o.v. de onderste verbrandingswaarde heeft. Voor de COP_{test} van de lucht-water warmtepomp werd een waarde van 4.1 verondersteld, voor de geothermische warmtepomp werd 4.6 verondersteld en voor de lucht-lucht warmtepomp (die in de leefruimte geplaatst wordt), werd een COP_{test} van 4.2 aangenomen. Deze gegevens zijn gebaseerd op gemiddeldes van de productdata van de huidige generatie toestellen.

2.4.2. Resultaten

Onderstaande grafieken stellen de resultaten voor van de verschillende doorgekende installaties, waarbij zowel het primair elektriciteitsverbruik in kWh (oranje) als het primair gasverbruik in kWh (blauw) worden voorgesteld. Deze werden bepaald door de resultaten van de dynamische simulaties voor de netto energiebehoefte van de ruimteverwarming aan te vullen met de netto energiebehoefte voor sanitair warm water en hulpenergie volgens de EPC-methodologie en daarna verder door te rekenen naar bruto, eind en primair energieverbruik volgens de EPC-methodologie. De resultaten zijn opgenomen in bijlage en tonen ongeacht typologie of isolatiegraad een duidelijk hoger primair energieverbruik voor de situaties met een condenserende gasketel (al dan niet aangevuld met warmtepomp in de leefruimte), waarbij de (hybride) warmtepompen resulteren in een lager primair energieverbruik, uitgaande van de gevolgde methodologie en aannames. De geothermische warmtepomp leidt in alle situaties tot een iets hoger primair energieverbruik in vergelijking met de lucht-water warmtepomp, wat te verklaren is door f_{pumps} , de correctiefactor op het energieverbruik van de primaire pomp die in de EPC formulestructuur forfaitair vastgelegd is op 0.83 bij warmtepompen met warmtebron bodem of water en op 1.0 bij alle andere types warmtepompen.

Onderstaande grafiek toont de resultaten gemiddeld over alle types wooneenheden per isolatiegraad. Hierbij dient vermeld te worden dat het gaat om theoretische berekeningen die een constante binnentemperatuur van 18°C veronderstellen in het volledige beschermd volume.

De resultaten opgesplitst per type zijn opgenomen in Annex 1.

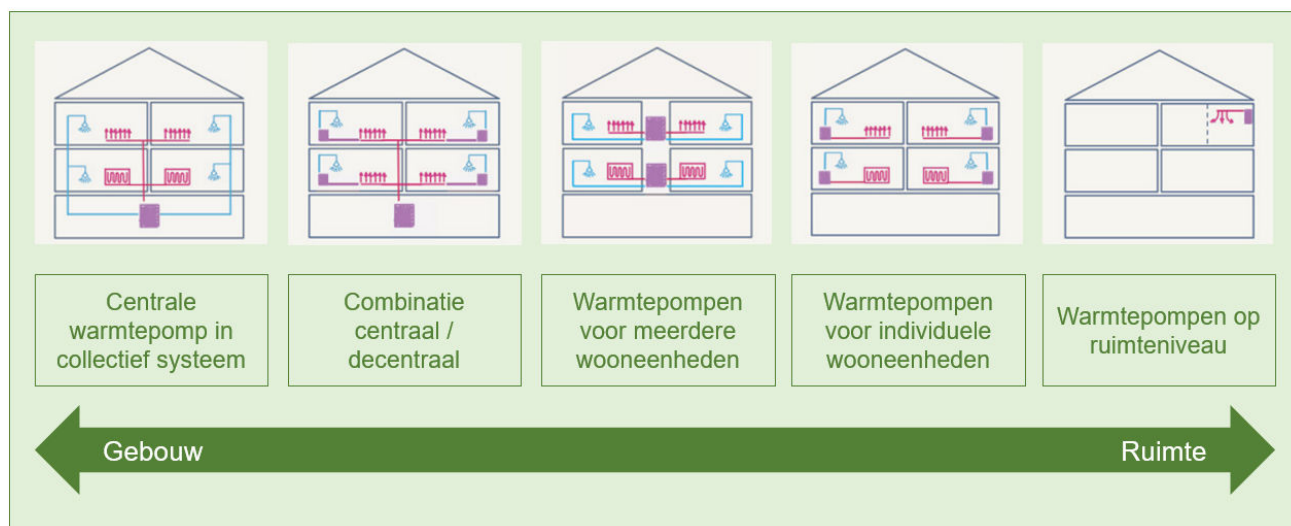


Figuur 19: Primair energieverbruik voor gas en elektriciteit voor de verschillende mogelijke installatie(combinatie)s gemiddeld over de verschillende typologieën voor verschillende isolatiegraden

3. Analyse warmtepomp vs. hybride warmtepomp

3.1. Algemeen

Warmtepomptechnologie is beschikbaar op de markt in vele varianten, hetgeen deze technologie veelzijdig maakt voor de toepassing in woongebouwen in verschillende configuraties. Er is warmtepomptechnologie beschikbaar voor het overgrote deel van situaties die voorkomen in het woningenpark. In Figuur 20, vertaald uit een publicatie van Agora-Energiewende, wordt een illustratief overzicht gegeven van een aantal toepassingen specifiek voor appartementsgebouwen.



Figuur 20: Warmtepomptoepassingen voor appartementsgebouwen (bron: Agora-Energiewende¹⁷).

Aanvullend op de toepassingen in deze figuur specifiek voor appartementsgebouwen, kunnen de mogelijkheden voor individuele woongebouwen voorgesteld worden met zowel centrale verwarming als toepassingen met splitsystemen op ruimteniveau. Bovenop deze varianten met focus op de gebouwszijde, zijn er ook de verschillende bronvarianten zoals lucht, bodem, water, riothermie of andere die afhankelijk van de plaatsingsmogelijkheden een kostenoptimale selectie toelaten.

Bovendien zijn er een aantal belangrijke technologische innovaties doorgevoerd in de warmtepomp- en verwarmingssector gedurende de laatste decennia die een mogelijke uitbreiding van toepassingen en een verbetering van de prestaties met zich meebrengen¹⁸:

- Koelmiddelen R410A (GWP 2088) en ook R134a en R407C worden gradueel onder impuls van toenemende verstrenging vanuit EU regelgeving op het vlak van milieuimpact¹⁹ vervangen door R32 en R290;
- Hoge temperatuurwarmtepompen laten condensatietemperaturen op hogere temperatuurniveaus toe. De huidige propaanwarmtepompen kunnen bijvoorbeeld probleemloos temperaturen boven 60°C leveren en ook CO₂ biedt beloftevolle perspectieven als werkmiddel voor temperaturen tot 80°C. Dit opent toepassingsmogelijkheden voor hoge temperatuurafgiftesystemen en sanitair warmtapwaterproductie. Dit kan ondertussen aan verbeterde prestaties vergeleken met vroegere warmtepompsystemen. De prestatie van alle warmtepompen is echter sterk afhankelijk van het temperatuurverschil tussen bron en afgifte, waardoor dergelijk hoge temperatuurniveaus aan de afgiftezijde best vermeden worden met het oog op een zo goed mogelijke energieprestatie;
- Slimme controlesystemen;
- Verbeterde akoestiek;
- De toepassing van invertertechnologie - in modulerende warmtepompen - is zeer gebruikelijk momenteel en toepassingen zoals opstellingen in cascade ('twin heat pump') maken de voorziening van een

¹⁷https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/Waermepumpen_Praesentation.pdf met verwijzing naar IEA annex 50 (<https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/>)

¹⁸ https://setis.ec.europa.eu/heat-pumps-european-union_en

¹⁹ Levenscyclusanalyse en global warming potential

elektrische weerstandsverwarming als back-up zoals in klassieke dimensioneringsmethoden van warmtepompsystemen niet langer een vereiste;

- Bijkomende warmtepompinnovaties zitten in de pijplijn maar hebben momenteel nog een te laag TRL niveau (technology readiness level), zoals magnetocalorische warmtepompen, thermo-akoestische warmtepompen met helium als werkmiddel, membraantechnologie en transkritische warmtepompen.

3.1.1. Voor- en nadelen van (hybride) warmtepomptechnologie

De voor- en nadelen van hybride warmtepompen worden hier kort samengevat omwille van de relevantie voor beleidsbeslissingen met betrekking tot de rol die hybride warmtepompen kunnen opnemen in de warmtetransitie van woongebouwen.

Voornaamste voordelen van warmtepomptechnologie (algemeen):

- Mogelijkheid tot beter zomercomfort in geval van reversibel warmtepompgedeelte door middel van koeling, ten koste van een hoger energieverbruik;
- Bijdrage aan elektrificatie van gebouwverwarming;
- Bijdrage aan aandeel hernieuwbare energie en aan energieonafhankelijkheid vanwege geringere import fossiele brandstoffen;
- Bijdrage aan reductie lokale luchtvervuiling.

Bijkomende voordelen van hybride warmtepomptechnologie (ten opzichte van full electric warmtepompen):

- Lagere investeringskostprijs bij marktconforme vermogens, omwille van een aanzienlijk hogere investeringskostprijs van warmtepomptechnologie in vergelijking met verbrandingstechnologie en het relatief kleine aandeel qua vermogen van de warmtepomptechnologiegedeelte in het hybride systeem. Bovendien kan het verschil vergroten door de nood aan een opslagvat voor sanitair warm tapwater;
- Licht hogere levensduurverwachting omwille van een hogere levensduurverwachting van verbrandingstechnologie in vergelijking met warmtepomptechnologie en te verwachten afwisseling in werking tussen beide technologieën;
- Slimme sturing mogelijk op basis van operationele kosten of emissies;
- Geringere piekvermogenopname van het elektriciteitsnet met lagere impact op het elektriciteitsnet;
- Kan ook toegepast worden voor grotere vermogens (zonder bijkomende vereisten qua infrastructuur zoals een 400V elektriciteitsaansluiting²⁰ - en bij grootschalige toepassing nodige uitbreiding van het elektriciteitsnet);
- Mogelijke toepassing als tijdelijke situatie, zoals bij een stapsgewijze verbouwing, in combinatie met afgiftesysteem met regime op hoge temperatuur²¹;
- Kan ook zonder meer instaan voor de vervanging van productie van sanitair warm tapwater waar een full electric warmtepomp dit enkel kan op aanzienlijk lagere energieprestatie en met bijkomend opslagvat²².
- Laat een geleidelijke kennismaking met warmtepomptechnologie toe bij consumenten en installateurs.

Nadelen van warmtepomptechnologie (algemeen):

- Aangezien de meeste warmtepomptechnologie reversibiliteit toelaat, zal promotie van (hybride) warmtepomptechnologie additioneel elektriciteitsverbruik voor koeling met zich meebrengen ten voordele van zomercomfort;
- Milieu impact van koudemiddelen (hoewel de laatste jaren grote verbeteringen geboekt werden in de toegepaste werkmiddelen in warmtepomptechnologie onder impuls van verstrengde Europese richtlijnen) en technologische uitdagingen op het vlak van operationele omstandigheden (voornamelijk hoge druk).

²⁰ Er zijn ook warmtepompsystemen beschikbaar op de markt met relatief grote vermogens (tot ongeveer 20kW) die op een standaard 220V aansluiting kunnen geïnstalleerd worden. Dergelijke systemen zijn vooralsnog relatief duur.

²¹ Er zijn ook hoge temperatuurwarmtepompsystemen beschikbaar op de markt die ook in combinatie met een hoge temperatuurafgiftesysteem kunnen toegepast worden. Dergelijke systemen werken wel aan lagere energieprestatie vergeleken met warmtepompsystemen in combinatie met lage temperatuurafgiftesystemen.

²² Er zijn ook warmtepompsystemen beschikbaar op de markt die sanitair warm tapwater voorzien met doorstroomtechnologie, maar deze zijn financieel minder interessant omwille van het nodige hogere vermogen en de lagere energieprestatie.

- Vraagt goed ontwerp, uitvoering en onderhoud om de theoretische prestaties te behalen in de praktijk. De prestatie van warmtepompen is zeer gevoelig aan de condities waarbinnen deze toegepast worden, zoals de afgiftetemperatuur.

Bijkomende nadelen van hybride warmtepomptechnologie;

- Hoog risico op lock-in:
 - risico dat fossiele brandstof de belangrijkste energiedrager blijft voor gebouwverwarming bij optimalisatie naar kost, afhankelijk van de verhouding van gas- en elektriciteitsprijzen;
 - verminderde drijfveren voor energiebesparende ingrepen aan de gebouwschil (isolatie, luchtdichtheid) en verminderde stimulans voor de eventuele overschakeling naar afgiftesystemen op lage temperatuur;
 - door de levensduur van de installatie, wordt volledige defossilisering uitgesteld door plaatsing van hybride technologieën;
 - infrastructuur voor fossiele brandstoffen blijft noodzakelijkerwijs behouden, hetgeen een uitfasering niet in de hand werkt.
- Complexere technologie vraagt dubbele infrastructuur en wettelijke bepalingen voor de beide technologieën:
 - nood aan infrastructuur en onderhoud voor distributie en opslag fossiele (of bio-) brandstoffen, rookgasafvoer en connectie tussen binnen- en buitenunit(s) voor warmtepompgedeelte;
 - wettelijke bepalingen met betrekking tot plaatsing en onderhoud van zowel warmtepompgedeelte (ook eventueel met betrekking tot koeling) als verbrandingsgedeelte.
 - vraagt specifieke competentie en bij grootschalige uitrol ook voldoende capaciteit die kennis en kunde van warmtepomp- en verbrandingstechnologie combineert.
- Niet geschikt voor toepassing als decentrale verwarming²³.

3.2. Technische haalbaarheid

In wat volgt ligt de focus op een eenvoudige toetsing van de randvoorwaarden of toepassing van een full electric warmtepomp mogelijk is, rekening houdend met algemene financiële overwegingen zoals de nodige investering en operationele kosten. Dit is een eenvoudige toetsing en vervangt geenszins een ruimere evaluatie met inbegrip van andere mogelijke alternatieve productiesystemen voor verwarming, noch sluit deze toetsing de noodzaak tot een case-specifieke analyse van de mogelijke toepassing van een full electric warmtepomp en een op maat ontwerp niet uit.

De mogelijkheid tot installatie van een full electric warmtepomp wordt voornamelijk bepaald door twee parameters:

- De energieprestatie van de gebouwschil: deze parameter bepaalt grotendeels de benodigde ontwerpwarmtebelasting, waaruit het nodige vermogen van de productie voor ruimteverwarming begroot kan worden;
- Ontwerptemperatuursregime afgiftesysteem: op basis van het ontwerpwarmtevermogen (en bijhorend temperatuursregime) van het watervoerende afgiftesysteem voor ruimteverwarming kan tesamen met de ontwerpwarmtebelasting van de woning beoordeeld worden of afgifte op lage temperatuur mogelijk is. De 50° test is hiervoor een pragmatisch alternatief.

De combinatie van deze twee parameters bepaalt de randvoorwaarden, waardoor dure toepassingen van warmtepomptechnologie grotendeels uitgesloten kunnen worden, door het vermijden van installaties met relatief groot vermogen of aanwending binnen suboptimale werkingscondities zoals hoge afgiftetemperaturen.

Uit de resultaten van de dynamische simulaties uitgaande van het centraal scenario (zie 2.3) blijkt dat een warmtepomp haalbaar is in de meeste woningen en een hybride systeem hoofdzakelijk aangewezen blijft bij de slechtst geïsoleerde woningen, van isolatiegraad D (nog niet geïsoleerd) tot F. Daarbij dient ook rekening gehouden te worden met het nodige vermogen.

²³ Tenzij als combinatie van een lucht/lucht warmtepomp als decentrale opwekker in combinatie met een ander opwekkingssysteem - bvb. elektrische verwarming - waardoor ook kan gesproken worden van een hybride systeem. Decentraal wordt hier beschouwd als een installatie zonder bijkomend afgiftesysteem en wordt dus niet beperkt tot de decentrale installatie zoals opgenomen in het EPC inspectieprotocol.

Hieruit kan worden besloten dat met een PEF van 2.5, vanuit het standpunt van primaire energiebesparing, warmtepompen een belangrijke rol spelen. Hybride systemen zijn vanuit dit standpunt enkel noodzakelijk voor woningen met isolatieniveau d-f, tenzij de gebouwschil reeds werd geïsoleerd van niveau f tot d. Bovendien zijn deze resultaten niet sterk afhankelijk van het gebouwtype. Wel moet worden opgemerkt dat voor de woningen met een isolatiekwaliteit d-f het nodige vermogen zodanig hoog oploopt dat de investeringskost voor de warmtepomp zeer sterk zal stijgen. In dat geval is een hybride oplossing ook een belangrijke manier om – ongeacht de operationele energiekost – de investering te drukken.

Figuur 10 toont aan dat de gevraagde vermogens voor woningen met een isolatiegraad niet slechter dan c-d (afhankelijk van de typologie) courant op de markt te verkrijgen zijn.

Rekening houdend met de renovatieverplichting en de lange termijn doelstellingen is het sowieso aan te raden dat de slechtere woningen bijkomend hun gebouwschil aanpakken, waardoor deze woningen opschuiven qua isolatiegraad en een financieel interessantere warmtepomptoepassing ook mogelijk wordt.

Het aanpakken van de gebouwschil omvat maatregelen zoals het verbeteren van de thermische isolatie en de luchtdichtheid, in gevallen waar dit nog niet of onvoldoende eerder doorgevoerd werd. Het is aangewezen om tegelijkertijd aan te sturen op het voorzien van gepaste ventilatie met goede energieprestatie en de nodige zonwering te voorzien om ook het zomercomfort te verhogen. Afhankelijk van de uitgevoerde renovatiewerken, dient ook bekeken te worden of aanpassingen aan het afgiftesysteem mogelijk zijn, waardoor dit kan werken op lage temperatuur (zie 3.2.1).

Een bredere visie op woningrenovatie is ook nodig omdat met het installeren van (hybride) warmtepompen alleen de defossilisering niet gehaald zal worden en er ook oog moet zijn voor de kwaliteit van het binnenklimaat (thermisch comfort en binnenluchtkwaliteit).

In geval gekozen wordt om hogere prioriteit te geven aan emissiereductie, kunnen in het segment van het gebouwenpark waar uit financiële overwegingen geopteerd zou worden voor een hybride warmtepomp – zoals hierboven beschreven – full electric warmtepompen ook een belangrijke rol spelen, weliswaar aan hogere kosten (omwille van grotere vermogens en mogelijk ook hogere afgiftetemperaturen).

De defossilisering van het woningenpark moet ook ondersteund worden door een verdere emissiereductie van de elektriciteitsproductie.

3.2.1. Afgiftesysteem op lage temperatuur

In de dynamische simulaties is veel aandacht besteed aan de mogelijkheden rond lagetemperatuurverwarming. Daarbij werden onder meer aannames gemaakt over de inschatting van de overdimensionering van de bestaande radiatoren in de woning. Dit is sterk woningafhankelijk en niet zo eenvoudig in te schatten voor de woningeigenaar in welke situatie deze zich bevindt. Om in te schatten of een woning geschikt is voor lagetemperatuurverwarming wordt daarom in de praktijk vaak verwezen naar de 50°-test, waarbij de temperatuur van de verwarmingsketel wordt verlaagd naar 50° om dan te kijken of de woning nog voldoende verwarmd raakt.

Op basis van Figuur 4 met de COP van de gesimuleerde lucht-water warmtepomp in functie van de vertrektemperatuur (T_{sw}) en de buitentemperatuur (T_{out}) blijkt dat de COP onder 3 zakt vanaf een buitentemperatuur van 3°C en onder 2.5 bij een buitentemperatuur van -2°C.

Dit toont aan dat de 50° test zeker nuttig kan zijn indien deze wordt uitgevoerd bij voldoende koude buitentemperaturen.

Op basis van een analyse van het bestaande afgiftesysteem kan eveneens beoordeeld worden in combinatie met een warmteverliesberekening van de wooneenheid of het bestaande afgiftesysteem geschikt is om op lage temperatuur te werken. In geval dit niet zo is, kan gedacht worden aan verbetering van de energieprestatie van de gebouwschil waardoor de overdimensionering van het bestaande afgiftesysteem vergroot en het mogelijk wordt om op lage temperatuur te werken. Alternatief kunnen aanpassingen aan het bestaande afgiftesysteem doorgevoerd worden om werking op lage temperatuur mogelijk te maken, zoals uitbreiding of vervanging. Boostertechnologie, waarbij kleine ventilatoren aan radiatoren en convectoren worden toegevoegd om het afgiftevermogen te vergroten, kan toegepast worden in nieuwe systemen met beperkte opstellingsruimte of op bestaande radiatoren of convectoren en is eveneens toepasbaar in bestaande convectorputten. Figuur 21 bevat illustraties van een product voor toepassing op bestaande radiatoren en convectoren. Dit systeem werkt op basis van een thermostaat op de afgifte die aanslaat vanaf 33°C en afslaat bij 25°C.



Figuur 21: Mini ventilatoren voor toepassing op bestaande radiatoren en convectoren (bron: [SpeedComfort](#)).

Voornamelijk voor convectoren kan dit een noodzakelijke aanpassing betekenen aangezien dergelijke technologie vaak onvoldoende vermogen levert op lage regimetemperaturen omwille van het warmtetransportmechanisme dat overwegend bestaat uit natuurlijke convectie. Er is dan uiteraard wel een kleine plaatsingsruimte nodig en ook elektriciteitsaansluiting in de nabijheid van de warmteafgiftetoestellen om de ventilatoren van voeding te voorzien. Dergelijke technologie is niet duur, eenvoudig toepasbaar en komt ten koste van een kleine toename in hulpenergie. Nazicht van het ontwerp van het distributiesysteem met pompdimensionering is aangewezen om de geschiktheid voor de hogere debieten (omwille van groter vermogen en geringer temperatuurverschil tussen aan- en retourwater bij ontwerp) te controleren. Ook akoestiek is een aandachtspunt, vooral in slaapruidten.

3.3. Economische haalbaarheid

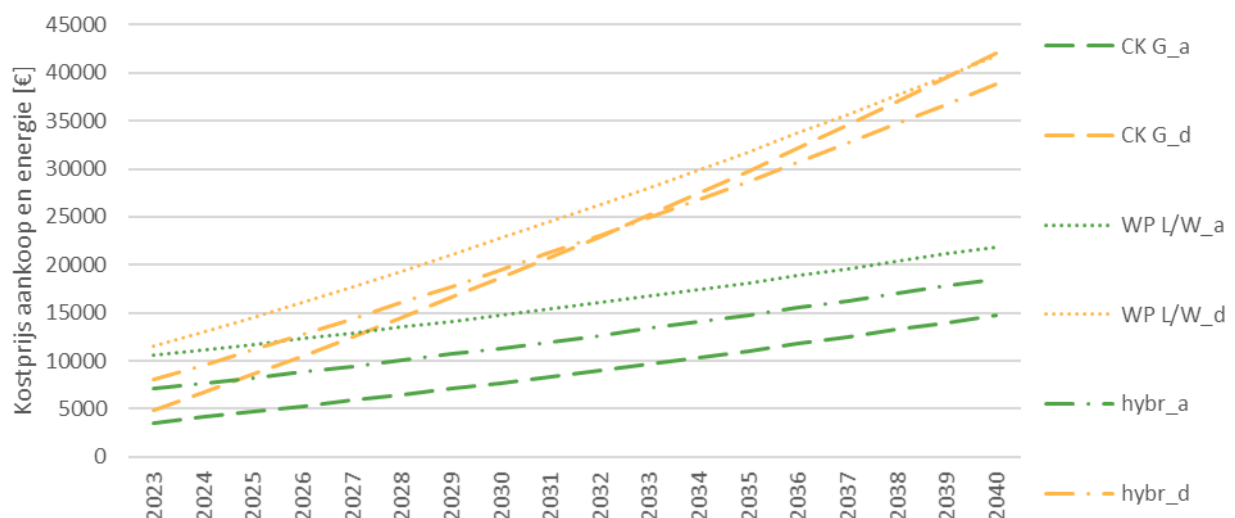
Zoals blijkt uit de dynamische simulaties is de prijsverhouding tussen de gas- en de elektriciteitsprijs het meest bepalend voor de mate waarin hybride warmtepompen zullen werken als warmtepomp, dan wel gebruik maken van de ketelfunctie.

De verhouding van de energieprijzen is ook bepalend op individueel niveau. In

Figuur 22 wordt de totale jaarlijkse kostprijs vergeleken voor een condenserende gasketel (CK G), een lucht-water warmtepomp (L/W) en een hybride warmtepomp voor een willekeurige typologie en grootte (in dit geval HOB_M) voor de verschillende isolatiegraden. In deze simulatie werden respectievelijk 3000 euro, 10000 euro en 6500 euro verondersteld als initiële kost voor deze installaties, op basis van een beperkte marktverkenning. Belangrijk daarbij is om op te merken dat geen rekening wordt gehouden met een sterk stijgende kostprijs voor de installaties die hogere vermogens vragen dan deze die gangbaar zijn op de markt, zie ook 9. Gezien het om een vervanging van een bestaande ketel gaat, werden er geen aansluitingskosten voor een aansluiting op het aardgasnet ingerekend. Bij een stookolieketel die vervangen wordt door een condenserende gasketel of hybride warmtepomp vormt dit een bijkomende kost.

Verder werd rekening gehouden met een prijs van 64.3 €/MWh voor gas en 211.9 €/MWh voor elektriciteit in 2023 en een jaarlijkse stijging van deze prijzen met 2%. Deze tarieven zijn gebaseerd op de tarieven gebruikt in de 2025 forecasts van het VEKA. De energieverbruiken volgen uit de EPC-methodologie vertrekkende van de netto energiebehoefte zoals bepaald in energyplus (zie ook §2.3.5).

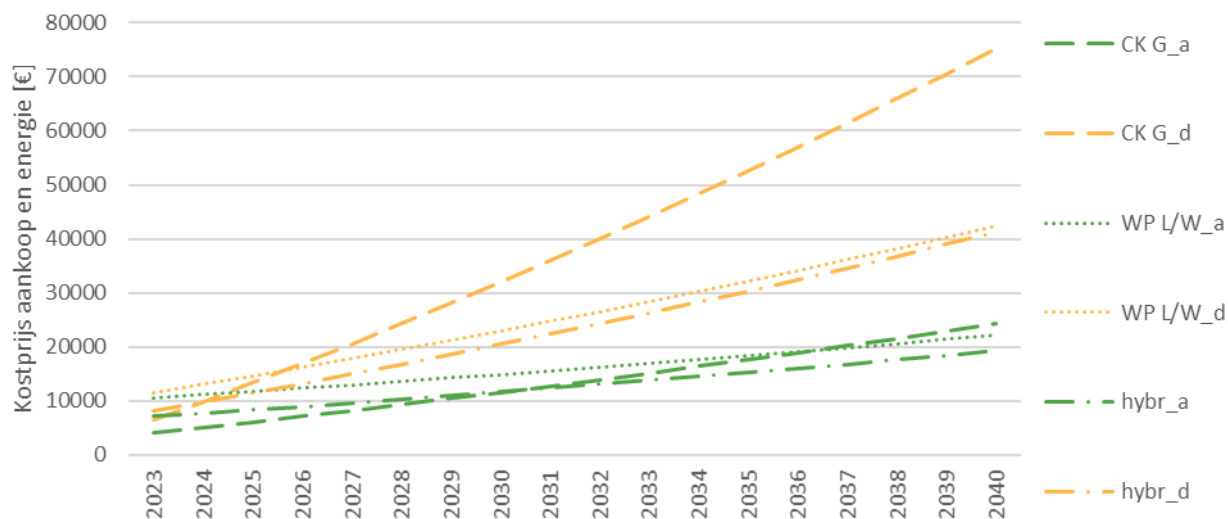
De grafieken houden rekening met het tijds kader tot 2040, gezien dit overeenkomt met de ongeveer te verwachten levensduur van de installaties.



Figuur 22: Evolutie totale prijs in euro (aankoop en energie) voor een condenserende gasketel (CK G), een hybride warmtepomp (hybr) en een lucht-water warmtepomp (WP L/W) voor isolatieniveaus a en d bij een verhouding van de elektriciteits- en gasprijs van ongeveer 3.3

Deze grafiek toont dat voor de woningen met een betere isolatiegraad de condenserende gasketel de goedkoopste oplossing blijft, omdat het verschil in aankoopprijs niet gecompenseerd wordt door het lager verbruik, gezien de in verhouding hoge gasprijs.

Als we dezelfde grafiek (Figuur 23) maken voor een gasprijs van 120 €/MWh en een elektriciteitsprijs van 216 €/MWh (ratio 1.8), eveneens met een jaarlijkse stijging van 2% zien we dat de optie met fossiele brandstoffen ook voor de beter geïsoleerde woningen sneller een hogere totale kostprijs genereert dan de (hybride)



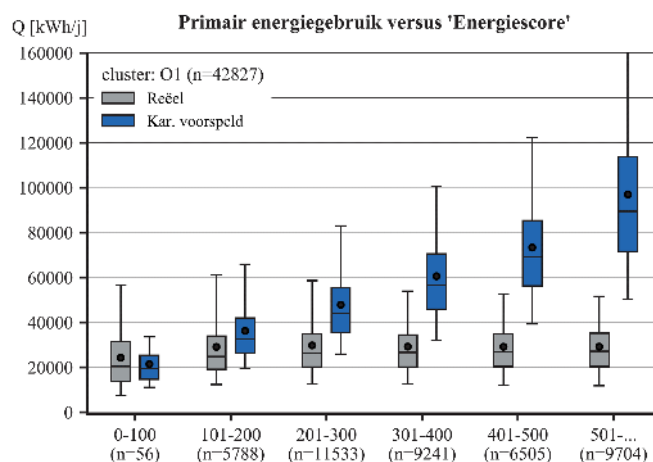
warmtepomp.

Figuur 23: Evolutie totale prijs in euro (aankoop en energie) voor een condenserende gasketel (CK G), een hybride warmtepomp (hybr) en een lucht-water warmtepomp (WP L/W) voor isolatieniveaus a en d bij een verhouding van de elektriciteits- en gasprijs van 1.8

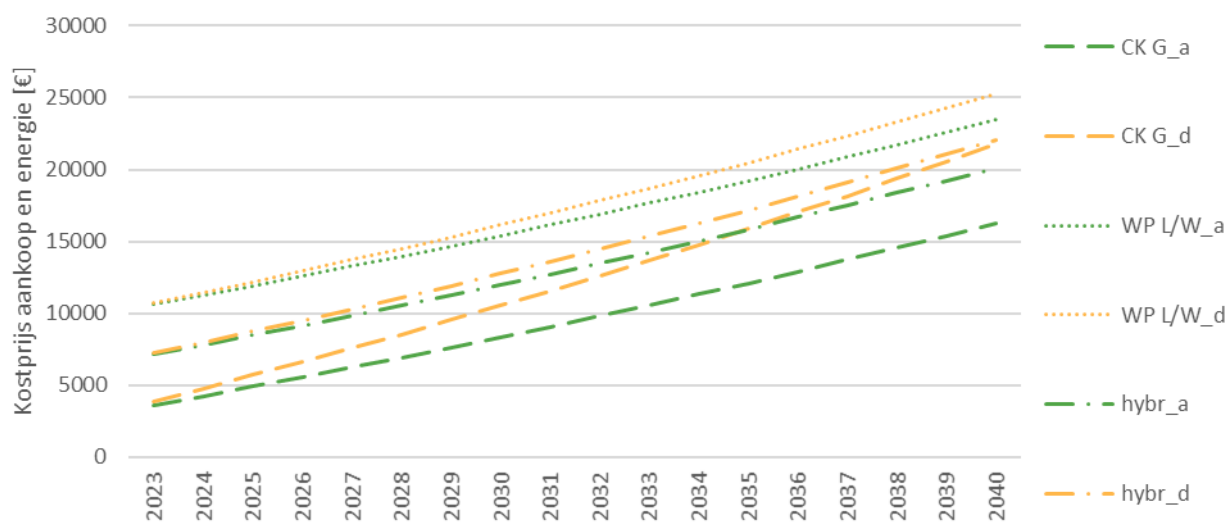
Deze grafieken gaan telkens uit van een theoretisch energieverbruik dat voor ruimteverwarming onder meer rekening houdt met een constante binnentemperatuur van 18°C. Het is echter reeds uit verschillende studies gebleken dat deze verbruiken te hoog liggen voor de slechter presterende woningen, omdat mensen daar vaak inboeten aan comfort.

In de studie 'Reëel energieverbruik woningen' uitgevoerd door UGent in opdracht van het VEKA²⁴ rond de analyse naar de haalbaarheid van statistische modellen die energiegebruik in woningen kunnen voorspellen op basis van gebouwparameters is een grafiek opgenomen die het primair energiegebruik vergelijkt met de energiescore van de woningen. Als we de verhouding van deze waarden per EPC-label overnemen voor de overeenkomstige isolatiegraad bekomen we volgende grafieken voor de twee onderzochte prijsscenario's.

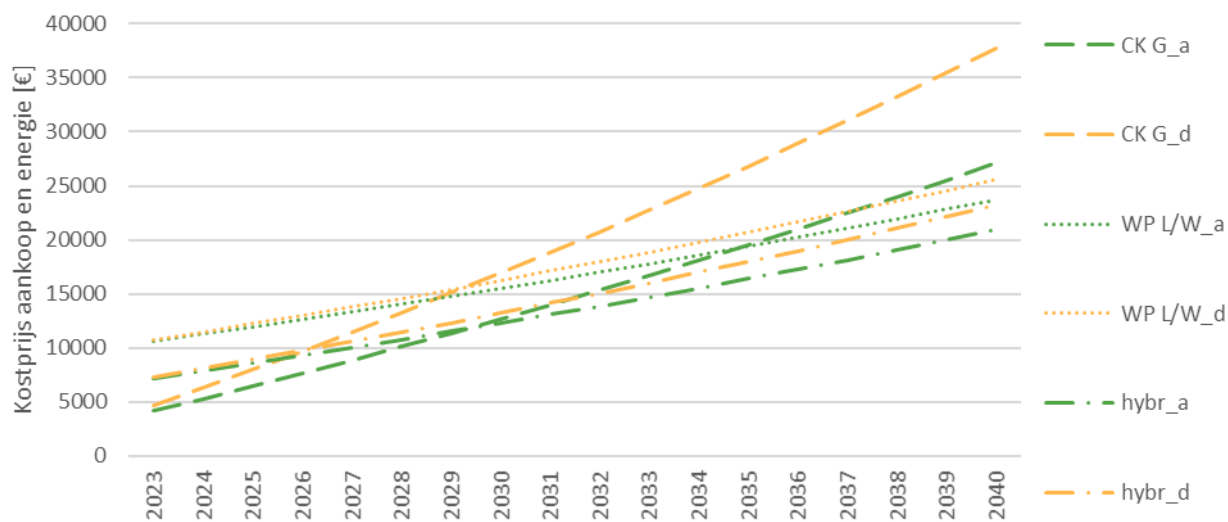
24 Van Hove M., Delghust M., Janssens A. (2021) Analyse naar de haalbaarheid van statistische modellen die energiegebruik in woningen kunnen voorspellen op basis van gebouwparameters. Onderzoek in opdracht van het Vlaams Energieagentschap



Figuur 24: Primair energieverbruik versus 'Energiescore' - Bron UGent



Figuur 25: Evolutie totale prijs in euro (aankoop en energie) voor een condenserende gasketel (CK G), een hybride warmtepomp (hybr) en een lucht-water warmtepomp (WP L/W) voor isolatieniveaus a en d bij een verhouding van de elektriciteits- en gasprijs van ongeveer 3.3, waarbij het berekende verbruik werd gecorrigeerd



Figuur 26: Evolutie totale prijs in euro (aankoop en energie) voor een condenserende gasketel (CK G), een hybride warmtepomp (hybr) en een lucht-water warmtepomp (WP L/W) voor isolatieniveaus a en d bij een verhouding van de elektriciteits- en gasprijs van 1.8, waarbij het verrekende verbruik werd gecorrigeerd

Figuur 25 en

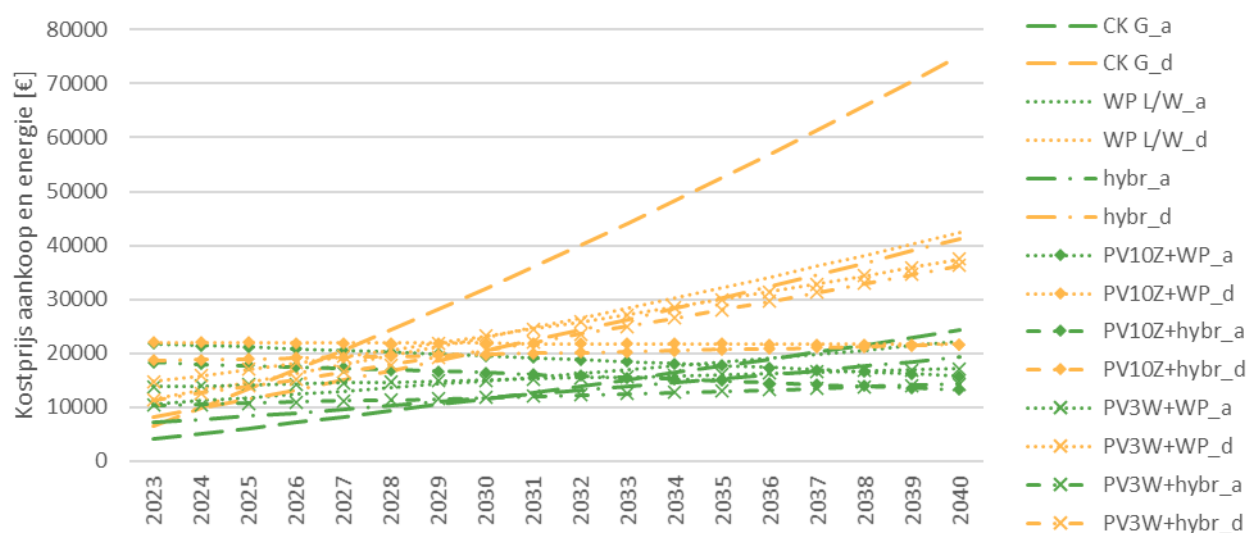
Figuur 26 tonen opnieuw de sterke invloed van de verhouding van de energieprijzen. Merk dat de maximale waarde van de y-as op deze grafieken beduidend lager is dan in deze van de theoretische grafieken, wat te verklaren is door een ander comfortniveau in de woningen.

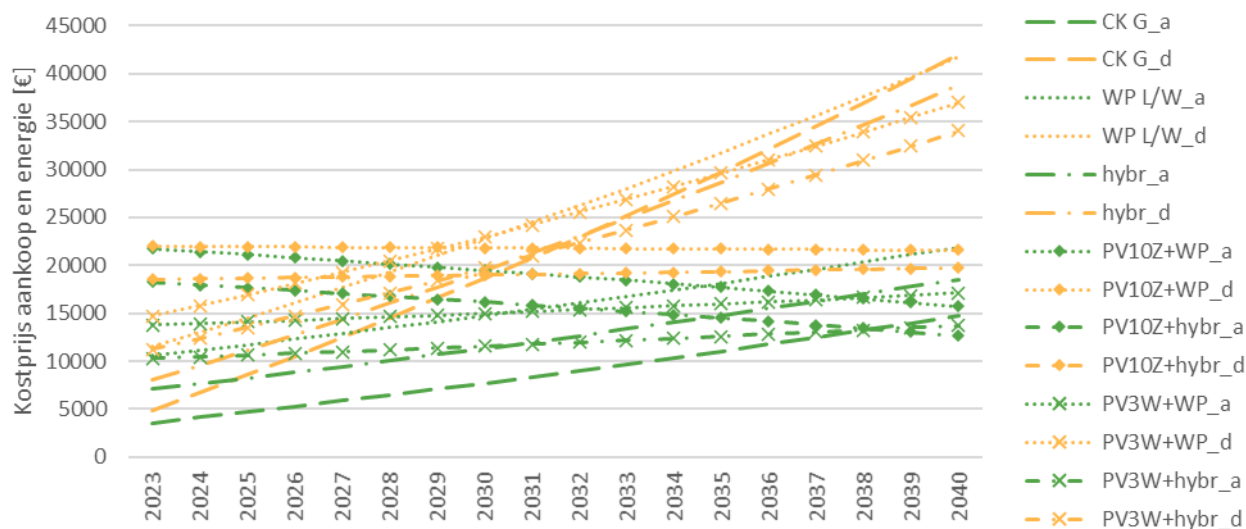
3.3.1. Impact PV

In bovenstaande grafieken werd enkel de impact van de ruimteverwarmingsinstallatie die ook instaat voor sanitair warm water beschouwd, zonder daarbij de plaatsing van een PV-installatie in overweging te nemen. In de volgende grafieken wordt ook de impact van PV mee in beschouwing genomen. Belangrijk om daarbij op te merken is dat het hierbij gaat om een berekening van de PV-opbrengst volgens de EPC-methodologie en dat deze op jaarbasis wordt bekeken en vergeleken met het jaarlijks elektriciteitsverbruik volgens diezelfde EPC-methodologie. Er werd daarbij dus geen rekening gehouden met de zelfconsumptie van de PV-opbrengsten voor de warmtepomp. Voor eventuele jaarlijkse overschotten van PV-productie werd een injectietarief aangenomen van 62.4 €/MWh, waarvan wordt verondersteld dat het, net als de andere energieprijzen, jaarlijks met 2% stijgt.

Waar de EPC-verbruiken werden herschaald om beter overeen te stemmen met het werkelijk verbruik, gebeurde dit niet voor de opbrengst van de PV-panelen, gezien deze opbrengst niet afhankelijk is van het nagestreefde binnencomfort.

Er worden hier 2 mogelijke PV-installaties voorgesteld: een installatie van 10 kWp met een optimale zuidelijke oriëntatie, en een installatie van 3 kWp die op het westen is georiënteerd. Er werd een combinatie met zowel

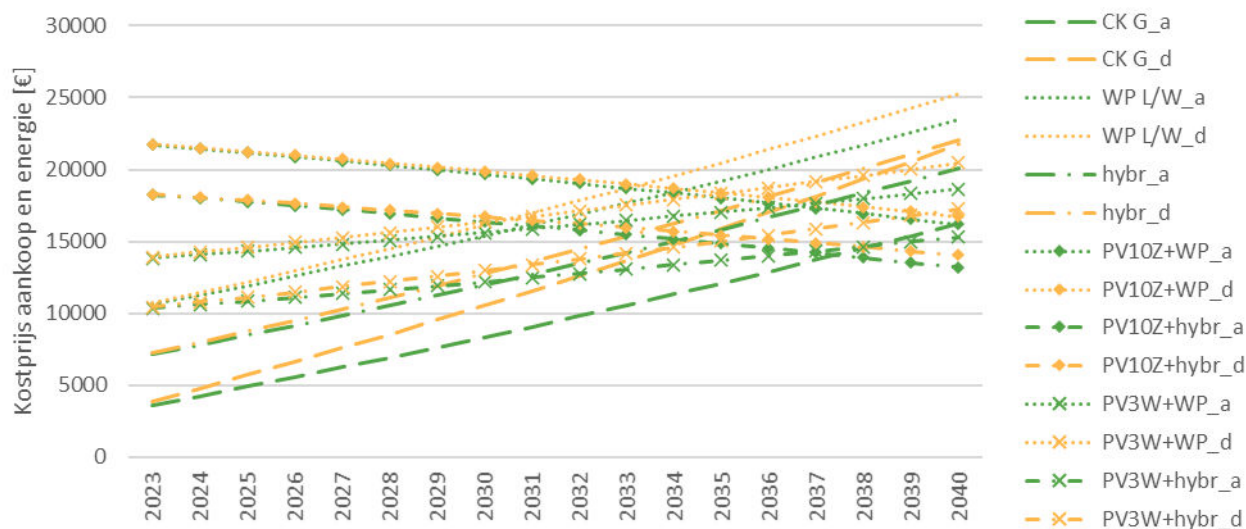




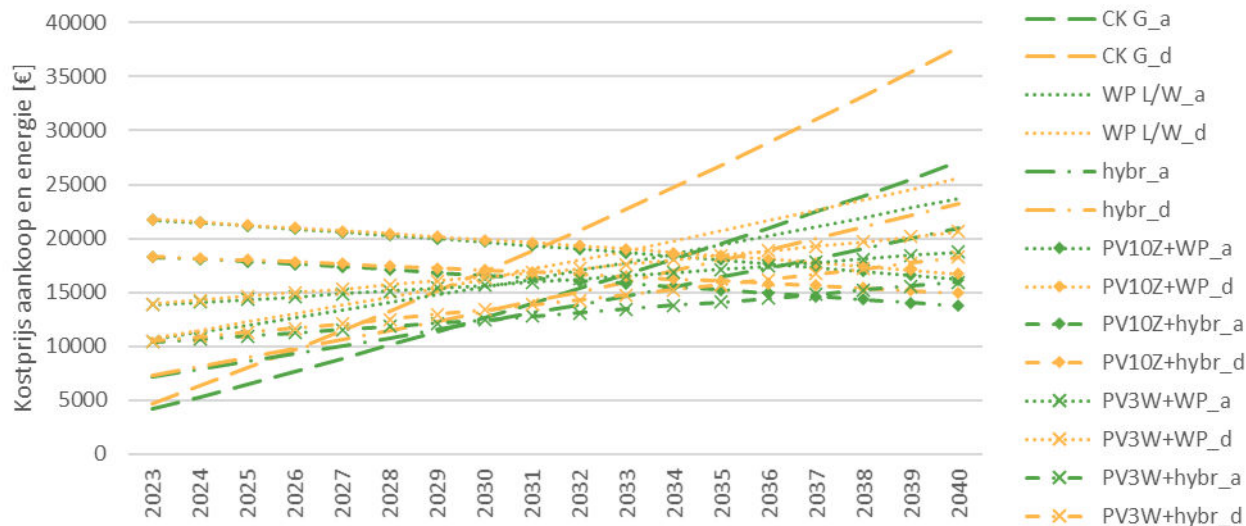
de lucht/water warmtepomp als de hybride warmtepomp doorgerekend. Voor de kostprijs van de installatie werd uitgegaan van 1200 €/kWp.

Figuur 27: Evolutie totale prijs in euro (aankoop en energie) voor een condenserende gasketel (CK G), een hybride warmtepomp (hybr) en een lucht-water warmtepomp (WP L/W) voor isolatieniveaus a en d bij een verhouding van de elektriciteits- en gasprijs van ongeveer 3.3, met toepassing van een PV-installatie van 10kWp zuidgericht (10Z) of 3 kWp westgericht (3W).

Figuur 28: Evolutie totale prijs in euro (aankoop en energie) voor een condenserende gasketel (CK G), een hybride warmtepomp (hybr) en een lucht-water warmtepomp (WP L/W) voor isolatieniveaus a en d bij een verhouding van de elektriciteits- en gasprijs van 1.8, met toepassing van een PV-installatie van 10kWp zuidgericht (10Z) of 3 kWp westgericht (3W).



Figuur 29: Evolutie totale prijs in euro (aankoop en energie) voor een condenserende gasketel (CK G), een hybride warmtepomp (hybr) en een lucht-water warmtepomp (WP L/W) voor isolatieniveaus a en d bij een verhouding van de elektriciteits- en gasprijs van ongeveer 3.3, met toepassing van een PV-installatie van 10kWp zuidgericht (10Z) of 3 kWp westgericht (3W) en waarbij het berekende verbruik gecorrigeerd werd.



Figuur 30: Evolutie totale prijs in euro (aankoop en energie) voor een condenserende gasketel (CK G), een hybride warmtepomp (hybr) en een lucht-water warmtepomp (WP L/W) voor isolatieniveaus a en d bij een verhouding van de elektriciteits- en gasprijs van 1.8, met toepassing van een PV-installatie van 10kWp zuidgericht (10Z) of 3 kWp westgericht (3W) en waarbij het berekende verbruik gecorrigeerd werd.

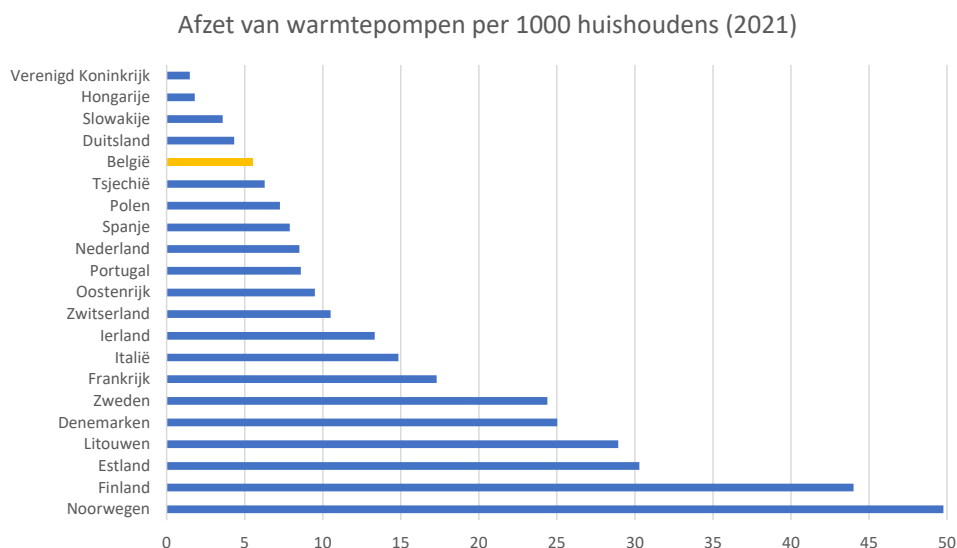
Bovenstaande figuren tonen de impact van PV-installaties op het verloop van de kosten. De initiële kostprijs ligt hoger door de bijkomende installatie van PV-panelen, maar de energiekosten liggen lager. Zeker bij de installatie van 10 kWp die zuidgericht is, is de jaarlijkse energiekost negatief, gezien het elektriciteitsverbruik van de (hybride) warmtepomp voor de getoonde typologie en isolatiegraden volledig wordt gecoverd door wat geleverd wordt door de PV-installatie. Het is daarbij belangrijk te vermelden dat dit een theoretische voorstelling is, gezien elektriciteitsverbruik en -productie op jaarbasis vergeleken worden en er dus geen rekening wordt gehouden met de zelfconsumptie.

Bij de kleinere installatie van 3 kWp die op het westen gericht is, is de energieprijis voor de getoonde case niet negatief, maar wordt de hogere installatiekost van de bijkomende PV-panelen wel terugverdiend binnen de levensduur van de installatie.

3.4. Beleid omringende landen

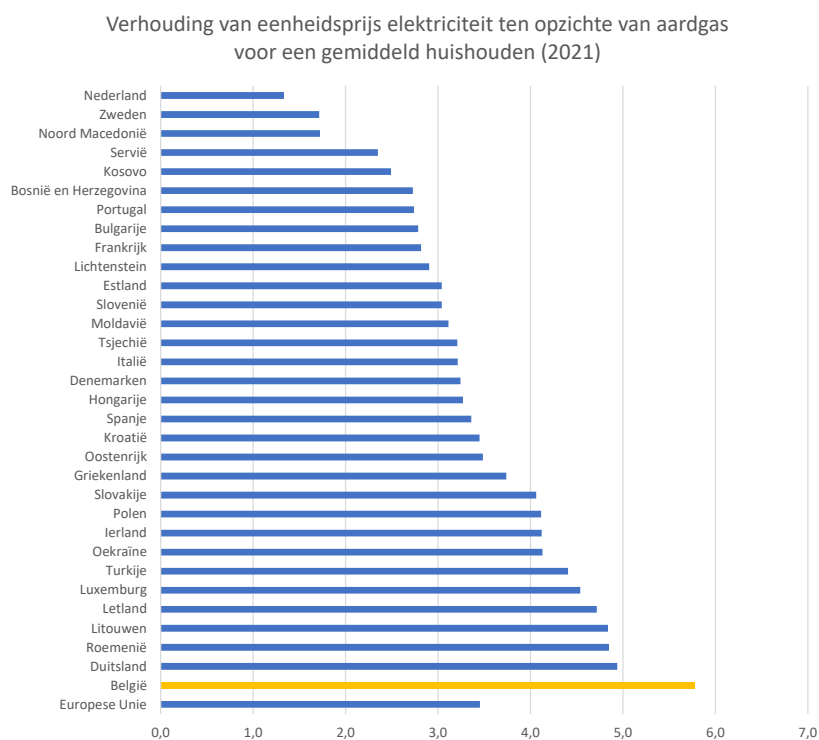
In deze paragraaf wordt het beleid met betrekking tot hybride warmtepompen in de omringende landen bondig samengevat. Ook relevant geachte aspecten die indirect van invloed zijn op de promotie (of het afremmen) van hybride warmtepomptechnologie komen daarbij aan bod, zoals de aanpak voor uitfasering van fossiele brandstoffen voor verwarming van gebouwen, de beperking van gasnet aansluitingen, beleidsmaatregelen ter promotie van warmtepomptechnologie en stimuleren van de aanwending van energie uit hernieuwbare bronnen.

Vooraleer in te zoomen op de specifieke beleidsmaatregelen, wordt de huidige situatie van (hybride) warmtepompen bekeken. Figuur 31 toont de residentiële afzetmarkt van warmtepompen in 2021 in een aantal EU landen gebaseerd op data van EHPA (2022).



Figuur 31: Residentiële afzetmarkt van warmtepompen in een aantal Europese landen.

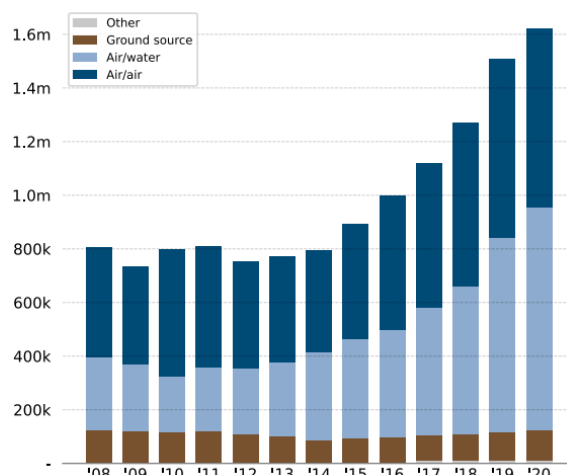
Een verklaring voor de beperkte afzet van warmtepompen in België kan gevonden worden in de verhouding van de eenheidsprijs van elektriciteit ten opzichte van die van aardgas, zoals getoond in Figuur 32, gebaseerd op EUROSTAT data.



Figuur 32: Prijsverhouding elektriciteit/gas voor een gemiddeld huishouden.

Door de recente geopolitieke situatie zijn de eenheidsprijzen voor energie sterk gestegen en fluctuerend. Momenteel is de verhouding van de eenheidsprijs voor elektriciteit ten opzichte van deze voor aardgas gelijk aan 3,2²⁵ voor Vlaanderen (data VREG december 2022) voor een gemiddelde afname van een gezin.

Figuur 33 toont de evolutie in de verkoopsaantallen van verschillende types warmtepompen in Europa. In het laatste decennium is het aantal warmtepompen verdubbeld in Europa. Substantiële groei vond plaats voornamelijk in Polen, Duitsland en Nederland. Afname van verkoop werd enkel in Noorwegen vastgesteld. De markt wordt bijna volledig gedomineerd door lucht/lucht en lucht/water systemen. In België (niet in de figuur opgenomen) is het meest verkochte type lucht/lucht.



Figuur 33: Evolutie in verkoopsaantallen in de EU van verschillende types warmtepompen (Bron data: EHPA; 2021).

Binnen de markt voor warmtepompen, bevindt de hybride warmtepomp zich momenteel in een niche. In Frankrijk - de grootste afzetmarkt voor warmtepompen in de EU - bijvoorbeeld werden minder dan 5.000 hybride warmtepompen geplaatst terwijl er 530.000 monovalente warmtepompen voor ruimteverwarming en sanitair warmtapwater werden geplaatst in 2021. In Italië - de op één na grootste afzetmarkt voor warmtepompen in de EU - werden 60.000 hybride toestellen geplaatst in 2021 (EHPA data). Het is niet duidelijk hoeveel van de 440.000 warmtepompen in België²⁶ hybride toestellen zijn, maar wellicht gaat het om een marginaal aandeel.

3.4.1. EU-beleid

Met het Fit for 55 programma, verder uitgewerkt en aangescherpt in het REPowerEU-plan, voorziet de Europese Commissie beleidspunten om het gebruik van fossiele brandstoffen drastisch terug te dringen en versneld en definitief van de afhankelijkheid van (Russische) fossiele brandstoffen af te geraken. In de gebouwensector wordt daarvoor ingezet op de beperking van de warmtevraag die toelaat de (rest)vraag aan thermische energie te voorzien door andere energiebronnen dan fossiele.

Deze doelstellingen zijn vertaald in het Europese beleid via verscheidene directieven van toepassing op gebouwen en de bebouwde omgeving²⁷ :

- Ecodesign en -labeling:
 - RePowerEU: aankondiging verstrenging Ecodesign vereisten voor verkoop monovalente fossiele verbrandingsketels na 2029, hetgeen een verbod op verkoop van stand-alone fossiele verbrandingsketels impliceert na 2029;
 - Herschalen van de labels voor verwarming;
- EED:
 - Verstrenging van vereisten voor publieke gebouwen;
 - Ondersteuning uitfaseringsregelgeving door versterking warmteplanning;
- RED:

²⁵ Verhouding van de gemiddelde commerciële prijs voor huishoudens van 0,57 €/kWh voor elektriciteit ten opzichte van 0,18 €/kWh voor aardgas.

²⁶ EurObserv; 2021; Heat pumps barometer 2021 - EurObserv'ER (eurobserv-er.org)

²⁷ Gebaseerd op Agora-Energiewende; 2022; p.10; https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/Waermepumpen_Praesentation.pdf

- Minimumvereisten voor de aanwending van energie uit hernieuwbare bronnen;
- Jaarlijkse toename van het aandeel van warmte uit hernieuwbare bronnen van 1,1%;
- EPBD recast proposal, voorstel voor verplichting lidstaten:
 - ondersteuning voor nationale regelingen uitfasering;
 - versterking van nationale regelingen uitfasering in dichtbebouwde gebieden;
 - vereisten voor fossielvrije gebouwen
 - afschaffen subsidies voor fossiele verbrandingsketels vanaf 2027;
 - maatregelen opnemen voor de uitfasering van fossiele brandstoffen voor verwarming en koeling van gebouwen in de nationale gebouwrenovatieplannen, waarvoor een duidelijk wettelijk kader moet voorzien worden die het uitsluiten van technologie voor verwarming gebaseerd op emissiewaarden of op type brandstof mogelijk maakt.

In verschillende Europese landen werden daartoe concrete maatregelen geïntroduceerd, zoals het verbod op stookolieketels voor verwarming (nieuwbouw en bestaande gebouwen) in Noorwegen, de verplichting tot aanwending van hernieuwbare energie gekoppeld met warmteplanning in Denemarken en het verbod op de installatie van verbrandingstoestellen op fossiele brandstoffen in nieuwbouw vanaf 2023 en een einddatum voor het gebruik van ketels op fossiele brandstoffen in Oostenrijk²⁸. Info specifiek over Frankrijk, Nederland en Duitsland is opgenomen in 3.4.2, 3.4.3 en 3.4.4.

3.4.2. Frankrijk

Op 12 Januari 2022 heeft de eerste minister van Frankrijk het verbod op stookolieketels en verwarming op steenkool met inwerkingtreding vanaf 1 juli 2022 aangekondigd op de officiële site van de Franse administratie. Volgens decreet²⁹ moeten nieuwe installaties voor verwarming of warmwaterproductie in woon- of professionele gebouwen, nieuw of bestaand, in Frankrijk vanaf 1 juli 2022 voldoen aan een broeikasgasemissielimiet van 300 gCO₂eq/kWh t.o.v. de onderste verbrandingswaarde. Dit stemt overeen met een verbod op nieuwe verwarmingsinstallaties op stookolie of steenkool. Nieuwe installaties of vervangingsinstallaties die gebruik maken van warmtenetten, elektriciteit, biomassa, zonne- of geothermische energie, gas of biobrandstof zijn toegestaan, op voorwaarde dat ze voldoen aan het emissieplafond van 300 gCO₂eq/kWh. Dat betekent dat er ook toepassingen van hybride warmtepompen toegestaan worden en in geval van hybride installaties op aardgas zonder een bijkomende voorwaarde met betrekking tot het aandeel van de warmtebehoefte dat door het warmtepompgedeelte moet gedekt worden. In geval van hybride warmtepompen op stookolie, wordt het minimale aandeel bepaald door dit emissieplafond.

Bestaande stookolieketels moeten niet vervangen worden als deze functioneren of gerepareerd kunnen worden. Er zijn uitzonderingen voorzien wanneer het onmogelijk is om het type verwarmingssysteem te wijzigen vanwege technische of juridische redenen. Vooral in geval een aansluiting op gas of warmtenet onmogelijk is en het elektriciteitsnet zou versterkt moeten worden. Steun is voorzien die kan oplopen tot 11.000 euro, afhankelijk van de situatie en of de nieuwe installatie hernieuwbare energie gebruikt.

De waarde die het emissieplafond definieert is niet bijzonder stringent, aangezien enkel verbrandingstoestellen op stookolie en steenkool uitgesloten worden en verbrandingstoestellen op aardgas en (op vlak van emissies) equivalente technologieën nog steeds toegelaten worden. De methodiek laat wel toe om geleidelijk aan het plafond te laten zakken naar meer stringente niveaus van energieprestatie.

3.4.3. Nederland

In Nederland is sinds 2018 een verbod voor de aansluiting op een gasnet voor nieuwbouwwoningen van kracht. Bij de vervanging van een centrale verwarmingsinstallatie in woningen moet vanaf 2026 overgestapt worden op een duurzamer alternatief. Dat kan behalve een hybride warmtepomp ook een volledig elektrische warmtepomp zijn of een aansluiting op een warmtenet.

28 Agora-Energiewende; 2022; p.9; https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/Waermepumpen_Praesentation.pdf

29 MTE; 2022; Décret n° 2022-8 du 5 janvier 2022 relatif au résultat minimal de performance environnementale concernant l'installation d'un équipement de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire dans un bâtiment; Ministère de la Transition Ecologique; Journal officiel de la République Française; Texte 4 sur 106; Paris, France; 6 Janvier 2022; <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2022/1/5/TRER2123719D/jo/texte>

Op 15/6/2022 werd een actieplan (hybride) warmtepompen en een bijhorend rapport³⁰ overgemaakt aan de Tweede kamer. Dit actieplan houdt in dat er normering wordt uitgewerkt om vanaf 2026 bij vervanging van de cv-ketel hogere eisen te stellen aan de efficiëntie van verwarmingsinstallaties, waardoor de zogeheten 'mono cv-ketel' in de meeste gevallen niet meer zal voldoen. Het actieplan houdt daarbij wel rekening met drie randvoorwaarden:

- voldoende aanbod van toestellen en installateurs;
- geschiktheid van de (hybride) warmtepomp voor de woning;
- het voorkomen van desinvesteringen, zoals bijvoorbeeld voor woningen in wijken waar er binnen 10 jaar een warmtenetaansluiting voorzien wordt.

Met geschiktheid van de (hybride) warmtepomp voor de woning wordt eigenlijk bedoeld dat gekeken wordt naar de geschiktheid van de woning voor de toepassing van een (hybride) warmtepomp. Een woning is niet geschikt³¹ als het economisch, technisch of functioneel niet haalbaar is om aan de normering te voldoen. Dat houdt in dat de duurzame installatie goed in de woning moet kunnen worden geïnstalleerd en de woning goed moet kunnen verwarmd worden tegen aanvaardbare kosten.

Subsidies en renteloze leningen (via het Nationaal Warmtefonds) moeten de meerinvestering compenseren. De aflossing wordt voorberekend lager te zijn dan de reductie van de energierekening.

In het bijbehorend rapport wordt de hybride warmtepomp voorgesteld als een goede manier om in alle wijken waar tot 2030 nog geen volledig aardgasvrije verduurzamingsopties voorhanden zijn, aan de slag te gaan met stapsgewijze maatregelen die bijdragen aan de CO2 doelstelling. Tegelijkertijd worden enkele barrières geïdentificeerd:

- te lage bekendheid bij consumenten en installateurs;
- gebrekkige en niet-eenduidige informatieverstrekking;
- forse meerinvestering hybride warmtepomp in vergelijking met aardgasketel;
- beperkte capaciteit productie;
- beperkte capaciteit en competentie installateurs.

Het doel van het actieplan is om opschaling van hybride warmtepompen te bekomen door het wegwerken van de belemmeringen via het op korte termijn creëren van verbeterde randvoorwaarden en condities. Daartoe zijn concrete acties opgetekend geldig voor de periode 2022-2024 die als basis moeten dienen voor het faciliteren van verdere groei naar 2030 en onderverdeeld in de volgende vijf topics:

- communicatie en monitoring;
- het bevorderen van de vraag;
- het organiseren van het aanbod;
- het verzamelen, valideren en delen van kennis;
- de impact van warmtepompen op het energienetwerk.

Vanaf 1 januari 2022 werd het subsidiebedrag voor (hybride) warmtepompen verhoogd van 20% naar 30% van de gemiddelde totale investeringskosten³². Deze verhoogde subsidie werd eerst uitsluitend voorzien voor hybride warmtepompen, maar zou bijgesteld zijn en geldig voor alle types ook full electric warmtepompen vanuit de redenering dat het onlogisch zou zijn om full electric warmtepompen een lagere subsidie te geven dan hybride.

3.4.4. Duitsland

Duitsland heeft zich bij wet verplicht gesteld om uiterlijk in 2045 broeikasgasneutraal te zijn. Daartoe moet uiterlijk in 2045 het gebruik van fossiele brandstoffen voor de verwarming van gebouwen volledig uitgefaseerd zijn. Verder neemt Duitsland zich voor dat uiterlijk in 2045 verdere stappen moeten worden genomen om de warmtevoorziening volledig te dekken met hernieuwbare energie of restwarmte.

Met deze doelstellingen in het vizier werd in Duitsland in maart 2022 beslist dat vanaf januari 2024 elk nieuw geïnstalleerd (gepland of ongepland) verwarmingssysteem (ruimteverwarming en of warmtapwater³³) in

³⁰https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2022Z12117&did=2022D25000

³¹<https://warmte-pompen.nl/wp-content/uploads/2022/07/antwoorden-op-kamervragen-over-de-warmtepompplicht.pdf>

³² <https://www.duurzaambouwloket.nl/nieuws/vanaf-2022-extra-subsidie-voor-warmtepompen>

³³ Voor gescheiden systemen voor ruimteverwarming en warmtapwater geldt de verplichting enkel voor het te vervangen systeem.

nieuwbouw en bestaande gebouwen (zowel residentieel als niet-residentieel) moet werken op basis van minstens 65% energie uit hernieuwbare bronnen³⁴.

Deze maatregel was oorspronkelijk voorzien om in te gaan vanaf 2025, maar werd versneld doorgevoerd vanwege de gewijzigde omstandigheden door de oorlog in Oekraïne. Na een bespreking van het concept met het maatschappelijk middenveld, is verankering van het bestek in de Bouwenergiewet (GEG) aangekondigd op een later tijdstip te zullen plaatsvinden. Een officieel gepubliceerd overzicht³⁵ (laatste update 16/01/2023) van de meest recente wijzigingen aan de bouwenergiewet bevat echter nog geen vermelding van effectieve invoering van deze 65% hernieuwbare eis in de Bouwenergiewet.

Ter ondersteuning van deze transitie werd de voorziening van financiële steunmaatregelen aangekondigd.

De verordening sluit daarmee uitsluitend olie- en gasgestookte systemen uit. Zelfs combinaties van bijvoorbeeld een condensatieketel op gas met thermische zonne-energie zullen niet voldoen aan de 65% eis.

Hybride warmtepompen zijn wel mogelijk in zoverre het aandeel hernieuwbare energie minstens 65% bedraagt. Ter vereenvoudiging van implementatie, wordt de facto aangenomen dat voldaan is aan deze voorwaarde voor hybride verwarming bestaande uit fossiele gas- of olieketels in combinatie met een elektrische warmtepomp in geval minstens 30% van de warmtebehoefte gedekt wordt door het warmtepompgedeelte van de hybride warmtepomp. Aan de eis wordt geacht te zijn voldaan als het vermogen van de warmtepomp op testpunt A2/W35 overeenkomt met ten minste 30 procent van het vermogen van de laatst geïnstalleerde verbrandingsketel die als piekgenerator optreedt.

Ook elektrische weerstandsverwarming wordt toegestaan, als de elektriciteitsvoorziening ervan voor minstens 65% geproduceerd wordt uit hernieuwbare bronnen.

Voor full electric warmtepompen wordt de facto aangenomen voldaan te zijn aan de 65% voorwaarde indien dit systeem de volledige verwarmingsbehoefte van het gebouw dekt. Als argumentatie wordt aangegeven dat hoewel er ook elektriciteit gebruikt wordt voor de warmtelevering, met name voor het aandrijven van de compressor, het grootste deel van de energie uit de omgeving komt en hernieuwbaar is. Daarnaast moet het aandeel elektriciteit dat van het openbare elektriciteitsnet wordt afgenomen 100 procent klimaatneutraal worden opgewekt gedurende de normale levensduur van een warmtepomp.

Naast deze opties om in één stap te voldoen aan het 65% voorschrift, bestaan er ook mogelijkheden om stapsgewijs tot de doelstelling te komen. Daarbij moet er ook aangesloten worden op een warmtenet of gekozen worden voor systemen waarbij ofwel een hoog aandeel hernieuwbare energie direct mogelijk is of waarbij het gebruik van beschikbare fossiele brandstoffen of biobrandstoffen het gemakkelijkst beperkt kan worden. Het is de bedoeling om het gebruik van fossiele brandstoffen zo veel als mogelijk te vermijden en biobrandstoffen toe te passen in gebouwen waarvoor klimaatneutraliteit moeilijk op andere wijze kan bereikt worden. In gevallen waarin de gebouweigenaar biomassaverwarming of groene waterstof of andere groene gassen wil gebruiken om aan de verplichting te voldoen, moet deze een deskundige laten bewijzen dat alle uitvoeringsopties op het eerste niveau technisch niet mogelijk, wettelijk niet toegestaan of economisch niet te rechtvaardigen zijn.

In wat volgt worden enkel de opties beschreven waarin hybride warmtepompen een rol spelen, een volledig overzicht is beschikbaar in de publicatie van BMWK en BMWSB³⁶.

In stap 1 in de stapsgewijze optie waarbij hybride warmtepompen toegepast worden gelden dezelfde regels als in de eerste optie (waarbij in slechts één stap voldaan wordt aan de 65% regel). Stap 2 geldt dan als om technische of juridische redenen stap 1 niet mogelijk is of tot onaanvaardbaar hoge kosten zou leiden. Desgevallend moet dit vastgesteld worden door een deskundige. Dan kan aan de verplichting ook worden voldaan door systemen te installeren met direct gebruik van

- duurzaam geproduceerd biomethaan,
- groene waterstof en zijn derivaten of andere groene gassen,
- duurzame vaste of vloeibare biomassa.

³⁴ BMWK, BMWSB; 2022; p.1; 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024 Konzeption zur Umsetzung; Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB); 14 Juli 2022; [65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024 \(bmwk.de\)](https://www.bmwk.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Broschuere/65-Prozent-erneuerbare-Energien-beim-Einbau-von-neuen-Heizungen-ab-2024.pdf?__blob=publicationFile)

³⁵ <https://www.bmwsb.bund.de/Web/BMWSB/DE/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-sanieren/gebaeudeenergiegesetz/gebaeudeenergiegesetz-artikel.html> (geconsulteerd op 20/01/2023).

³⁶ BMWK, BMWSB; 2022; 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024 Konzeption zur Umsetzung; Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB); 14 Juli 2022; [65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024 \(bmwk.de\)](https://www.bmwk.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Broschuere/65-Prozent-erneuerbare-Energien-beim-Einbau-von-neuen-Heizungen-ab-2024.pdf?__blob=publicationFile)

Deze brandstoffen moeten minimaal 65% van de warmte leveren, alleen of in combinatie met andere duurzame warmteopwekkers (warmtepompen, thermische zonne-energie, warmteterugwinning). Deze optie kan worden gebruikt in gebouwen met technische of wettelijke isolatiebeperkingen, zoals monumentale gebouwen.

Er zijn maatregelen inbegrepen ter bescherming van huurders, waarin staat dat bij gebruik van biomethaan of groene gasen de verhuurder de kosten draagt die het basisleveringstarief voor gas overschrijden.

Er wordt verder nog vermeld dat een hybride verwarmingssysteem ideaal is in gevallen waar installatie van een warmtepomp mogelijk is, maar het gebouw nog steeds een hogere verwarmingsbehoefte heeft in afwachting van uitvoering van een energierenovatie. De argumentatie stelt dat dergelijk hoge verwarmingsbehoefte moeilijk kan gedekt worden met een warmtepomp, vooral tijdens piekuren.

Er zijn uitzonderingen voorzien en overgangsmaatregelen voor situaties waar de 65% regel moeilijk onmiddellijk toepasbaar is. Zo is er als tijdelijke oplossing voor dergelijke situaties verwarming op gas of olie toegestaan, maar dan 'renewable ready' hetgeen betekent dat voorbereidingen getroffen moeten worden voor ombouw tot hybride installatie binnen drie jaar, waarbij dan de basislast door hernieuwbare energie gedekt wordt.

3.4.5. Verenigd Koninkrijk

In 2019 gaf het CCC (Committee for Climate Change) aan dat hybride warmtepompen een belangrijke rol zullen spelen in de defossilisering van residentiële gebouwen in het Verenigd Koninkrijk, waarbij aangedrongen wordt op een onmiddellijke uitrol van hybride warmtepompen met als richtwaarde 10 miljoen toestellen tegen 2030. Ook daarna wordt hun belang benadrukt in het recent gepubliceerde Sixth Carbon Budget. Zo zouden er tegen 2050, zelfs indien waterstof de dominante warmtebron zou worden, naar schatting minstens 13 miljoen warmtepompen (inclusief hybride systemen) geïnstalleerd worden in woningen in het VK.

In oktober 2021 publiceerde de Britse overheid haar strategie voor warmte en gebouwen³⁷. In die strategie wordt uitspraak gedaan over de voorziene rol van hybride warmtepompsystemen. Deze zouden een rol kunnen spelen in transitie in de 2020er en 2030er jaren, maar er wordt gesteld dat het op basis van de huidige informatie te vroeg is om aan te geven of hybride systemen al dan niet deel zullen uitmaken van de energiemix in 2050, in het bijzonder in relatie tot de rol van waterstof voor verwarming. Daarom geeft de Britse overheid momenteel hoge prioriteit om hieromtrent meer data te verzamelen, zoals bijvoorbeeld in het veldonderzoek naar hybride systemen binnen het 'Electrification of Heat Demonstration Project' en in sociale huisvesting in het 'Wales' Optimised Retrofit Programme in social housing' om meer inzicht te bekomen in de effectiviteit van hybride warmtepompen in CO₂ emissiereductie en piekelektriciteitsvraag.

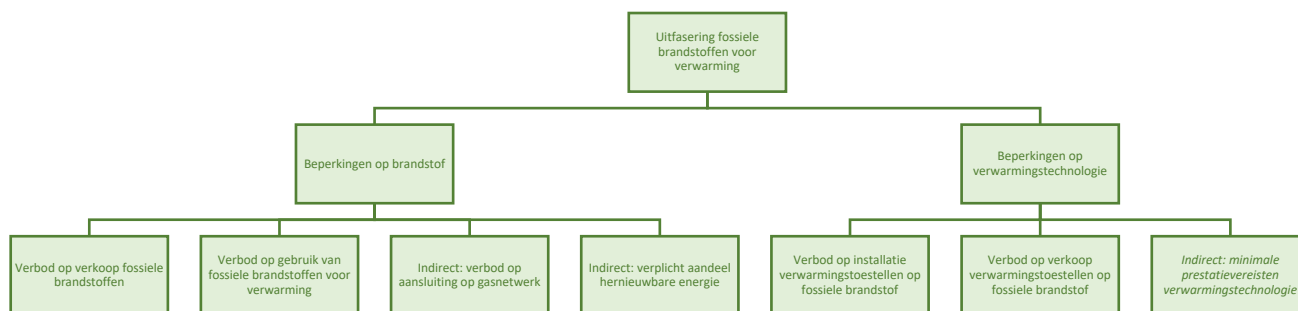
Ondertussen wordt verder ingezet op pilootprojecten op buurt- en gemeenteniveau met verwarming op waterstof opdat strategische beslissingen omtrent de rol van waterstof in verwarming kunnen genomen worden tegen 2026.

3.4.6. Mogelijke regelgevende aanpak voor de uitfasering van fossiele brandstoffen

Een algemeen overzicht van verschillende mogelijke beleidsmaatregelen om de uitfasering van fossiele brandstoffen voor verwarming van gebouwen door te voeren is beschreven in een rapport gepubliceerd in Oktober 2021 door Öko-Institut³⁸. Een schematisch overzicht daarvan is overgenomen in Figuur 34 met aanvulling van minimale prestatievereisten voor verwarmingstechnologieën als mogelijke beleidsmaatregel, zoals bijvoorbeeld een opgelegd emissieplafond per eenheid van geproduceerde warmte.

³⁷ BEIS; 2021; Heat and Buildings Strategy; Department for Business, Energy & Industrial Strategy; London, United Kingdom; October 2021; [Heat and buildings strategy - GOV.UK \(www.gov.uk\)](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/98441/heat-buildings-strategy.pdf)

³⁸ https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Phase-out_fossil_heating.pdf



Figuur 34: Overzicht beleidsmaatregelen uitfasering fossiele brandstoffen voor verwarming (gebaseerd op bron: Öko-Institut).

Er zijn in hetzelfde rapport ook aanbevelingen geformuleerd voor het opstellen van regelgeving voor dergelijke uitfasering, waaronder de aanbeveling om hybride technologieën die gebruik maken van fossiele brandstoffen grotendeels uit te sluiten opdat de regelgeving voldoende zou aansluiten bij de doelstelling van volledige defossilisering. Gedeeltelijke uitfasering, zoals via een verplicht aandeel energie uit hernieuwbare bronnen waarbij een relatief laag minimumaandeel opgelegd wordt en het toelaten van hybride technologieën creëert lock-in effecten met hoog risico op uitstel van uitfasering. Ook het tijds kader waarbinnen een gefaseerd doorvoeren van geleidelijk verstrendende maatregelen nog mogelijkheden biedt is van zeer korte duur gegeven een levensduurverwachting van verbrandingstoestellen van 20 tot 25 jaar. Ook biobrandstoffen en synthetische brandstoffen worden voorspeld slechts een beperkte rol te spelen in de warmtetransitie vanwege de onvoorspelbaarheid van de kostprijs. Voorts wordt het belang aangehaald om warmtezonerings- en -planning uit te rollen in combinatie met uitfaseringsmaatregelen.

Naast de in het overzicht opgenomen mogelijke beleidsmaatregelen met focus op het opleggen van verplichtingen of verbodsbepalingen, bestaan er uiteraard ook andere mogelijke beleidsmaatregelen zoals sensibilisering en financiële stimulerings- of ontradingsmechanismen.

Verder moet opgemerkt worden dat het nodig is om aanvullend op deze beleidsmaatregelen voor de uitfasering van fossiele brandstoffen voor verwarming ook beleidsmatig aan te sturen op de reductie van de warmtebehoefte. Een hoog minimumaandeel hernieuwbare energie alleen is onvoldoende om de warmtetransitie naar een koolstofarm gebouwenpark waar te maken.

Bovendien is het aan te bevelen een gepast kader op te zetten om de kwaliteit en prestaties van verwarmingssystemen te waarborgen tijdens de operationele fase, bijvoorbeeld via verplicht nazicht en onderhoud.

Om een correct evaluatiekader te scheppen is het ook nodig dat de correctiefactoren (omrekenfactoren primaire energie en CO₂ equivalente emissies) een realistische representatie van de werkelijke energiemix vertegenwoordigen (voornamelijk voor elektriciteit van het grid en wijkenergiernetwerken) bij voorkeur ook rekening houdend met variatie in de tijd en de voorziene verduurzaming van de energieproductie van elektriciteitsnet.

4. Macro-analyse

Voor de macro-analyse worden de resultaten van de micro-economische analyse opgeschaald naar het volledige Vlaamse gebouwenbestand. Op basis van de resultaten van de dynamische simulaties worden mogelijke vervangingsscenario's van bestaande installaties bepaald. De verschillende scenario's resulteren in verschillende toenames in aantal warmtepompen, hybride warmtepompen en condenserende gasketels. Op basis van de resultaten van de representatieve cases van de EPC-methodologie, zowel theoretisch als gecorrigeerd, worden deze scenario's bijkomend vertaald in de impact op de CO₂-uitstoot en de impact op de elektriciteitsvraag. Daarbij wordt enkel gekeken naar de vervangen installaties over een bepaalde periode en wordt rekening gehouden met een verduurzaming van het gebouwenpark zoals aangenomen in het monitoringpad 2050 van het VEKA.

4.1. Vlaams niveau

4.1.1. Aannames gebouwstock

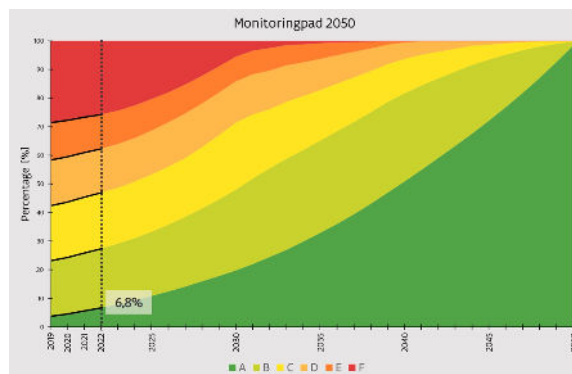
Voor de macro-analyse op Vlaams niveau werd vertrokken van de kadastrale statistiek van het gebouwenbestand om het aantal wooneenheden per typologie in het Vlaams Gewest te kennen.

Tabel 4: Aantal woonegelegenheden per typologie in het Vlaams Gewest (bron: StatBel)

2022 - Vlaams Gewest			
Huizen in gesloten bebouwing (R1)	Huizen in halfopen bebouwing (R2)	Huizen in open bebouwing, hoeven en kastelen (R3)	Buildings en flatgebouwen met appartementen (R4)
698.066	608.362	913.309	930.044

De verdeling tussen de groottes voor de woningen werd een gelijke verdeling aangenomen, analoog met de bepaling van de waarden voor deze typologieën voor illustratieve cases. Voor de appartementen werd een gelijke verdeling tussen de ingesloten en blootgestelde appartementen verondersteld. Deze inschatting gaat uit van een meerderheid aan kleinere appartementsgebouwen. De kadastrale statistiek bevat geen informatie over de grootte van appartementsgebouwen, en ook de EPC databank rond EPC voor gemeenschappelijke delen kan daarbij nog geen uitsluitsel bieden, gezien de stapsgewijze verplichting van dit EPC, waardoor momenteel te verwachten valt dat de grotere appartementsgebouwen daarin oververtegenwoordigd zijn. Voor de stijging van de woningvoorraad wordt uitgegaan van een jaarlijkse toename van 1%³⁹. Deze stijging wordt gelijk verondersteld voor alle woningtypes.

Om de illustratieve cases op te schalen, dient ook een inschatting gemaakt te worden van de verdeling volgens isolatiegraad. Hoewel de isolatiegraad niet één op één overeenkomt met het EPC-label, is voor deze verdeling de verdeling overgenomen van het monitoringpad van het VEKA, waarbij wordt rekening gehouden met de te verwachten effecten van sloop en (her) nieuwbouw en renovaties voor de periode tot 2050.



Figuur 35: Monitoringpad 2050 - bron VEKA⁴⁰

³⁹ <https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/bouwen-en-wonen/woningvoorraad>, geraadpleegd op 20 december 2022.

⁴⁰ [Renovatiegolf in Vlaanderen: kwart van de woningen heeft een label A of B en bijna 4 op 10 woningen een label E of F. | Vlaanderen.be](#)

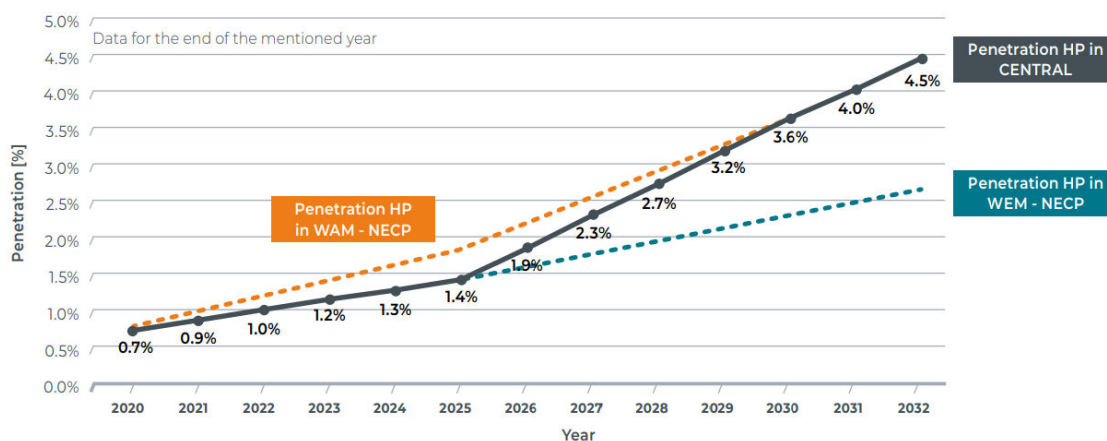
Voor de aannames rond ketelvervangingen werden de verkoopcijfers van verwarmingstechnologieën in België vergeleken met het aantal wooneenheden in België, resulterend in 6.5% van de Belgische wooneenheden die jaarlijks een nieuwe ketel krijgt, wat neerkomt op een gemiddelde levensduur van 15 jaar alvorens een installatie vervangen wordt. Er wordt verondersteld dat dit Belgische cijfer ook voor Vlaanderen representatief is en constant is over de verschillende illustratieve cases en isolatiegraden.

Merk op dat deze aannames in scenario's waarbij verondersteld wordt dat alle vervangen installaties (hybride) warmtepompen zijn, ambitieus zijn in vergelijking met het WAM scenario van het energie- en klimaatplan, wat ook als aanname wordt gebruikt voor de scenario's die Elia doorrekent in hun 'adequacy and flexibility' studie.

Heat pumps

As for electric vehicles, the penetration of heat pump installation in Belgium (in residential and tertiary sector) in the 'CENTRAL' scenario follows the WEM scenario until 2025. After 2025, an increase in the penetration of heat pump installation was taken into account to progressively reach the WAM 2030 target. These assumptions are summarised in Figure 3-9.

[FIGURE 3-9] — PENETRATION OF HEAT PUMP INSTALLATION (RESIDENTIAL AND TERTIARY SECTOR)



Figuur 36: Aannames Elia in adequacy - flexibility rapport ⁴¹

4.1.2. Onderzochte pistes

Bij de analyse van de macro-impact werd verder gebouwd op de conclusies van de resultaten van de dynamische analyses waar gevarieerd werd met de prijsverhouding, zoals getoond in Figuur 11.

prijsratio elek/gas = 4.5							prijsratio elek/gas = 3.5							prijsratio elek/gas = 2.5							prijsratio elek/gas = 1.8						
isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f	isolatie	a	b	c	d	e	f
a	0.13						a	0.93						a	1.00						a	1.00					
b	0.13	0.10					b	0.93	0.71					b	1.00	1.00					b	1.00	1.00				
c	0.13	0.10	0.08				c	0.93	0.71	0.42				c	1.00	1.00	0.93				c	1.00	1.00	1.00			
d	0.14	0.11	0.09	0.07			d	0.95	0.76	0.47	0.28			d	1.00	1.00	0.96	0.74			d	1.00	1.00	1.00	0.97		
e	0.15	0.12	0.09	0.07	0.06		e	0.96	0.78	0.49	0.31	0.25		e	1.00	1.00	0.98	0.78	0.68		e	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	
f	0.19	0.14	0.11	0.09	0.08	0.06	f	0.98	0.85	0.60	0.40	0.33	0.23	f	1.00	1.00	1.00	0.90	0.83	0.62	f	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90

Bij een prijsverhouding van 4.5 wordt verondersteld dat alle te vervangen installaties vervangen worden door een condenserende gasketel. Het andere uiterste wordt vertegenwoordigd door het scenario met de prijsverhouding van 1.8, waarbij overal warmtepompen verondersteld worden. Het tussenliggende scenario representatief voor ratio 3.5 veronderstelt een warmtepomp bij isolatiegraad a, een hybride warmtepomp bij isolatiegraden b en c een gasketel voor isolatiegraden d tot f. Het scenario representatief voor ratio 2.5 veronderstelt dat alle ketels die vervangen worden in woningen met isolatiegraad a-c vervangen worden door een warmtepomp, en die in woningen d-f door hybride warmtepompen. Ter illustratie werd ook een scenario doorgerekend waarbij alle te vervangen ketels door hybride warmtepompen worden vervangen. Tabel 5 geeft een samenvatting van de scenario's.

⁴¹ Bron: <https://www.elia.be/en/electricity-market-and-system/adequacy/adequacy-studies>

Tabel 5: Overzicht van de onderzochte scenario's en de vervangingsinstallatie per isolatiegraad

Naam	Ratio	a	b	c	d	e	f
all CK G	4.5	CK G	CK G	CK G	CK G	CK G	CK G
a WP, b-c hybr	3.5	WP	hybr	hybr	CK G	CK G	CK G
a-c WP, d-f hyb	2.5	WP	WP	WP	hybr	hybr	hybr
all WP	1.8	WP	WP	WP	WP	WP	WP
all hybr	n/a	hybr	hybr	hybr	hybr	hybr	hybr

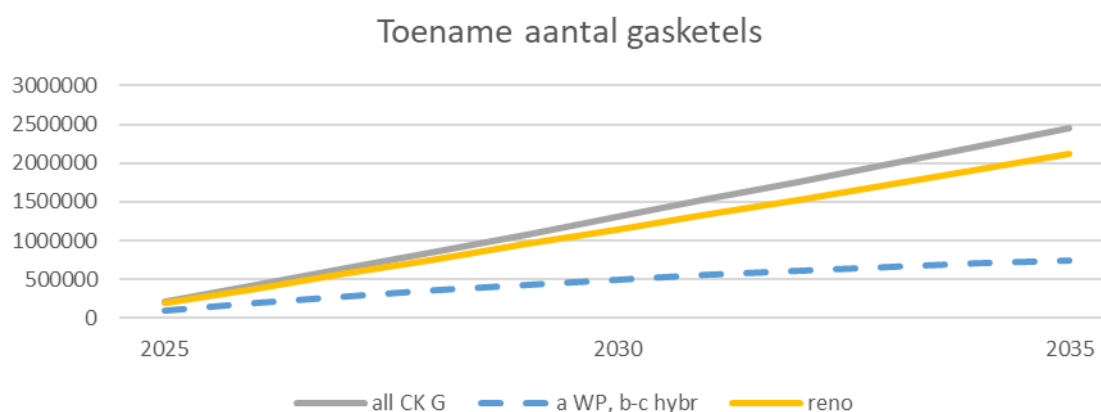
De scenario's uit Tabel 5 gaan telkens uit van alle te vervangen installaties die door een specifiek type vervangen worden. Daarnaast werd ook het 'reno' scenario toegevoegd, waarbij wordt verondersteld dat enkel maatregelen worden opgelegd voor ketels bij ingrijpende energetische renovaties. Daarbij werd aangenomen dat het daarbij om 20% van de ketelvervangingen gaat. Het reno-scenario is verder gebaseerd op het scenario voor ratio 3.5 en veronderstelt dus een warmtepomp voor isolatiegraad a, een hybride warmtepomp voor isolatiegraad b en c en een condenserende gasketel voor renovatiegraad d tot f. Hoewel verwacht wordt dat het aandeel van ketelvervangingen bij isolatie zich vooral situeert bij de betere isolatiegraden, werd geen onderscheid gemaakt in de aanname dat het gaat om 20% van het aantal ketelvervangingen.

Er wordt verondersteld dat de scenario's ingaan in 2025.

4.1.3. Resultaten

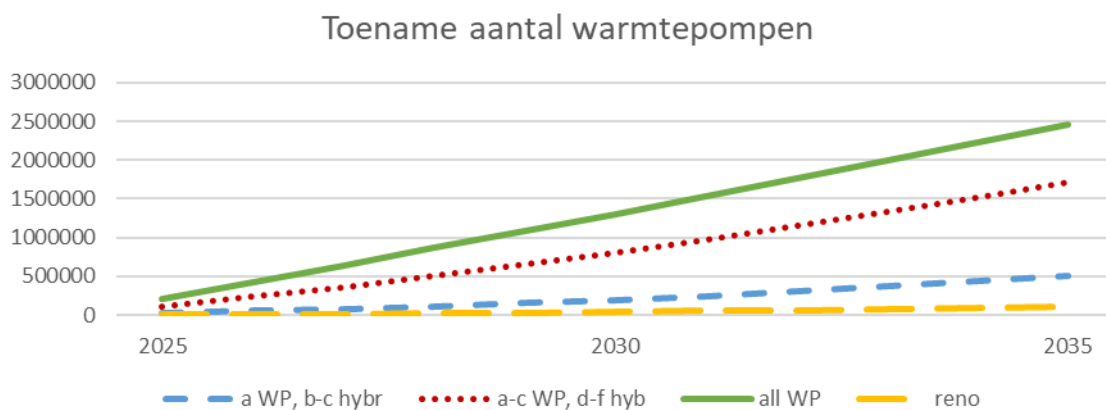
Aantal (hybride) warmtepompen

Op basis van de aannames van de verdeling van de gebouwstock volgens type, grootte en isolatiegraad in combinatie met de aanname rond ketelvervangingen, eventueel in combinatie met het aandeel van die ketelvervangingen die onderdeel zijn van een renovatie werd onderzocht hoe de aantallen van de verschillende types installaties toenemen. Figuur 37, Figuur 38 en Figuur 39 tonen de nieuwe installaties voor de verschillende onderzochte installaties voor respectievelijk condenserende gasketels, warmtepompen en

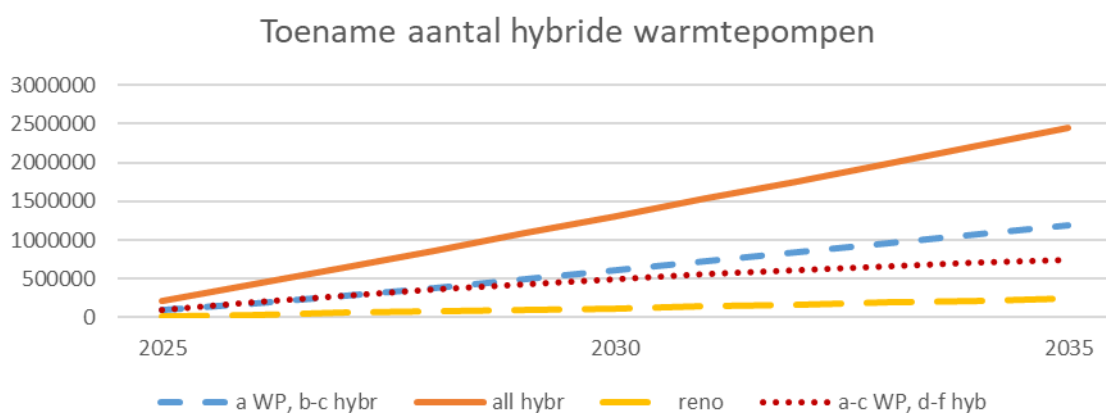


hybride warmtepompen.

Figuur 37: Toename van het aantal condenserende gasketels in de verschillende onderzochte scenario's tussen 2025 en 2035

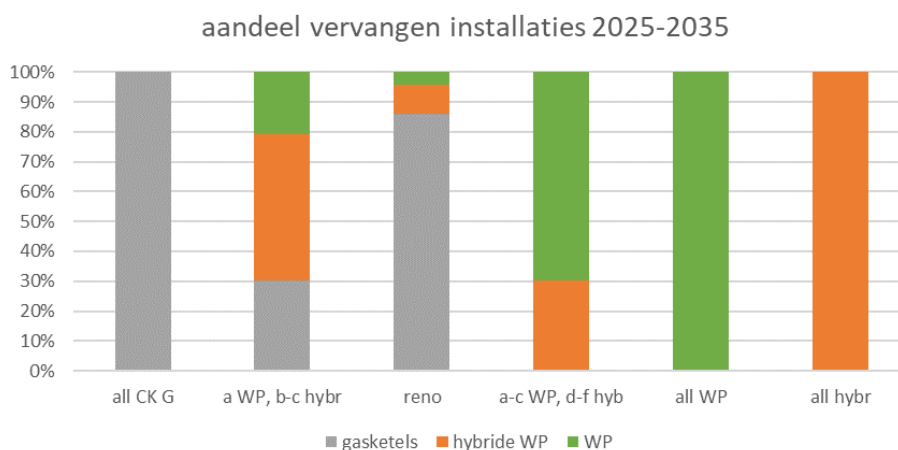


Figuur 38: Toename van het aantal warmtepompen in de verschillende onderzochte scenario's tussen 2025 en 2035



Figuur 39: Toename van het aantal hybride warmtepompen in de verschillende onderzochte scenario's tussen 2025 en 2035

Figuur 40 toont de aandelen van de vervangen installaties per type voor de periode 2025 t.e.m. 2035 voor de onderzochte scenario's. De vervangen installaties vertegenwoordigen in 2035 69% van het totaal aantal installaties.

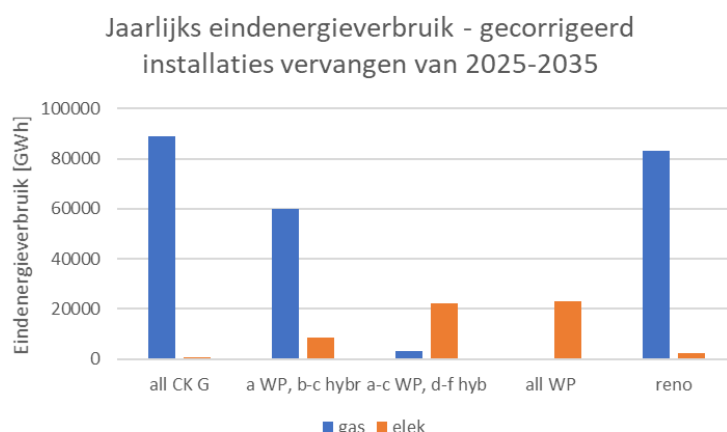


Figuur 40: Aandeel per type installatie voor de vervangen installaties in de periode 2025-2035 per scenario

CO₂

Op basis van de woningen per type, grootte en isolatiegraad, in combinatie met de aannames rond de technologieën die gebruikt worden voor verwarming werd het onderscheid bepaald in het eindenergieverbruik voor deze woningen met een vervangen installatie (dus niet voor het volledige gebouwenpark), hiervoor werd

rekening gehouden met de berekende verbruiken volgens de EPC methodologie, na toepassing van de correctiefactoren.

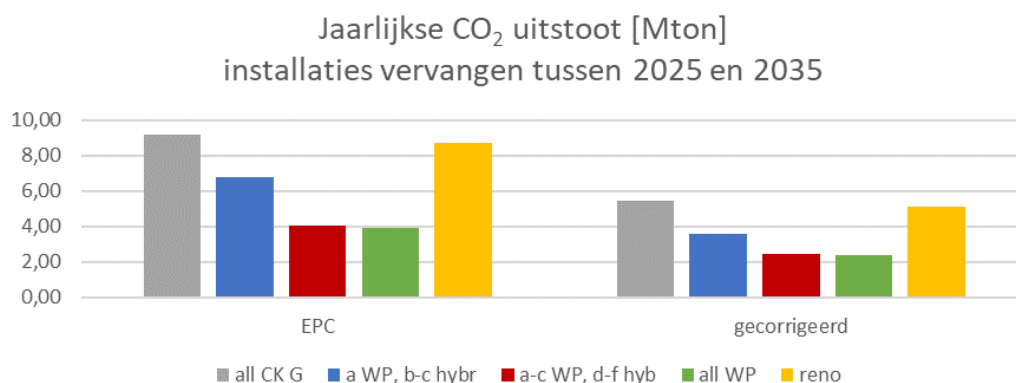


Figuur 41: Jaarlijks gecorrigeerd eindenergieverbruik voor de wooneenheden met vervangen installaties

Op basis van deze eindenergieverbruiken werd de overeenkomstige CO₂-uitstoot bepaald. Zowel de theoretische verbruiken, als deze herschaald naar reële waarden op basis van de studie van UGent werden daarbij berekend. Voor de omzetting van het eindenergieverbruik naar de CO₂-uitstoot werd gewerkt met volgende waarden uit de EPC formulestructuur:

- Gas: 0.056 kg/MJ
- Elektriciteit 0.0925 kg/MJ

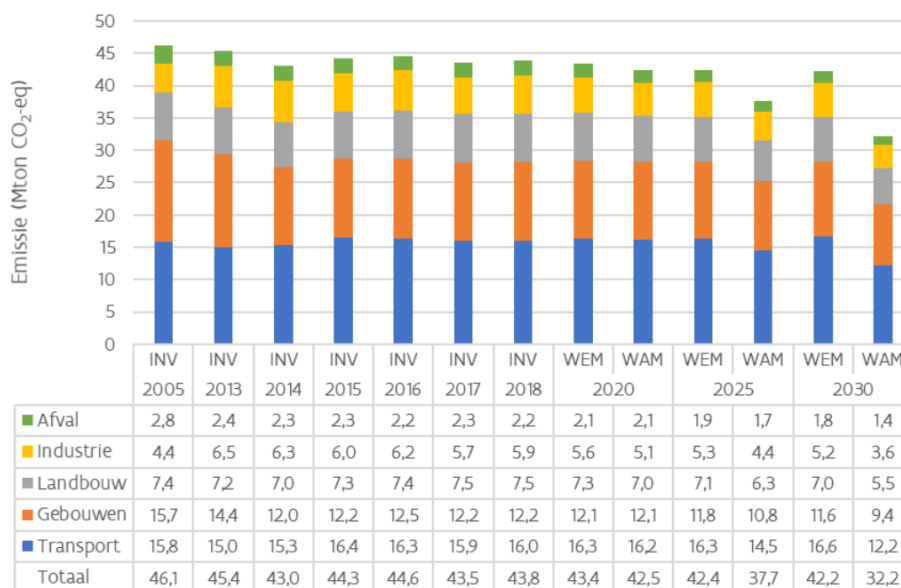
De grafieken tonen de jaarlijkse CO₂-uitstoot van de installaties in Vlaanderen die vervangen werden tussen 2025 en 2035 en houden geen rekening met de uitstoot van de nog aanwezige 'oude' installaties.



Figuur 42: CO₂-uitstoot van de vervangen installaties t.e.m 2035 volgens de theoretische verbruiken en gecorrigeerd naar werkelijk verbruik in Mton

Figuur 42 toont aan dat er weinig bijkomende CO₂-besparing is voor het scenario waarbij enkel eisen worden opgelegd rond verplichting tot invoering van (hybride) warmtepompen voor de woningen met een betere isolatiegraad bij renovatie, t.o.v. het scenario waarbij alle ketels worden vervangen door condenserende gasketels. Het invoeren van een verplichting tot vervanging van alle ketels door een (hybride) warmtepomp resulteert daarentegen tot een bijkomende besparing van 3 Mton op basis van de gecorrigeerde verbruiken.

Figuur 43 toont de (niet-ETS) broeikasgasemissies per sector zoals opgenomen in het Vlaams Energie- en Klimaatplan ter vergelijking.



Figuur 43: Niet-ETS broeikasgasemissies in Vlaanderen 2005-2030 (Mton CO₂-eq), bron: Vlaams Energie- en Klimaatplan⁴²

4.2. Impact warmtepompen op de Belgische elektriciteitsvraag

In deze paragraaf wordt kort de impact op de elektriciteitsvraag ingeschat. Een volledige inschatting van de impact op het laagspanningsnet valt buiten het opzet van deze studie.

Voor de bijkomende elektrische piekvraag van de verschillende scenario's over de tijd worden de scenario's beschreven zoals opgenomen in Tabel 5. Daarnaast wordt ook scenario 'a-c WP' beschreven, waarbij enkel warmtepompen worden geplaatst voor woningen met isolatiegraad a-c.

Voor alle scenario's wordt uitgegaan van de (conservatieve) aanname dat een kwart van de gebouwen tijdens de levensduur reeds een vorm van renovatie ondergaan heeft. Dit is van belang voor het piekvermogen voor de hybride warmtepomp, gezien deze zowel afhankelijk is van de oorspronkelijke als de huidige toestand, zoals toegelicht in §2.3. Het piekvermogen wordt overgenomen van de dynamische simulaties.

Het startpunt is voor alle scenario's 0.6 GW eind 2021, dit werd ingeschat op basis van de aantallen en thermische vermogens van warmtepompen door VEKA⁴³. (In 2022 werden naar schatting 30000 warmtepompen geïnstalleerd in België, maar dit zijn nog geen officiële cijfers⁴⁴).

In elk van de scenario's gaan we uit van een evolutie in de tijd waarbij de warmtepomp geïnstalleerd wordt na ketelvervanging, jaarlijks ongeveer 6.5%. Zoals toegelicht in §4.1.1 wordt rekening gehouden met de renovaties van de gebouwenstock door de aannames gemaakt in het monitoringpad.

Om de impact op de piekelektriciteitsvraag te bepalen, moeten we kijken naar de gelijktijdigheid van het verbruik van warmtepompen. In praktijk zal de theoretisch cumulatieve capaciteit niet voor 100% aan vollast draaien.

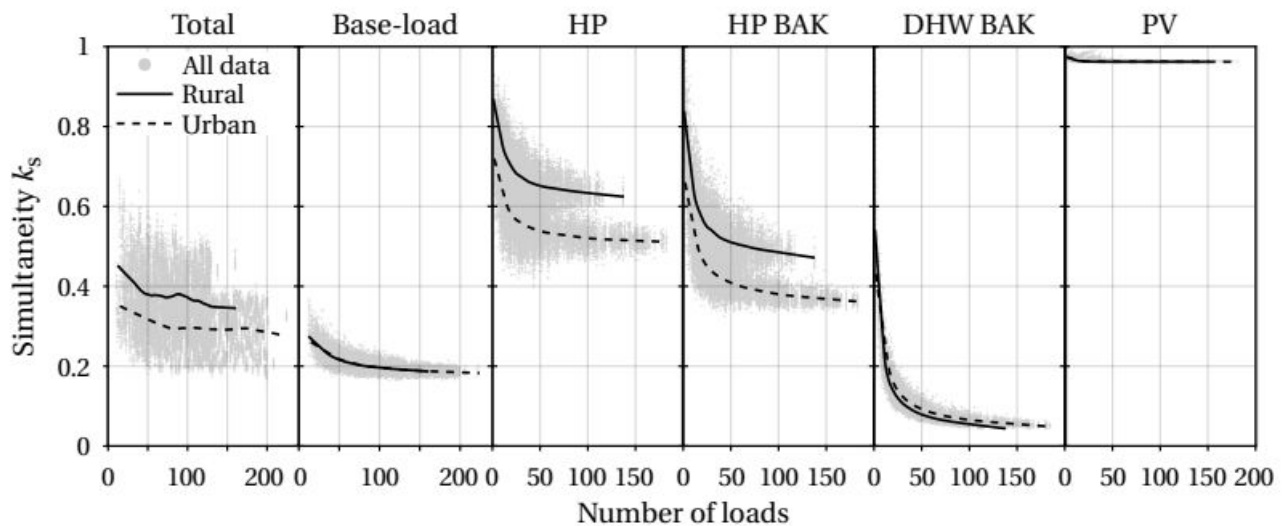
De meest relevante literatuurbron die de gelijktijdigheid van warmtepompen gedetailleerd in kaart brengt is (Protopapadaki, 2018)⁴⁵.

⁴² Vlaams Energie- en Klimaatplan mv5ai1.pdf (vlaanderen.be)

⁴³ Bron: VREG : <https://apps.energiesparen.be/energiekaart/vlaanderen/warmtepompen-vermogen>

⁴⁴ Persbericht op 09/02/2023 van ATTB, federatie van verwarmingsbedrijven

⁴⁵ <https://bwk.kuleuven.be/bwf/PhDs/phdprotopadaki.pdf>



Figuur 44: Gelijktijdigheidsfactoren k_s voor verschillende types belasting. De HP grafiek stelt de gelijktijdigheid van warmtepompen voor, van belang in dit rapport. Grize punten stellen alle datapunten voor, terwijl de lijnen de fit voor rurale en stedelijke eilanden apart voorstellen (Bron: Protopapadaki, 2018).

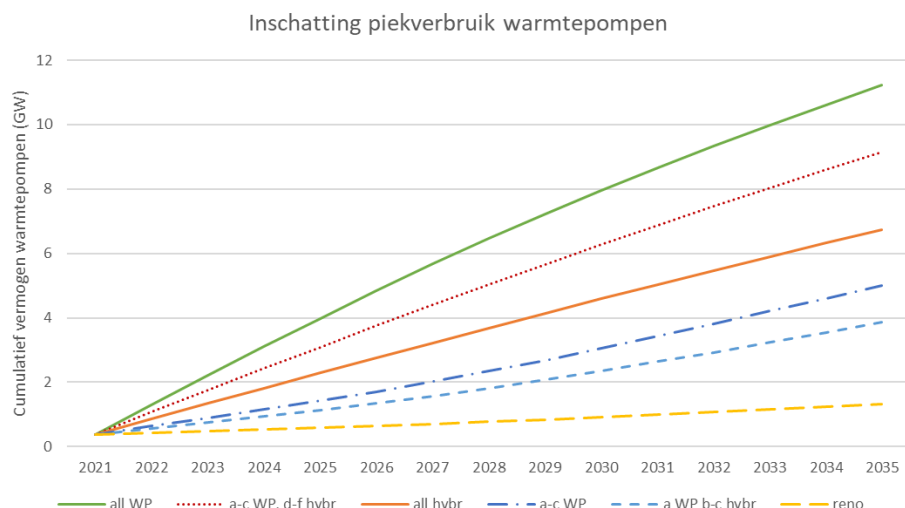
Voor een klein aantal warmtepompen (~10) bedraagt de gelijktijdigheidsfactor 90% en meer. Voor een groot aantal warmtepompen merken de data uit de thesis een belangrijk verschil tussen stedelijke en landelijke gebieden. Voor een 200-tal warmtepompen convergeert de gelijktijdigheidsfactor naar ~0.5 voor stedelijke gebieden en ~0.6 voor landelijke gebieden. De resolutie in deze studie is 30 minuten.

Hoewel het niet heel duidelijk is wat precies het convergentiepunt is in de studie van Protopapadaki (zie Figuur 44), lijkt een gelijktijdigheidsfactor van 60% voor de totale hoeveelheid van residentiële warmtepompen in Vlaanderen een realistische en niet overdreven optimistische waarde. Extra reducties door actief flexibiliteitsmanagement zijn hier niet in meegenomen.

Een referentie van dezelfde auteurs (Protopapadaki & Saelens, 2017)⁴⁶, bekomt een iets hogere gelijktijdigheidsfactor van 0.85 voor 40 warmtepompen op 10-minuten basis. Aangezien deze waarde geen hogere aantallen warmtepompen in rekening neemt, hanteren we de curve uit Figuur 44. Een factor van 0.6 wordt aangenomen als gelijktijdigheidsfactor voor het hele park van warmtepompen.

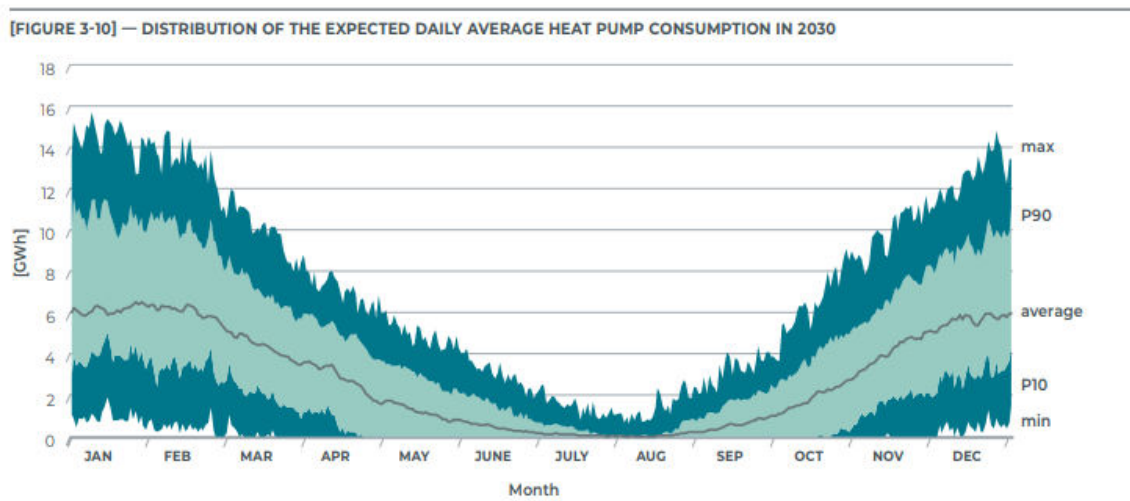
⁴⁶ C. Protopapadaki, D. Saelens, 'Heat pump and PV impact on residential low-voltage distribution grids as a function of building and district properties', 2017, DOI:[10.1016/j.apenergy.2016.11.103](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.103)

Hiermee wordt het piekverbruik van warmtepompen als volgt ingeschat:



Figuur 45: Inschatting van het elektrische piekverbruik van residentiële warmtepompen in Vlaanderen voor de verschillende scenario's

Een belangrijk gegeven is het tijdstip van de gelijktijdige piekvraag. Voor elektrische warmtepompen is dit in de winter, zoals bijvoorbeeld aangegeven door Elia voor 200 synthetische klimaatjaren:



Figuur 46: Bron: Elia⁴⁷. Verdeling van de verwachte dagelijkse gemiddelde elektriciteitsconsumptie van warmtepompen in 2030

Ter conclusie kunnen we stellen dat

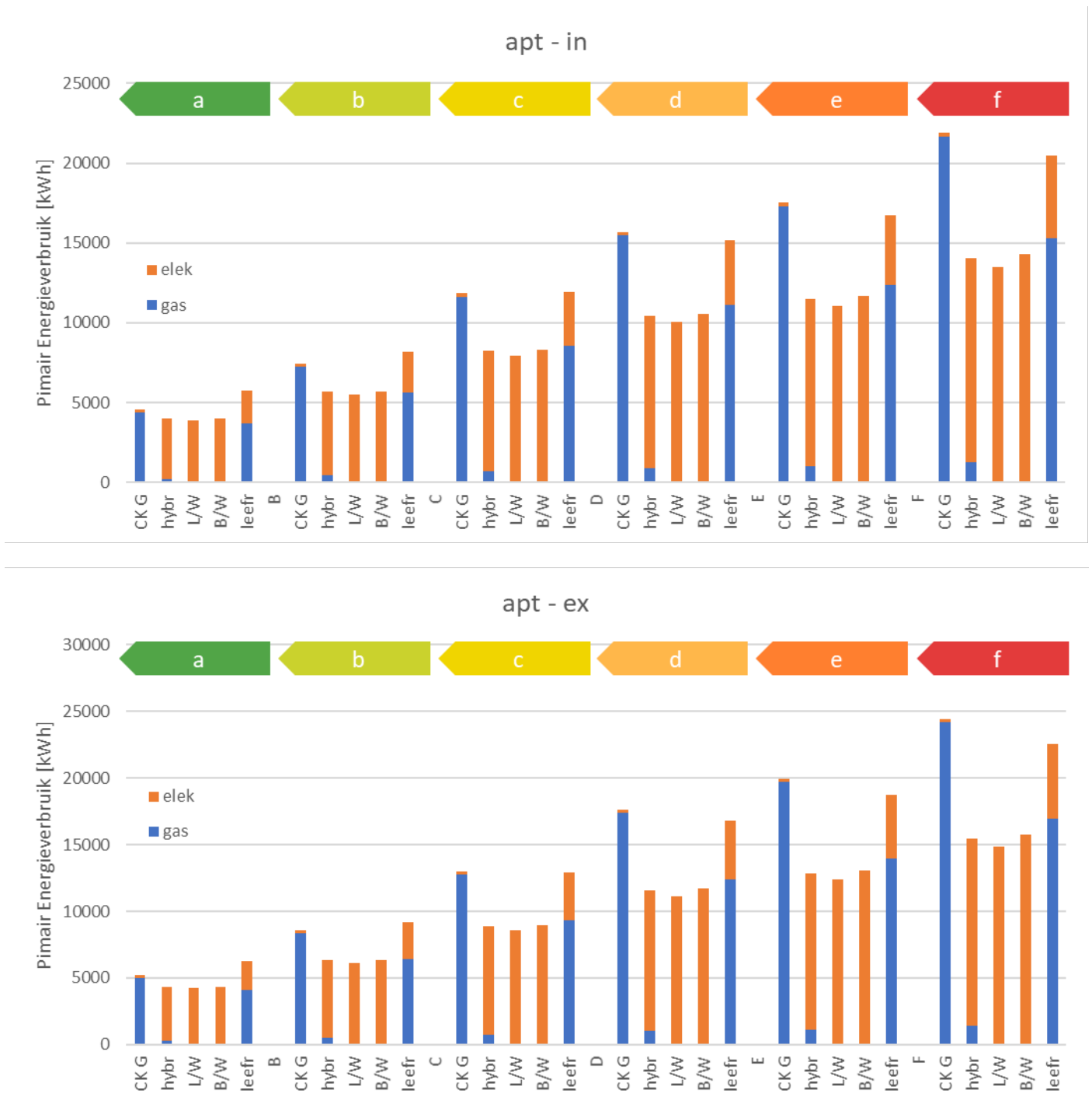
- De keuze tussen hybride of elektrische warmtepompen heeft een impact op het ingeschat piekverbruik, maar warmtepompen prioriteren in goed geïsoleerde gebouwen is een even belangrijke factor. Ook bij uitrol van hybride warmtepompen zijn er uitdagingen voor het elektriciteitsnet te verwachten.
- In deze studie werd geen rekening gehouden met de impact van hybride warmtepompen op de afhankelijkheid van het gasnet. Een uitrol van hybride warmtepompen kan betekenen dat het gasnet op bepaalde plaatsen langer in stand wordt gehouden, wat zorgt voor een hogere kost voor de eindgebruikers die nog afnemer zijn van het gasdistributienet. In dit hoofdstuk werd enkel gekeken naar de impact op de piekvraag elektriciteit.
- Een ambitieus scenario voor de uitrol van warmtepompen bij ketelvervanging is momenteel nog niet doorgerekend in studies rond bevoorradingszekerheid. Elia volgt het WAM scenario uit het energie- en klimaatplan voor de aannames van uitrol van warmtepompen. Het centrale scenario in de

⁴⁷ Elia: Adequacy and Flexibility study 2021

‘Adequacy and flexibility study 2021⁴⁸’ van Elia gaat uit van een penetratiegraad van 3.6% warmtepompen tegen 2030, wat een stuk minder ambitieus is dan de hierboven gepresenteerde scenario’s.

⁴⁸ <https://www.elia.be/en/electricity-market-and-system/adequacy/adequacy-studies>

Annex 1 – Resultaten 5 installaties per type en isolatiegraad



Figuur 47: Primair energieverbruik voor gas en elektriciteit voor de verschillende mogelijke installatie(combinatie)s voor appartementen van verschillende isolatiegraden



Figuur 48: Primair energieverbruik voor gas en elektriciteit voor de verschillende mogelijke installatie(combinatie)s voor gesloten wooneenheden van verschillende isolatiegraden



Figuur 49: Primair energieverbruik voor gas en elektriciteit voor de verschillende mogelijke installatie(combinatie)s voor halfopen wooneenheden van verschillende isolatiegraden



Figuur 50: Primair energieverbruik voor gas en elektriciteit voor de verschillende mogelijke installatie(combinatie)s voor open wooneenheden van verschillende isolatiegraden