Onderzoek naar de kostenoptimale niveaus bij nieuwbouw van residentiële gebouwen

Margot De Pauw

Jan Creylman

Nickey Van den Bulck

Thomas More

Expertisecentrum Energie

Kleinhoefstraat 4

2440 Geel

014 56 21 34

januari 2023

kce@thomasmore.be

www.kenniscentrumenergie.be

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding 4
2 Methodologie 5
2.1 Selectie referentiegebouwen 5
2.1.1 clustering 6
2.2 Selectie van energiebesparende maatregelen en maatregelpakketten 7
2.3 Berekening van energieprestatie 7
2.4 Definitie economische parameters 8
2.5 Sensitiviteitsanalyses 8
2.5.1 Discontovoet 8
2.5.2 Energieprijzen 8
2.5.3 Geschat energieverbruik 8
2.5.4 Photovoltaïsche panelen (PV) 9
2.5.5 Primaire energiefactor voor elektriciteit 9
3 Definitie economische parameters 10
3.1 Inleiding 10
3.2 Totaal Actuele Kost (TAK) 10
3.3 Algemene economische parameters 11
3.3.1 Actualisatietermijn 11
3.3.2 Inflatie 11
3.3.3 Rente 11
3.3.4 Discontovoet 11
3.4 Investeringskosten K_I 12
3.5 Totaal energiekosten K_E 12
3.5.1 Aannames en energieprijsevoluties 12
3.6 Totaal geactualiseerde onderhoudskosten K_O 18
3.7 Herinvesteringskosten K_H 18
3.8 Restwaarde V_{Tf} 19
3.9 Subsidies V_{sub} 20
3.10 CO_2-emissiekosten K_{CO2} 20
4 Referentiegebouwen 21
4.1 Inleiding 21
4.2 Pre-processing 21
4.3 Eengezinswoningen 21
4.3.1 Geometrische clustering 21
4.4 Appartementen 29
5 Maatregel(en)pakketten 36

5.1 Inleiding ... 36
5.2 Selectie van maatregelen ... 36
5.2.1 Nieuwe paretofronten op basis van resultaten 2015 ... 36
5.2.2 Selectie maatregelen ... 41
5.2.3 Overzicht maatregelpakketten ééngezinswoningen ... 43
5.2.4 Overzicht maatregelpakketten appartementen ... 44
5.2.5 Maatregelen toegepast in nieuwbouw op basis van ingediende aangiftes ... 44
5.2.6 Maatregelen die niet worden geselecteerd ... 45
5.3 Kostprijs van maatregelen ... 47
5.3.1 Methodiek kostprijsbepaling bouwkundig ... 47
5.3.2 Overzicht kostprijzen bouwkundig ... 48
5.3.3 Methodiek kostprijsbepaling installaties ... 51
5.3.4 Overzicht kostprijzen installaties ... 52
5.3.5 Onderhoudskosten installaties ... 58
6 Resultaten ééngezinswoningen ... 59
6.1 Paretofront en kostenoptimale niveaus ... 59
6.2 Varianten en sensitiviteitsanalyse ... 61
6.2.1 Micro-economische analyse ... 61
6.2.2 S-peil eis en minimale hoeveelheid zonne-energie ... 62
6.2.3 Geschat energieverbruik ... 67
6.2.4 Discontovoet en energieprijzen ... 68
6.2.5 Primaire energiefactor ... 71
6.2.6 Verhouding elektriciteitsprijs versus gasprijs ... 75
7 Resultaten appartementen ... 78
7.1 Paretofront en kostenoptimale niveaus ... 78
7.1.1 Appartementen met enkel individuele installatie voor verwarming ... 78
7.1.2 Appartementen met individuele en collectieve installaties voor verwarming ... 80
7.2 Varianten ... 82
8 Algemeen besluit ... 85
9 BIJLAGE A ... 87
10 BIJLAGE B ... 95

1 INLEIDING

Naar aanleiding van de evaluatie van de Energieprestatieregelgeving in 2013 werd een stappenplan opgesteld voor de verstrenging van de E-peileis voor nieuwbouwwoningen tot 2021 op basis van de in 2012 uitgevoerde studie naar het kostenoptimum. In die studie werd een kostenoptimaal peil (=het E-peil met de laagste totale kosten) van E50 bekomen en een kostenefficiënt peil (=het laagste E-peil met dezelfde kost als de toenmalige eis van E70) van E30. Dat kostenefficiënte niveau van E30 werd opgenomen als onderdeel van de definitie van een BEN-woning. Op basis van de kostenoptimale studie van 2015 werd dit niveau bevestigd. In 2017 werd tenslotte een haalbaarheidsstudie uitgevoerd om te controleren of het E30-niveau haalbaar bleef. Het E30-peil is intussen sinds 2021 verplicht.

In deze studie wordt opnieuw geëvalueerd of de EPB-eisen nog in overeenstemming zijn met het kostenoptimum. De nadruk ligt hierbij op het gericht zoeken naar aanpassingen van het paretofront op basis van:

- Evoluties bij de energiebesparende maatregelen (technische eigenschappen, kostprijs);
- Huidige context: energieprijzen, nieuwe kennis over de relatie gemeten-berekend verbruik;
- Relevant beleid, met name maatregelen rond uitfasering stookolie en aardgas, mogelijke aanpassingen PEF elektriciteit.

De totale kosten worden berekend in functie van het totale primaire energieverbruik, voor een aantal energiebesparende maatregelen die op een set van 50 referentiegebouwen worden toegepast. Op die manier kunnen kostenoptimale niveaus bepaald worden, die worden vergeleken met de geldende en geplande EPB-eisen bij nieuwbouw.

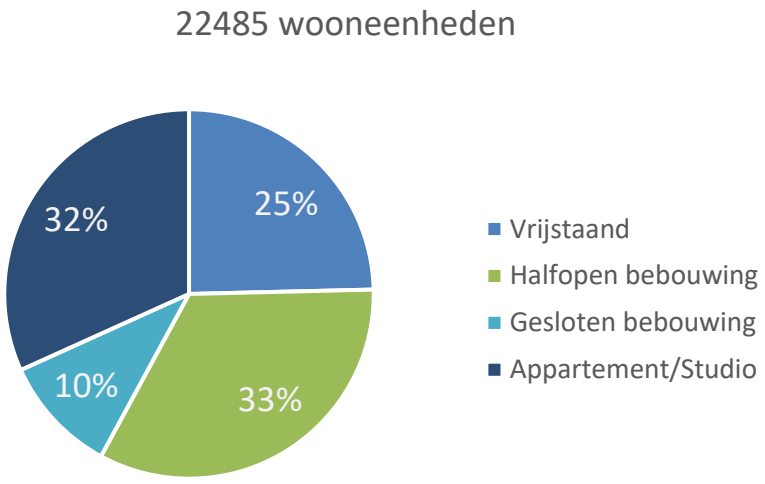
2 METHODOLOGIE

Dit hoofdstuk bespreekt kort de gevolgde methodologie van deze studie, volgens de Europese verordening nr. 244/2012 en de bijhorende leidraad. Deze bevat in een eerste fase de selectie van een representatieve set referentiewooneenheden. Vervolgens worden in een tweede fase een aantal kostenefficiënte maatregelpakketten afgeleid uit voorgaande kostenoptimum studies[1,2]. Tenslotte worden deze maatregelpakketten toegepast op de set referentiewoningen en worden de totale kosten bepaald.

2.1 Selectie referentiegebouwen

In deze studie worden werkelijke geometrieën gebruikt, afkomstig uit de energieprestatiedatabank.

De door VEKA aangeleverde dataset bevat 22485 EPB-aangiftes ingediend tussen 06-01-2019 en 16-06-2022 voor vergunningen afgeleverd vanaf 01-01-2018. Figuur 1 toont het aandeel van de verschillende type woningen en appartementen of studio's in de 22485 aangiftes. Tabel 1 toont de geometrische en (gebouw)technische gegevens die voor deze dossiers beschikbaar waren ter selectie van de referentiegebouwen:



Figuur 1: aandeel type ééngezinswoningen en appartementen-studio's in totale dataset (22485 EPB-aangiftes).

Tabel 1: Beschikbare geometrische en (gebouw)technische gegevens voor de selectie van de referentiegebouwen.

Beschermd volume (EPB-eenheid)	Hernieuwbare energie – zonneboiler	Primair verbruik verwarming
Beschermd volume (K-volume)	Inertie	Primair verbruik WKK
Bouwvorm	m-factor	S-peil

[1] Studie naar kostenoptimale niveaus van de minimumeisen inzake energieprestaties van nieuwe residentiële gebouwen, 2015, Thomas More Kempen / WTCB in opdracht van VEKA
[2] Studie naar de haalbaarheid van de energieprestatie-eisen bij residentiële gebouwen, 2017, Thomas More Kempen / WTCB in opdracht van VEKA

Bruto vloeroppervlakte	NEB verwarming	U-waarde schil
Compactheid (K-volume)	Oververhittingsindicator	v50-waarde
E-peil	Primair energieverbruik	Vensteroppervlakte (EPB-eenheid)
freduc koeling	Primair opbrengst PV	Ventilatiesysteem
freduc verwarming	Primair verbruik Hulpenergie	Verliesoppervlakte (EPB-eenheid)
Glasoppervlakte (EPB-eenheid)	Primair verbruik Koeling	Verliesoppervlakte (K-volume)
Hernieuwbare energie – PV	Primair verbruik SWW	Vormefficiëntie
Hernieuwbare energie – WP		

Op basis van deze dataset worden via een k-means clusteranalyse gericht 30 woningen en 24 appartementen geselecteerd om verder te onderzoeken. De selectie moet een representatieve weergave zijn van het Vlaamse woningenbestand. Ze dient echter geen verzameling te zijn van extreme (architecturale) geometrieën; hoewel deze wel tot een aparte cluster kunnen behoren en de clustervertegenwoordiger wel kan worden opgenomen in de selectie.

2.1.1 clustering

In een eerste fase worden de aangiftes geclusterd op basis van geometrische eigenschappen van de wooneenheid, i.e. “geometrische clustering”. Deze clustering gebeurt in twee stappen. Een eerste clustering gebeurt op basis van de bruto vloeroppervlakte en compactheid van de woning. In een tweede stap wordt elke cluster nogmaals opgedeeld in k clusters op basis van de oververhittingsindicator en het glasoppervlakte van de woning. Deze parameters zijn immers hoofdzakelijk gebouw gebonden en dus afhankelijk van het architecturaal ontwerp.

In een tweede fase worden de aangiftes geclusterd op basis van de volgende beschikbare parameters, i.e. “all-in clustering”:

- Bruto vloeroppervlakte
- Compactheid
- Glasoppervlakte (m²)
- Oververhittingsindicator
- K-peil
- v50
- m-factor, f_{reduc} & $r_{preheat}$
- rendement/SPF CV
- Energie
    - Verwarming
    - Sanitair warm water (SWW)
    - Koeling
    - PV-opbrengst
- E-peil

Deze clustering zorgt ervoor dat er ook clusters gevormd kunnen worden met “moeilijke gevallen”; woningen die een goede compactheid en/of een groot piekvermogen van PV-panelen hebben, maar toch slecht scoren op gebied van energieverbruik, E-peil, K-peil, of andere resultaten.

Op basis van deze twee stappen wordt na het schalen van de data via een kleinste-kwadraten methode representatieve gebouwen geselecteerd uit de desbetreffende clusters.

Gezien het aantal clusters 'k' opgegeven dient te worden, wordt het optimale aantal eerst bepaald via de "elleboog-methode". Deze methode kijkt of de variantie binnen de clusters nog verandert naargelang de data in meer clusters wordt ingedeeld.

2.2 Selectie van energiebesparende maatregelen en maatregelpakketten

Op basis van de vorige kostenoptimale studies worden maatregelpakketten geselecteerd op/in de buurt van het paretofront. Er wordt hierin een onderscheid gemaakt tussen de geselecteerde maatregelpakketten voor eengezinswoningen en meergezinswoningen of appartementen.

Bij de selectie van de maatregelpakketten wordt rekening gehouden met:

- de voorziene maatregelen inzake uitfasering van fossiele brandstoffen
- de voorzien eisen voor hernieuwbare energie

Concreet betekent dit dat uit de resultaten van de studie in 2015 nieuwe paretofronten worden getrokken waarbij de opwekkers die gebruik maken van stookolie of aardgas worden geweerd. Aangezien een verbod op een gasaansluiting voor nieuwbouw geldt vanaf 2025, worden hybride opwekkers eveneens geweerd. Omdat voor dossiers met bouwaanvraag vanaf 2023 een maximale vertrektemperatuur van 45°C geldt voor alle waterdragende systemen, worden geen maatregelpakketten meegenomen met hoge temperatuur radiatoren (enkel relevant i.v.m. houtpelletketel…).

In verband met de aangepaste eis voor hernieuwbare energie, die vanaf 2025 PV panelen oplegt met een opbrengst van 15kWh/m² jaar en geen verstrenging van het E-peil toelaat ter compensatie, worden in eerste instantie enkel maatregelpakketten met PV geselecteerd. Nadien wordt een sensitiviteitsanalyse gedaan op de hoeveelheid PV.

Als referentie wordt wel één pakket met een condensatieketel op aardgas meegenomen.

Er wordt in eerste instantie geen rekening gehouden met de haalbaarheid van het S-peil. Het S-peil wordt beschouwd als een te behalen energieprestatie, die nadien (deeltaak 5) wordt afgetoetst.

De energiebesparende maatregelen en maatregelpakketten worden verder toegelicht in hoofdstuk 5.

2.3 Berekening van energieprestatie

De energieprestatie van de verschillende maatregelen en maatregelpakketten moet worden geëvalueerd. Hiervoor worden o.a. volgende parameters berekend:

- de netto-energiebehoefte voor verwarming en de netto-energiebehoefte voor koeling
- het finaal (primair) energieverbruik voor verwarming, koeling, sanitair warm water
- het jaarlijks primair energieverbruik in kWh/m² en in MJ
- het S-peil en het E-peil
- de oververhittingsindicator
- de U-waarden van de verschillende bouwdelen
- het minimumaandeel hernieuwbare energie

De berekeningen gebeuren volgens de EPW-methode, zoals vastgelegd in bijlage V van het Energiebesluit, en volgens het Transmissiereferentiedocument, beide zoals van toepassing op vergunningen aangevraagd vanaf 01/01/2022. Qua eisenniveau wordt ook rekening gehouden met de eisen hernieuwbare energie en de eis op lage temperatuur verwarming die pas later ingaan (vanaf 2023/2025).

Hiervoor wordt de EPB-software 3G v13.0.1 gebruikt. Deze wordt aangestuurd via de RPA-software Microsoft Power Automate v2.23 waardoor de berekeningen kunnen worden geautomatiseerd.

2.4 Definitie economische parameters

Eén keer de energiebesparende maatregelen zijn geselecteerd en het energieverbruik van de nieuwbouwwoning is berekend, kunnen de economische en ecologische resultaten worden bepaald. De definities en randvoorwaarden die voor de berekening van de levenscycluskost nodig zijn, worden opgesomd in hoofdstuk 3.

De belangrijkste economische doelvariabele is de Totaal Actuele Kost (TAK) of de levenscycluskost van de woning over de actualisatietermijn. Die omvat investeringskosten, energiekosten, onderhoudskosten, herinvesteringskosten en de restwaarde van het gebouw.

2.5 Sensitiviteitsanalyses

Het doel van de sensitiviteitsanalyse is het identificeren van de invloed van een aantal aannames voor parameters, die vast bepaald werden in de bovenstaande berekening, op de resultaten van de berekeningen.

2.5.1 Discontovoet

Naast de algemene discontovoet die momenteel van toepassing is (3%, zie hieronder), zullen ook berekeningen worden uitgevoerd met een discontovoet van 0 en 5%, en geanalyseerd op welke manier deze de resultaten beïnvloeden.

2.5.2 Energieprijzen

Ten gevolge van de Oekraïneoorlog en de Europese gasafhankelijkheid van Rusland waren de commerciële energieprijzen in 2022 ongezien hoog. Echter, gezien de energiekosten over de volledige actualisatietermijn in rekening worden genomen, is niet zozeer de zeer fluctuerende energieprijs in 2022 van cruciaal belang, maar wel hoe deze prijs evolueert over de actualisatietermijn. Omdat het onmogelijk is een voorspelling te maken van deze toekomstige energieprijzen die stand houdt, zal deze energieprijsevolutie ook onderworpen worden aan een sensitiviteitsanalyse, waarbij naast de algemene aangenomen evolutie ook scenario's worden doorgerekend waarbij de energieprijzen negatiever of duurder zullen uitdraaien, maar ook goedkoper zullen zijn. Deze zullen verder in het rapport respectievelijk worden aangeduid als een hoog en laag energiescenario. De wijze waarop deze scenario's zijn geconstrueerd wordt verder toegelicht in paragraaf 3.5.

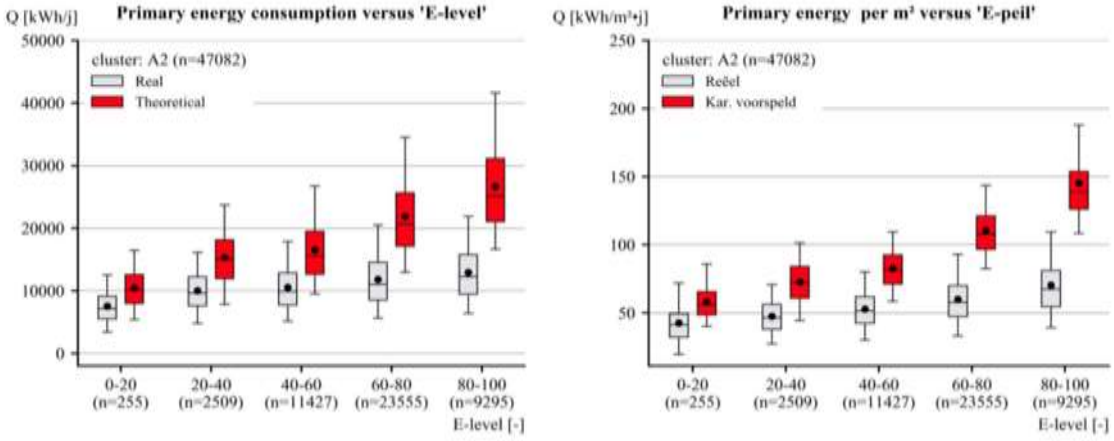
2.5.3 Geschat energieverbruik

Hoeveel er bespaard wordt bij toepassing van energiebesparende maatregelen hangt niet enkel af van de energieprestatie zelf, maar ook van het gebruikersgedrag. Wanneer bijvoorbeeld de energiekosten te hoog oplopen kan de bewoner zijn vraag naar thermisch comfort verlagen. Dit 'rebound-effect' wordt vooral gemeten in slecht-geïsoleerde bestaande woningen. In nieuwbouwwoningen kunnen er echter andere effecten optreden, bijvoorbeeld door het verkeerde gebruik van het ventilatiesysteem of een slechte (in)regeling van de verwarming. Naarmate een woning energiezuiniger wordt (en dikwijls complexer) hebben dergelijke fouten relatief meer impact op het energieverbruik.

De EPB-methodiek is niet in staat om de complexe dynamische wisselwerkingen tussen gebouw, bewoner en installatie correct in te schatten. De EPB-methodiek is per definitie een energieprestatiebepaling, bedoeld om gebouwen onderling te vergelijken en dus geen perfecte inschatting van het energieverbruik.

Voor een correctere inschatting van het werkelijk verbruik, werd uitgegaan van de studie 'Analyse naar de haalbaarheid van statistische modellen die energiegebruik in woningen kunnen voorspellen op basis van gebouwparameters', uitgevoerd door Universiteit Gent in opdracht van VEKA. Figuur 2 geeft het werkelijk jaarlijks aardgasverbruik en het karakteristiek jaarlijks energieverbruik voor ruimteverwarming en SWW volgens EPB weer, voor woningen met ruimteverwarming en SWW op

aardgas. Op basis van deze figuur, en meer bepaald de boxplots[3]bij de E-peilen lager dan E40, wordt in deze studie een bijkomende analyse gemaakt waarbij het werkelijk verbruik voor verwarming en SWW 2/3 bedraagt van het berekende verbruik. Deze correctie wordt dus doorgerekend bij de berekening van de TAK, die nu gebeurt op basis van het gecorrigeerde energieverbruik (terwijl de teller van het E-peil ongewijzigd blijft).



Figuur 2: Karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik voor ruimteverwarming en sanitair warm water productie en reëel jaarlijks aardgasverbruik voor woningen die zowel een gas als elektriciteitsteller hebben in functie van het E-peil (uit 'Studie reëel energieverbruik woningen', 2021, UGent).

2.5.4 Photovoltaïsche panelen (PV)

Het is duidelijk dat de hoeveelheid PV-panelen een belangrijke impact heeft op het E-peil. In eerste instantie wordt gekozen voor een PV installatie die (1) gedimensioneerd is op de totale elektriciteitsvraag voor woningen (inclusief verwarming indien dit elektrisch gebeurt) en (2) bepaald is in functie van de beschikbare dakoppervlakte voor appartementen. Daarnaast wordt voor de woningen een berekening gemaakt waarbij een minimale hoeveelheid PV-panelen wordt gelegd, die net voldoende is om te voldoen aan de eis voor hernieuwbare energie zoals die vanaf 2025 zal gelden (15kWh/m²).

2.5.5 Primaire energiefactor voor elektriciteit.

Momenteel bedraagt de primaire energiefactor (PEF) voor elektriciteit 2.5, maar verwacht wordt dat deze in de toekomst zal dalen. Het effect van een daling van de PEF naar 2.1 en 1.8 wordt doorgerekend. Zowel het effect op de verhouding van de gas- en elektriciteitsprijs, als het effect op het E-peil worden afzonderlijk doorgerekend.

[3] Een boxplot is de grafische weergave van het minimum, eerste kwartiel, mediaan, derde kwartiel en maximum van een gegeven dataset

3 DEFINITIE ECONOMISCHE PARAMETERS

3.1 Inleiding

Zoals eerder aangehaald zullen maatregelpakketten toegepast op de referentiegebouwen geëvalueerd worden op basis van de totaal actuele kost binnen een bepaalde actualisatietermijn. Volgende paragrafen lichten toe hoe deze economische factoren worden berekend in de analyse. Deze definities zijn afkomstig uit de gedelegeerde verordening 244/2012[4] en de bijhorende richtsnoeren[5] die op hun beurt refereren naar de Europese Norm EN15459.

De resultaten van deze studie worden echter in grote mate bepaald door de algemene financiële parameterwaarden en de voor deze parameters beschouwde evolutiescenario's. Een goede onderbouwing van de vooropgestelde parameters is dan ook uiterst belangrijk. In de volgende paragrafen worden deze parameterwaarden en de hiervoor gebruikte bronnen besproken en beargumenteerd.

3.2 Totaal Actuele Kost (TAK)

De Totaal Actuele Kost is een dynamische variabele dewelke de som geeft van alle jaarlijkse kosten en waarden geactualiseerd naar het beginjaar (jaar nul) van de investering aan de hand van de reële marktinterestvoet en de gebruiksduur.

Voor het berekenen van de TAK van een woning/maatregelpakket wordt afhankelijk van een micro- of macro-economische standpunt rekening gehouden met:

- Initiële investeringskosten K_I
- Totaal energiekosten K_E
- Totaal jaarlijkse onderhoudskosten K_O
- Herinvesteringskosten K_H
- Restwaarde van investeringen V_{Tf}
- Subsidies V_{SUB}[6]
- CO_2-emissiekosten K_{CO2}

Bovenstaande kosten en waarden zijn allen geactualiseerd naar het beginjaar volgens de formules in volgende paragrafen, waardoor de Totaal Actuele Kost van een eengezins- of meergezinswoning simpelweg kan worden berekend door de som van deze kosten en waarden.

In geval van een **micro-economische benadering** houden we rekening met alle kosten en baten die de bouwheer heeft gedurende de gebruiksduur:

$$TAK_{micro} = K_I + K_E + K_O + K_H - V_{Tf} - V_{SUB}$$

De kosten zijn hierbij BTW inclusief (zie hieronder). Er wordt een berekening met en een berekening zonder subsidies uitgevoerd om de impact hiervan apart te kunnen onderzoeken.

In geval van een **macro-economische berekening** wordt de formule voor de TAK:

$$TAK_{macro} = K_I + K_E + K_O + K_H - V_{Tf} + K_{CO2}$$

Prijzen zijn hier exclusief BTW, taksen en subsidies. Belastingen op arbeid, die via het uurloon de eenheidskosten van de maatregelen mee bepalen, worden wel ingerekend. Boetes worden in beide berekeningsmethodieken niet geteld om de resultaten niet op voorhand te beïnvloeden.

---

[4] Europese Commissie, Gedelegeerde Verordening (EU) Nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement en de Raad, 2012

[5] Europese Commissie, Richtsnoeren bij Gedelegeerde Verordening (EU) nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement (2012/C 115/01), 2012

[6] Op moment van de studie waren geen Vlaamse of federale subsidies van toepassing.

3.3 Algemene economische parameters

3.3.1 Actualisatietermijn

De berekeningsperiode is in de gedelegeerde verordening vastgelegd op 30 jaar voor residentiële gebouwen. Dit kan ook beschouwd worden als de gebruiksduur T van een gebouw door één gezin.

3.3.2 Inflatie

De toename van het algehele prijsniveau wordt inflatie genoemd, symbool R_I. In een markteconomie zijn de prijzen voor goederen en diensten altijd aan verandering onderhevig, deze veranderingen weerspiegelen wijzigingen op het gebied van vraag en aanbod en in de hoeveelheid geld in de economie en de inflatie is de maat voor de waardevermindering van geld.

3.3.3 Rente

In de particuliere markt kan er voor de marktrentevoet R best gekeken worden naar de rentevoet van de hypothecaire lening met een vaste termijn.

3.3.4 Discontovoet

De actualisatievoet, discontovoet of reële interestvoet R_R wordt uiteindelijk gebruikt voor de berekening van de totale actuele kost. Dit houdt in dat alle toekomstige inkomsten en uitgaven geactualiseerd of verdisconteerd worden naar het jaar van de investering. Geld lenen of beschikbaar stellen heeft immers zelf ook een kost. Als we hiervoor de marktintrestvoet als basis nemen komen we voor een jaarlijks terugkerende kost tot een actuele kost van:

$$AK = \sum_{i=1}^{T} \frac{K(i)}{(1+\frac{R}{100})^i}$$

Als de toekomstige kosten kunnen geschreven worden i.f.v. de beginkost K(0) en de algemene inflatie R_I krijgen we:

$$AK = \sum_{i=1}^{T} K(0) \left[\frac{(1+\frac{R_I}{100})}{(1+\frac{R}{100})}\right]^i$$

of

$$AK = \sum_{i=1}^{T} K(0) * \left[\frac{1}{(1+\frac{R_R}{100})}\right]^i$$

met R_R gedefinieerd i.f.v. marktinterestvoet R en inflatie R_I als:

$$R_R = \frac{R - R_I}{1+\frac{R_I}{100}}$$

Conform de Richtsnoeren bij de Gedelegeerde Verordening[7] wordt de discontovoet standaard uitgedrukt in reële termen. De prijsevolutie van herinvesteringen, lopende kosten, energiekosten en verwijderingskosten worden dus ook vermeld als werkelijke kosten exclusief inflatie.

Volgens de Richtsnoeren dient deze reële interestvoet minstens een keer gelijk gesteld te worden aan 3 % voor de macro-economische berekeningen. In een sensitiviteit zal ook een lage discontovoet van 0% worden beschouwd, alsook een hogere actualisatievoet van 5% om ook een financieel

[7] Europese Commissie, Richtsnoeren bij Gedelegeerde Verordening (EU) nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement (2012/C 115/01), 2012

korte termijndenken te kunnen simuleren. Deze drie waarden gelden zowel voor de sensitiviteitsanalyse van de micro-economische als de macro-economische berekeningen.

3.4 Investeringskosten K_I

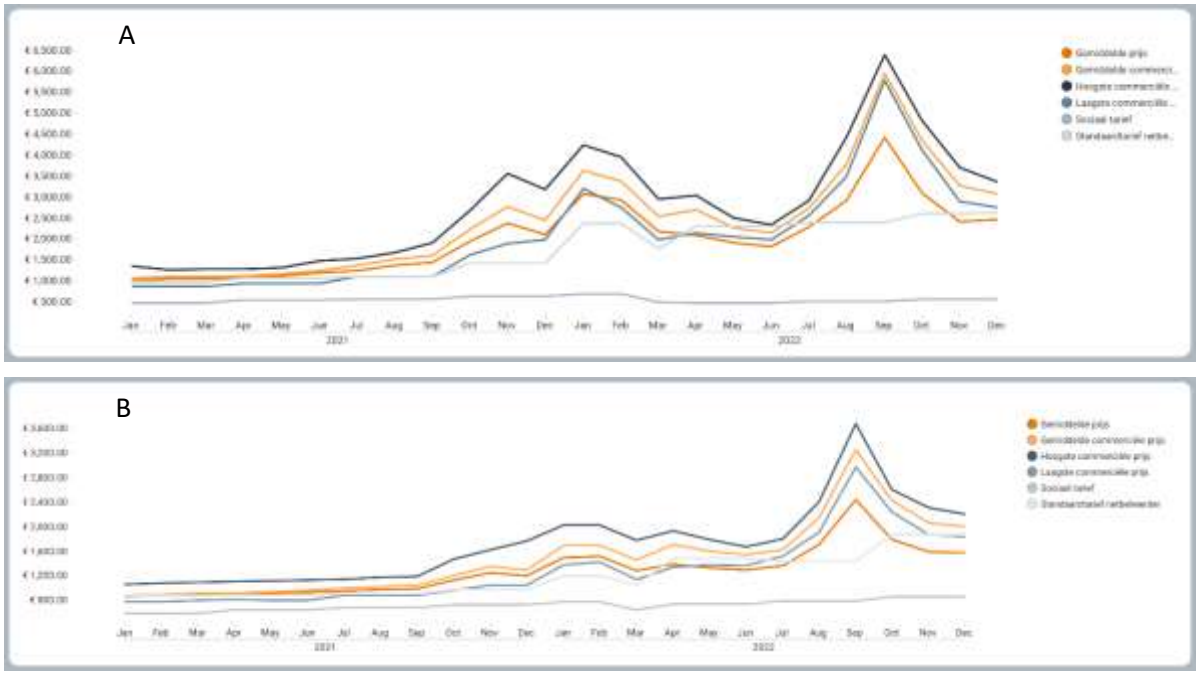
De initiële investering gebeurt in het jaar nul en moet dus niet geactualiseerd worden. Deze investeringskost bevat zowel de toegepaste maatregelen die hun impact kunnen hebben op het energieverbruik zoals isolatie, verwarmingsinstallatie,…, als ook de algemene kosten zoals binnenmuren, keuken, ontwerp,… . Door het toevoegen van een algemene kost kan er gewerkt worden met realistische getallen en kunnen er zoveel mogelijk invloedfactoren worden meegenomen in de berekeningen. Deze algemene kost is vastgelegd op €151800 (excl. BTW).

De BTW die toegepast wordt in de micro-economische berekeningen bedraagt voor nieuwbouw steeds 21%.

3.5 Totaal energiekosten K_E

3.5.1 Aannames en energieprijsevoluties

Ten gevolge van de Oekraïneoorlog en de Europese gasafhankelijkheid van Rusland waren de commerciële energieprijzen in 2022 ongezien hoog (zie Figuur 3). Echter, gezien de energiekosten over de volledige actualisatietermijn in rekening worden genomen, is niet zozeer de zeer fluctuerende energieprijs in 2022 van cruciaal belang, maar wel hoe deze prijs evolueert over de actualisatietermijn.



Figuur 3: Historische evolutie van commerciële aardgasprijzen (A) en elektriciteitsprijzen (B). De gemiddelde commerciële prijs geeft de geschatte jaarprijs weer voor alle gezinnen en ondernemingen in Vlaanderen, zonder klanten die het sociaal tarief of het standaardtarief bij de netbeheerder betalen[8].

De totale energieprijs die leveranciers aanrekenen aan de eindafnemer bestaat uit drie componenten:

- Energiecomponent: afhankelijk van de energieleverancier
- Nettarieven: distributie en transmissie - afhankelijk van het distributienet

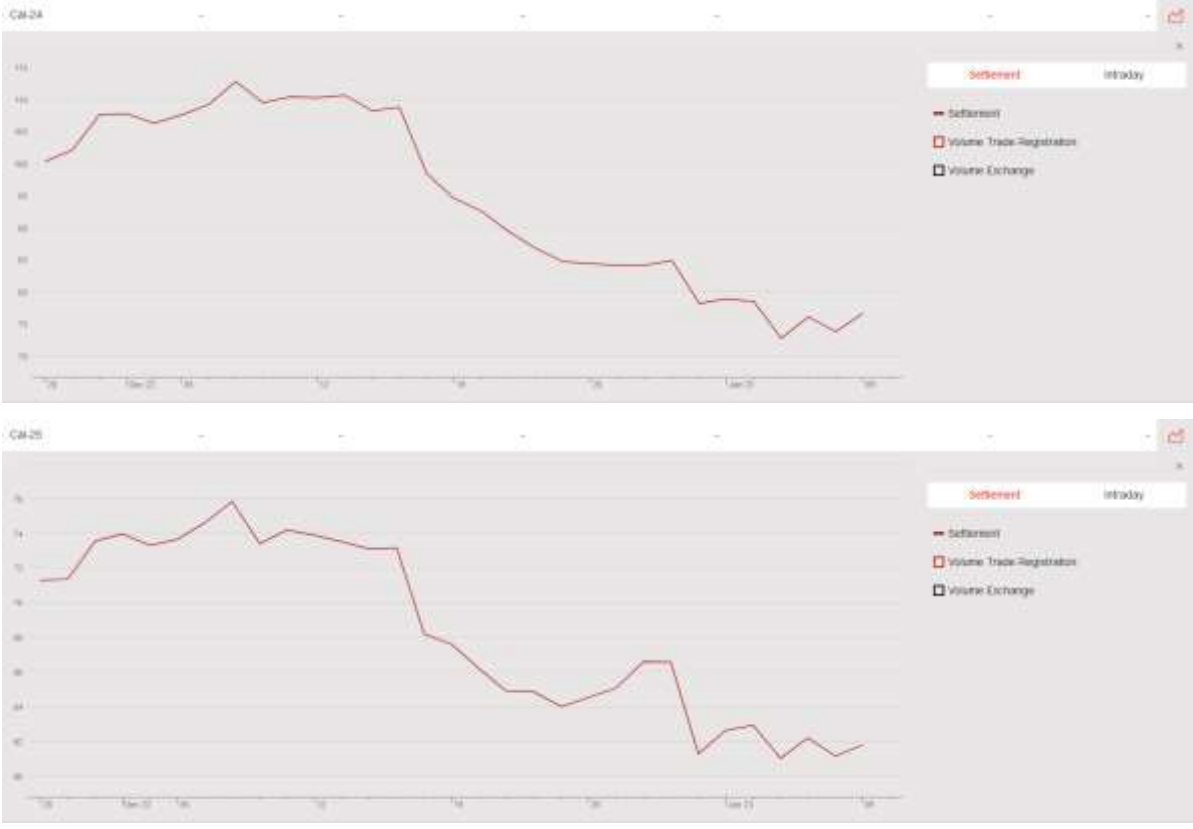
[8] https://www.vreg.be/nl/energiemarkt-cijfers (januari 2023)

- Heffingen en toeslagen: afhankelijk van de overheid

Er wordt aangenomen dat de prijs van de energiecomponent van elektriciteit onderhevig is aan de prijs van gas. Ook de prijs voor houtpellets is gelinkt aan de gasprijs. De energiecomponent is het enige element van de energiefactuur waarvoor concurrentie mogelijk is en daardoor ook de enige kost van de totale energieprijs die onderhevig zal zijn aan energieprijsevoluties.

3.5.1.1 Aardgas

De aangenomen evoluties zijn gebaseerd op de evolutie van de Futures prijzen voor toekomstige contracten (2023/2024/2025). Contracten voor de levering van elektriciteit en gas worden in vaste tijdsvakken verhandeld – bv. toekomstige maanden, kwartalen en jaren. Telkens betreft zo'n contract een overeenkomst (aan een bepaalde prijs) dat de verkoper gedurende die toekomstige periode (maand/kwartaal/jaar), op een perfect gespreide manier (24/7) de gas/elektriciteit zal leveren aan de koper. Zo tonen onderstaande grafieken in Figuur 4 een duidelijke daling in de gasprijs voor toekomstige contracten voor 2024 (Cal-24) en 2025 (Cal-25) (o.b.v. EEX JKM LNG Natural Gas Futures – dit zijn gasprijzen op de "TTF" beurs in Nederland, maar hier wordt doorgaans ook naar verwezen in Belgische context)[9]. Deze daling is zowel te zien in de goedkopere prijzen voor gasleveringen in 2025 t.o.v. 2024 als in goedkopere gasprijzen wanneer de overeenkomst *gesetteld* wordt op een later tijdstip in het jaar.

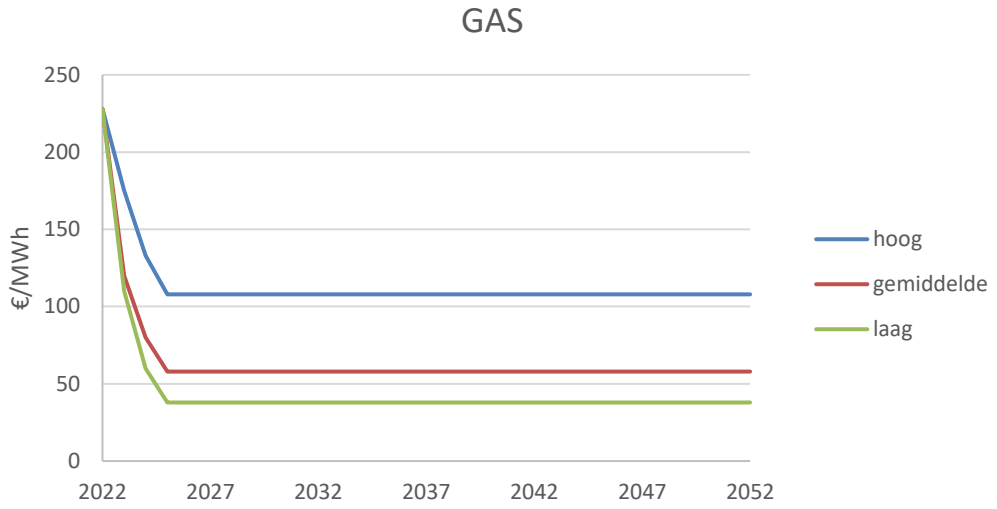


Figuur 4: EEX JKM LNG Natural Gas Futures prijzen voor termijncontracten voor jaren 2024 (Cal-24) en 2025 (Cal-25).

Gezien deze contracten, in vergelijking met de actualisatietermijn, slechts op korte termijn kunnen worden onderhandeld, vertellen deze ons niets over prognoses op langere termijn. Daarom is verondersteld dat vanaf 2025 de prijs stabiel blijft en enkel evolueert met de index. Dit betekent dat

[9] https://www.eex.com/en/market-data/natural-gas/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%22EEX%20TTF%20Natural%20Gas%20Futures%22%7D (januari 2023)

de aangenomen forward prijs van 2025 doorslaggevend is in de TAK berekening van de energiekosten. Dit wordt opgevangen door drie verschillende scenario's aan te nemen voor de energiecomponent van de gasprijs in 2025. Dit leidt tot de drie onderzochte energiescenario's laag, gemiddeld en hoog, die in Figuur 5 worden getoond. Voor het lage energiescenario werd aangenomen dat de prijs van de energiecomponent voor gas terugvalt op €30/MWh, voor het gemiddelde scenario is dit €50/MWh, voor het hoge €100/MWh.



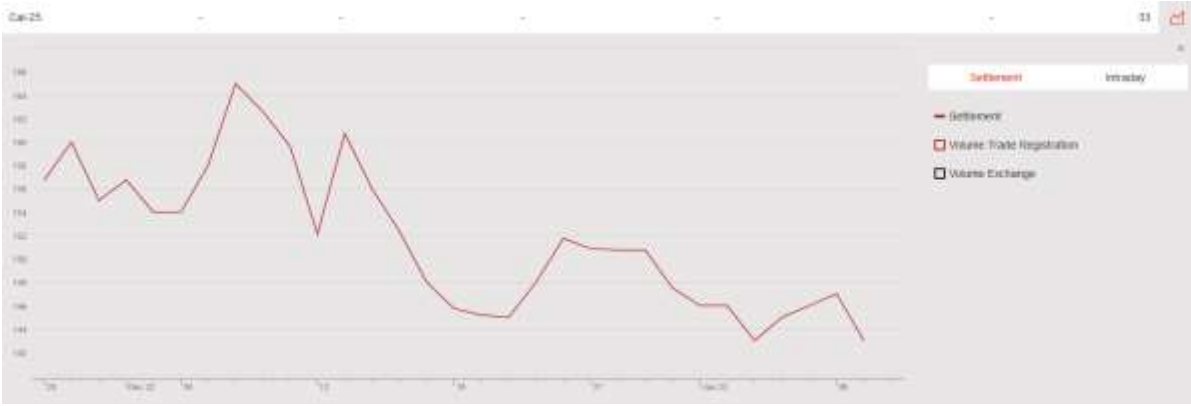
Figuur 5: toekomstige prijsevoluties van de energiecomponent van gas over de actualisatietermijn voor drie scenario's (laag, gemiddeld en hoog).

Deze aannames zijn groothandelprijzen. De prijs in 2022 werd gelijkgesteld aan de prijs opgegeven door de VREG voor de energiecomponent van gas in de maand oktober, ongeveer bij aanvang van deze studie. Bij de eindfactuur van de residentiële verbruiker worden ook nog taksen en distributiekosten ingerekend waardoor zijn rekening er anders uitziet. Op basis van tariefformules van diverse energieleveranciers komen de drie verschillende plateaus laag, gemiddeld en hoog overeen met een totale gasprijs van respectievelijk €58/MWh, €80/MWh en €132/MWh excl. BTW. De prijs in 2022 komt overeen met een eindprijs van €256/MWh excl. BTW.

Tot slot is er gerekend met een aansluitingskost voor gas van €1243,6 excl. BTW.

3.5.1.2 Elektriciteit

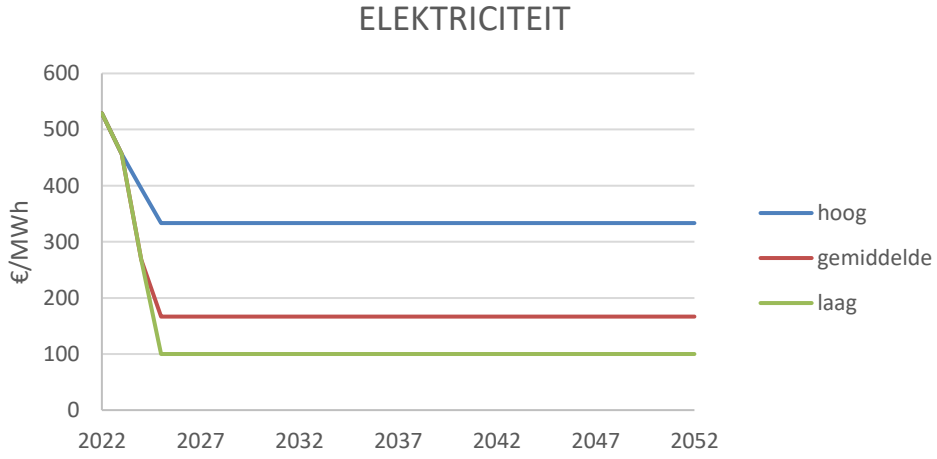
Gezien de prijs van de energiecomponent van elektriciteit met de huidige prijszetting zo goed als volledig afhankelijk is van de gasprijs, verwachten we ook voor elektriciteit een prijsdaling naar 2025. Analoog aan gas, is deze trend is ook duidelijk te zien op de markt voor groothandelprijzen (zie Figuur 6).



Figuur 6: EEX BELGIAN POWER Futures prijzen voor termijncontracten voor jaren 2024 (Cal-24) en 2025 (Cal-25)[10].

Voor het opstellen van de prijsevolutie voor elektriciteit (zie Figuur 7) werd voor jaar nul (2022) uitgegaan van de prijs in oktober 2022 opgegeven door de VREG[11]. Voor de prijzen in 2023 en 2024 werd uitgegaan van de Endex ICE Power BE Y-3 Futures prijzen. De prijzenniveaus voor de verschillende energiescenario's vanaf 2025 werden berekend door de prijzenniveaus voor de energiecomponent van gas (€30, €50 en €100/MWh) te vermenigvuldigen met een primaire energiefactor van 2,5 en hierbij een winst van 25% voor de energieleverancier op te tellen. Dit leidt voor het lage, gemiddelde en hoge energiescenario's tot respectievelijke prijzen voor de energiecomponent van €100/MWh, €167/MWh en €333/MWh. Deze prijzen blijven stabiel voor de rest van de actualisatietermijn, maar zijn wel nog onderhevig aan de index.

Bij de eindfactuur van de residentiële verbruiker worden ook nog taksen en distributie- en nettarieven ingerekend waardoor zijn rekening er anders uitziet. Wanneer we deze in rekening brengen volgens opbouw van de gemiddelde commerciële elektriciteitsprijs aangegeven door de VREG[11], komen we voor de drie verschillende plateaus laag, gemiddeld en hoog op eindprijzen van respectievelijk €270/MWh, €341/MWh en €518/MWh excl. BTW. De werkelijke elektriciteitsprijs in 2022 was gelijk aan €661/MWh excl. BTW.



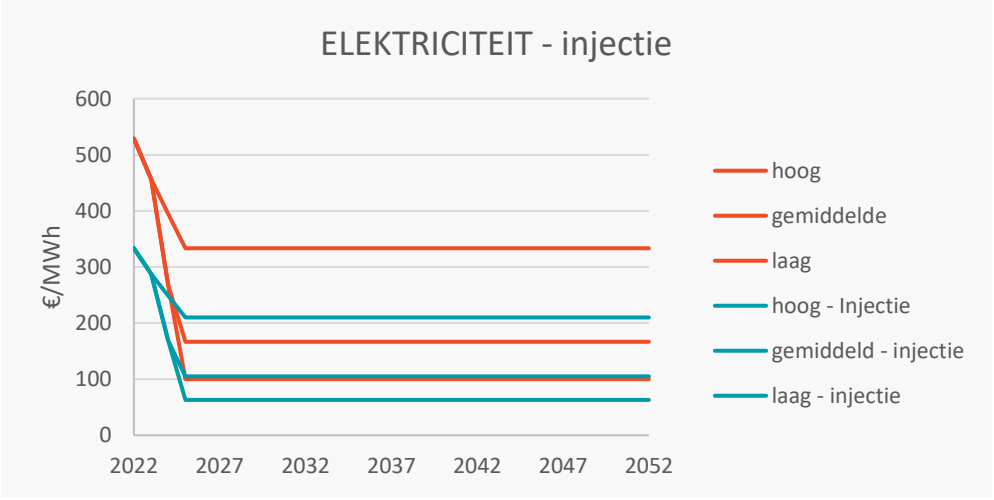
Figuur 7: toekomstige prijsevoluties van de energiecomponent van elektriciteit over de actualisatietermijn voor drie scenario's (laag, gemiddeld en hoog).

[10] https://www.eex.com/en/market-data/power/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%2218%22%7D (januari 2023)
[11] https://dashboard.vreg.be/report/DMR_Prijzen_elektriciteit.html

Er is gerekend met een aansluitingskost van €1169,3 excl. BTW – gesteld dat de aansluiting altijd 3-fasig zal zijn.

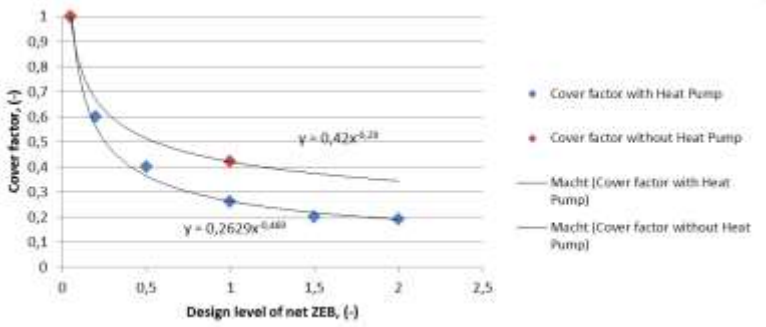
3.5.1.3 Injectietarieven

Voor het berekenen van de injectietarieven (en haar evolutie), werd gerekend met een vast percentage van 63% van de prijs van de energiecomponent van elektriciteit – gebaseerd op de commerciële gemiddelde prijzen van de VREG[11]. Dit levert volgend prijsverloop over de actualisatietermijn, getoond in Figuur 8.



Figuur 8: prijsevolutie over actualisatietermijn van het injectietarief – gerekend met een vast percentage van 63%.

Om de hoeveelheid elektriciteit te berekenen die van het net gehaald wordt en terug op het net gestuurd, wordt er rekening gehouden met een coverfactor, d.w.z. de jaarlijks gemiddelde verhouding tussen de geproduceerde energie die je op hetzelfde moment zelf kan verbruiken tot de totale productie. Deze is natuurlijk afhankelijk van de verhouding tussen jaarlijkse productie en verbruik en van het type verbruik; i.e. het feit of je elektrisch verwarmt of niet. Volgende grafiek in Figuur 9 werd uitgewerkt door Matthijs De Deygere van 3E op basis van wetenschappelijk onderzoek aan de KULeuven afdelingen TME en bouwfysica[12].

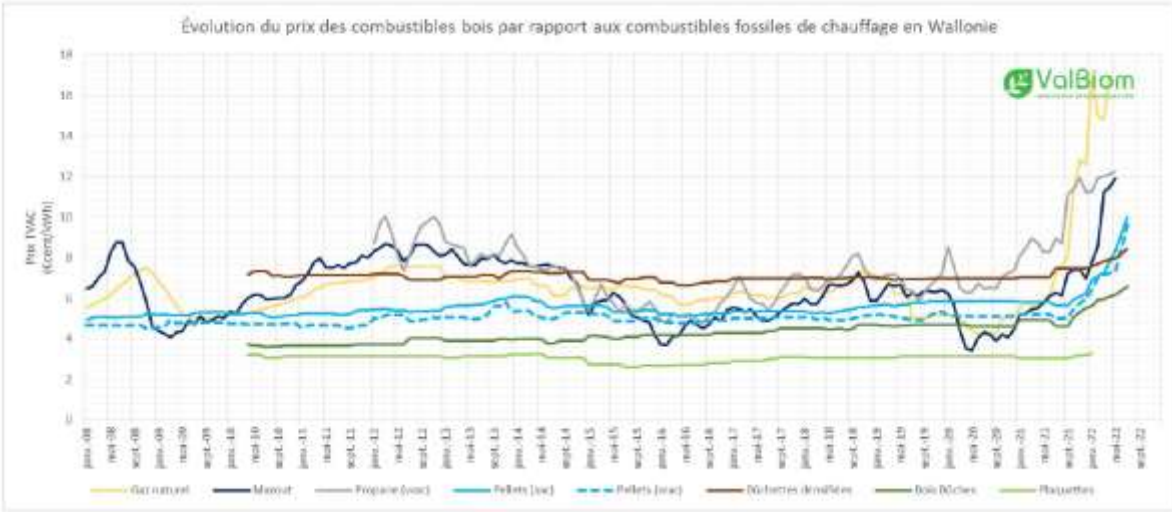


Figuur 9: Cover factor i.f.v. verhouding jaarlijks productie/verbruik en verbruiksprofiel[12].

[12] R. Baetens, R. De Coninck, J. Van Roy, B. Verbruggen, J. Driesen, L. Helsen, D. Saelens, Assessing electrical bottlenecks at feeder level for residential net zero-energy buildings by integrated system simulation, Applied Energy, Volume 96, August 2012, Pages 74-83

3.5.1.4 *Houtpellets*

Zoals Figuur 10 toont stegen de prijzen voor houtpellets simultaan met de aardgasprijs. Daarom is de prijs van houtpellets in de berekeningen gelinkt met de aardgasprijs via volgende formule: 3,5c€/kWh + 0,3 x totale gasprijs.



Figuur 10: Evolutie van de prijzen van houtbrandstoffen, stookolie, aardgas en propaan van januari 2008 tot juli 2022[13].

3.5.1.5 *Totale geactualiseerde energiekost*

Aan de hand van de prijzen en eerder vermelde prijsevoluties kan de jaarlijkse energiekost berekend worden. De som van de geactualiseerde jaarlijkse verbruikskosten K_E, rekening houdend met de energieprijsstijging en de marktinterestvoet, wordt berekend volgens:

$$K_E = K_E(0) * f_{pv}(T)$$

met $f_{pv}(T) = Present\ value\ factor$ gelijk aan:

$$f_{pv}(T) = \frac{1 - (1 + \frac{R_{RE}}{100})^{-T}}{\frac{R_{RE}}{100}}$$

en $R_{RE} = energetische\ reële\ interestvoet$ gelijk aan:

$$R_{RE} = \frac{R - R_e}{1 + \frac{R_e}{100}}$$

Met R de marktinterestvoet en R_e de verwachte energieprijsstijging in percentage. Indien deze energieprijsstijging gelijk is aan de inflatie R_I krijgen we terug de eerder gedefinieerde reële interestvoet R_R. Indien de energieprijsstijging relatief t.o.v. de inflatie wordt gegeven als:

$$R_e = R_i(1 + \frac{R_{ei}}{100})$$

kunnen we de energetisch reële interestvoet ook beschrijven i.f.v. de reële interestvoet:

$$R_{RE} = \frac{R_R - R_{ei}}{1 + \frac{R_{ei}}{100}}$$

[13] Rapport: Evolution 2008 – 2022 (1er semestre) des prix des combustibles bois, Juli 2022, ValBiom, Pierre-Louis Bombeck

De verwachte energieprijsstijging wordt dikwijls relatief uitgedrukt zodat er rechtstreeks met de reële interestvoet of discontovoet kan gewerkt worden, zoals ook aangegeven in de Richtsnoeren.

De BTW die toegepast wordt in de micro-economische berekeningen bedraagt voor de energieprijzen steeds 6%.

3.6 Totaal geactualiseerde onderhoudskosten K_O

Som van de geactualiseerde jaarlijkse onderhoudskosten dewelke meestal zijn berekend op basis van een percentage van de initiële investeringskost volgens EN15459. Wanneer de stijging van de onderhoudskosten de algemene inflatie goed volgt over de periode van de actualisatietermijn T, kan de geactualiseerde som bepaald worden als:

$$K_O = \sum_{i=1}^{n} K_O(0) * \left[\frac{1}{(1+\frac{R_R}{100})}\right]^i$$

Aangezien het hier over een jaarlijkse terugkerende kost gaat kunnen we de formule ook vereenvoudigen tot:

$$K_O = K_O(0) * f_{pv}(T)$$

met $f_{pv}(T) = Present\ value\ factor$ die bij aanname van een jaarlijkse kostenstijging gelijk aan de inflatie kan gelijk gesteld worden aan:

$$f_{pv}(T) = \frac{1-(1+\frac{R_R}{100})^{-T}}{\frac{R_R}{100}}$$

3.7 Herinvesteringskosten K_H

De totale actuele vervangingskost is gedefinieerd als de som van alle afbraak- en herinvesteringskosten te verwachten binnen de actualisatietermijn, geactualiseerd naar het jaar nul op basis van de verwachte kostenstijging en marktinterestvoet R. Voor een gebouwdeel met een levensduur τ_n geeft dit:

$$K_H = \sum_{i=1}^{n} (K_I(i*\tau_n) + K_A(i*\tau_n)) * \left[\frac{1}{(1+\frac{R}{100})}\right]^{i*\tau_n}$$

Waarbij $K_A(x)$ en $K_I(x)$ respectievelijk de afbraak- en herinvesteringskosten zijn die verwacht worden in het jaar x. Deze toekomstige kosten kunnen geactualiseerd worden a.h.v. de marktinterestvoet R. In de formule hierboven nemen we aan dat $n*\tau_n < T$, aangezien enkel de vervangingen binnen de actualisatietermijn T bekeken worden. Als we de verwachte kosten kunnen uitdrukken als de initiële kosten die per jaar met een percentage R_p stijgen, bekomen we:

$$K_H = \sum_{i=1}^{n} (K_I(0) + K_A(0)) * \left[\frac{(1+\frac{R_p}{100})}{(1+\frac{R}{100})}\right]^{i*\tau_n}$$

Wanneer deze kostenstijging gelijk wordt gesteld aan de algemene inflatie R_i , wat in deze studie van toepassing is op alle energiebesparende maatregelen, krijgen we:

$$K_H = \sum_{i=1}^{n} (K_I(0) + K_A(0)) * \left[\frac{(1+\frac{R_I}{100})}{(1+\frac{R}{100})}\right]^{i*\tau_n}$$

of

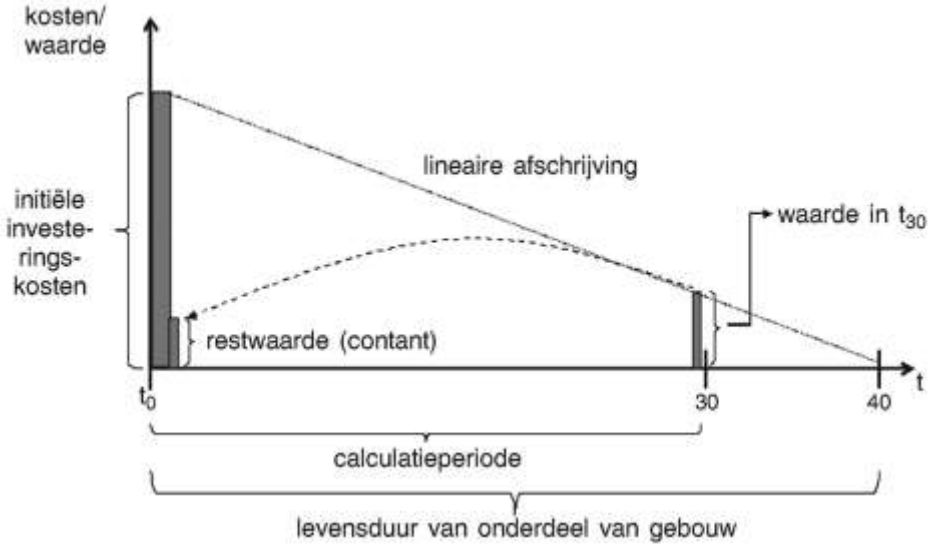
$$K_V = \sum_{i=1}^{n} (K_I(0) + K_A(0)) * \left[\frac{1}{(1 + \frac{R_R}{100})}\right]^{i*\tau_n}$$

en kunnen we dus blijven rekenen met R_R, de eerder gedefinieerde reële interestvoet.

3.8 Restwaarde V_{Tf}

Figuur 11 toont de gebruikte methode wanneer een maatregel een langere levensduur heeft dan de evaluatieperiode. De begininvestering (of vervangingskost) wordt lineair afgeschreven over de levensduur van de maatregel, waarna de waarde op het einde van de actualisatietermijn kan worden geactualiseerd naar het jaar 0.

Met een veronderstelde levensduur van veertig jaar en een lineaire afschrijving is de restwaarde na dertig jaar 25 % van de initiële investeringskosten. Deze waarde wordt dan nog geactualiseerd.



Figuur 11: Berekeningsmethode van de restwaarde a.h.v. lineaire afschrijving.

In formulevorm:

$$V_{T_f}(j) = K_I(0,j) * \left[\frac{(n+1) * T_n(j) - T}{T_n(j)}\right] * \left[\frac{1}{(1 + R_R)}\right]^T$$

Hierbij staan bovenstaande symbolen voor:

$K_I(0,j) = Investeringskost\ voor\ maatregel\ j\ in\ jaar\ 0$

$T_n(j) = levensduur\ beschouwde\ constructie, installatie$

$T = actualisatietermijn$

$R_R = reële\ rentevoet$

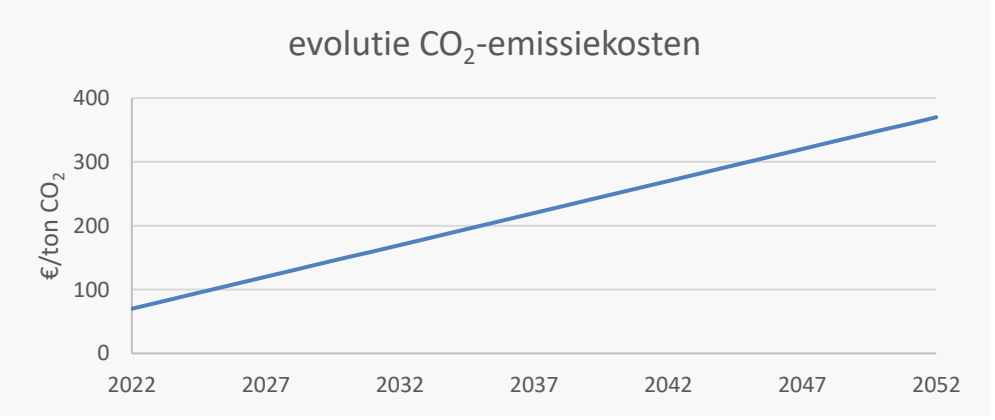
$n = aantal\ herinvesteringen$ gedurende actualisatietermijn

3.9 Subsidies V_{sub}

Op het moment van het uitvoeren van deze studie waren geen Vlaamse of Federale of andere steunmaatregelen van toepassing voor nieuwbouw. Er worden dus ook geen subsidies ingerekend voor de micro-economische berekening. Voor de macro-economische berekening worden steunmaatregelen sowieso niet ingerekend.

3.10 CO_2-emissiekosten K_{CO2}

Wat betreft de berekening van het kostenoptimum op macro-economisch niveau, schrijft de verordening voor dat de kosten van broeikasgasemissies moeten worden berekend door uit te gaan van de som van de jaarlijkse broeikasgasemissies vermenigvuldigd met de verwachte tarieven voor een ton CO_2-equivalent in het kader van elk jaar uitgereikte broeikasgasemissierechten. Dit vereist een inschatting van de te verwachte CO_2-emissietarieven over de actualisatietermijn. Hierbij baseren we ons op data van EnergyVille TIMES Be model[14] waarin gesteld wordt dat de CO_2-emissiekost in 2022 €70/ton CO_2 is en deze kost jaarlijks stijgt met €10/ton CO_2 (zie Figuur 12).



Figuur 12: evolutie CO_2-emissiekosten.

De som van de geactualiseerde jaarlijkse emissiekosten rekening houdend met de reële marktinterestvoet, wordt berekend volgens:

$$K_{CO2} = K_{CO2}(0) * f_{pv}(T)$$

[14] https://perspective2050.energyville.be/sites/energyoutlook/files/inline-files/TIMES_BE_model_description-PATHS2050_study_20221107.pdf

4 REFERENTIEGEBOUWEN

4.1 Inleiding

Met behulp van een k-means clustering analyse zoals beschreven in paragraaf 2.1.1 worden na een kleinste-kwadratenmethode 54 referentiegebouwen geselecteerd; 30 ééngezinswoningen en 24 appartementen. Deze woningen zijn representatief voor het Vlaamse woningenpark.

Er worden meer woningen en appartementen geselecteerd dan effectief doorgerekend. Op deze manier hebben we reservecases wanneer blijkt dat bv. een EPB-file zaken bevat die niet helemaal correct of foutief zijn ingevuld, de file an sich beschadigd is,… .

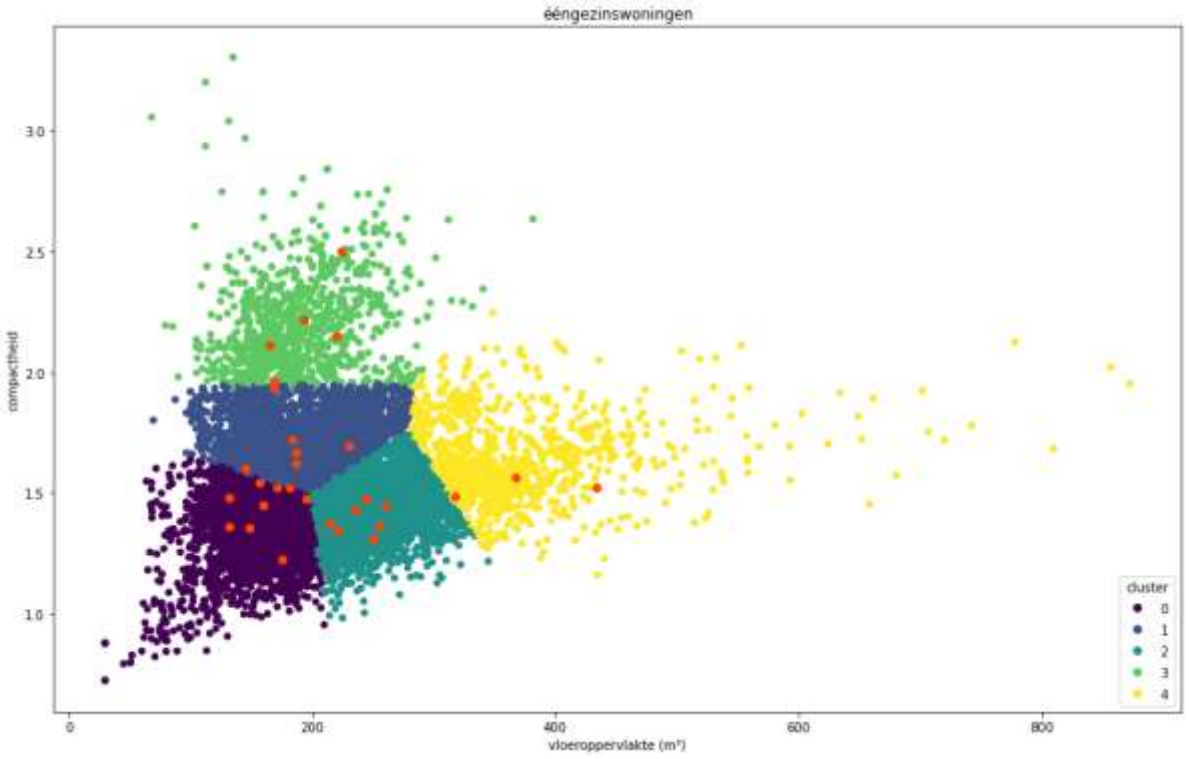
4.2 Pre-processing

Zoals aangegeven in paragraaf 2.1 bevat de aangeleverde dataset 22485 aangiftes ingediend tussen 06-01-2019 en 16-06-2022 voor vergunningen afgeleverd vanaf 01-01-2018. Doch deze zijn op zich niet allen rechtstreeks bruikbaar; zo bevatten sommige aangiftes fouten zoals bv. er is een zonneboiler aangeduid maar geen apertuuroppervlakte ingevuld. Deze aangiftes worden verwijderd uit de dataset voor de clusteringanalyse. Daarnaast is er ook niet gekeken naar woningen met meerdere energiesectoren, ook deze woningen werden verwijderd uit de dataset. Ook vakantiewoningen of co-housing projecten werden niet opgenomen in de clustering dataset. Dit leidde uiteindelijk tot een dataset van 18629 wooneenheden waarvan 12358 ééngezinswoningen en 6271 appartementen. Onder appartementen verstaan we ook studio's en loften hoewel deze zeer beperkt zijn in de dataset.

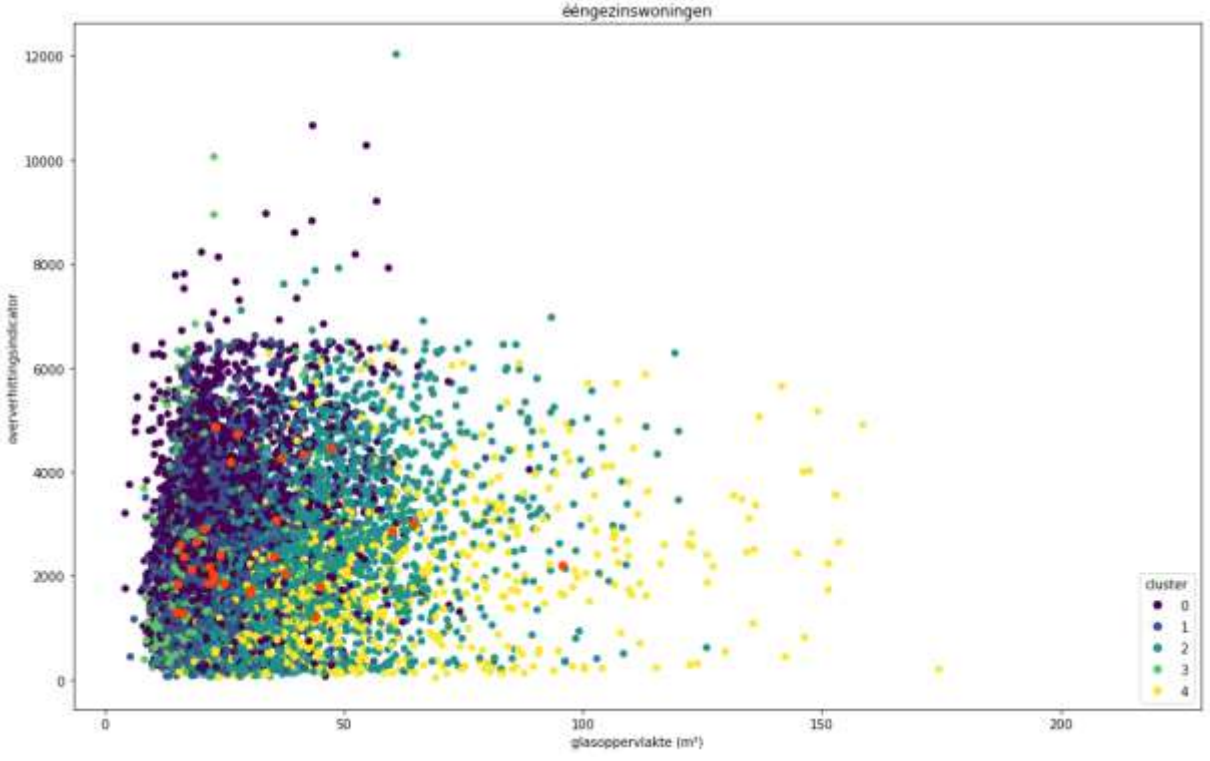
4.3 Eengezinswoningen

4.3.1 Geometrische clustering

Het optimale aantal clusters k is bepaald via de "elleboog-methode"; voor zowel de clustering op basis van bruto vloeroppervlakte en compactheid als de daaropvolgende clusteringen op basis van oververhittingsindicator en glasoppervlakte zijn dit er steeds vijf. Dit maakt een totaal van 25 clusters waaruit de referentiegebouwen kunnen worden geselecteerd op basis van deze vier geometrische parameters. Naast deze clusters is ook rekening gehouden met de "all-in clustering" waarin 30 clusters werden gevormd. Figuur 13 en Figuur 14 tonen de clusters en de daaruit geselecteerde ééngezinswoningen voor bruto vloeroppervlakte en compactheid enerzijds, en oververhittingsindicator en glasoppervlakte anderzijds.



Figuur 13: Verdeling van 30 referentiewoningen (oranje bolletjes) over de vijf clusters (totaal van 12358 éengezinswoningen) bepaald op basis van de vloeroppervlakte en compactheid van de éengezinswoning.



Figuur 14: Verdeling van de 30 referentiewoningen (oranje bolletjes) in de 12358 éengezinswoning-EPB-aangiftes op basis van hun totale glasoppervlakte (m²) en oververhittingsindicator bij aangifte (Kh/jaar). De vijf verschillende kleuren stellen de clusters voor bepaald op basis van de bruto vloeroppervlakte en compactheid van de éengezinswoning.

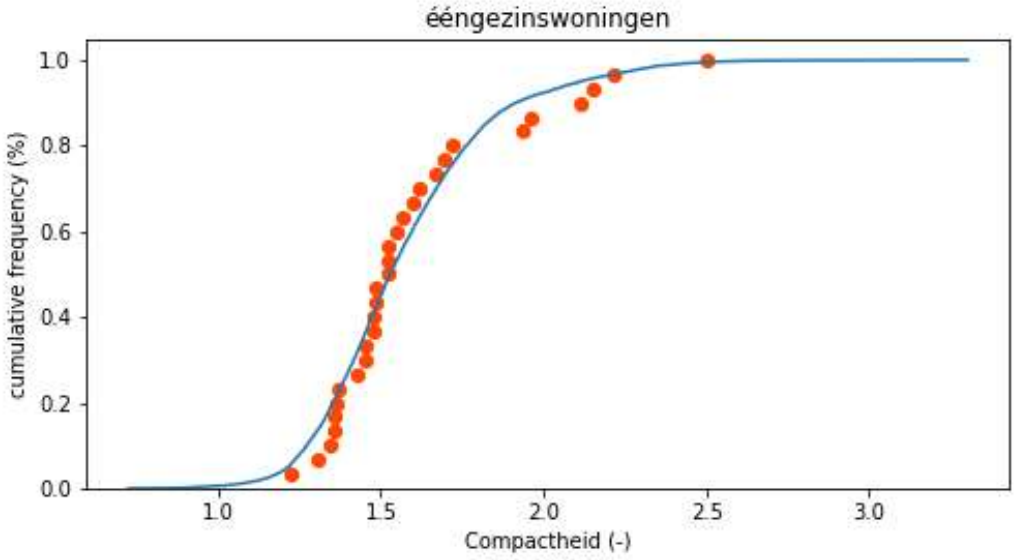
Om te controleren of een representatieve set (=*sample*) uit de 12358 EPB-aangiftes (=*population*) is geselecteerd, is een twee-zijdige z-test uitgevoerd. De resultaten worden getoond in Tabel 2.

Tabel 2: resultaten twee-zijdige z-test van de ééngezinswoningen.

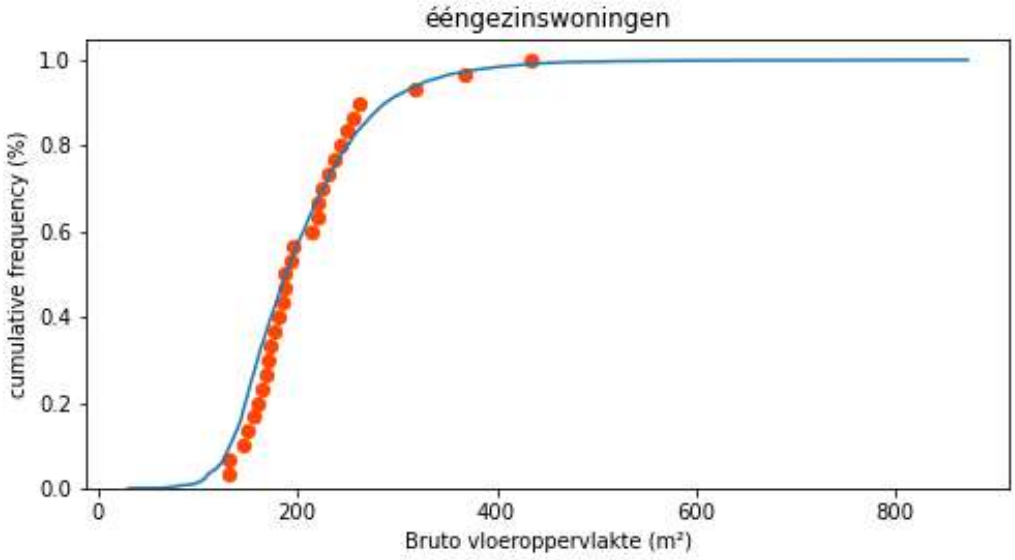
	Compactheid		Bruto vloeroppervlakte (m		Verliesoppervlakte (m²)		Beschermd volume (m³)		Glasoppervlakte (m²)	
	population	*sample*	*population*	*sample*	*population*	*sample*	*population*	*sample*	*population*	*sample*
N	12358	30	12358	30	12358	30	12358	30	12358	30
Mean	1,57	1,61	202,37	210,81	431,10	441,23	663,89	689,03	28,37	31,84
Median	1,53	1,52	188,08	189,51	390,34	369,64	615,38	633,14	22,93	25,55
Standard deviation	0,27	0,30	69,92	67,57	159,97	165,25	238,40	222,11	16,71	17,71
Variance	0,075	0,093	4888,735	4565,545	25590,859	27308,851	56833,134	49331,611	279,285	313,712
z-score	0,846		0,661		0,347		0,578		1,137	

Via de nulhypothese is gecontroleerd of er een significant verschil is in het gemiddelde van de sample en het gemiddelde van de populatie met een betrouwbaarheid van 95% (α=0,05) voor de parameters compactheid, bruto vloeroppervlakte, verliesoppervlakte, beschermd volume en glasoppervlakte. Om met 95% zekerheid te kunnen zeggen dat de gemiddeldes van deze parameters in de sample en populatie dataset niet significant verschillen, dient de z-score kleiner te zijn dan 1,96. Zoals in bovenstaande resultaten te zien is dit het geval voor alle parameters en kunnen we besluiten dat onze 30 geselecteerde woningen een representatieve set zijn voor het Vlaamse nieuwbouwwoningpark ingediend tussen 06-01-2019 en 16-06-2022.

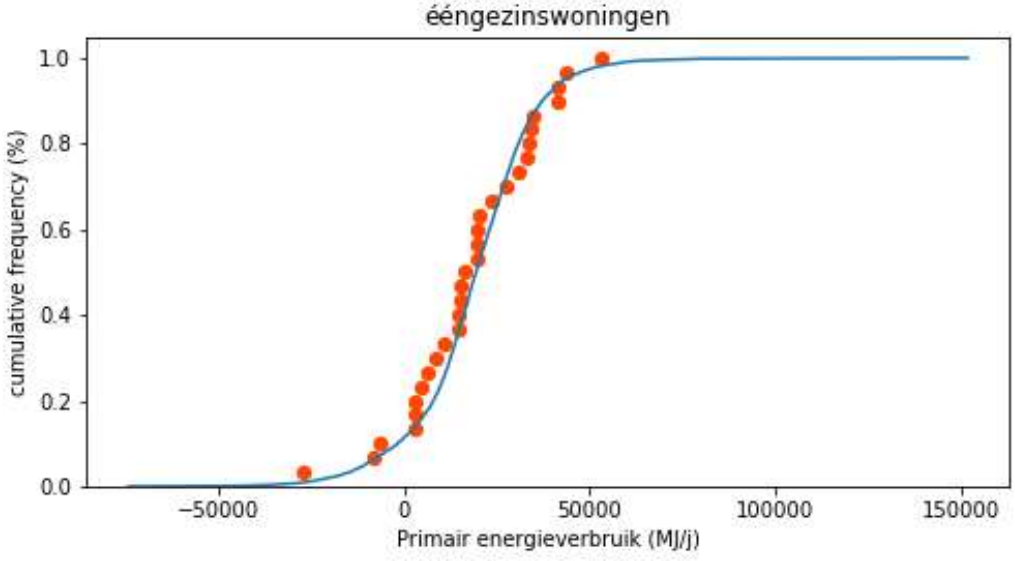
Figuur 15 - Figuur 19 tonen de spreiding van de geselecteerde woningen voor respectievelijk parameters compactheid, bruto vloeroppervlakte, primair energieverbruik (MJ/j), netto energiebehoefte (kWh/j) en raampercentage (per bruto vloeroppervlakte) van de ééngezinswoning. Deze figuren tonen immers de cumulatieve frequentie van woningen binnen de 12358 EPB-aangiftes voor een bepaalde parameter; m.a.w. hoe steiler de curve hoe frequenter woningen met desbetreffende waarde voor een bepaalde parameter voorkomen binnen de 12358 aangiftes. Er dient gelet te worden dat geselecteerd wordt binnen dit steile stuk van de curve gezien dit hierdoor een representatieve weergave zal zijn van het totaal aangegeven nieuwbouwwoningen in de periode 2019-2022.



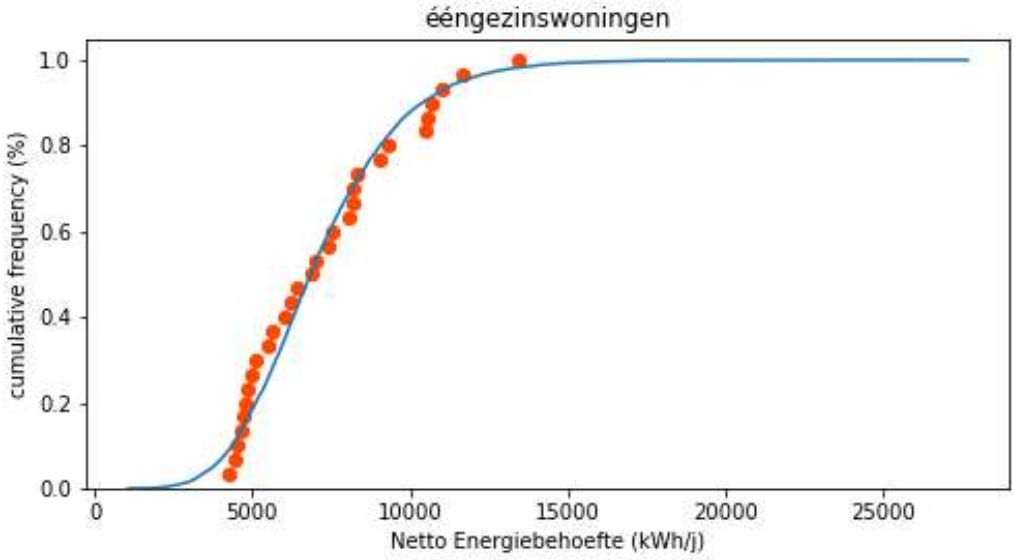
Figuur 15: cumulatieve frequentiecurve voor de compactheid van de ééngezinswoningen.



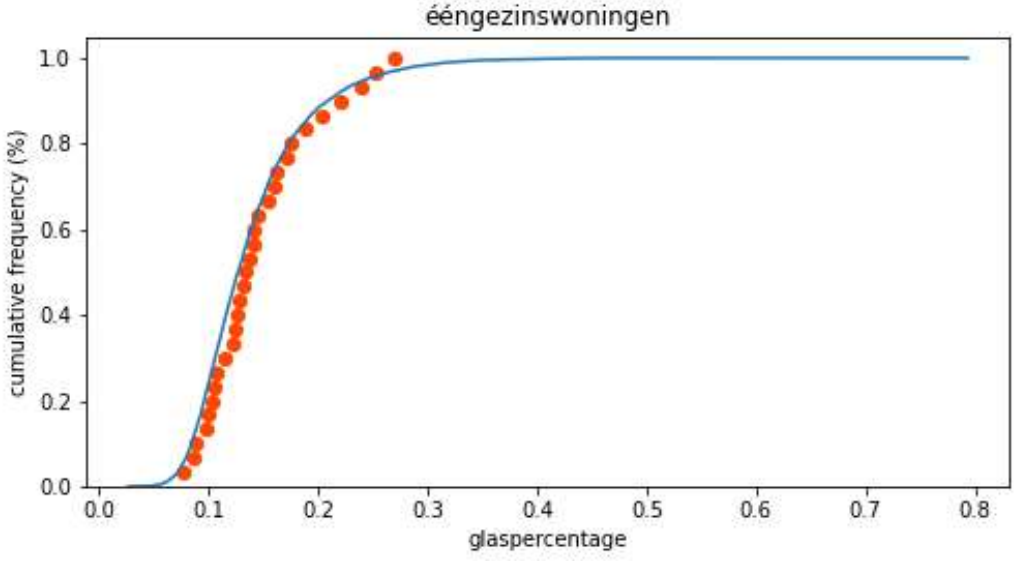
Figuur 16: cumulatieve frequentiecurve voor bruto vloeroppervlakte (m²) van de ééngezinswoningen.



Figuur 17: cumulatieve frequentiecurve voor het primair energieverbruik (MJ/j) van de ééngezinswoningen bij aangifte.

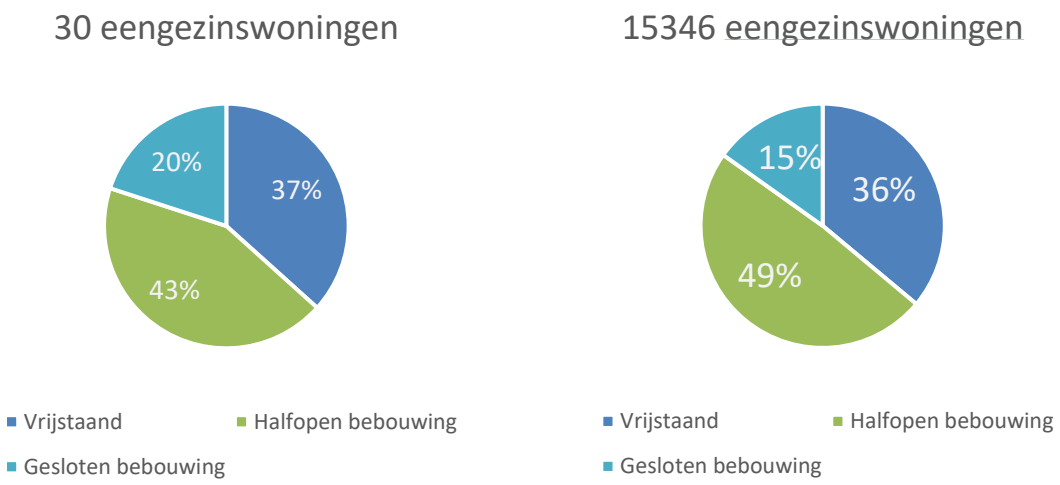


Figuur 18: cumulatieve frequentiecurve voor de netto energiebehoefte (kWh/j) van de ééngezinswoningen bij aangifte.



Figuur 19: cumulatieve frequentiecurve voor het glaspercentage (per bruto vloeroppervlakte) van de ééngezinswoningen.

Tot slot toont Figuur 20 dat ook de verdeling qua bouwvorm gelijkaardig is aan de initiële dataset van ééngezinswoningen (zonder volledige pre-processing). Zo bestaat de selectie uit 20% gesloten bebouwingen, 43% halfopen bebouwingen en 37% vrijstaande woningen, tegenover respectievelijk 15%, 49% en 36% in de initiële dataset.



Figuur 20: verdeling bouwvorm eengezinswoningen in selectie en initiële dataset.

Tabel 3 toont de geometrische parameters van de 30 referentie ééngezinswoningen.

Tabel 3: geometrische eigenschappen van de 30 geselecteerde referentiewoningen (O = open bebouwing, HO = halfopen bebouwing, G = gesloten bebouwing).

case	bruto vloeroppervlakte (m²)	verliesoppervlakte (m²)	beschermd volume (m³)	compactheid (-)	glasoppervlakte (m²)	vensteroppervlakte (m²)	vensterpercentage (m²/m² vloer)	inertie	type
1	255,37	639,65	870,42	1,36	64,57	67,36	26%	half zwaar	O
2	317,78	644,73	958,70	1,49	43,99	56,36	18%	half zwaar	O
3	367,70	734,81	1149,98	1,57	45,02	57,55	16%	matig zwaar	O
4	250,25	615,67	806,15	1,31	60,04	85,72	34%	half zwaar	O
5	260,78	615,36	893,39	1,45	35,09	48,21	18%	matig zwaar	O
6	131,77	298,35	441,96	1,48	19,21	21,18	16%	matig zwaar	HO
7	220,24	327,51	704,31	2,15	22,71	29,9	14%	matig zwaar	HO
8	230,18	435,56	738,44	1,70	22,65	30,11	13%	half zwaar	HO
9	235,80	517,73	739,00	1,43	30,41	40,60	17%	half zwaar	O
10	221,00	505,60	681,19	1,35	41,59	46,49	21%	matig zwaar	HO
11	186,36	360,66	584,24	1,62	21,61	23,38	13%	half zwaar	HO
12	223,77	323,92	809,88	2,50	35,74	41,6	19%	half zwaar	HO
13	164,64	230,47	487,06	2,11	16,55	22,38	14%	matig zwaar	G
14	169,57	279,20	547,53	1,96	18,03	23,33	14%	matig zwaar	G
15	144,99	282,99	452,57	1,60	15,71	21,15	15%	matig zwaar	G
16	131,25	307,95	418,85	1,36	23,14	29,72	23%	matig zwaar	HO
17	168,59	325,88	630,17	1,93	15,12	18,40	11%	matig zwaar	G
18	243,46	541,25	798,48	1,48	37,58	48,52	20%	half zwaar	O

19	192,65	256,37	567,73	2,21	14,89	19,69	10%	matig zwaar	G
20	195,26	430,35	635,00	1,48	24,81	30,82	16%	half zwaar	HO
21	186,34	356,83	594,53	1,67	26,28	37,58	20%	matig zwaar	HO
22	181,54	371,67	566,13	1,52	36,87	46,09	25%	half zwaar	G
23	434,12	970,99	1479,76	1,52	95,76	103,74	24%	half zwaar	O
24	171,52	345,52	525,41	1,52	21,38	24,60	14%	half zwaar	HO
25	214,00	495,80	678,90	1,37	30,29	37,90	18%	half zwaar	O
26	175,65	519,02	635,96	1,23	47,49	50,28	29%	half zwaar	O
27	156,75	359,23	555,36	1,55	20,73	26,22	17%	matig zwaar	HO
28	159,99	367,60	533,12	1,45	27,45	27,50	17%	half zwaar	HO
29	184,1	366,51	631,28	1,72	16,15	18,75	10%	half zwaar	HO
30	148,73	409,57	555,30	1,36	24,24	25,05	17%	matig zwaar	O

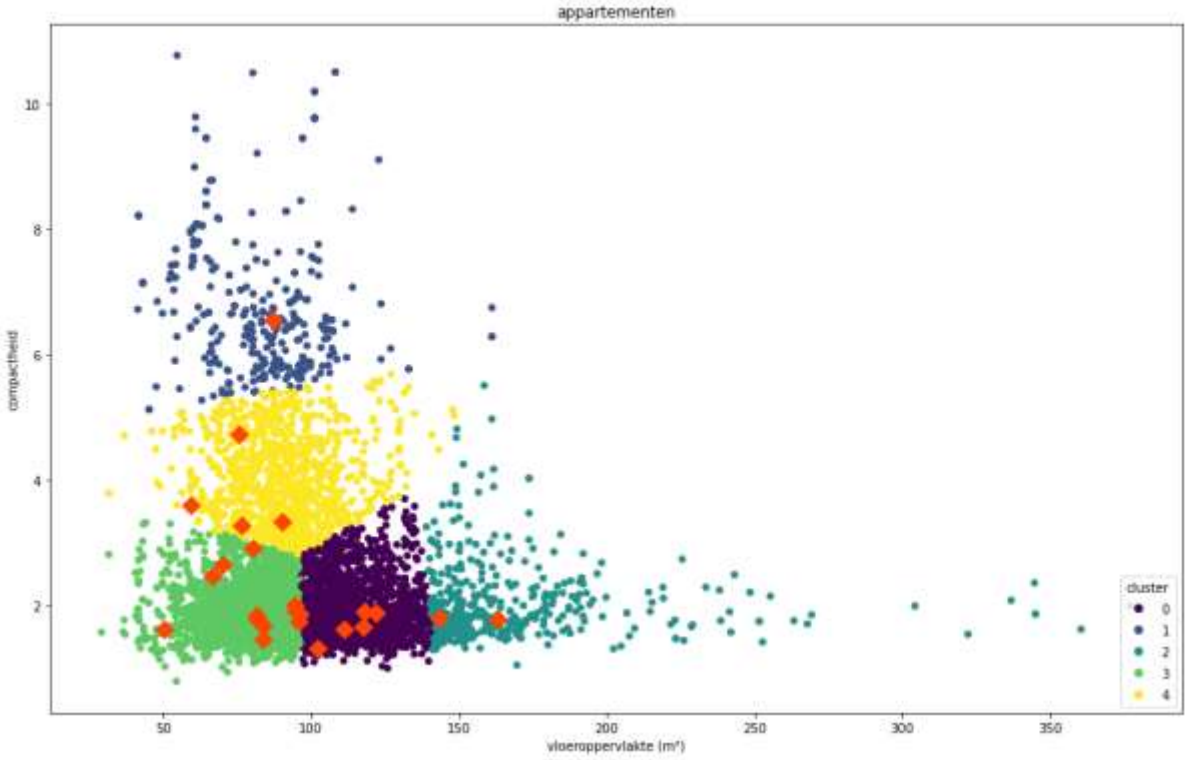
4.4 Appartementen

Analoog aan de ééngezinswoningen zijn 5x5 geometrische clusters gevormd op basis van de bruto-vloeroppervlakte van het appartement, de volume/schiloppervlakteverhouding, de oververhittingsindicator en de glasoppervlakte. Hiernaast is ook nog een "all-in clustering" uitgevoerd waarin 30 clusters werden gevormd. Ook hiermee is rekening gehouden in de selectie van de appartementen. Omwille van het toepassen van collectieve systemen in de maatregelpakketten, dat wijzigingen vraagt aan alle appartementen in de appartementsblok, is geopteerd om de diverse appartementen zo veel mogelijk te selecteren binnen dezelfde blok. Als bijkomend voordeel kunnen we ons ook richten op een goede spreiding tussen kleine en grote appartementsblokken; uiteindelijk zijn er tien verschillende appartementsblokken geselecteerd. Tabel 4 toont voor deze blokken het aantal appartementen per blok alsook het aantal geselecteerde appartementen uit de blok ter analyse.

Tabel 4: geselecteerde blokken/appartementen en de grootte van de blok.

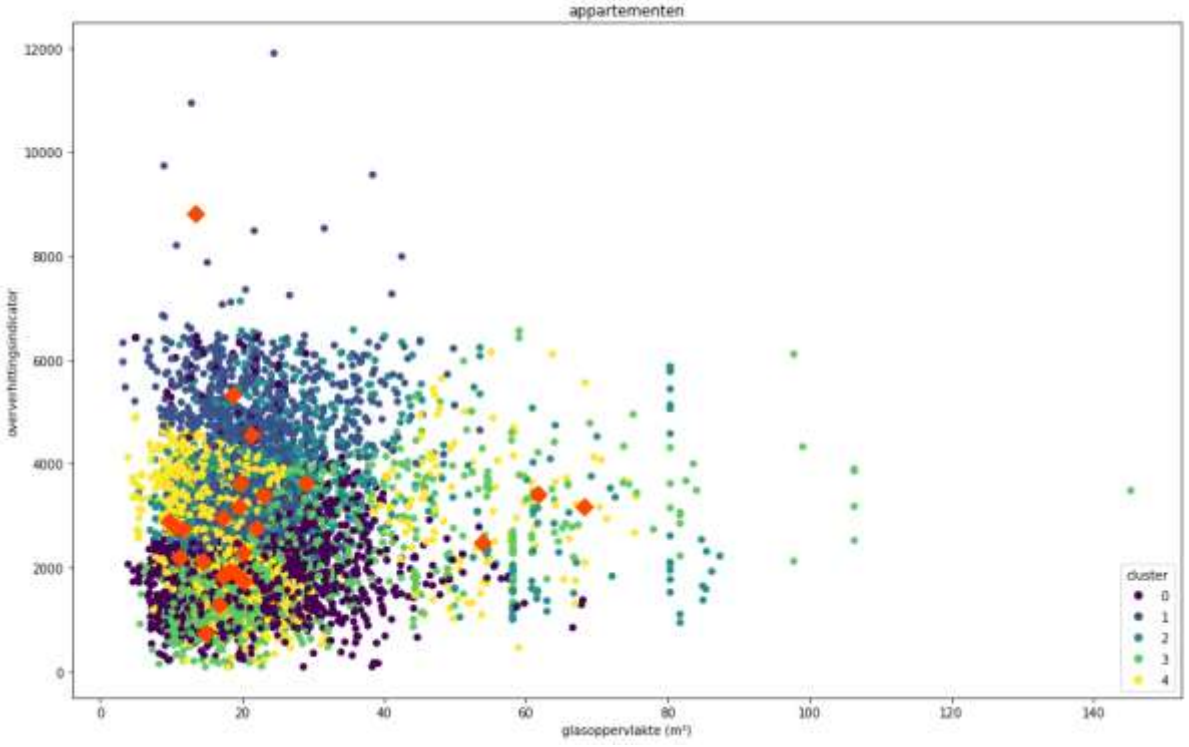
grootte blok	# geselecteerde app.
2-app.blok	2
4-app.blok	1
4-app.blok	1
5-app.blok	1
5-app.blok	2
6-app.blok	2
10-app.blok	3
12-app.blok	3
14-app.blok	3
20-app.blok	6

Figuur 21 toont de 24 geselecteerde appartementen verdeeld over de vijf clusters, gevormd op basis van de bruto vloeroppervlakte en de volume/schiloppervlakte verhouding van het appartement. Hier in is duidelijk te zien dat zowel grote als kleine appartementen gekozen zijn die zowel zeer "compact" als minder compact zijn. De selectie omvat ook één studio.



Figuur 21: 24 geselecteerde referentie appartementen en studio's verdeeld over vijf clusters, gevormd op basis van de bruto vloeroppervlakte en de volume/schiloppervlakte verhouding van het appartement.

Figuur 22 toont de verdeling van de 24 geselecteerde appartementen op basis van hun glasoppervlaktes. Ook hier is een duidelijke verdeling van appartementen met kleine of grote glasoppervlaktes.



Figuur 22: verdeling van de 24 geselecteerde appartementen op basis van hun glasoppervlaktes.

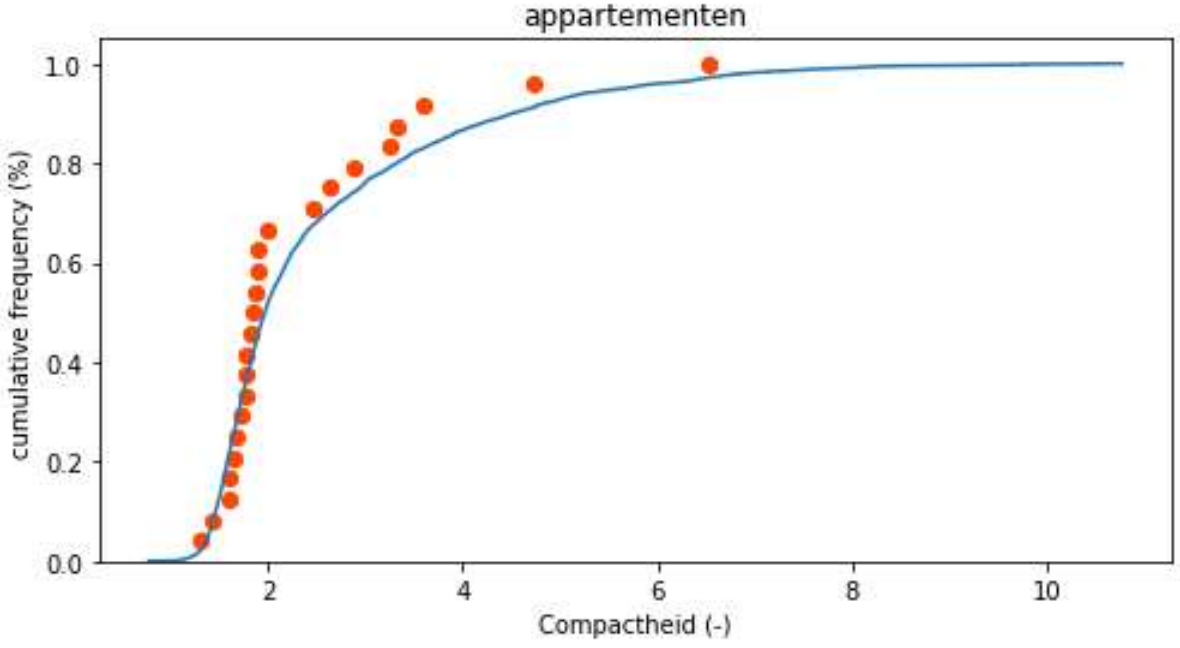
Om te controleren of een representatieve set (=*sample*) uit de 6271 EPB-aangiftes (=*population*) is geselecteerd, is een twee-zijdige z-test uitgevoerd. De resultaten worden getoond in Tabel 5.

Tabel 5: resultaten twee-zijdige z-test van de appartementen.

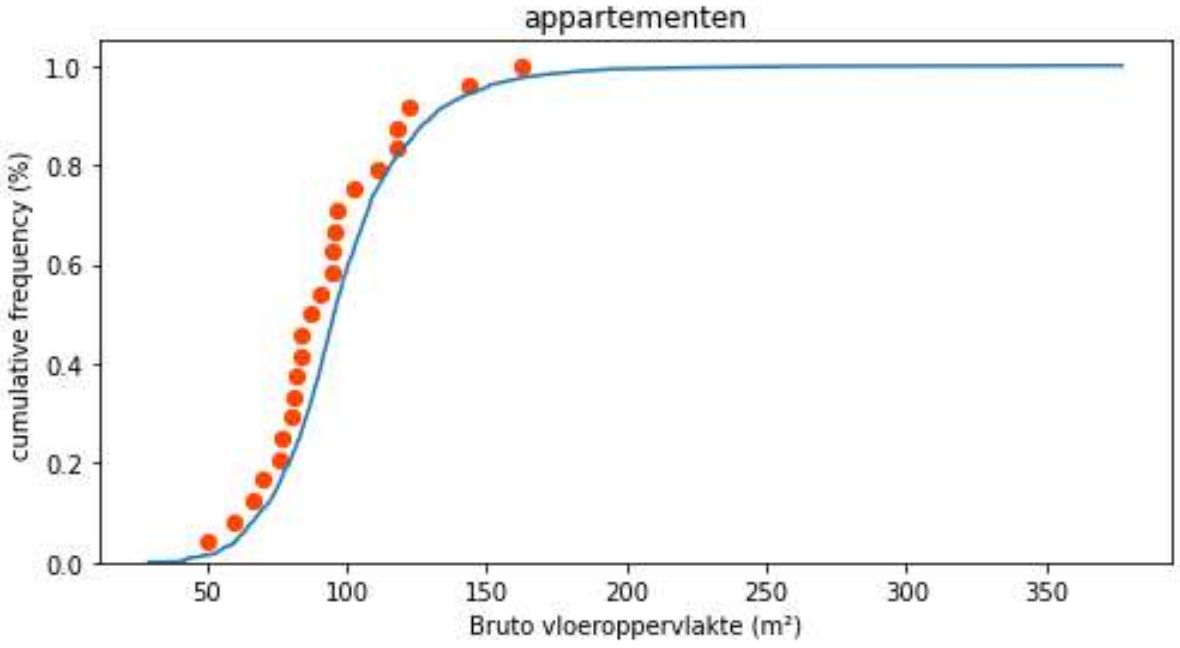
	Compactheid		Bruto vloeroppervlakte (m		Verliesoppervlakte (m²)		Beschermd volume (m³)		Glasoppervlakte (m²)	
	population	*sample*	*population*	*sample*	*population*	*sample*	*population*	*sample*	*population*	*sample*
N	6271	24	6271	24	6271	24	6271	24	6271	24
Mean	2,54	2,38	98,98	93,53	155,21	154,05	317,00	302,82	22,50	17,43
Median	1,97	1,85	95,25	88,64	152,74	162,26	303,46	291,89	19,70	17,08
Standard deviation	1,42	1,46	27,86	25,83	78,50	72,95	98,17	85,83	12,30	4,85
Variance	2,007	1,457	776,369	667,159	6162,486	5321,990	9637,228	7366,125	151,265	23,519
z-score	-0,556		-0,957		-0,073		-0,708		-2,017	

Via de nulhypothese is gecontroleerd of er een significant verschil is in het gemiddelde van de sample en het gemiddelde van de populatie met een betrouwbaarheid van 95% (α=0,05) voor de parameters compactheid, bruto vloeroppervlakte, verliesoppervlakte en beschermd volume. Om met 95% zekerheid te kunnen zeggen dat de gemiddeldes van deze parameters in de sample en populatie dataset niet significant verschillen, dient de absolute waarde van de z-score kleiner te zijn dan 1,96. Zoals in bovenstaande resultaten te zien is dit het geval voor alle parameters, behalve de glasoppervlakte. Dit is mede te wijten aan het feit dat in de totale dataset aan appartementen redelijk wat foutieve glasoppervlaktes zitten – die niet allemaal gecorrigeerd kunnen worden voor deze analyse. Normaal gezien ligt de het gemiddelde glasoppervlakte van de populatie (of dus totale dataset) ook lager dan de gegeven 22,50m².

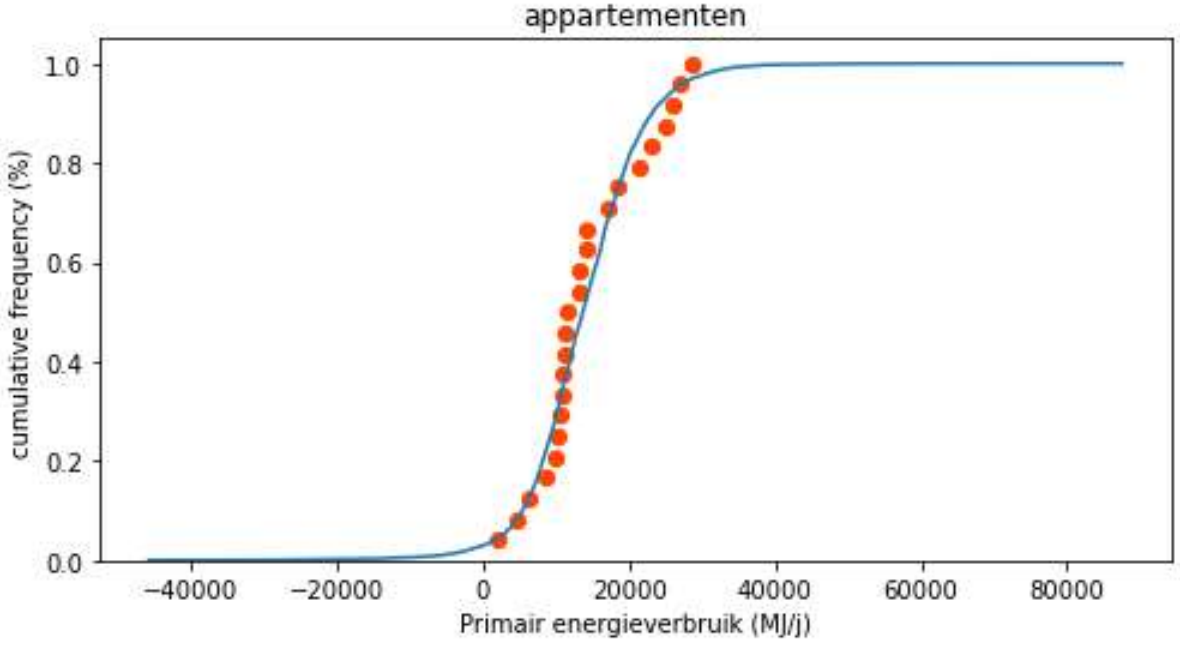
Figuur 23 - Figuur 26 tonen de spreiding van de geselecteerde appartementen voor respectievelijk parameters beschermd volume/verliesoppervlakte, bruto vloeroppervlakte, primair energieverbruik (MJ/j), netto energiebehoefte (kWh/j) en glaspercentage (%) van de appartementen. Deze figuren tonen immers de cumulatieve frequentie van appartementen binnen de 6271 EPB-aangiftes voor een bepaalde parameter; m.a.w. hoe steiler de curve hoe frequenter appartementen met desbetreffende waarde voor een bepaalde parameter voorkomen binnen de 6271 aangiftes. Er dient gelet te worden dat geselecteerd wordt binnen dit steile stuk van de curve gezien dit hierdoor een representatieve weergave zal zijn van het totaal aangegeven appartementen in de periode 2019-2022.



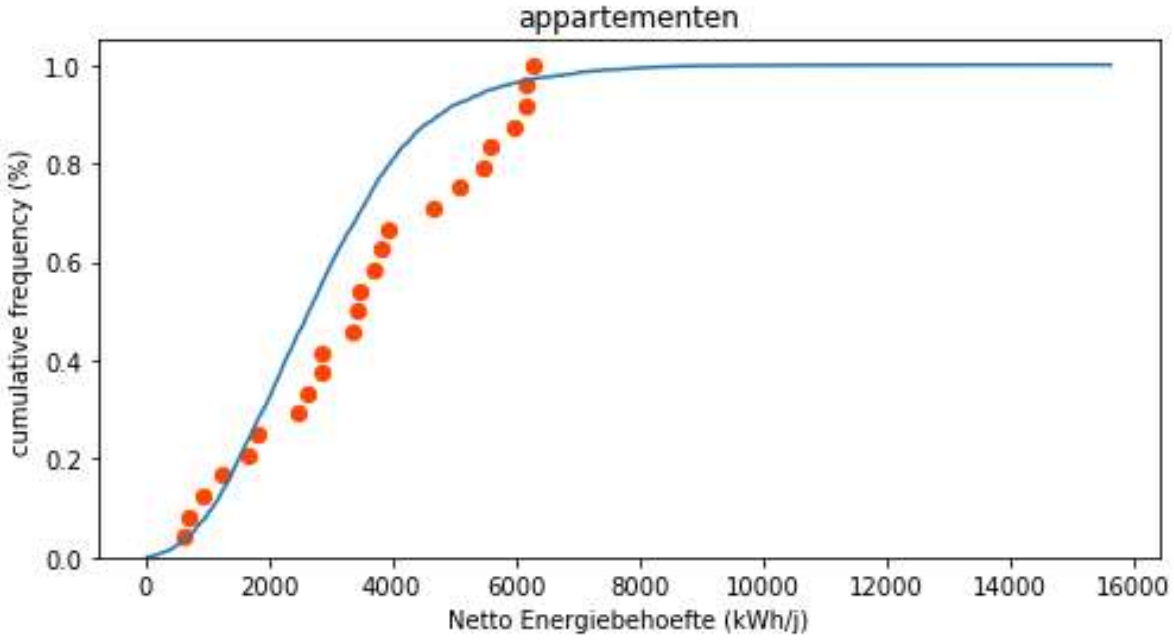
Figuur 23: cumulatieve frequentiecurve voor de verhouding beschermd volume/verliesoppervlakte van de individuele appartementen.



Figuur 24: cumulatieve frequentiecurve voor de bruto vloeroppervlakte (m²) van de individuele appartementen.



Figuur 25: cumulatieve frequentiecurve voor het primair energieverbruik (MJ/j) van de individuele appartementen bij aangifte.



Figuur 26: cumulatieve frequentiecurve voor de netto energiebehoefte voor verwarming (kWh/j) van de individuele appartementen bij aangifte.

Tabel 6 toont de geometrische parameters van deze 24 geselecteerde referentie-appartementen en studio's.

Tabel 6: geometrische parameters van de 24 geselecteerde referentie appartementen en studio.

case ID	bruto vloeroppervlakte (m²)	verliesoppervlakte (m²)	beschermd volume (m³)	compactheid (-)	glasoppervlakte (m²)	vensteroppervlakte (m²)	vensterpercentage (m²/m² vloer)
40	162,87	280,35	498,36	1,78	16,68	21,02	13%
41	143,44	270,98	483,22	1,78	19,03	23,73	17%
42	83,85	185,2	266,76	1,44	11,64	12,12	14%
43	95,09	163,92	311,43	1,90	20,11	21,80	23%
44	102,08	245,03	317,58	1,30	23,13	25,72	25%
45	117,46	214,97	355,9	1,66	14,88	18,34	16%
46	76,38	66,76	217,68	3,26	10,51	11,80	15%
47	80,3	80,88	234,09	2,89	11,07	13,25	17%
48	59,42	48,47	174,07	3,59	9,78	11,03	19%
50	111,32	226,42	364,88	1,61	19,56	18,17	16%
51	83,52	184,08	308,39	1,68	14,47	11,85	14%
52	96,28	191,43	353,14	1,84	17,36	15,44	16%
53	87,12	37,84	247,39	6,54	17,32	17,54	20%
54	94,31	160,6	320,36	1,99	21,99	22,69	24%
55	81,39	152,74	269,95	1,77	21,23	25,49	31%
56	66,36	112,21	275,38	2,45	9,66	13,80	21%
57	90,16	81,08	270,48	3,34	17,07	22,95	25%
58	122,1	219,67	409,02	1,86	23,373	33,39	27%

59	117,97	209,3	394,76	1,89	20,33	18,26	15%
60	69,93	79,56	210,24	2,64	19,78	20,39	29%
61	50,25	106,82	171,85	1,61	13,48	8,84	18%
62	95,73	184,52	319,54	1,73	18,23	15,42	16%
63	75,59	47,64	224,83	4,72	18,63	17,26	23%
64	81,79	146,7	268,32	1,83	29,06	26,76	33%

5 MAATREGEL(EN)PAKKETTEN

5.1 Inleiding

Er wordt een selectie gemaakt van kostenefficiënte maatregelpakketten om E30 (of beter) te bekomen op basis van de voorgaande kostenoptimum studies. Bijkomend wordt afgetoetst of op basis van de recent ingediende aangiftes extra maatregelpakketten moeten gedefinieerd worden.

Paragraaf 5.2 geeft de selectie van de maatregelpakketten weer en een overzicht van de technische specificaties.

De kostprijs en de technische eigenschappen van de maatregelen worden in deze studie uitgebreid herbekeken en geactualiseerd. Paragraaf 5.2 geeft de methodiek voor de kostprijsbepaling en de kosten zelf weer exclusief BTW, enerzijds voor het bouwkundig gedeelte, anderzijds voor de installaties.

Tenslotte wordt in paragraaf 5.4 op basis van kostprijs en prestaties gestaafd waarom een aantal maatregelen niet (meer) worden geselecteerd.

5.2 Selectie van maatregelen

Het is niet de bedoeling om, zoals in de kostenoptimum studie van 2015, een combinatie te maken van alle mogelijke parameters, maar wel om een gerichte selectie te maken van een aantal relevante maatregelpakketten.

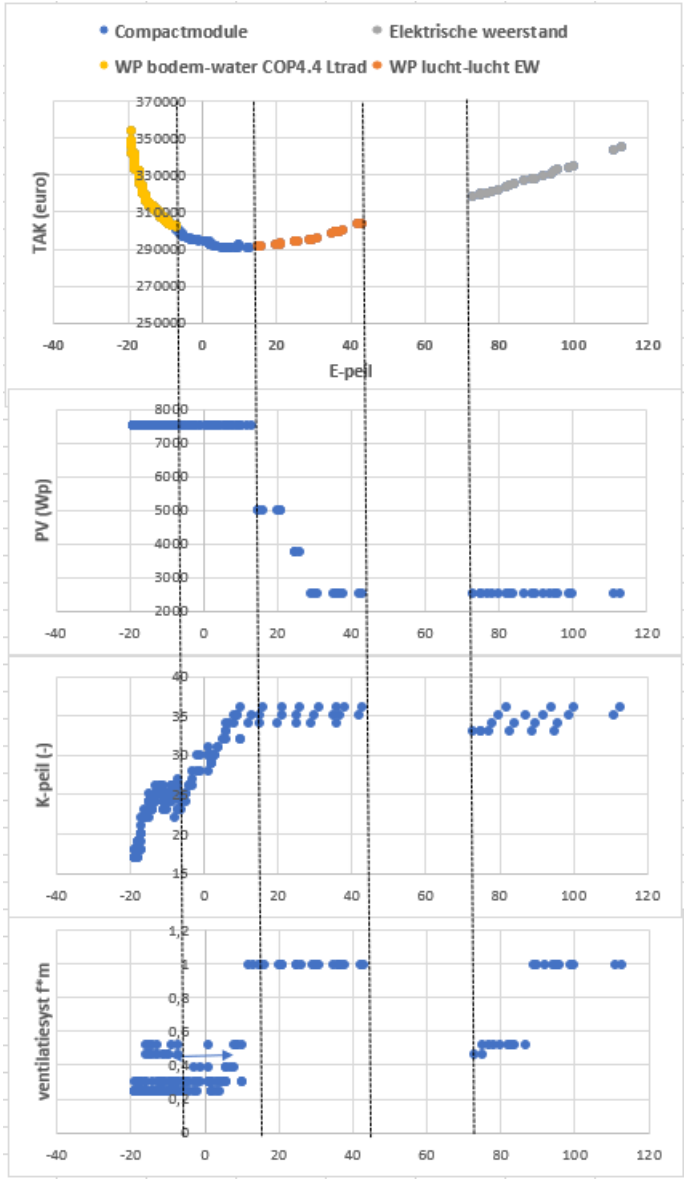
De selectie gebeurt in eerste instantie op basis van de resultaten van de kostenoptimum studie 2015. Uit die resultaten worden per typewoning nieuwe paretofronten gemaakt, waarbij opwekkers op stookolie of aardgas worden geweerd.

5.2.1 Nieuwe paretofronten op basis van resultaten 2015

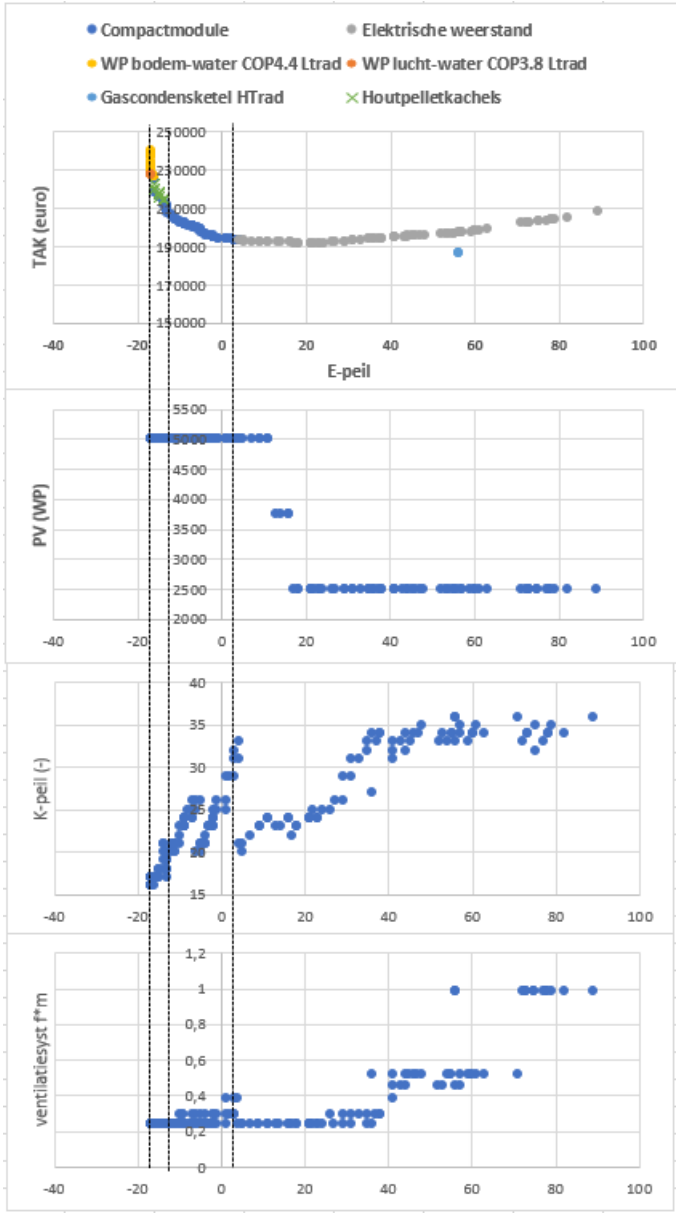
De nieuwe paretofronten op basis van de resultaten uit de kostenoptimum studie 2015, verschillen van de paretofronten die toen zijn bepaald, omdat hier de opwekkers op stookolie en aardgas geschrapt zijn.

5.2.1.1 Eéngezinswoningen

Analyse van de nieuwe paretofronten voor ééngezinswoningen leert dat de maatregelpakketten op het paretofront vooral verschillen op gebied van opwekker, isolatieniveau, ventilatiesysteem en hoeveelheid PV. Bij de analyse van de nieuwe paretofronten (macro-economische analyse) van de architecturale woning en van de rijwoning in respectievelijk Figuur 27 en Figuur 28 ligt de focus dan ook op die maatregelen.



Figuur 27: Paretofront zonder stookolie/aardgas op basis van resultaten 2015 voor architecturale woning (macro-analyse).



Figuur 28: Paretofront zonder stookolie/aardgas op basis van resultaten 2015 voor rijwoning (macro-analyse).

Uit Figuur 27 en Figuur 28 blijkt:

- de elektrische weerstand voor ruimteverwarming, met het oog op E30, is enkele relevant in compacte woningen en wordt meestal toegepast in combinatie met een minimum aan PV en bij voorkeur meer isolatie dan wat minimaal verplicht is (K25-30) en een ventilatiesysteem D.
- de lucht-lucht warmtepomp (LL WP) verschijnt enkel op het paretofront van de architecturale woning, steeds in combinatie met een minimaal isolatieniveau (circa K35), een éénvoudig ventilatiesysteem C en met 2500 tot 5000 Wp aan panelen.
- de compactmodule (ventilatieluchtwarmtepomp) is prominent aanwezig op het paretofront van beide woningen, steeds in combinatie met een maximum aan PV panelen. Het isolatieniveau varieert (K20-K35) en meestal wordt een ventilatiesysteem D toegepast. Bij de rijwoning wordt vanaf circa E-7 een zonneboiler toegevoegd aan het maatregelpakket (niet aangegeven op de figuur).
- de bodem-water warmtepomp (BW WP), en bij de rijwoning sporadisch ook de lucht-water warmtepomp (LW WP), verschijnt uiterst links op het paretofront, bij het laagste E-peil en

met sterk stijgende TAK. Voor de rijwoning zijn ook de andere maatregelen geoptimaliseerd (doorgedreven isolatie, optimaal ventilatiesysteem, maximum aan PV panelen en een zonneboiler (niet aangegeven op figuur)), voor de architecturale woning is er meer variatie qua isolatie en ventilatie.

- De houtpelletkachel komt naar voor als alternatief voor de compactmodule bij de lagere E-peilen van de rijwoning, in combinatie met andere ver doorgedreven maatregelen.

Enkel bij de architecturale woning komt zonnewering een aantal keer voor, maar deze zorgt voornamelijk voor een hogere kost en weinig verbetering van het E-peil. De oververhittingsindicator is voor beide woningen steeds < 2000Kh, wat betekent dat het verbruik voor fictieve koeling beperkt is.

De paretofronten van de twee halfopen woningen en van de pastorijwoning uit de studie 2015 zijn gelijkaardig, evenals voor de micro-economische analyse. Het valt wel op dat de halfopen woningen al houtpelletkachels bevatten bij hogere E-peilen, in combinatie met minimale isolatie en PV. Ook bij de micro-economische analyse van de rijwoning komen houtkachels meer verspreid over het paretofront voor.

Tabel 7 geeft een overzicht van de maatregelpakketten die op basis van voorgaande bevindingen werden geselecteerd en die het volledige paretofront (2015) voor ééngezinswoningen kunnen vertegenwoordigen.

Tabel 7: Overzicht maatregelpakketten die voorkomen op vernieuwd paretofront 2015, maatregelen met meerdere varianten worden in het vet aangeduid.

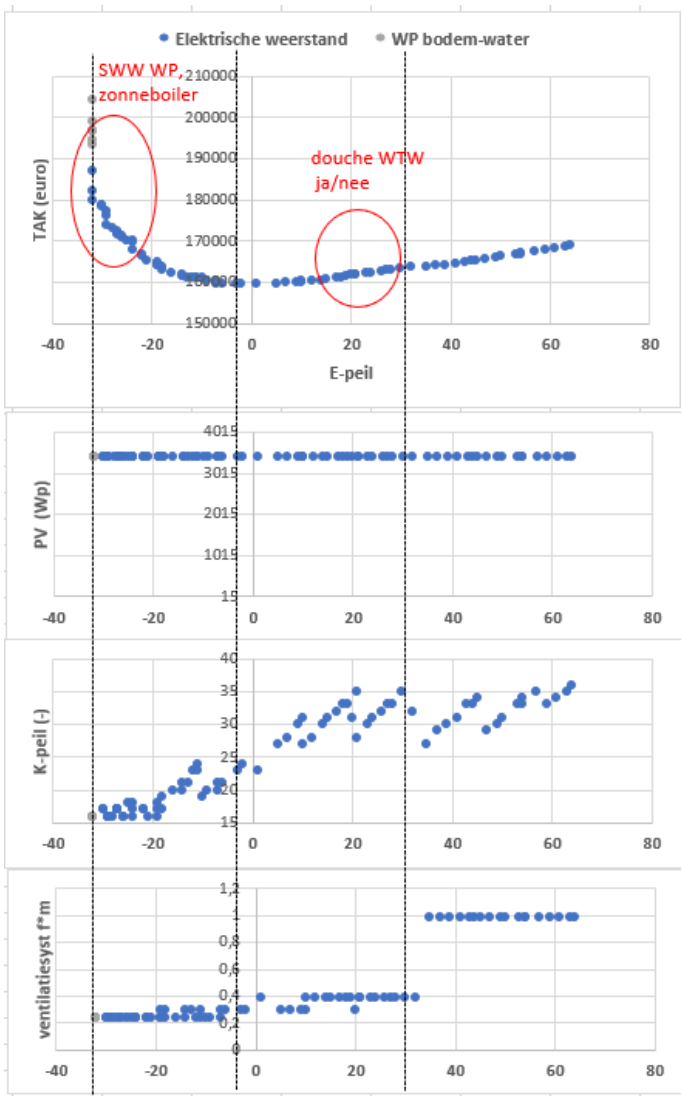
ventilatie f*m	0,24	0,24	0,24	0,52	0,99	0,24	0,52
isolatie Uopaak	**0,11/0,16**	**0,11/0,16**	0,16	0,24	0,24	0,16	0,24
PV	Pvmax	Pvmax	Pvmax	2500	**2500-5000**	**2500-5000**	0
opwekker SWW	zonneboiler	zonneboiler	**WP/zonneboiler**	WP	elektr-WP	WP	combi
opwekker RV	**LWWP/BWWP**	houtpellet	compact	houtpellet	LLWP	elektr	gasketel
aantal pakketten	8	2	4	1	2	2	1

5.2.1.2 Appartementen

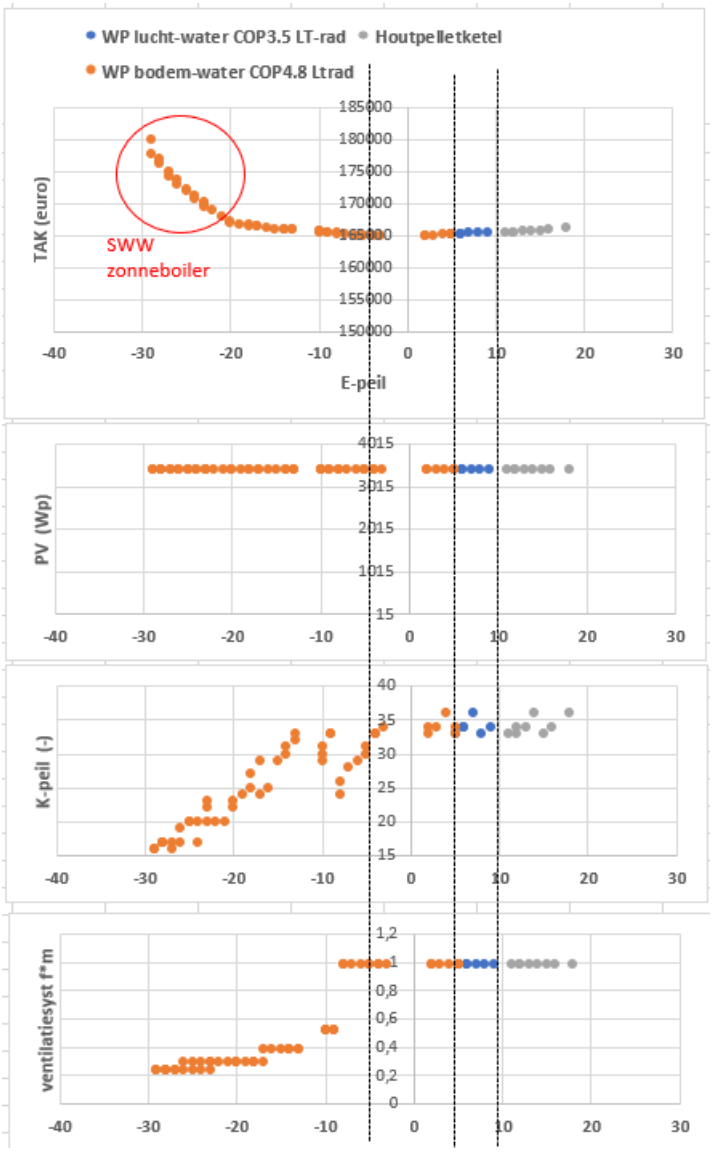
In de vorige studies was het aantal opwekkers die niet op stookolie of aardgas werken voor appartementsgebouwen eerder beperkt. De collectieve installaties die toen beschouwd werden, waren steeds volledig op aardgas of hybride.

Daarom worden voor appartementen volgende nieuwe paretofronten bepaald:

- Een eerste paretofront waarbij enkel de installaties die uitsluitend op olie of gas werken worden geweerd (Figuur 29).
- Een tweede paretofront waarbij bijkomend de individuele installaties (die anders het paretofront volledig domineren) worden geweerd (Figuur 30).



Figuur 29: Paretofront zonder opwekkers op uitsluitend stookolie/aardgas op basis van resultaten 2015 voor gemiddeld appartement (macro-analyse).



Figuur 30: Paretofront zonder opwekkers op uitsluitend stookolie/aardgas, zonder individuele opwekkers op basis van resultaten 2015 voor gemiddeld appartement (macro-analyse).

Uit deze paretofronten kunnen dus weinig pakketten als dusdanig overgenomen worden in deze studie, maar we zien wel dat:

- met individuele elektrische verwarming in combinatie met de volledige range aan isolatieniveaus het paretofront grotendeels wordt afgedekt.
- bij toepassen van collectieve installaties, een minimaal isolatieniveau en ventilatiesysteem volstaan om een groot deel van het paretofront af te dekken.

5.2.2 Selectie maatregelen

Voor een aantal maatregelen is op basis van de nieuwe paretofronten (zoals bepaald onder paragraaf 5.2.1) besloten om geen variatie aan te brengen binnen de geselecteerde maatregelpakketten. Deze maatregelen zijn gekozen omdat ze sowieso weinig variatie vertonen op het paretofront, of omdat meestal net alle varianten naast elkaar voorkomen op het paretofront. Volgende maatregelen worden steeds toegepast:

- Luchtdichtheid v50= 3m³/hm²
- Bouwknopen optie B (met een aantal niet-EPB aanvaarde bouwknopen)
- Douche warmteterugwinning (WTW) niet aanwezig

- Geen actieve koeling, tenzij bij de LL- en LW-warmtepompen waarbij de keuze van het systeem actieve koeling impliceert.

Hoewel een douche WTW vaak verschijnt op het paretofront, wordt ervoor gekozen deze niet mee te nemen in de maatregelpakketten omdat deze in de praktijk nauwelijks worden toegepast.

Er wordt in de basis uitgegaan van een groot potentieel voor nachtelijke ventilatie in de ééngezinswoningen, omdat dit voor de meeste woningen goed haalbaar is zonder meerkost. Voor appartementen met één gevel is dit moeilijker: het potentieel voor nachtelijke ventilatie wordt dan aangepast.

Op het paretofront van de vorige studies komt voor woningen bijna geen zonnewering voor. In de studie naar de haalbaarheid van het S-peil[15] bleek zonnewering enkel nodig in een aantal 'extreme' woningen die 4% uitmaakten van de nieuwbouw woningen.

Zoals reeds aangegeven wordt omwille van de aangepaste (2025) eis voor hernieuwbare energie in principe steeds PV opgenomen in de maatregelpakketten. Het aantal PV panelen heeft een belangrijke impact op het E-peil, daarom worden de mogelijkheden voor PV verder in detail bekeken en wordt er ook een sensitiviteitsanalyse gedaan op de hoeveelheid PV.

- Voor de basisberekeningen wordt de hoeveelheid PV afgestemd op het elektriciteitsverbruik en gecorrigeerd op basis van het beschikbare dakoppervlak.
- Omdat het potentieel voor PV (beschikbare dakoppervlakte en voornamelijk de beschaduwing) niet altijd goed kan ingeschat worden op basis van het EPB-dossier, gebeurt een tweede analyse met een minimale hoeveelheid PV die volstaat om te voldoen aan de eis voor hernieuwbare energie.
- Voor appartementen is het dakoppervlak beperkt:
    - de hoeveelheid PV wordt aangepast aan de werkelijke situatie (op basis van detailanalyse van ligging en gebouw door VEKA en van EPB-dossier) en zal soms niet voldoende zijn om te voldoen aan de eis voor HE. In dat geval wordt de kost voor participatie ingerekend.
    - er worden geen zonneboilers beschouwd.

Zoals reeds aangehaald, variëren de maatregelpakketten op het paretofront (2015) verder voornamelijk in het type ventilatiesysteem, in isolatiedikte, in raamprofiel en beglazing en in type opwekker. Op basis van de paretofronten (2015) werden hiervoor volgende varianten gedefinieerd:

- Opwekker ruimteverwarming: elektrische weerstand / houtpelletkachel / LL-WP / LW-WP / BW-WP
- Opwekker SWW: WP boiler / zonneboiler
- PV: 2500Wp / 5000 à 7500 WP (ifv woning)
- Isolatie:
    - minimaal, volgens de geldende Umax eisen
    - doorgedreven, richting passief huis standaard
    - en één isolatieniveau tussenin
- Ventilatie reductiefactor totaal 0.99/0.5/0.24

Hoewel de compactmodule en de elektrische boiler voor SWW wel als kostenefficiënt naar voren komt op basis van de resultaten van 2015, worden deze nu niet weerhouden. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 5.2.6.

Om verschuivingen van het paretofront en kostenoptimum ten gevolge van de aanzienlijke prijsschommelingen en verschil in energiekost ten opzichte van 2015 en 2017 enigszins op te vangen,

[15] Studie 'Analyse haalbaarheid aanscherping naar S28', 2020, WTCB en Thomas More in opdracht van VEKA

worden deze varianten zoveel mogelijk gecombineerd. Op die manier worden ook combinaties doorgerekend die in 2015 niet op het paretofront lagen, maar dit nu misschien wel doen.

Om de evolutie naar modulerende en vooral ook hoge temperatuur warmtepompen mee te nemen, alsook de technische vooruitgang qua efficiëntie, worden voor de LWWP en BWWP telkens twee varianten meegenomen. De keuze van de warmtepompen, evenals de keuze van de ventilatiesystemen zijn afgestemd op een nieuwe marktanalyse.

Voorgaande resulteert in 116 maatregelpakketten voor ééngezinswoningen, de concrete invulling met de technische specificaties wordt in paragraaf 5.2.3 gegeven.

Voor appartementen wordt omwille van de beperkte dakoppervlakte geen zonthermie beschouwd, en wordt op basis van de resultaten voor ééngezinswoningen maar één type BWWP weerhouden en komt de houtpelletketel te vervallen. Daarnaast worden wel een aantal collectieve installaties mee doorgerekend voor gebouwen met meer dan acht appartementen. Dit resulteert in 51 maatregelpakketten (of 63 voor de grotere gebouwen) waarvan de concrete invulling wordt gegeven in paragraaf 5.2.4.

5.2.3 Overzicht maatregelpakketten ééngezinswoningen

De maatregelpakketten die in deze studie op de 29 ééngezinswoningen worden toegepast, bestaan grotendeels uit **maatregelpakketten met een warmtepomp als opwekker**. Deze 108 pakketten zijn opgebouwd uit alle combinaties van drie isolatievarianten x vier ventilatievarianten x vijf warmtepompvarianten, telkens met en zonder zonthermie, en met een hoeveelheid PV afgestemd op het verbruik, zoals hieronder weergegeven.

Isolatievarianten:

- minimaal (U_{opaak} 0.24W/m²K, U_{glas} 1.1 W/m²K, $U_{profiel}$ 2.2 W/m²K),
- gemiddeld (U_{opaak} 0.16W/m²K, U_{glas} 0.5 W/m²K, $U_{profiel}$ 1.4 W/m²K),
- doorgedreven (U_{opaak} 0.11W/m²K, U_{glas} 0.5 W/m²K, $U_{profiel}$ 0.9W/m²K)

Varianten ventilatiesysteem:

- C1 met f=0.43 en by-pass, m = 1.25, ventilator 67W
- C2 met f=0.93 en by-pass, m=1.25, ventilator 67W
- D1 met f=0.61 en by-pass, m=1.25, ventilatoren 2*98W, rendement WTW 83%
- D2 zonder vraagsturing, m=1.25, ventilatoren 2*98W, rendement WTW 83%

waarbij m en f correctiefactoren zijn voor respectievelijk uitvoeringskwaliteit en vraagsturing.

Varianten warmtepomp:

- LLWP met SCOP = 4.5 in combinatie met warmtepompboiler met efficiëntie 143% (XL, COP=3.58)
- LWWP1 met ηs (55°C) = 126% (SCOP bij 35°C = 4.4) en efficiëntie SWW 115% (XL, COP=2.88)
- LWWP2 met ηs (55°C) = 147% (SCOP bij 35°C = 5.1) en efficiëntie SWW 106% (XL, COP=2.65)
- BWWP1 met ηs (55°C) = 140% (SCOP bij 35°C = 4.9) en efficiëntie SWW 108% (XL, COP=2.7)
- BWWP2 met ηs (55°C) = 150% (SCOP bij 35°C = 5.2) en efficiëntie SWW 111% (XL, COP=2.78)

Systeem zonthermie met 4m² collectoroppervlak en opslagvat van 300L.

PV-panelen, uitgaand van elektriciteitsverbruik = 3500kWh + eindverbruik koeling en SWW + 0.5* eindverbruik verwarming (met eindverbruik = elektrisch eindverbruik volgens EPB berekening).

Deze 108 combinaties worden verder aangevuld tot 116 met:

- een pakket met lokale elektrische ruimteverwarming (stralingstoestel/convector met elektronische regeling, energie-efficiëntie 38%) en een warmtepompboiler, een gemiddeld isolatieniveau en ventilatiesysteem D1.

- een aantal pakketten met houtpelletketel (rendement 30% deellast van 80%), al dan niet met zonthermie, en:
  - minimale isolatie en C2
  - gemiddelde isolatie en D2
  - doorgedreven isolatie en D1
- tenslotte wordt ook een pakket met gasketel, minimale isolatie en een ventilatiesysteem C1 toegevoegd.

5.2.4 Overzicht maatregelpakketten appartementen

De maatregelpakketten die voor de appartementen worden doorgerekend, komen overeen met de pakketten voor de ééngezinswoningen, maar zonder de optie met zonthermie, houtpelletketel of BWWP2. Zo blijven nog 51 pakketten over.

Voor de gebouwen met meer dan acht appartementen, worden bijkomend volgende collectieve systemen doorgerekend:

- Combilussysteem met centrale LWWP en lokale boosters, drie varianten voor isolatie en ventilatiesysteem C1.
- Combilussysteem met centrale BWWP en lokale boosters, drie varianten voor isolatie en ventilatiesysteem C1.

5.2.5 Maatregelen toegepast in nieuwbouw op basis van ingediende aangiftes

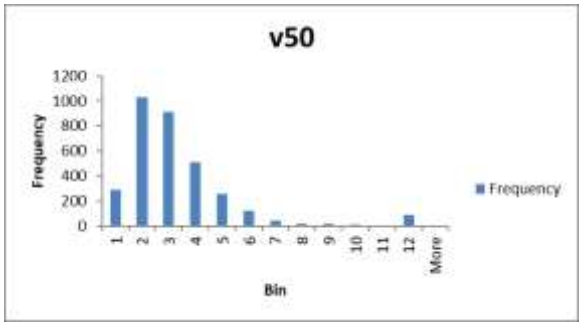
De dataset aangeleverd door VEKA, die gebruikt werd om de referentiegebouwen te bepalen, geeft ook een beeld van de werkelijk toegepaste maatregelen. Op basis van een nieuwe clusteranalyse, worden voor elk van de vijf clusters bepaald in hoofdstuk 4 een aantal representatieve maatregelpakketten bepaald. De pakketten met WP worden voor elke cluster weergegeven in Tabel 8. Ze sluiten nauw aan bij de pakketten die gedefinieerd werden op basis van de pareto-analyses.

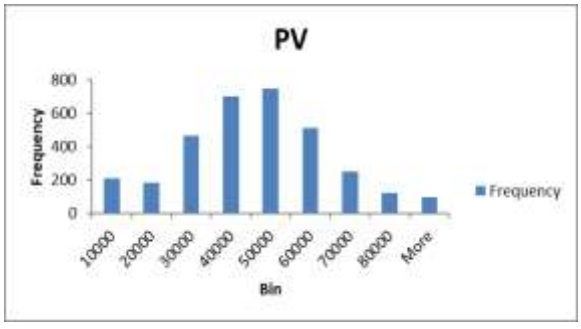
Tabel 8: Representatieve maatregelpakketten op basis van clusteranalyse op reële dataset.

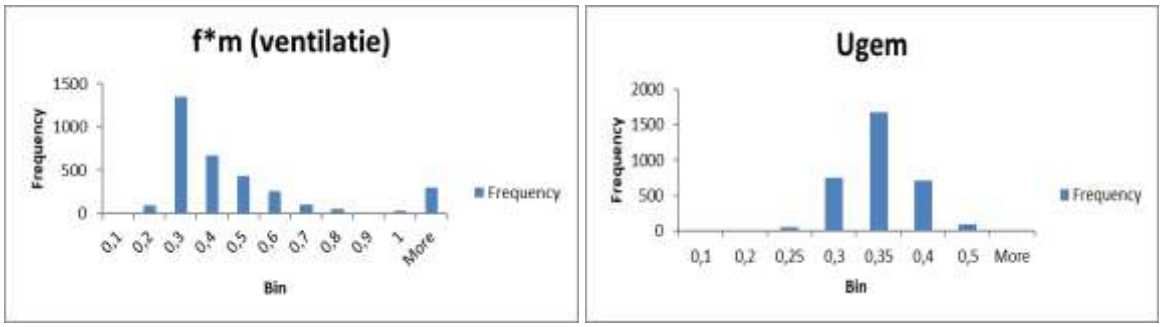
cluster	PV[MJ]	Um	mf	opwekking	SWW
0	43.137	0.31	0.49	ELEKTRISCHE_WARMTEPOMP	Warmtepomp
1	42.157	0.34	0.48	ELEKTRISCHE_WARMTEPOMP	Verbrandingstoestel voor SWW
2	62.924	0.32	0.40	ELEKTRISCHE_WARMTEPOMP	Warmtepomp
3	geen typische pakketten met warmtepomp				
4	55.783	0.32	0.37	ELEKTRISCHE_WARMTEPOMP	Warmtepomp
4	94.427	0.32	0.34	ELEKTRISCHE_WARMTEPOMP	Warmtepomp

In de nieuwbouw woningen komen voornamelijk LW-WP (60%) en BW-WP voor (35%). In de appartementen is het aandeel respectievelijk 76% en 19%.

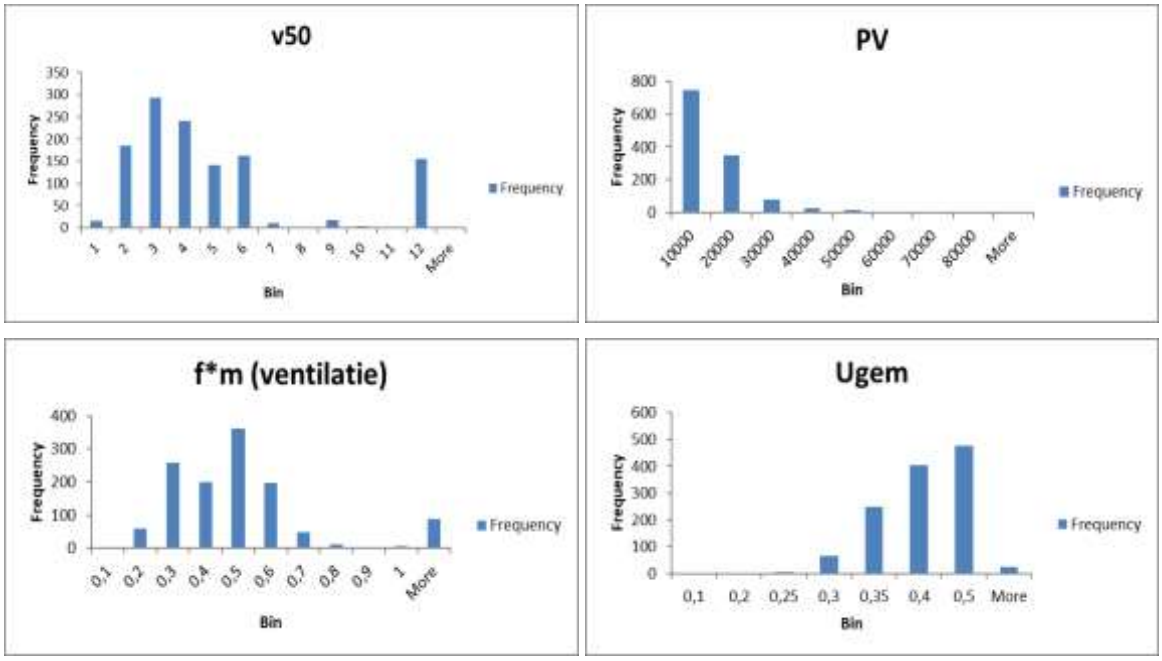
Het aandeel van zonneboilers is minder dan 1%, bouwknopen worden bijna altijd ingerekend volgens optie B. Figuur 31 en Figuur 32 tonen de verdeling van de belangrijkste maatregelen voor enerzijds de ééngezinswoningen en anderzijds de appartementen die met een warmtepomp zijn uitgerust.







Figuur 31: Werkelijk toegepaste maatregelen in ééngezinswoningen (v50 [m³/hm²], PV opbrengst primaire energie [MJ], f*m[ ] reductiefactor ventilatie, U_{gem} [W/m²K]).



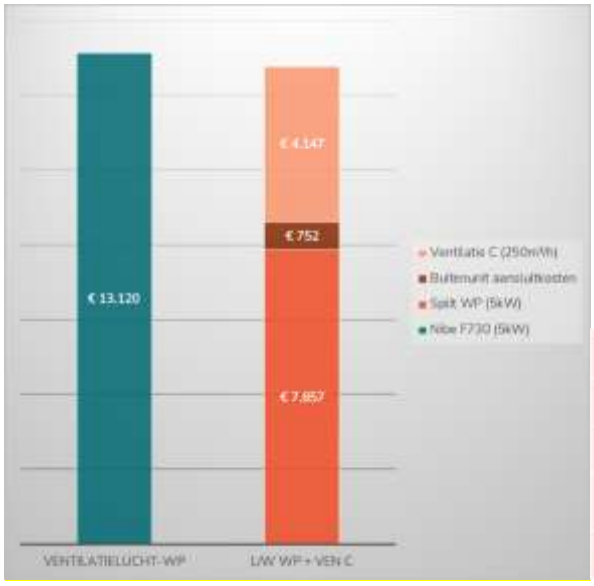
Figuur 32: Werkelijk toegepaste maatregelen in appartementen (v50 [m³/hm²], PV opbrengst primaire energie [MJ], f*m[ ] reductiefactor ventilatie, Ugem [W/m²K]).

In werkelijkheid worden geen maatregelen toegepast die sterk afwijken van de geselecteerde maatregelpakketten zoals opgesomd in 5.2.3 en 5.2.4. Bij appartementen zien we iets vaker slechtere luchtdichtheid (maar zwaartepunt ligt nog steeds op 3m³/hm²), vaker een ventilatiesysteem C, hogere gemiddelde U-waarden (te verklaren door groter aandeel van vensters in het verliesoppervlak) en vooral minder PV.

5.2.6 Maatregelen die niet worden geselecteerd

Sommige maatregelen zijn niet mee opgenomen in de studie, omdat op voorhand kan geconcludeerd worden dat deze niet op het paretofront zullen terug te vinden zijn. Dit wil niet zeggen dat deze in specifieke situaties geen goede oplossing kunnen zijn. Het wil wel zeggen dat deze minder relevant zijn binnen de voorwaarden van deze studie waaronder het bepalen van de totale actuele kosten over 30 jaar.

In vorige studies leverde bijvoorbeeld de compactmodule of ventilatielucht warmtepomp nog positieve resultaten. Figuur 33 toont dat de nieuwe manier van prijsbepaling en de rendementen die mogen ingegeven worden in EPB een vergelijkbaar maar negatiever beeld zal geven voor de TAK van de ventilatielucht warmtepomp ten opzichte van een klassieke combinatie. Bovendien blijkt uit een bevraging van fabrikanten dat het aanbod zeer beperkt is en zelfs afgenomen ten opzichte van het verleden. Dit geeft aan dat deze techniek op dit moment minder relevant is geworden in België.



	Ventilatielucht-WP	L/W WP + VEN C
ηs 35°C	180	175
ηs SWW	92	115
f_{redac}	1	0,87
Extra	Compact	Meer mogelijkheden

Figuur 33: Vergelijking van investeringskost en rendementen voor ventilatielucht warmtepomp met aparte vergelijkbare technieken.

Ook een elektrische boiler wordt niet weerhouden, aangezien de huidige en voorspelde energieprijzen zorgen voor een snelle terugverdientijd van een warmtepompboiler in vergelijking met de elektrische variant. In de studie wordt verondersteld dat de warmtepompboiler in alle situaties kan geplaatst worden en dus een betere keuze is met de TAK in het achterhoofd.

Voor collectieve installaties bij grotere appartementsgebouwen is in eerste instantie de kostprijs van twee concepten bekeken voor zowel geothermie als lucht-water systemen - enerzijds een 4-pijpsysteem met collectieve boiler en recirculatieleiding voor sanitair warm water en anderzijds een combilus 2-pijpsysteem op lage temperatuur met booster warmtepompen in elke wooneenheid voor de productie van sanitair warm water met de lage temperatuurverwarming als bron. Uit Figuur 46 blijkt dat de initiële kostprijs van de combilus systemen hoger ligt. Bij vele leveranciers zijn echter geen ERP-labels beschikbaar voor de combinatie tussen warmtepomp en (grote) boilers, waardoor het (lage) rendement bij ontstentenis in EPB meegenomen wordt. Dit in combinatie met de verliezen van de recirculatieleiding zorgt voor een negatieve invloed wanneer gekeken wordt naar de positie ten opzichte van het paretofront. Voor enkele cases is dit effectief doorgerekend waaruit bleek dat bovenstaande conclusie wel degelijk opging. Daarom werd verder in de studie enkel het combilus systeem weerhouden.

5.3 Kostprijs van maatregelen

De huidige marktsituatie in de bouwwereld is in zeer sterke mate gewijzigd ten opzichte van de vorige versie van de studie uit 2017. Zowel vanwege de coronacrisis als door de oorlog in Oekraïne en de sterk stijgende energie- en grondstoffenprijzen, zijn nagenoeg alle eenheidsprijzen die aan bod komen in de studie sterk gestegen ten opzichte van de eerdere aannames vijf jaar geleden.

De prijzen in de Vlaamse bouwwereld zijn zeer volatiel, net als in de omliggende landen en regio's overigens. Offertes zijn zeer beperkt geldig, aannemers trachten de vele prijsstijgingen van grondstoffen door te rekenen, vaak gebruikte materialen zijn slechts beperkt verkrijgbaar, waardoor een ander duurder alternatief tijdelijk goedkoper kan zijn, en dergelijke meer. Dit betekent dat deze kostenanalyse slechts een momentopname kan zijn tot de markt is gestabiliseerd.

Hierrond zijn economische studies beschikbaar, waaruit blijkt dat verwacht wordt dat de huidige inflatie van de markt wellicht niet zal blijven doorgaan, en dat de "bubbel" mogelijk zal barsten op termijn. Als dat het geval is, weet echter niemand wanneer dat precies zal zijn, of de prijzen tot dan zullen stijgen en tot welk niveau de prijzen na het barsten van de bubbel zullen dalen.

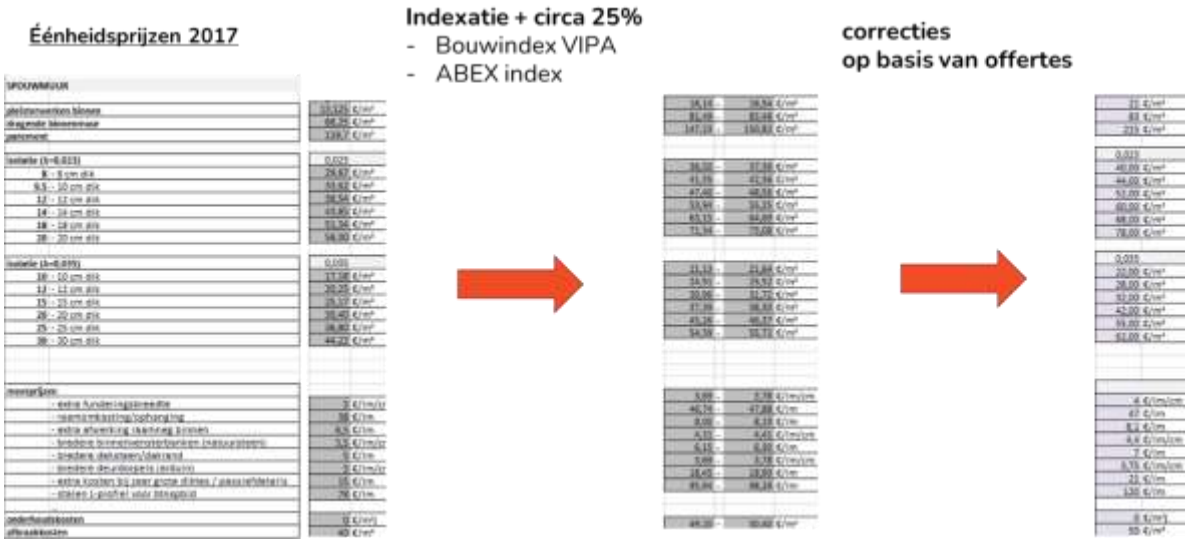
Deze achtergrond wordt enkel meegegeven omdat prijzen afgetoetst zijn met zo recent mogelijke referentieprojecten (midden 2022), en dat de eenheidsprijzen significant kunnen verschillen (zowel stijgen als dalen) in de nabije toekomst.

5.3.1 Methodiek kostprijsbepaling bouwkundig

In onderaanneming van Thomas More, heeft Bureau Bouwtechniek (BB) onderzoek verricht naar de eenheidsprijzen van de energetische maatregelen van toepassing op de gebouwschil. De huidige studie is een update van een eerdere versie van hetzelfde onderzoek. Deze analyse begint bij de eenheidsprijzen van de vorige studies uit 2015 (op basis van offertes aannemers3) en 2017, waar deze prijzen up-to-date gebracht werden via indexering. De eenheidsprijzen zijn verder verwerkt om een gemiddelde prijs per U-waarde te bekomen.

Deze gemiddelde prijzen uit 2017 zijn opnieuw onderzocht. In het geval dat niet alle aannemers prijs hebben opgegeven voor een bepaald aspect zijn de naar het advies van Bureau Bouwtechniek meest realistische prijzen in aanmerking genomen. Anders wordt een zeer laag gemiddelde bekomen door het toevoegen van "0"-prijzen. Dit speelt in het bijzonder voor de "meerprijzen vanaf een bepaalde dikte isolatie". Zaken die wellicht oorspronkelijk nogal abstract waren voor de aangeschreven aannemers en waar elke aannemer een andere interpretatie aan kon geven.

Op deze gemiddelde prijzen is een indexering van 23,32% tot 26,53% toegepast. Dit zijn respectievelijk de percentages voor de VIPA-bouwindex en de ABEX-index (van begin 2017 tot midden 2022). De geïndexeerde prijzen werden vergeleken met aanbestedingsprijzen uit recente referentieprojecten binnen de portfolio van Bureau Bouwtechniek. Wanneer deze realistisch bleken, is een prijs in die grootteorde aangehouden en afgerond naar een rond getal binnen de bekomen vork. In het andere geval is de prijs bijgestuurd naar een prijs die in de referentieprojecten van BB zijn ondervonden. Figuur 34 toont een voorbeeld van deze update toegepast op een spouwmuur.



Figuur 34: Update van éénheidsprijzen voor een spouwmuur op basis van de bouwindex VIPA en ABEX index, én correctie op basis van offertes.

Voor residentiële projecten omvatten de referenties eerder grotere meergezinswoningen, hoewel ook een aantal recente prijzen zijn opgevraagd voor de bouw van ééngezinswoningen (binnen de privé-architectuurpraktijken). Op die manier is zowel voor de appartementen als voor de eengezinswoningen binnen deze studie met relevante referenties gewerkt.

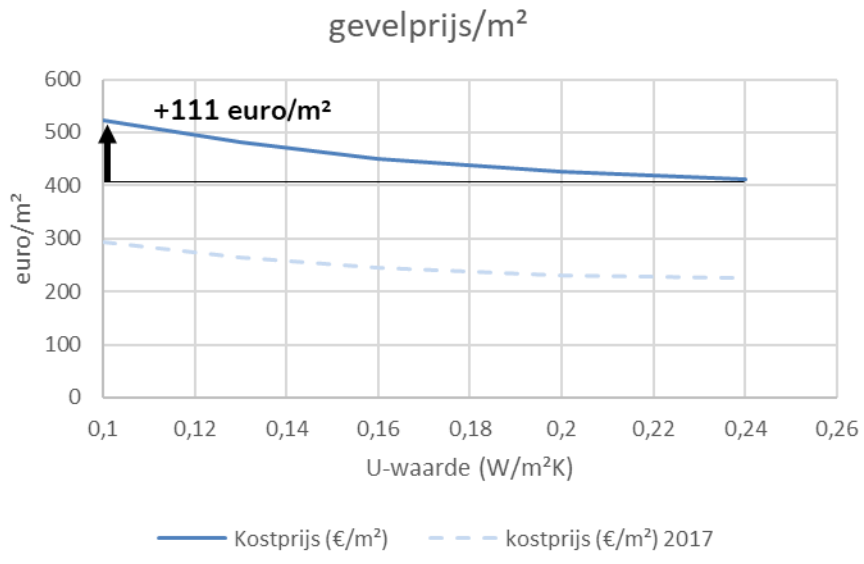
Opvallende verschillen ten opzichte van de studie van 2017 zijn de kosten van de bouwdelen met beton, staal en vooral (parement) metselwerk. Deze grondstoffen zijn sterk gestegen in prijs in verhouding tot de gemiddelde indexering en de kostprijs is dan ook naar boven bijgestuurd. Verder zijn de eenheidsprijzen voor houtskeletbouw sterk gestegen. Hoewel hout in prijs is toegenomen, is een deel vermoedelijk toe te schrijven aan een initiële onderschatting van de eenheidsprijzen. Ook was isolatiemateriaal in 2017 al beduidend hoger ingeschat dan de toenmalige indexatie tegenover de oorspronkelijke studie (2015). Sindsdien zijn deze prijzen eerst gedaald om vervolgens terug te stijgen door de recente crisissen. Het lijkt zo dat de isolatieprijzen minder gestegen zijn dan de rest van de cruciale grondstoffen, maar dit geeft een vertekend beeld.

Verhoudingsgewijs is het onderscheid tussen de kostprijs van hoge en lage U-waarden toegenomen ten opzichte van 2017. Dit is vermoedelijk te wijten aan de meerprijzen voor de aspecten zoals extra funderingsbreedte en bredere dorpels, die nu in de kostprijzen consequenter zijn meegenomen en in offertes van aannemers vaak werden open gelaten. BB acht de huidige aanpak realistischer, maar het is moeilijk om dit in de praktijk te kwantificeren, mede door het feit dat lage U-waarden standaard voorzien worden.

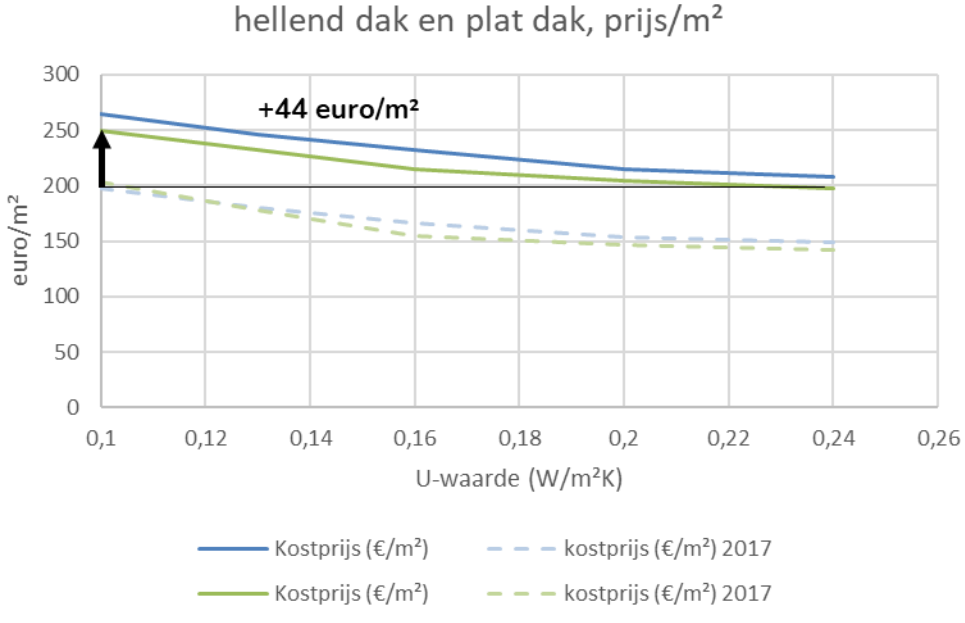
De uiteindelijk aangehouden eenheidsprijzen zijn verzameld in dezelfde formattering als de studie uit 2017 waarvan we vertrokken zijn. Zo zijn dezelfde samenstellingen voor gevels, daken en de andere bouwdelen aangehouden, waardoor we op een analoge manier resultaten bekomen per U-waarde. De prijzen in functie van de U-waarde worden hierna weergegeven.

5.3.2 Overzicht kostprijzen bouwkundig

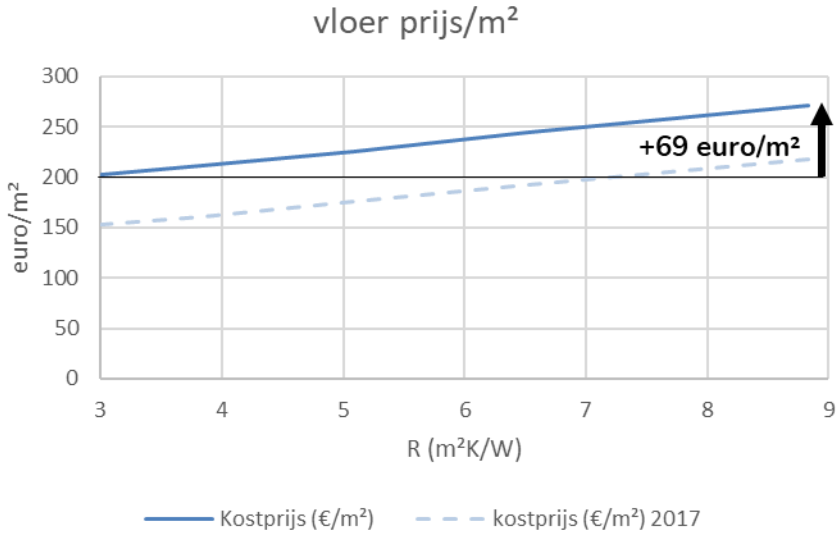
De bovenbeschreven methodiek in paragraaf 5.3.1 resulteerde in kostprijzen (€/m²) per isolatiewaarde voor de verschillende opake en transparante constructies. Voor gevels, daken en vloeren worden deze respectievelijk getoond in Figuur 35, Figuur 36 en Figuur 37. Er is een gemiddelde prijstoename van 82%, 35% en 23% ten opzichte van de prijzen van 2017 voor respectievelijk gevels, daken en vloeren. Zoals hoger aangegeven, is er ook een stijgende toename van de prijzen bij dalende U-waarde.



Figuur 35: Kostprijs (€/m²) in functie van de U-waarde voor de gevel, incl. vergelijking t.o.v. de prijzen van 2017.

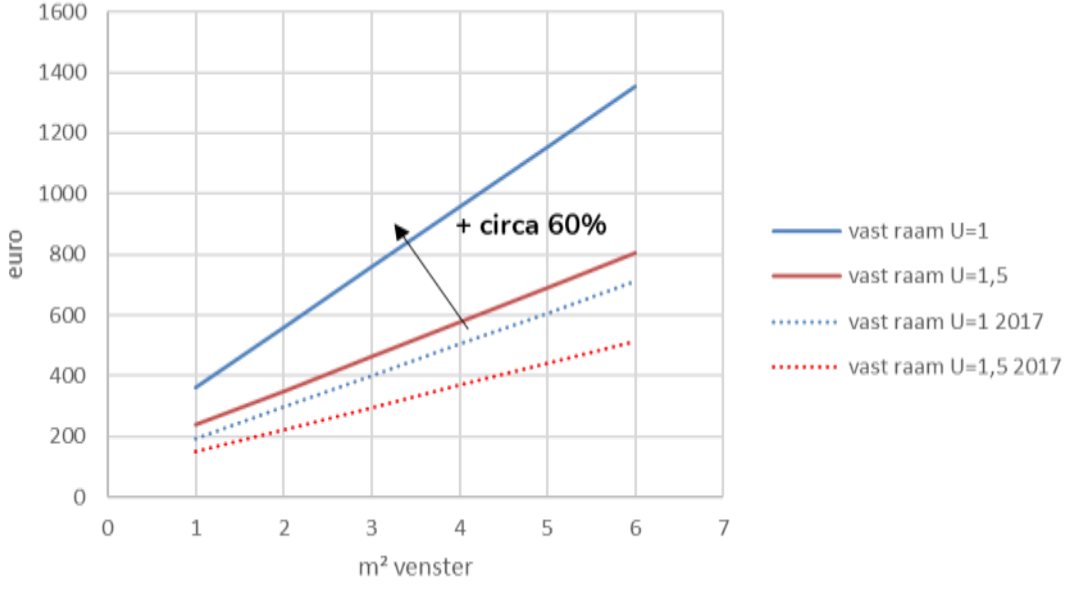


Figuur 36: Kostprijs (€/m²) in functie van de U-waarde voor de daken (blauw = hellend dak, groen = plat dak), incl. vergelijking t.o.v. de prijzen van 2017.

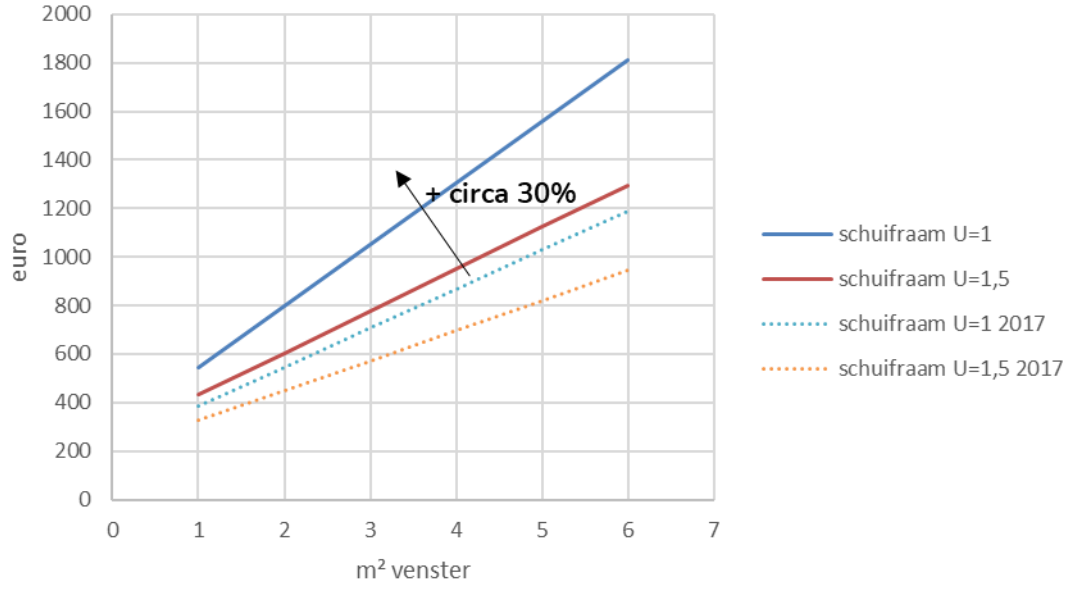


Figuur 37: Kostprijs (€/m²) in functie van de U-waarde voor de vloer, incl. vergelijking t.o.v. de prijzen van 2017.

Figuur 38 en Figuur 39 tonen de prijzen per m² vensteroppervlakte voor respectievelijke vaste en opengaande/schuif- ramen met een U-waarde van 1,0 en 1,5 W/m²K. Er is een gemiddelde prijstoename van 60 en 30% ten opzichte van de prijzen van 2017 voor respectievelijk vaste en opengaande/schuif- ramen. In tegenstelling tot de opake constructies is er in dit geval wel degelijk een verandering van het prijsverloop in functie het isolatieniveau – zeker voor U=1,0 W/m²K.



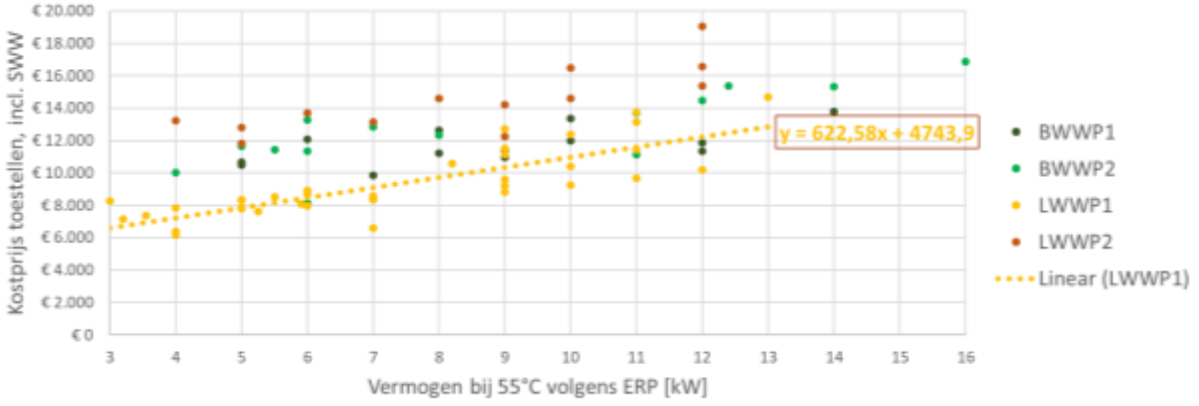
Figuur 38: Kostprijzen (€) in functie van het vensteroppervlak (m²) voor vaste ramen, incl. vergelijking t.o.v. de prijzen van 2017.



Figuur 39: Kostprijzen (€) in functie van het vensteroppervlak (m²) voor opengaande en schuiframen, incl. vergelijking t.o.v. de prijzen van 2017.

5.3.3 Methodiek kostprijsbepaling installaties

Voor installaties zijn bruto prijzen of catalogusprijzen een vaak gebruikt startpunt voor het opstellen van offertes. Hierdoor gaat deze studie uit van hetzelfde opzet, waarbij de catalogussen van een aantal fabrikanten gebruikt worden als basis voor het bepalen van een gemiddelde kostprijs van toestellen zoals weergegeven in Figuur 40. Extra kosten zoals werkuren en klein materiaal worden ingeschat op basis van ervaring, groothandelprijzen en verkregen offertes van installateurs.



Figuur 40: Bepaling van een gemiddelde kostprijs in verhouding tot het vermogen van een lucht-water split warmtepomp, incl. interne warm water boiler, buiten- en binnentoestel, op basis van de dataset uit catalogussen.

Voor appartementsgebouwen is de prijs bepaald door het toepassen van een extra korting die bepaald is op prijzen afkomstig van installateurs, projectontwikkelaars en energy service companies. Hierbij wordt rekening gehouden met extra kosten zoals bijvoorbeeld een collectieve CLV schouw bij gasketels of gemeenschappelijke ventilatiekanalen.

5.3.4 Overzicht kostprijzen installaties

Een overzicht van de technische specificaties die gebruikt zijn voor het bepalen van de kostprijzen zijn terug te vinden in hoofdstuk 5.2.3 en 5.2.4. De kostprijzen zijn voorgelegd voor feedback tijdens een tussentijdse stakeholdervergadering.

5.3.4.1 Ventilatie

Vier soorten ventilatiesystemen zijn bekeken in de studie. Enerzijds is er een onderscheid tussen een C systeem met mechanische afvoer- en natuurlijke toevoerlucht en een D systeem met volledig mechanische ventilatie en warmterecuperatie. Anderzijds is er steeds een systeem beschouwd met een hoge (C2 & D2) en lage (C1 & D1) reductiefactor, waarvan je de berekende kostprijzen terugvindt in Figuur 41.

De lage reductiefactor voor D systemen (D1) wordt behaald door het toevoegen van CO_2 sensoren in de droge ruimtes in vergelijking tot een basissysteem (D2), wat het verschil in kostprijzen tussen maatregel D1 en D2 in Figuur 41 verklaart. De extra sensoren hebben een kost per extra droge ruimte (sprongen) en een vaste beginkost voor meer intelligentie in het ventilatietoestel.

Voor C systemen (C1) zijn ook extra sensoren nodig voor elke droge of natte ruimte in vergelijking tot een basissysteem (C2), maar ook een conceptwijziging waarbij elke kamer met afzuiging apart geregeld kan worden in plaats van een centrale regeling op basis van de meest nadelige sensor. Als extra zijn er afzuigpunten nodig in de slaapkamers bovenop de toevoeropeningen die altijd aanwezig moeten zijn, waardoor vanaf een bepaald aantal ruimtes het debiet beschikbaar voor één ventilatietoestel overschreden wordt. Het verschil tussen maatregel C1 en C2 is dan ook een stuk groter dan bij de maatregelen voor ventilatie D, waarbij maatregel C1 dicht bij maatregel D2 komt te liggen. Deze twee systemen zullen ook zeer dicht bij elkaar liggen als ze vergeleken worden naar hun totale actuele kost (TAK).

Figuur 41: Kostprijs van verschillende ventilatiesystemen afhankelijk van het pulsiedebiet in EPB (extractiedebiet en het aantal ruimtes is ingeschat op basis van de set van referentiegebouwen).

Bij het bepalen van de kostprijzen voor ventilatie C valt op dat het aantal leveranciers in dit segment beperkt is, waardoor de gemiddelde prijs bepaald is op een zeer beperkt aantal leveranciers voor de toestellen. Verschillende systemen komen immers niet in aanmerking voor bijvoorbeeld het toepassen van reductiefactoren en worden nadelig geïnterpreteerd in de EPB software. Dit geldt ook voor andere ventilatiesystemen of concepten zoals balansventilatie met warmtewielen of collectieve systemen, waardoor deze niet in deze studie passen.

Voor appartementen worden de prijzen verlaagd met 10-20%, afhankelijk van het aantal eenheden. De installateursprijzen zijn vaak nog een stuk lager voor appartementen, maar houden geen rekening met dakdoorvoeren, collectieve kanalen en brandkleppen.

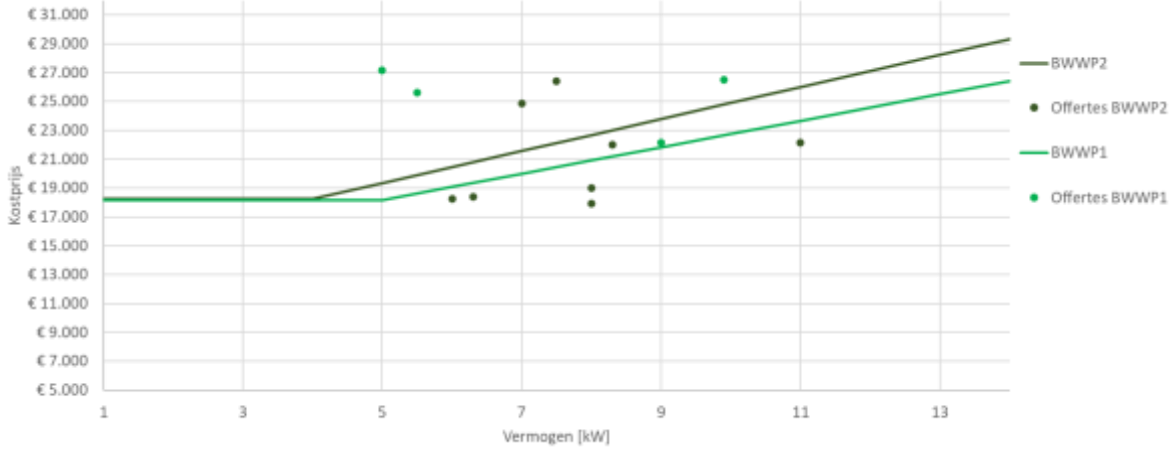
5.3.4.2 Individuele warmtepompen

De verschillende soorten warmtepompen die in deze studie bekeken zijn zijn terug te vinden in Figuur 42. Ventilatielucht warmtepompen worden uit de studie uitgesloten door hun kostprijs en de nadelige berekening in EPB op vlak van ventilatie, waardoor deze nooit op het paretofront zouden belanden. De berekende kosten zijn steeds inclusief alle minimale toebehoren en met interne warm water boiler, maar exclusief buffervat en eventuele extra pompgroepen buiten degene nodig voor de werking van de warmtepomp. Voor lucht-lucht warmtepompen is een interne boiler niet mogelijk en wordt een warmtepompboiler voorzien.

		ηs 55°C (ERP)	SCOP 35°C
Geothermie	BWWP1 Aan/uit	140%	4,9
	BWWP2 Modulerend	150%	5,2
Lucht/water	LWWP1 Split	126%	4,4
	LWWP2 Monoblac +	147%	5,1
Lucht/lucht	LLWP Single-split		4,5

Figuur 42: Vergelijking van de verschillende systemen en hun rendement (volgens ERP label).

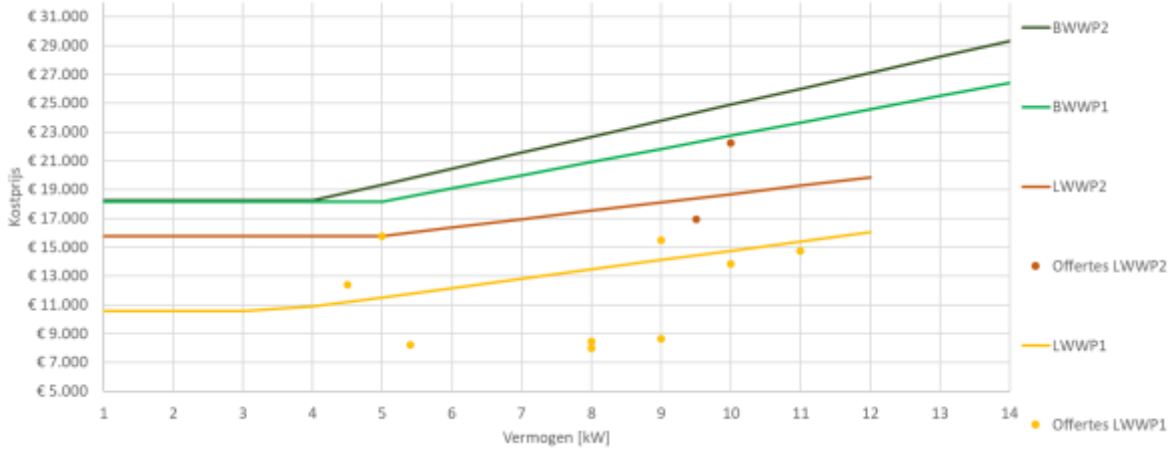
De prijzen voor warmtepompen zijn bepaald volgens de methodiek besproken in hoofdstuk 5.3.3. Voor geothermische warmtepompen zijn de resultaten weergegeven in Figuur 43 met volle lijnen. De vergelijking met reële offertes uit 2022 toont een grote spreiding tussen verschillende offertes. De berekende waarden liggen binnen de te verwachten afwijking. Voor de modulerende warmtepompen ligt dit eerder hoog, terwijl aan/uit warmtepompen eerder laag ingeschat worden. Dit kan eventueel verklaard worden door de geothermische boringen, die vaak gedimensioneerd worden op het benodigd vermogen van de woning en niet enkel op het maximale vermogen van de warmtepomp.



Figuur 43: Kostprijzen voor geothermische warmtepompen zonder afgifte en vergelijking met offertes van installateurs.

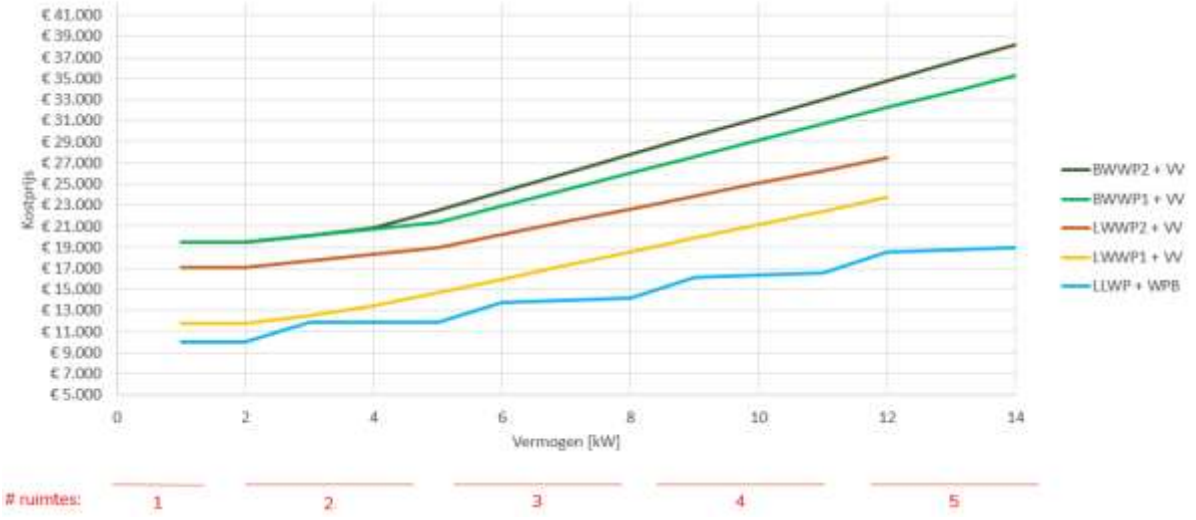
De resultaten voor lucht-water warmtepompen zijn terug te vinden in Figuur 44. Het verschil tussen de twee bekeken varianten is hier groot in vergelijking met geothermie. De gemiddelde prijs voor een lucht-water split warmtepomp, waarbij de binnen- en buitenunit verbonden zijn met koeltechnische leidingen, is prijstechnisch zeer gunstig. In deze studie is gekozen om recent

ontwikkelde monobloc warmtepompen hier tegenover te zetten, welke vaak werken op het milieuvriendelijke koelmiddel propaan. Hierbij is een minimale eis gesteld aan het rendement van deze warmtepompen, waardoor deze benoemd worden in deze studie als monobloc+ met een gemiddelde SCOP van 5.1. De prestaties van deze warmtepomp komt dan ook dicht in de buurt van geothermie, maar ook de kostprijs ligt een stuk dichterbij. Doordat het over recente warmtepompen gaat, was het aantal verschillende beschikbare catalogusprijzen en offertes echter zeer laag. Aangezien de 2 beschikbare offertes goed aansluiten bij onze geschatte prijzen, gaan we ervan uit dat de berekening op basis van catalogusprijzen ook voor dit type warmtepomp een goede indicatie geeft. Voor de lucht-water split warmtepompen is vaker een overschatting te zien van de ingeschatte kosten ten opzichte van de verkregen offertes, waardoor er vermoed wordt dat installateurs hier eerder een extra korting durven aan te bieden. In deze studie wordt dit echter niet meegenomen.



Figuur 44: Kostprijzen voor lucht-water warmtepompen zonder afgifte en vergelijking met offertes van installateurs.

Om de vergelijking met lucht-lucht warmtepompen beter te kunnen maken, worden de prijzen verder bekeken inclusief afgiftesysteem. Bovenstaande kosten worden vermeerderd met een inschatting van de kostprijs voor vloerverwarming, bij een vermogen van 40 W/m². De kostprijs voor de installatie zoals weergegeven in Figuur 45 in een woning met lucht-lucht warmtepompen is opgebouwd uit een warmtepompboiler, één split unit met variabel vermogen voor de leefruimte en een split warmtepomp voor elke slaapkamer of droge ruimte met een minimaal vermogen van 1.5kW. Een multisplit systeem kan, afhankelijk van de situatie, een betere oplossing zijn, maar heeft vaak weinig invloed op de totale kostprijs indien er niet veel ruimtes samengenomen kunnen worden door praktische beperkingen. De kostprijs is dus voornamelijk afhankelijk van het aantal ruimtes die verwarmd dienen te worden. In deze studie werd het aantal verwarmde ruimtes en de kostprijs die daaruit volgt, zo goed mogelijk ingeschat op basis van de EPB-aangifte en het totale vermogen van de woning. De badkamer wordt ook beschouwd als een met lucht-lucht warmtepomp verwarmde ruimte, maar wordt in de praktijk vaak niet uitgevoerd met deze systemen omdat dit mogelijks minder comfort biedt.

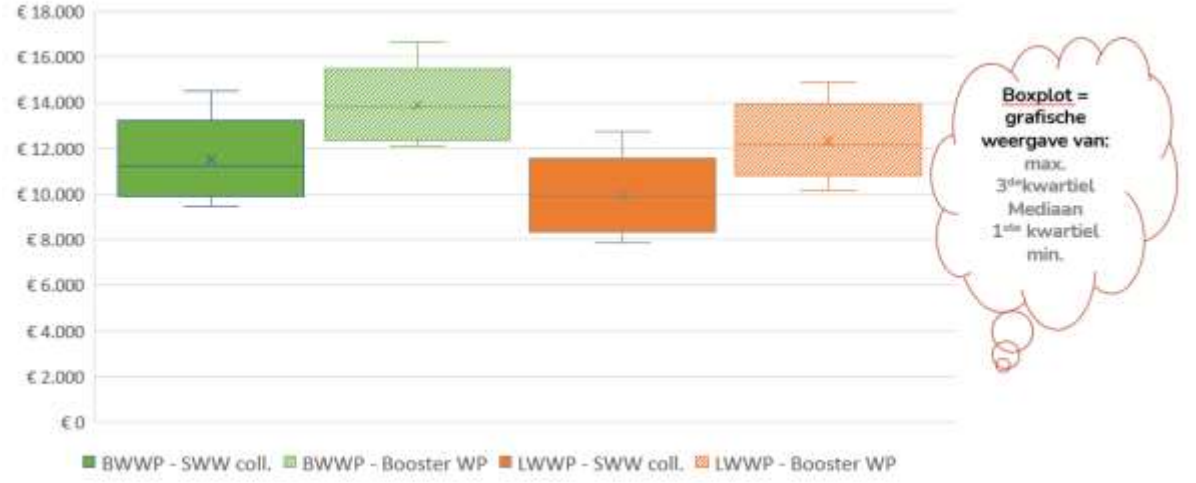


Figuur 45: Kostprijs van verschillende warmtepompsystemen, inclusief warm water boiler en afgiftesysteem.

Voor appartementsgebouwen is er een korting toegepast tussen 10-30% afhankelijk van het aantal appartementen. Bij geothermische warmtepompen wordt met een extra kost tussen €500-1500 gerekend voor de boringen.

5.3.4.3 Collectieve warmtepompen

Voor collectieve systemen zijn in eerste instantie twee verschillende concepten meegenomen en dit telkens voor lucht-water en geothermische warmtepompen. Een traditioneel concept met centrale warm water boiler en 4-pijpsysteem en een recenter concept met een 2-pijpsysteem (combilus) op lage temperatuur en booster warmtepompen voor individuele sanitair warm water boilers. Prijzen voor collectieve systemen variëren erg afhankelijk van bijvoorbeeld de lay-out van het gebouw, het berekende vermogen en het aantal appartementen. Voor de geselecteerde appartementsgebouwen is de kostprijs berekend voor elk gebouw en verdeeld over het aantal appartementen zoals getoond in Figuur 46. Hierbij is een inschatting gemaakt van de ligging van de schachten om de leidingafstanden te berekenen, aangezien enkel de EPB-files ter beschikking zijn. Een groot struikelblok bij systemen met centrale boiler is het ontbreken van een Ecodesign label, waardoor met (negatieve) default waarden moet gewerkt worden. Boilers dienen immers steeds samen met de warmtepomp gecertificeerd te worden, wat voor een kleinere markt vaak niet rendabel is. In combinatie met de hoge warmteverliezen bij het 4-pijpsysteem is de conclusie na het doorrekenen van enkele appartementen dat dit in deze studie niet op het paretofront zal vallen en dus wordt enkel het combilus systeem in combinatie met booster warmtepompen meegenomen in de resultaten.



Figuur 46: Weergave van de verdeling van de kostprijs per appartement voor verschillende collectieve warmtepomp concepten voor de geselecteerde appartementen in de studie.

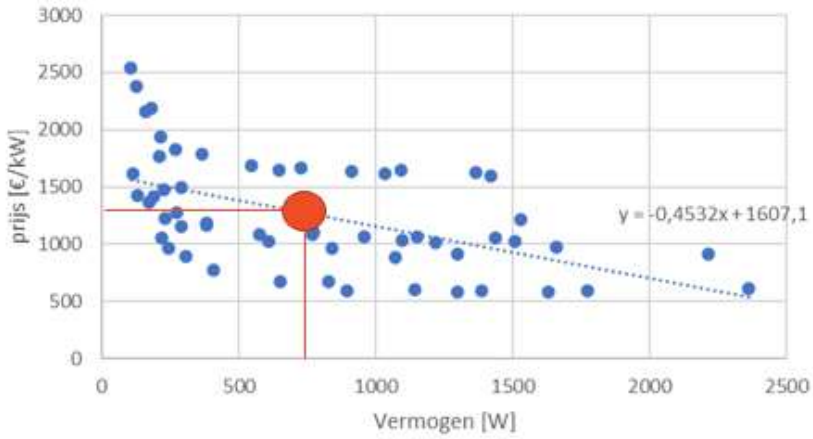
5.3.4.4 Andere verwarmingssystemen

Buiten warmtepompen, die een variabele prijs hebben ten opzichte van het benodigde vermogen, zijn er enkele systemen in deze studie waar vermogen een minder grote rol speelt en waar gerekend wordt met een vaste kostprijs terug te vinden in Figuur 47. Gasketels zijn in nieuwbouw binnenkort in principe niet meer mogelijk, maar worden in de studie meegenomen als referentie. Pelletketels zijn ook bekeken met handbevulling, aangezien de kosten voor een automatisch systeem zeer variabel zijn en moeilijk in te schatten. Ten laatste is een zonneboilersysteem opgenomen met een vaste kost voor een apertuuroppervlakte van 4m² en inclusief boiler. Deze studie gaat ervan uit dat de boiler in serie geplaatst wordt met het verwarmingssysteem, wat in realiteit vaak zal gecombineerd worden.

Figuur 47: Kostprijs van verschillende alternatieve verwarmingssystemen ten opzichte van warmtepompen.

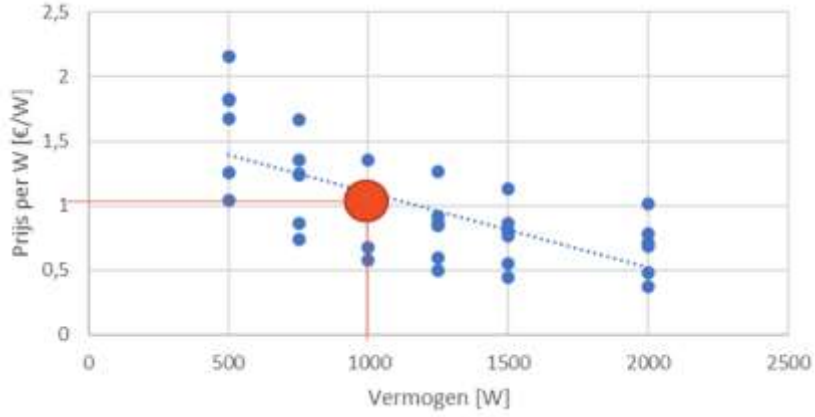
5.3.4.5 Afgiftesystemen

Bij alle verwarmingssystemen waar een extra afgiftesysteem nodig is, wordt gerekend met vloerverwarming aangezien dit op dit moment kostenefficiënt is en als comfortabel wordt ervaren. Enkel voor de referentiecase met gasketel is gekozen voor radiatoren. De kostprijs van vloerverwarming is ingeschat op €38 per vierkante meter op basis van verscheidene offertes. Om dit om te rekenen naar de bruto vloeroppervlakte, opgegeven in EPB, wordt rekening gehouden met een benuttingsfactor van 66%. Als uitgangspunt voor de kostprijs van radiatoren bij een temperatuurregime van 45/35°C, wordt de catalogusprijs van de radiatoren gebruikt als kost inclusief plaatsing en toebehoren zoals weergegeven in Figuur 48. Hierbij wordt uitgegaan van een gemiddeld vermogen van 750W per radiator en een totale overdimensionering op woning niveau van 20% ten opzichte van het berekende warmteverlies. Enkel voor de verdeelleidingen en collectoren wordt een extra kostprijs geteld van €80,60 per radiator. Alternatieven zoals ventilo-convectoren, wand- of plafondverwarming worden niet meegenomen in de studie.



Figuur 48: Catalogusprijs van verschillende types radiatoren (standaard en design), afhankelijk van het afgiftevermogen bij een temperatuurregime van 45/35°C

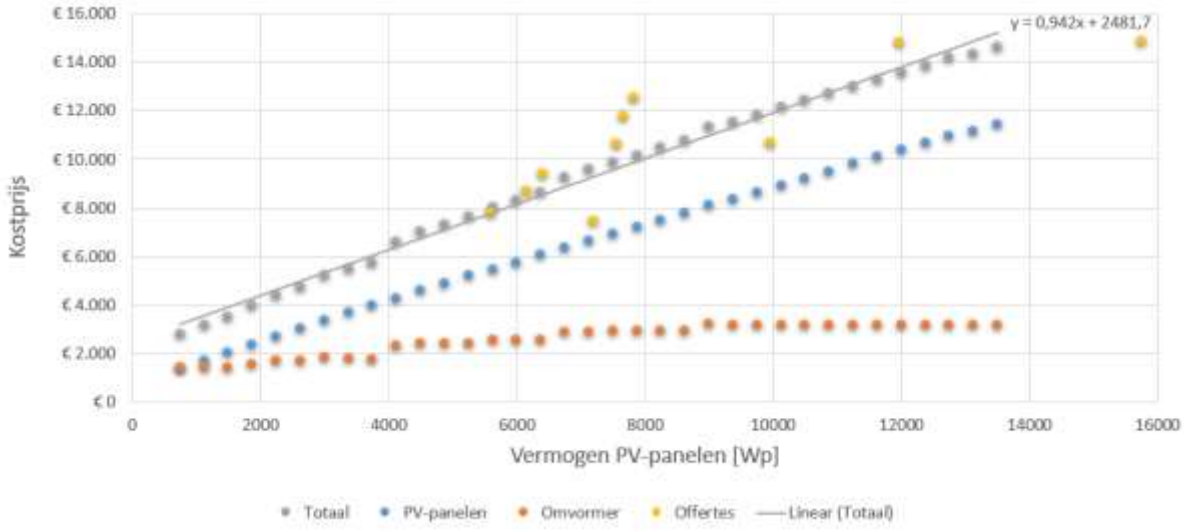
Tenslotte zijn ook elektrische radiatoren bekeken als verwarmingssysteem. Hier is gekozen voor dezelfde types als de bekeken radiatoren, maar dan met olie en een elektrisch verwarmingselement ingebouwd. Er zijn goedkopere systemen beschikbaar, maar deze zijn esthetisch minder toegankelijk voor een hedendaagse woning. Figuur 49 toont de kostprijs per vermogen, afhankelijk van het vermogen van de radiatoren. De uitgangspunten zijn dezelfde als bij standaard radiatoren, maar er wordt uitgegaan van een gemiddeld vermogen van 1kW.



Figuur 49: Catalogusprijs van verschillende types elektrische radiatoren (standaard en design) afhankelijk van het afgiftevermogen.

5.3.4.6 Zonnepanelen

Voor zonnepanelen zijn de kosten terug te vinden in Figuur 50 voor een systeem met plat dak montage. Prijzen kunnen variëren afhankelijk van oriëntatie en montagesysteem, maar zijn relevant wanneer vergeleken met reële offertes die gedeeld werden door klanten op het zonstraal forum (Offertes warmtepompen aanvragen - ZONSTRAAL FORUM, 2022).



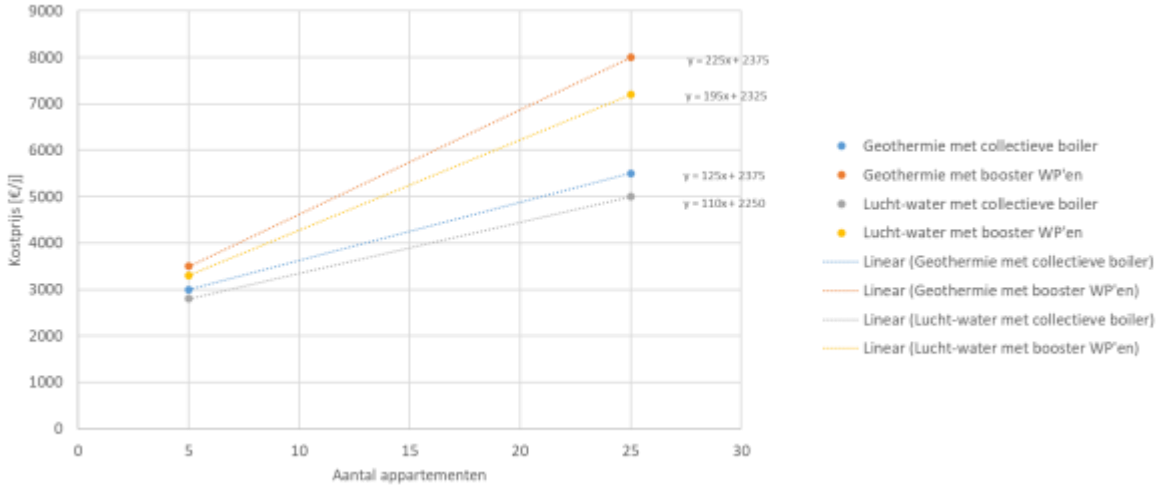
Figuur 50: Kostprijs van een installatie van zonnepanelen, afhankelijk van het geplaatste vermogen in Watt piek.

5.3.5 Onderhoudskosten installaties

Tabel 9 toont de onderhoudskosten van de verschillende installaties en hun frequentie zoals meegerekend in deze studie. De kostprijzen en frequentie zijn ingeschat op basis van een korte bevraging van installateurs en eventueel online weergegeven prijzen. Voor collectieve installaties is de onderhoudskost ingeschat zoals weergegeven in Figuur 51 op basis van info vanuit een Energy service company. De spreiding op mogelijke kosten is immers sterk afhankelijk van verschillende parameters, die hier vereenvoudigd bekeken zijn.

Tabel 9: Overzicht van de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten van technische installaties over een periode van 30 jaar.

Systeem	Omschrijving en frequentie	Jaarlijkse kostprijs
Ventilatie C	Unit *(€206/2j)* + kanalen reinigen *(€247/8j)*	€ 107
Ventilatie C+	Unit *(€206/2j)* + kanalen reinigen *(€256/8j)*	€ 108
Ventilatie D & D+	Filters *(€33/1j)* + Unit *(€235/4j)* + kanalen reinigen *(409/8j)*	€ 98
WP BW/LW	Onderhoud *(192/2j)*	€ 96
WP L/L	Onderhoud *(€239/2j)* + WPB *(€139/2j)*	€ 189
Gasketel	Onderhoud *(€164/2j)*	€ 82
Electrisch	Onderhoud WPB *(€139/2j)*	€ 70
Zonneboiler	Onderhoud *(€175/5j)*	€ 35
Pelletketel	Onderhoud *(€250/1j)*	€ 250
PV	Vaste kost *(€50/2j vanaf 5 de jaar)*	€ 22
PV	Onderhoudskost per Wp *(€1,5 per paneel van 375Wp/2j vanaf 5 de jaar)*	€ 0,0017

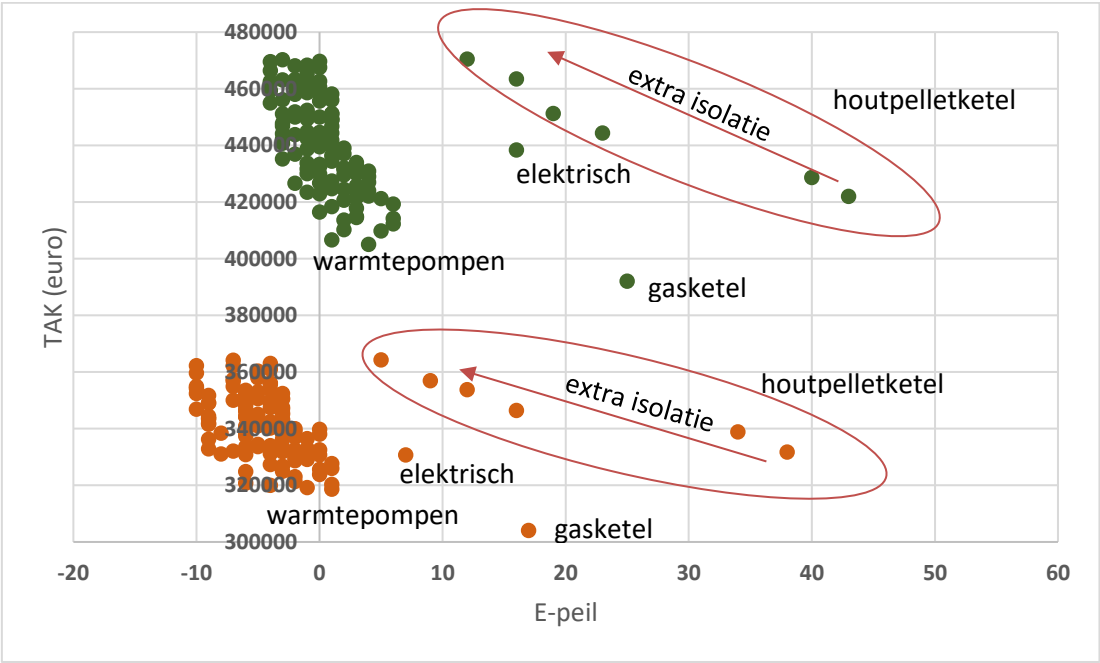


Figuur 51: Inschatting van onderhoudskosten voor collectieve installaties bij één ingeschat isolatieniveau.

6 RESULTATEN ÉÉNGEZINSWONINGEN

6.1 Paretofront en kostenoptimale niveaus

Figuur 52 toont als voorbeeld de TAK in functie van het E-peil voor de maatregelpakketten toegepast op twee woningen uit cluster3 (zie paragraaf 4.3).



Figuur 52: TAK in functie van het E-peil voor de maatregelpakketten toegepast op twee woningen uit cluster3.

Het maatregelpakket met gasketel, minimale isolatie en ventilatiesysteem C1 heeft voor beide woningen de laagste TAK. De maatregelpakketten met warmtepomp staan links op de grafiek gegroepeerd, zij behalen de laagste E-peilen. De pakketten met houtpelletketel of elektrische verwarming zijn duidelijk niet kostenefficiënt. Voor de andere woningen vinden we datzelfde stramien terug. De grafieken per woning zijn terug te vinden in BIJlAGE A.

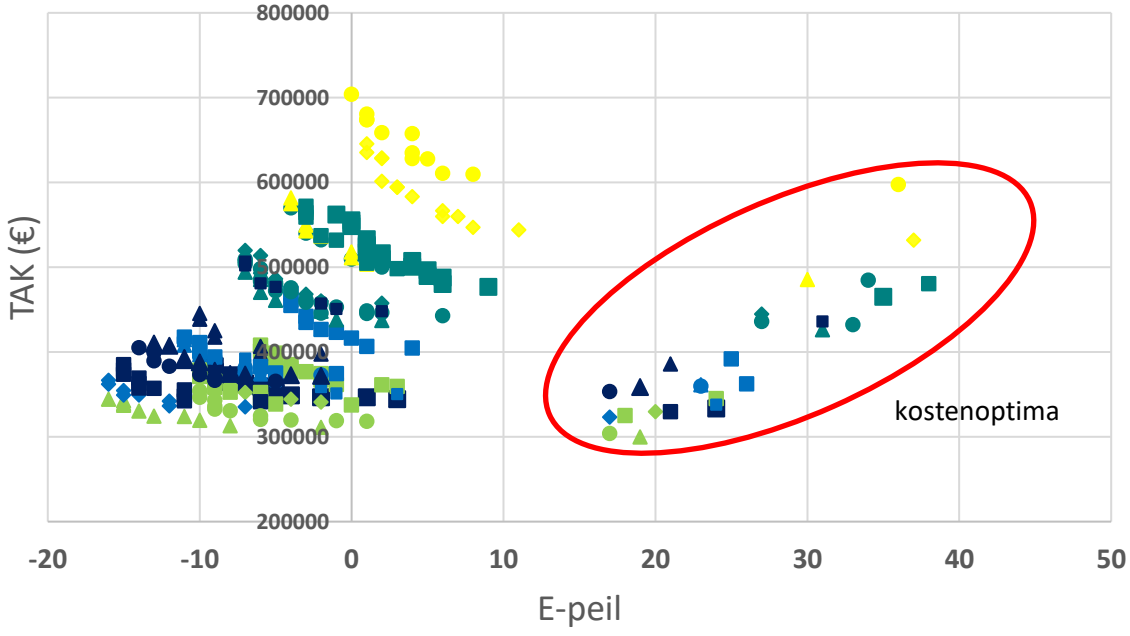
Analyse van het paretofront van alle woningen, leert dat een beperkt aantal maatregelpakketten zich bij nagenoeg alle woningen op het paretofront bevinden. Deze maatregelen zijn weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: Maatregelpakketten die bij nagenoeg alle woningen op het paretofront liggen, genummerd volgens stijgende TAK.

positie	isolatie	ventilatie	opwekker	zonthermie	PV
1	minimaal	C1	gasketel	nee	volgens verbruik
2	minimaal	C2	LLWP	nee	volgens verbruik
3	minimaal	C1	LLWP	nee	volgens verbruik
4	minimaal	C1	LWWP2	nee	volgens verbruik
5	gemiddeld	C1	LLWP	nee	volgens verbruik
6	gemiddeld	C1	LWWP2	nee	volgens verbruik
7	doorgedreven	C1	LLWP	nee	volgens verbruik
8	doorgedreven	C1	LWWP2	nee	volgens verbruik

Bij de meeste woningen wordt het paretofront aangevuld met pakketten die meer woning-specifiek zijn. Zo zien we bv. rond positie drie en vier pakketten met zonthermie of met een LWWP1 op het paretofront verschijnen, de eerste voor woningen waar SWW een belangrijk aandeel heeft, de tweede indien dit minder het geval is. Bij de laagste E-peilen/hoogste TAK zien we bij een aantal woningen ook BWWP2 of opnieuw zonthermie op het paretofront verschijnen.

Figuur 53 geeft een overzicht van het paretofront voor elk van de 29 ééngezinswoningen. De kleur van het paretofront komt overeen met de bijhorende cluster (zie Figuur 13). Hieruit blijkt dat de grootste woningen in het algemeen hogere E-peilen halen voor een hogere TAK. Naarmate de woningen kleiner en vooral klein en compacter worden, daalt het E-peil en de TAK.



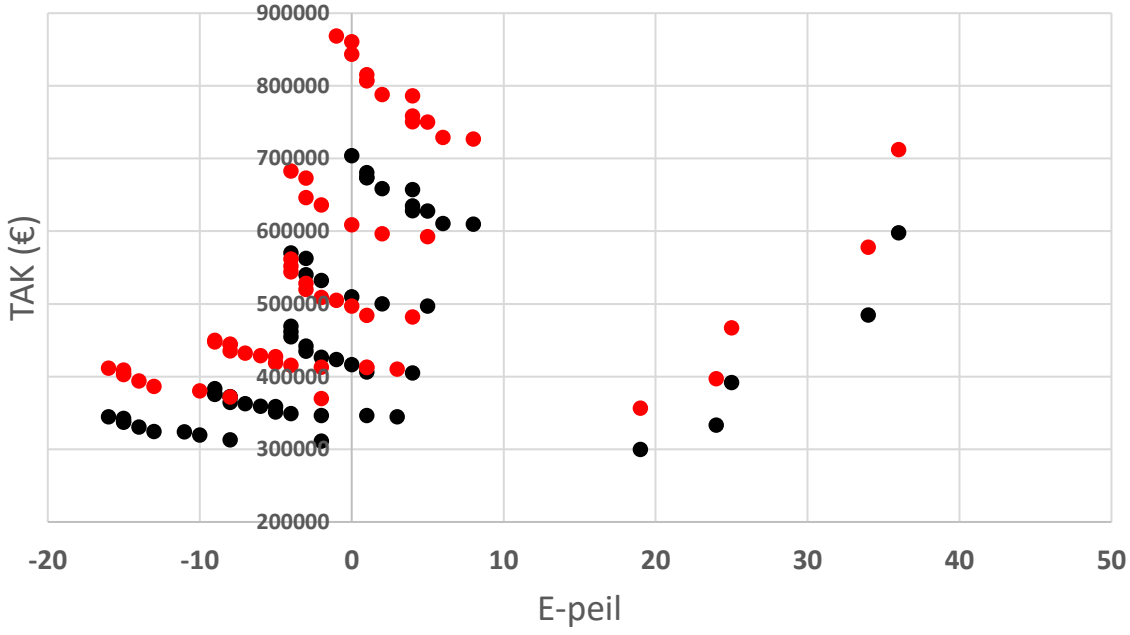
Figuur 53: Paretofronten voor elke woning.

In Figuur 53 zijn de kostenoptimale energieprestatieniveaus aangeduid, die allemaal bij het maatregelpakket met minimale isolatie en gasketel liggen. Het verschil in TAK tussen het kostenoptimum en het volgende maatregelpakket op het paretofront ligt voor alle woningen tussen 2% en 5% (met een gemiddelde van 3.2%). Indien we overgaan naar een warmtepomp en extra PV, daalt het E-peil dus met 20 à 30 E-punten voor een beperkte toename van de TAK.

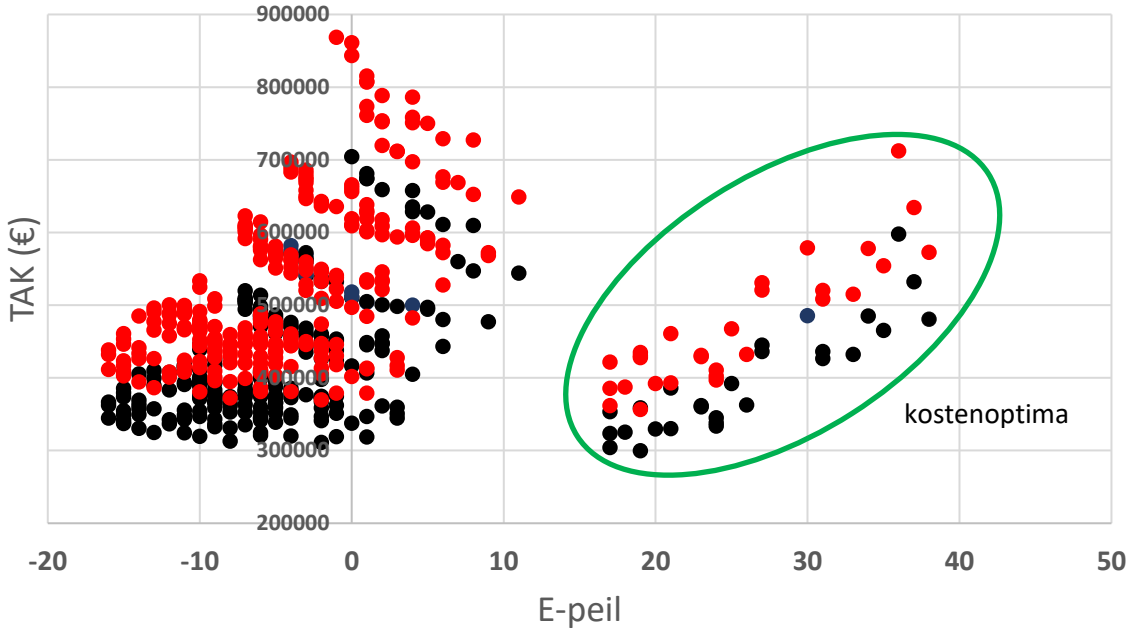
6.2 Varianten en sensitiviteitsanalyse

6.2.1 Micro-economische analyse.

Aangezien er geen subsidies zijn voor nieuwbouw en gezien het wegvallen van de terugdraaiende teller, verschilt de micro-economische enkel van de macro-economische in het toevoegen van BTW (van 21%) en in mindere mate het weglaten van de CO_2-emissiekosten. De resultaten worden in Figuur 54 en Figuur 55 weergegeven. De TAK wordt hoger, maar het globaal beeld blijft gelijk en de kostenoptima blijven behouden.



Figuur 54: Paretofront voor telkens één woning per cluster, voor macro-economische (zwart) en micro-economische analyse (rood).



Figuur 55: Paretofront voor elk van de 29 woningen, voor macro-economische (zwart) en micro-economische analyse (rood).

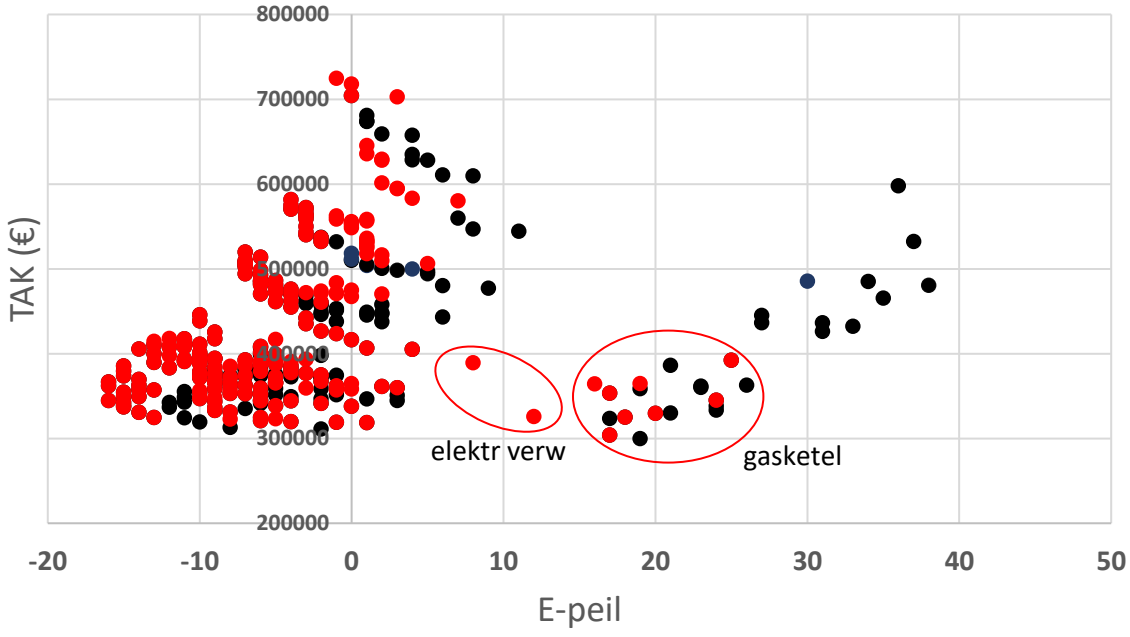
6.2.2 S-peil eis en minimale hoeveelheid zonne-energie

Een aantal varianten worden doorgerekend, waarbij rekening wordt gehouden met andere eisen behalve de E-peil eis, met name de S-peil eis en de eis hernieuwbare energie vanaf 2025.

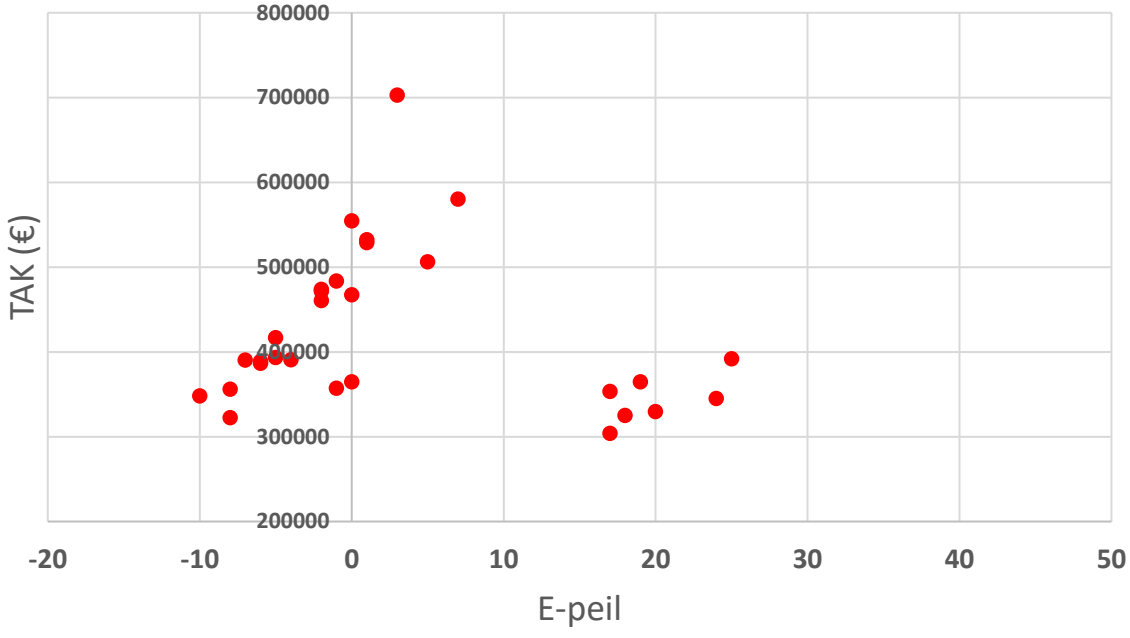
Op één woning na, voldoen voor de woningen uit cluster3, de cluster met de meest compacte woningen, alle maatregelpakketten aan S28. Voor 21 van de 24 overige woningen, voldoen de pakketten met minimale isolatie niet aan S28, dus ook het kostenoptimum met minimale isolatie en gasketel. Schrappen we deze pakketten, dan verschuift voor deze woningen het kostenoptimum in de meeste gevallen naar een pakket met gemiddelde isolatie, ventilatiesysteem C2 en LLWP.

Figuur 56 geeft een beeld van de gecorrigeerde paretofronten, dus na schrappen van de maatregelpakketten die niet aan S28 voldoen, in het rood en de oorspronkelijke paretofronten in het zwart. Voor een beperkt aantal woningen, voornamelijk uit cluster3, blijft het kostenoptimum met gasketel dan gehandhaafd. Voor drie woningen verschijnt een pakket met elektrische verwarming op het paretofront, maar verder verandert er weinig aan het globaal beeld. De kostenoptima zijn weergegeven in Figuur 57.

Hierbij dient opgemerkt dat in het kader van deze studie, niet geoptimaliseerd is naar het S-peil: bijkomende maatregelen, zoals inzetten op luchtdichtheid, zonnewering,… zouden ervoor kunnen zorgen dat S28 wordt gehaald, maar dit werd niet verder onderzocht.



Figuur 56: Paretofront voor de 29 woningen, met (in het rood) en zonder (zwart) correctie op basis van S-peil.

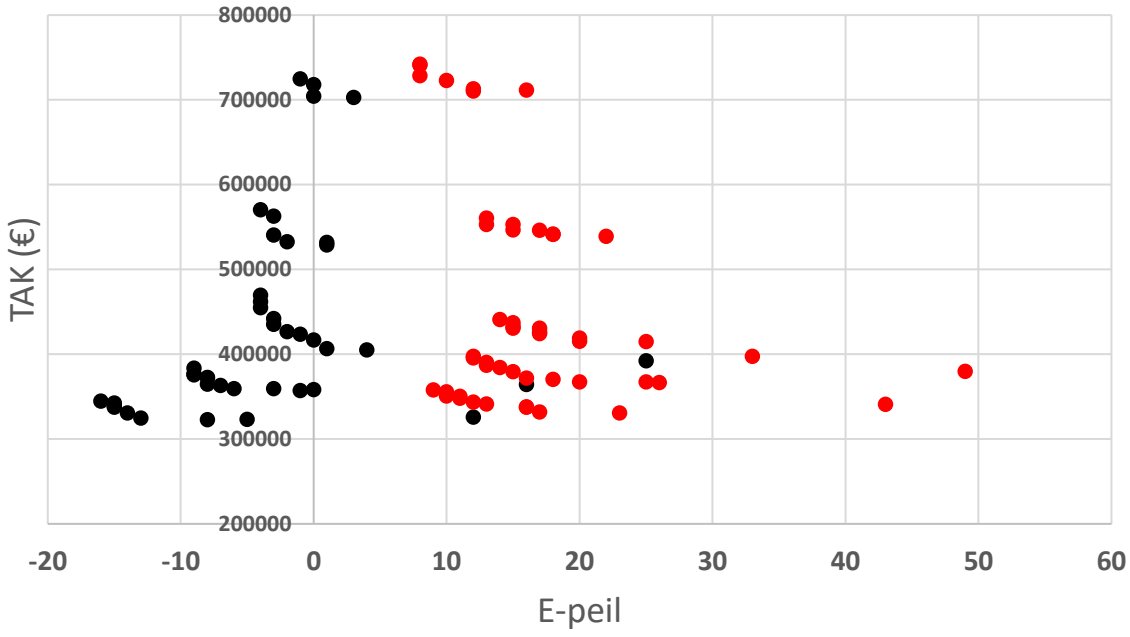


Figuur 57: Kostenoptima voor de 29 woningen, met correctie op basis van S-peil.

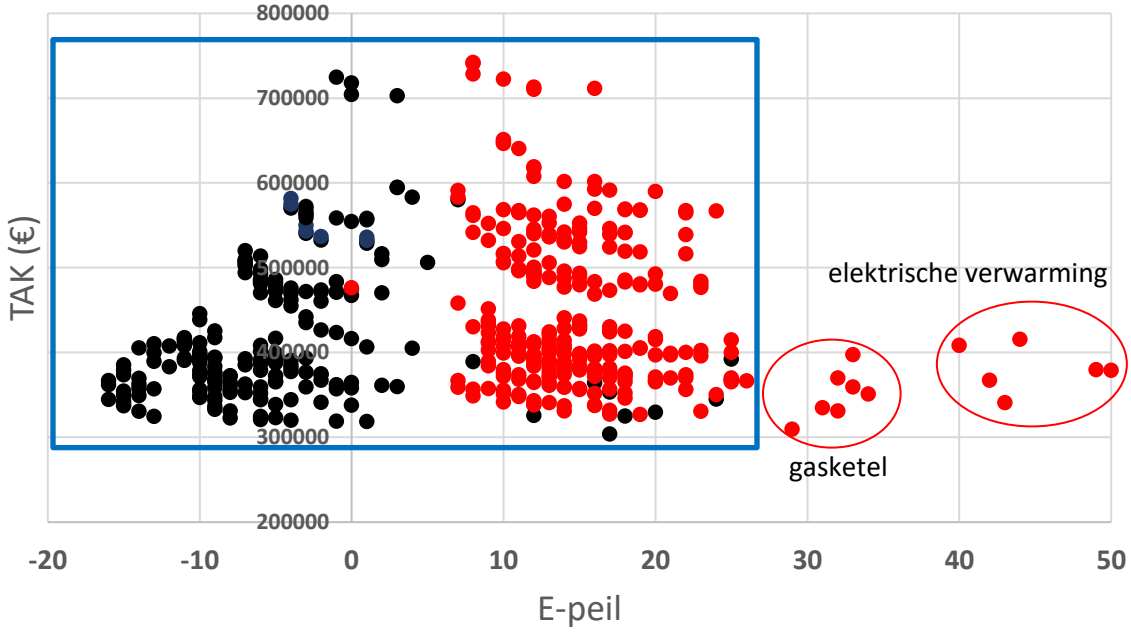
De hoeveelheid PV heeft een belangrijke impact op het E-peil. In Figuur 59 zijn de resultaten toegevoegd, indien naast de correctie op het S-peil, ook een minimale hoeveelheid PV wordt gelegd die net volstaat om te voldoen aan de eis hernieuwbare energie van 15kWh/m². De resultaten schuiven op naar hogere E-peilen (Figuur 58 en Figuur 59) en de nieuwe paretofronten vinden aansluiting bij de pakketten met gasketel.

De kostenoptima komen dichter bij elkaar te liggen en situeren zich nu tussen E10 en E35 (Figuur 60). Voornamelijk voor de woningen van cluster3 blijft het kostenoptimum bij het pakket met gasketel. Voor de overige woningen liggen de kostenoptima voornamelijk bij de pakketten met LLWP,

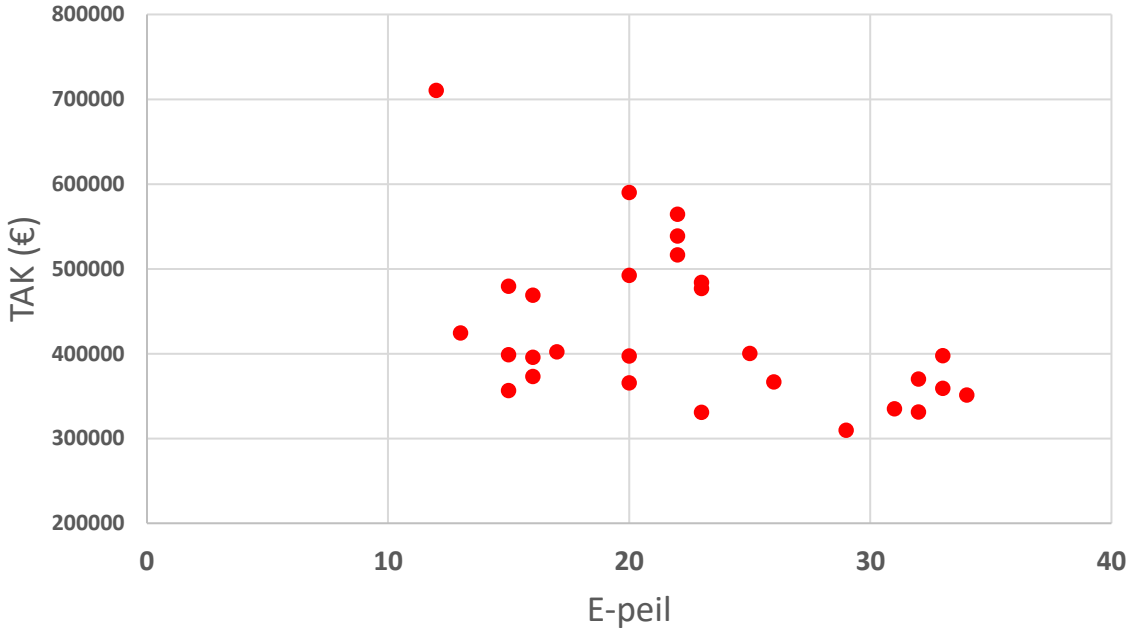
gemiddeld isolatieniveau en ventilatiesysteem C1 of C2. Bij vier woningen wordt de LLWP vervangen door de LWWP1. In twee woningen wordt overgegaan naar het doorgedreven isolatieniveau.



Figuur 58: Paretofront voor telkens 1 woning per cluster, met correctie op S-peil, met PV volgens verbruik (in zwart) en PV volgens eis hernieuwbare energie (in het rood).



Figuur 59: Paretofront voor de 29 woningen, met correctie op S-peil, met PV volgens verbruik (in het zwart) en PV volgens eis hernieuwbare energie (in het rood).



Figuur 60: Kostenoptima voor de 29 woningen, met correctie op S-peil en met PV volgens eis hernieuwbare energie.

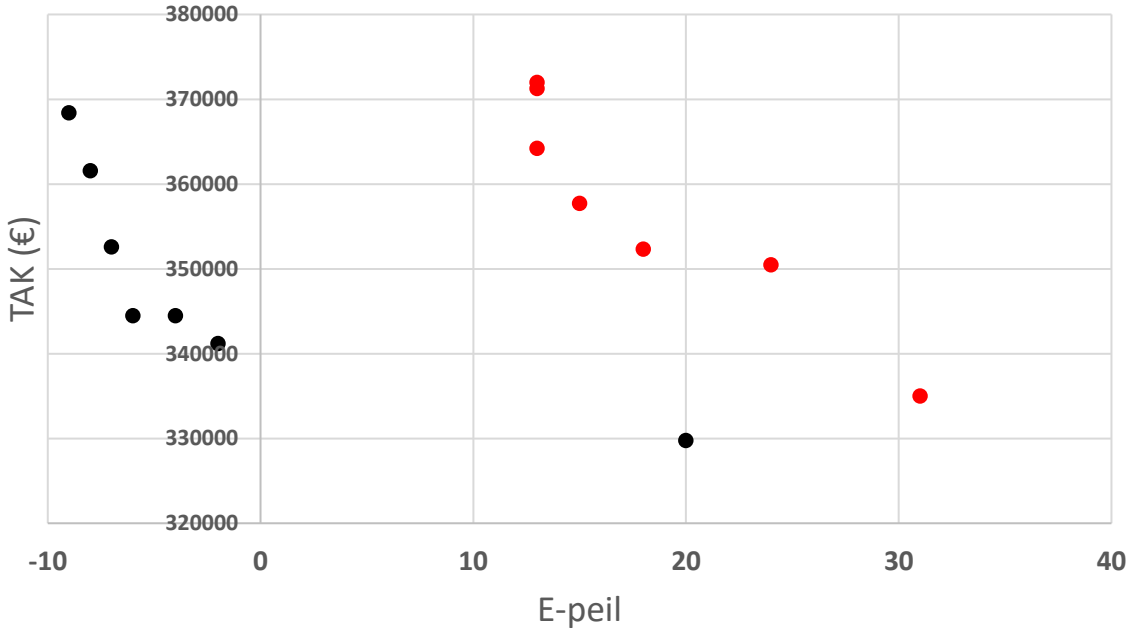
De pakketten met elektrische verwarming die op het paretofront komen te liggen, voldoen niet meer aan E30. Hetzelfde geldt voor op één na alle pakketten met gasketel. Als we ook rekening houden met het verbod op gas bij nieuwbouw, valt ook deze laatste gasketel weg als oplossing. De oplossingen binnen de blauwe kader in Figuur 59 geven dus het gecorrigeerde paretofront weer voor elk van de 29 woningen en tevens de range waarbinnen nieuwbouwwoningen vanaf 2025 gaan vallen, rekening houdend met de flankerende eisen naar S-peil en hernieuwbare energie, en indien de hoeveelheid PV afgestemd blijft op het eigen verbruik van de woning (geen netto productie).

In onderstaande figuren zoomen we in op de resultaten voor een aantal specifieke woningen.

Voor de woning uit cluster3 (Figuur 61), heeft het pakket met gasketel en PV volgens verbruik, de laagste TAK. De toename van de TAK, indien wordt gekozen voor een warmtepomp of indien PV beperkt is tot het minimum, wordt in Tabel 11 weergegeven.

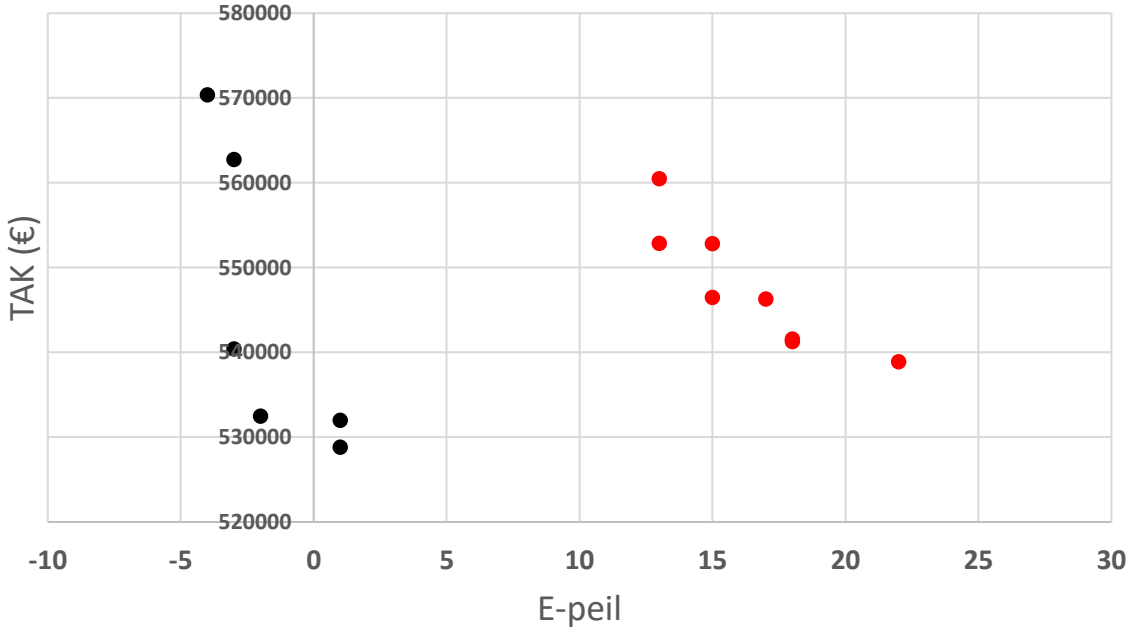
Tabel 11: Toename totale actuele kosten (TAK) bij keuze voor warmtepomp of indien mogelijkheid tot PV beperkt is.

	E-peil	TAK	toename TAK
gasketel, PVmax	20	€329764	
WP, PVmax	-2	€341192	3%
gasketel, PVmin	31	€335020	2%
WP, PVmin	24	€350483	6%



Figuur 61: Paretofront voor case 12 uit cluster3, met correctie op S-peil, met PV volgens verbruik (in het zwart) en PV volgens eis hernieuwbare energie (in het rood).

Voor de woning in Figuur 62 (cluster2) valt het pakket met gasketel weg omdat dit niet voldoet aan S28. Het pakket met de laagste TAK heeft een warmtepomp, gemiddelde isolatie en PV volgens verbruik. De toename van de TAK indien PV beperkt is tot het minimum, bedraagt 2%.

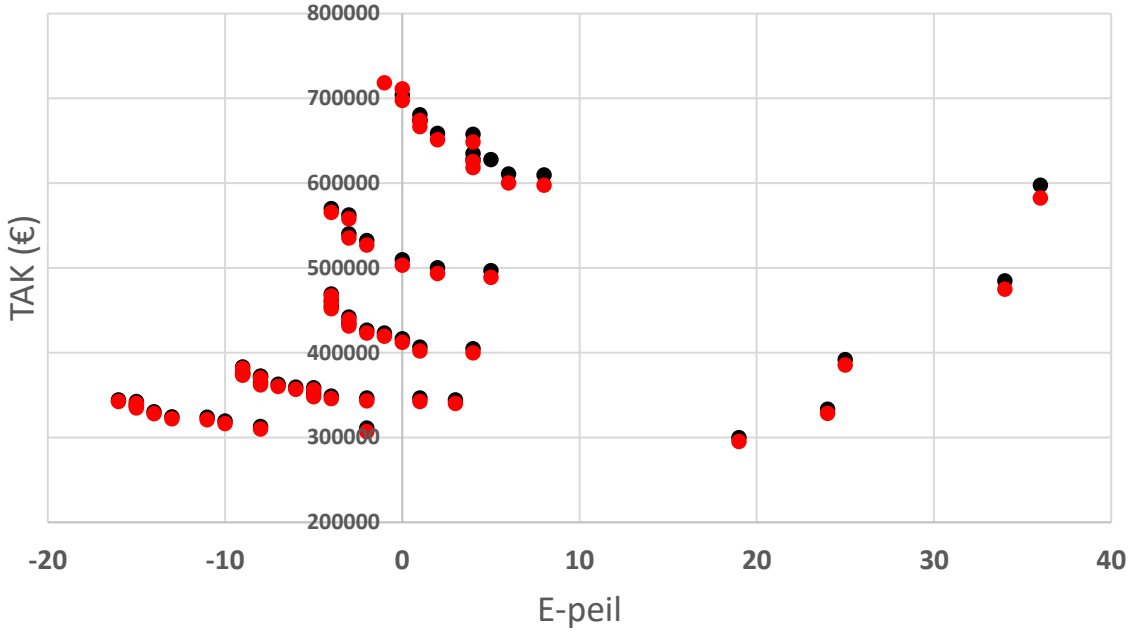


Figuur 62: Paretofront voor case 1 uit cluster2, met correctie op S-peil, met PV volgens verbruik (in het zwart) en PV volgens eis hernieuwbare energie (in het rood).

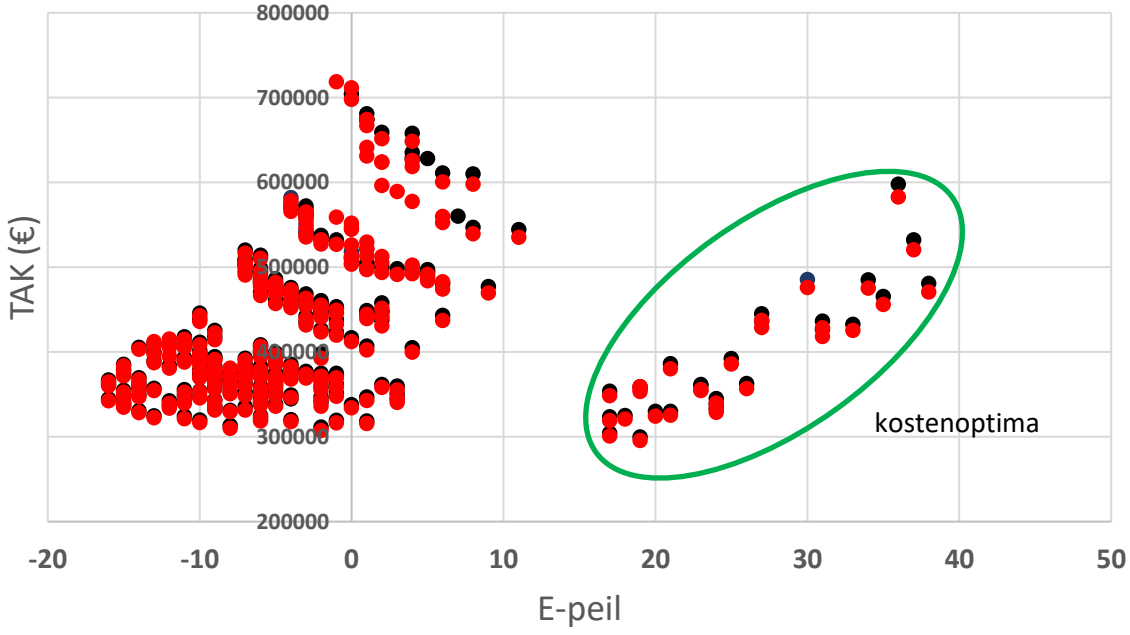
De overige woningen zijn analoog. De toename van de optimale TAK door de hoeveelheid PV te beperkten tot het minimum bedraagt maximaal 3%.

6.2.3 Geschat energieverbruik

Gaan we uit van een energieverbruik voor verwarming en sanitair warm water dat 2/3de bedraagt van het energieverbruik berekend volgens EPB, dan daalt de totale kost. Hoe lager het energieverbruik, hoe minder impact deze correctie heeft, maar aangezien alle beschouwde maatregelpakketten behoorlijke energiezuinig zijn, schuift het paretofront beperkt en redelijk uniform naar beneden, het kostenoptimum blijft behouden. Dit is te zien in Figuur 63 en Figuur 64.



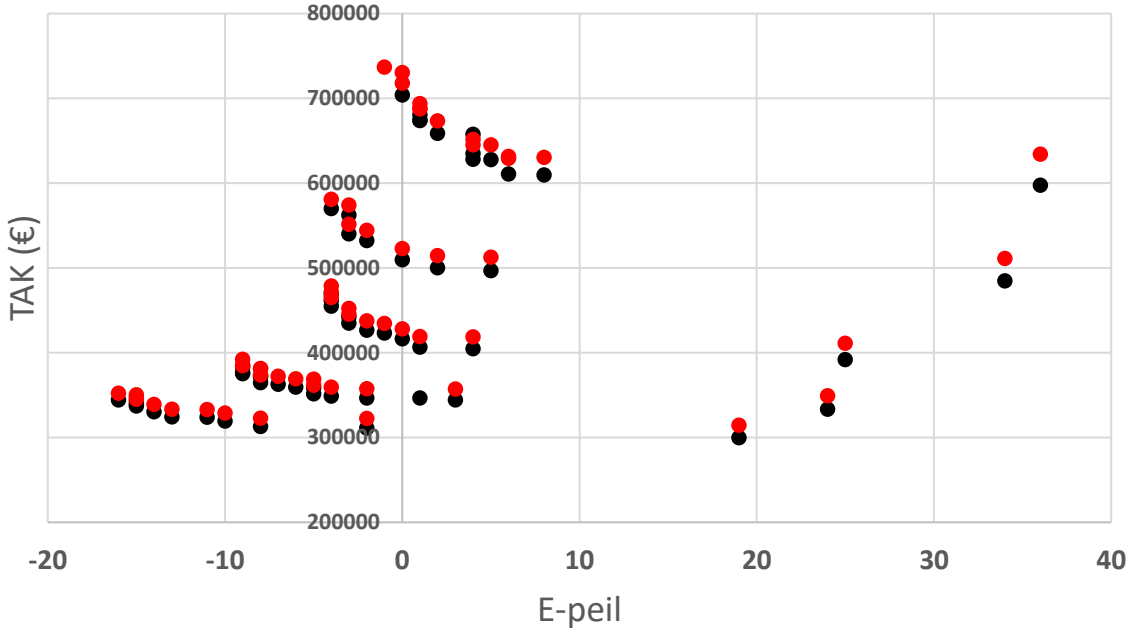
Figuur 63: Paretofront voor telkens één woning per cluster, voor basisberekening met energieverbruik volgens EPB (zwart) en met 2/3 van dat energieverbruik (rood).



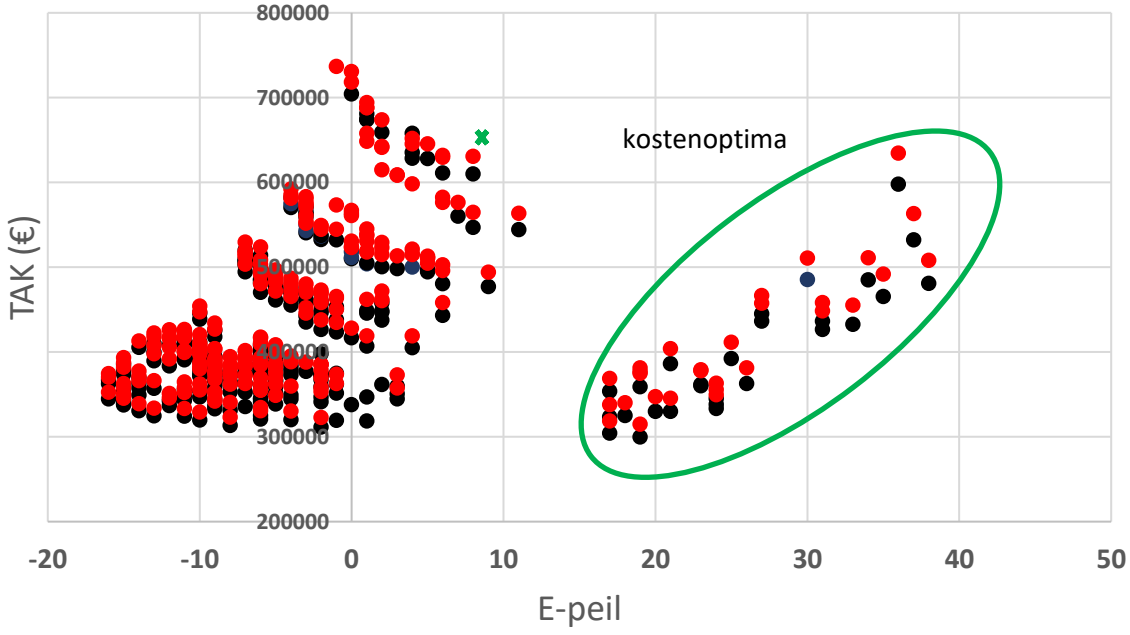
Figuur 64: Paretofront voor elk van de 29 woningen, voor basisberekening met energieverbruik volgens EPB (zwart) en met 2/3 van dat energieverbruik (rood).

6.2.4 Discontovoet en energieprijzen

Bij een **hoog energiescenario**, neemt de TAK toe. De toename is groter rechts op het paretofront en neemt af naar links op het paretofront, naarmate het E-peil/energieverbruik daalt (zie Figuur 65 en Figuur 66). Het paretofront wordt dus een weinig platter. Voor alle cases behalve één blijft het pakket met gasketel het kostenoptimum. Voor de woning met de hoogste TAK, verschuift het optimum naar de LLWP met minimale isolatie en ventilatiesysteem C1.

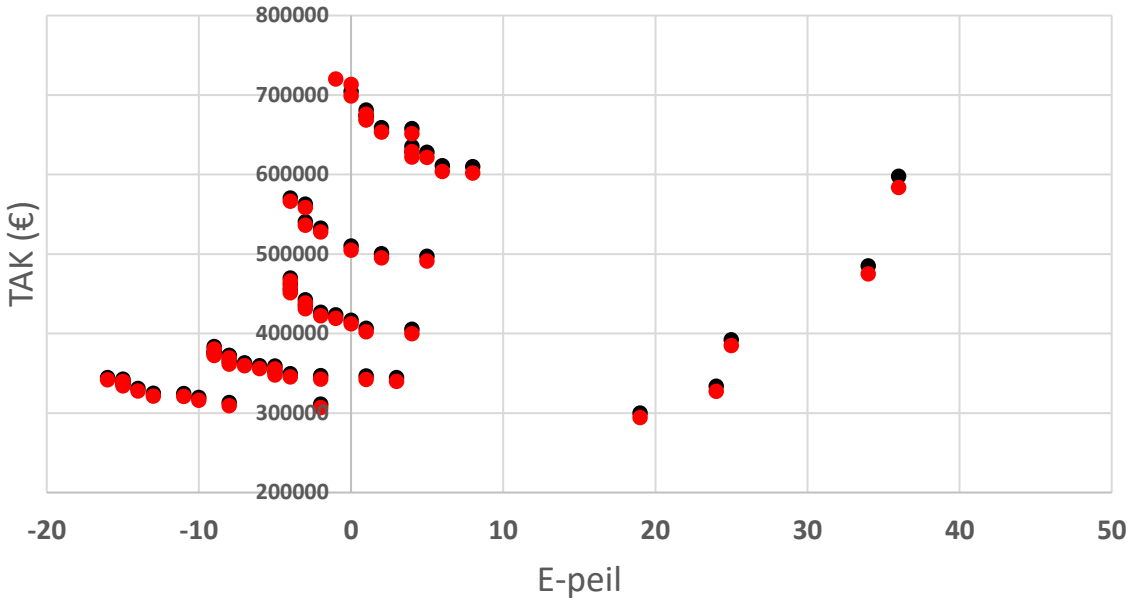


Figuur 65: Paretofront van telkens één woning per cluster, basisberekening (zwart) en met hoog energiescenario (rood)

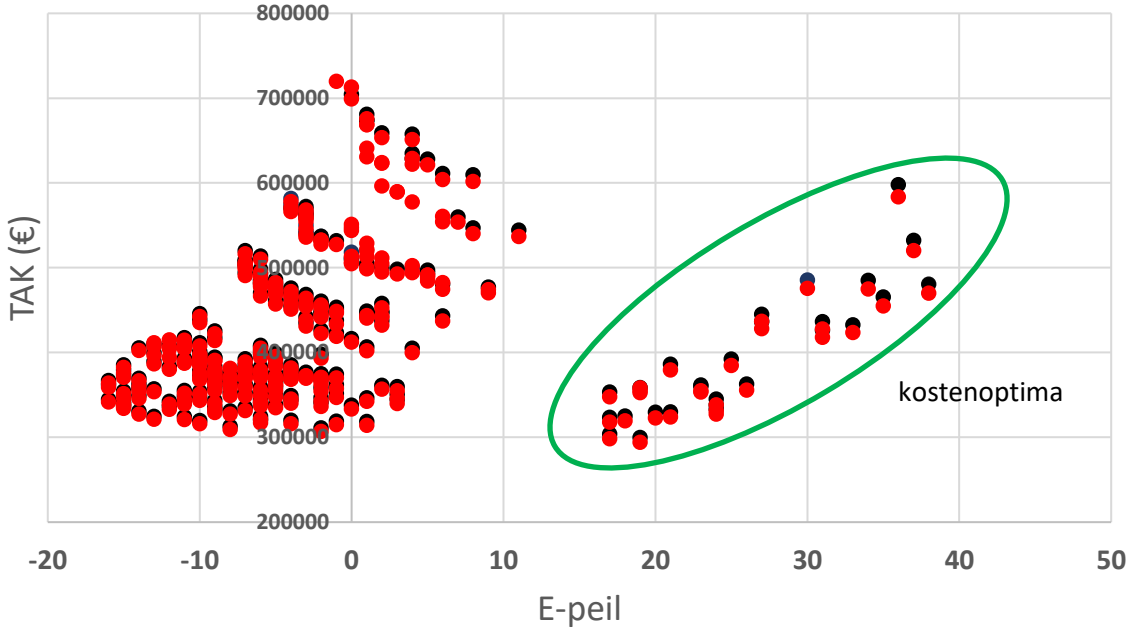


Figuur 66: Paretofront van alle ééngezinswoningen, basisberekening (zwart) en met hoog energiescenario (rood).

Bij een **laag energiescenario**, zien we een kleine daling van de TAK. De verschillen zijn minimaal en het optimum blijft gelijk voor alle cases (zie Figuur 67 en Figuur 68).



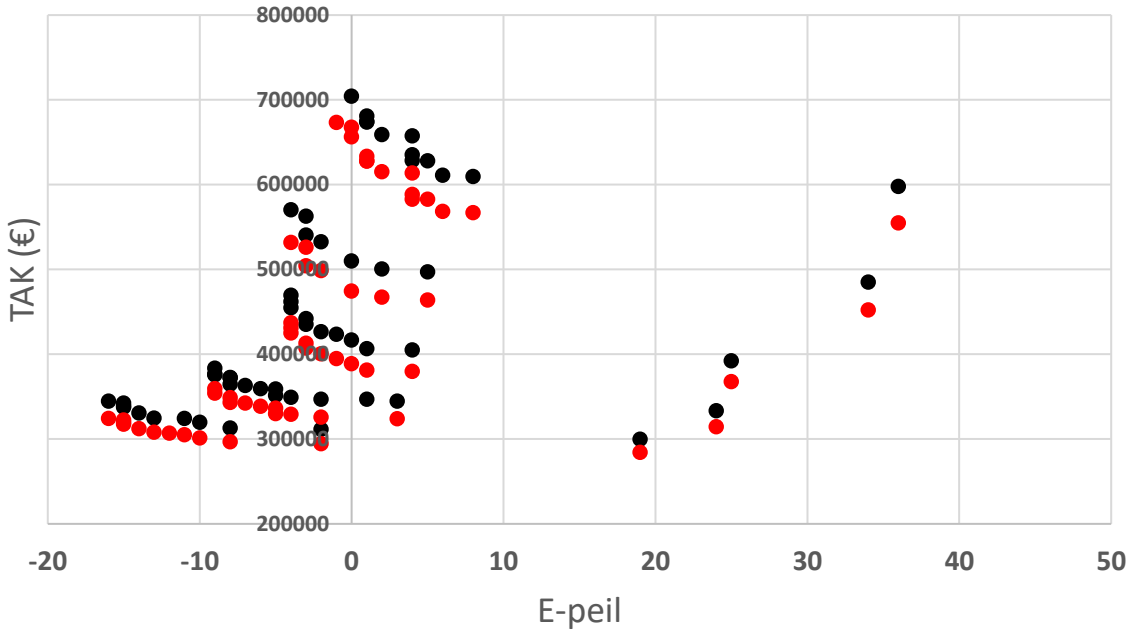
Figuur 67: Paretofront van telkens één woning per cluster, basisberekening (zwart) en met laag energiescenario (rood).



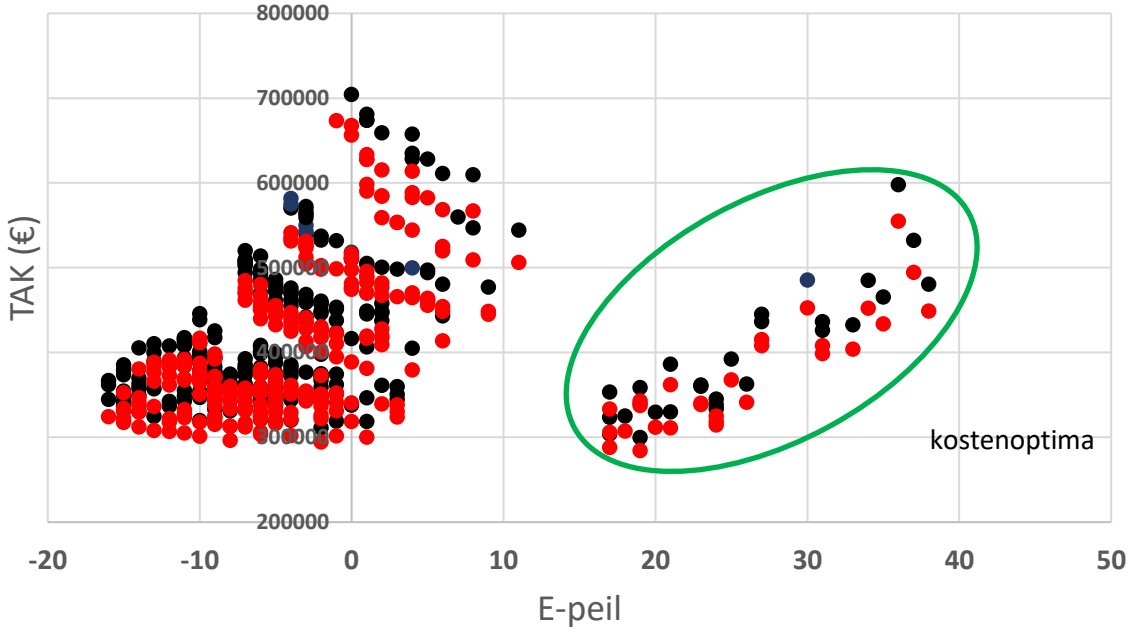
Figuur 68: Paretofront van alle ééngezinswoningen, basisberekening (zwart) en met laag energiescenario (rood).

Bij een **hogere discontovoet** gaan toekomstige kosten minder zwaar doorwegen in de totale actuele kost. Dit zijn vooral energiekosten, maar ook de herinvesteringskosten en de restwaarde zullen in waarde zakken als ze ver in de toekomst liggen. In de studie van 2015 zorgde een toename van de discontovoet vooral voor verschillen rechts op het paretofront, bij de maatregelen met hoog energieverbruik: het paretofront ging naar rechts overhellen en het optimum schoof op naar rechts.

Aangezien de maatregelpakketten rechts op het toenmalige paretofront zijn weggevallen, zien we hier vooral een gelijkmatige daling van het ganse paretofront (zie Figuur 69 en Figuur 70).

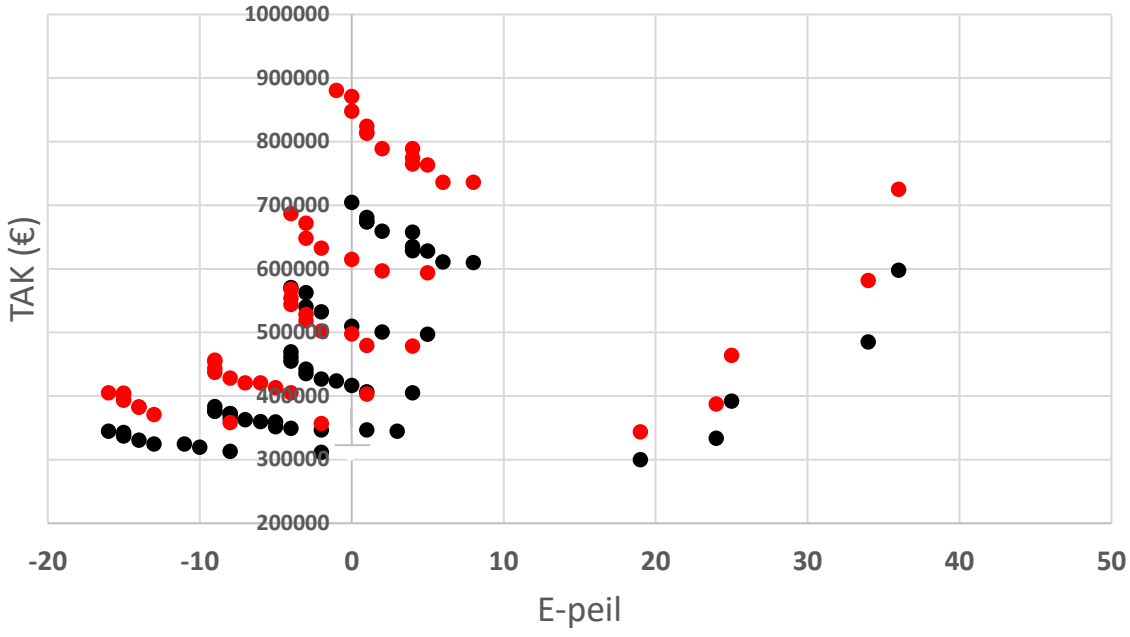


Figuur 69: Paretofront voor telkens één woning per cluster, voor basisberekening met discontovoet 3% (zwart) en met discontovoet 5% (rood).

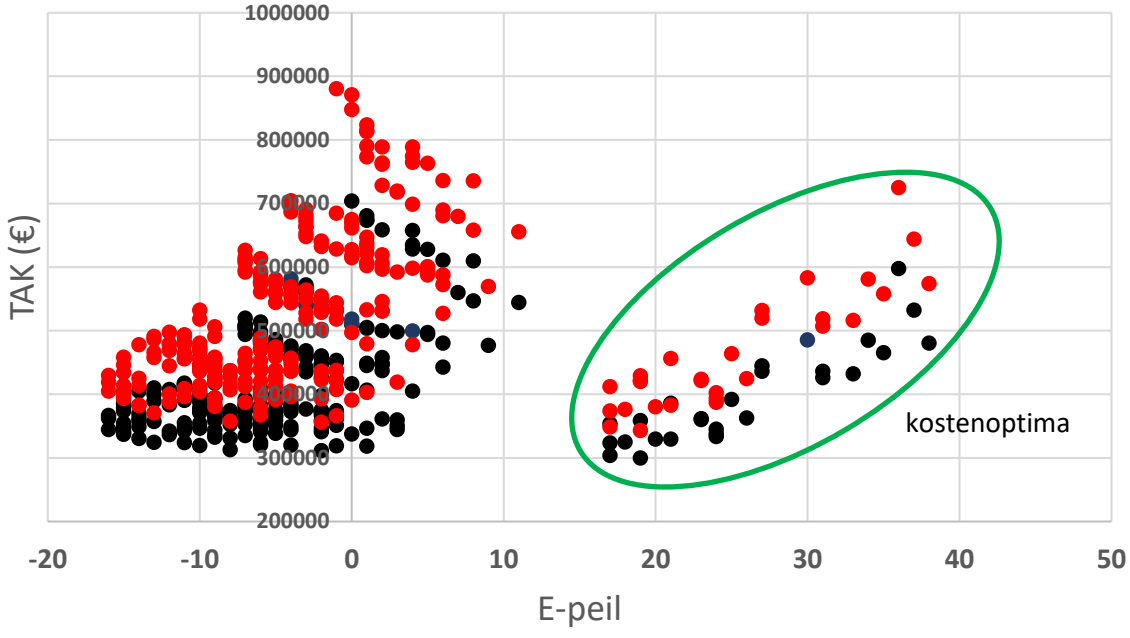


Figuur 70: Paretofront voor elk van de 29 ééngezinswoningen, voor basisberekening met discontovoet 3% (zwart) en met discontovoet 5% (rood).

Bij een lagere discontovoet wegen toekomstige kosten zwaarder door. Nochtans blijft bij discontovoet 0% i.p.v. 3% het kostenoptimum bij het maatregelpakket met gasketel (zie Figuur 71 en Figuur 72).



Figuur 71: Paretofront voor telkens één woning per cluster, voor basisberekening met discontovoet 3% (zwart) en met discontovoet 0% (rood).



Figuur 72: Paretofront voor elk van de 29 ééngezinswoningen, voor basisberekening met discontovoet 3% (zwart) en met discontovoet 0% (rood).

6.2.5 Primaire energiefactor

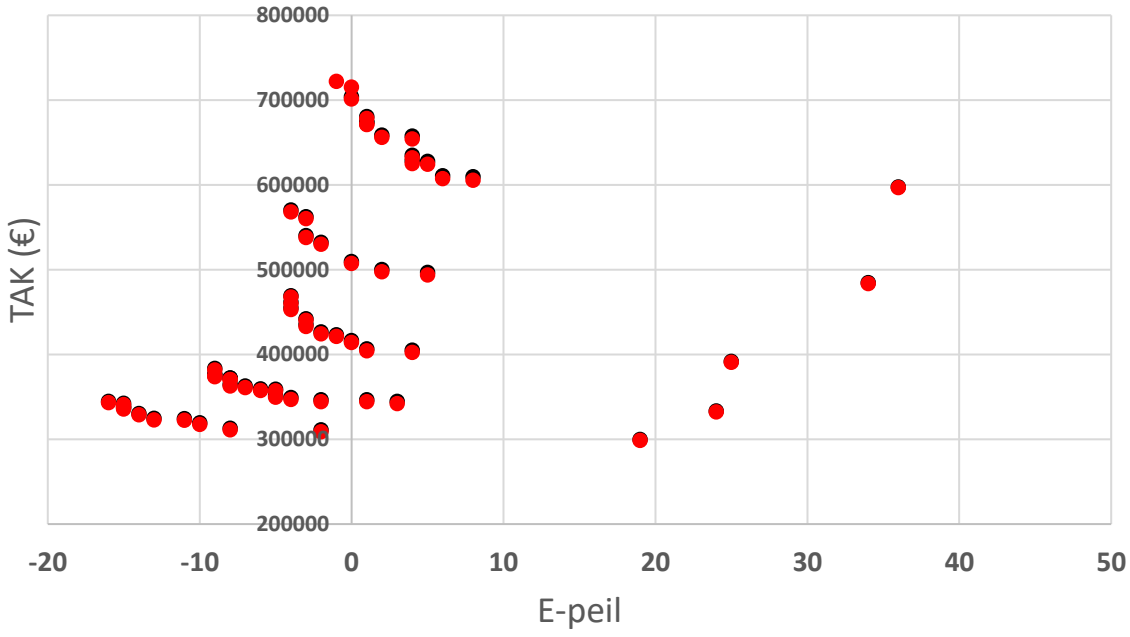
De primaire energiefactor (PEF) beïnvloedt:

- de verhouding tussen de gas- en elektriciteitsprijs
- de omzetting naar primaire energie bij de berekening van het Epeil

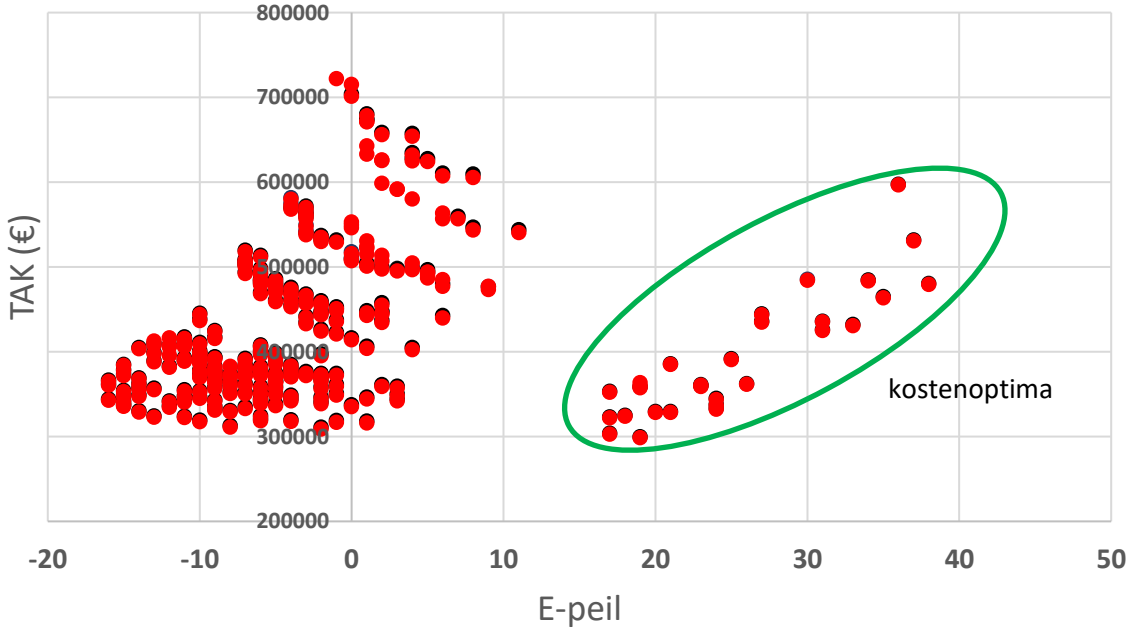
De impact van beide afzonderlijk wordt hieronder nagegaan.

Een lagere PEF betekent een lagere elektriciteitsprijs voor eenzelfde gasprijs. Figuur 73 tot Figuur 76 tonen de aangepaste paretofronten voor elektriciteits-/gasprijs 312.7/80 (PEF 2.1) en 291.5/80 (PEF 1.8).

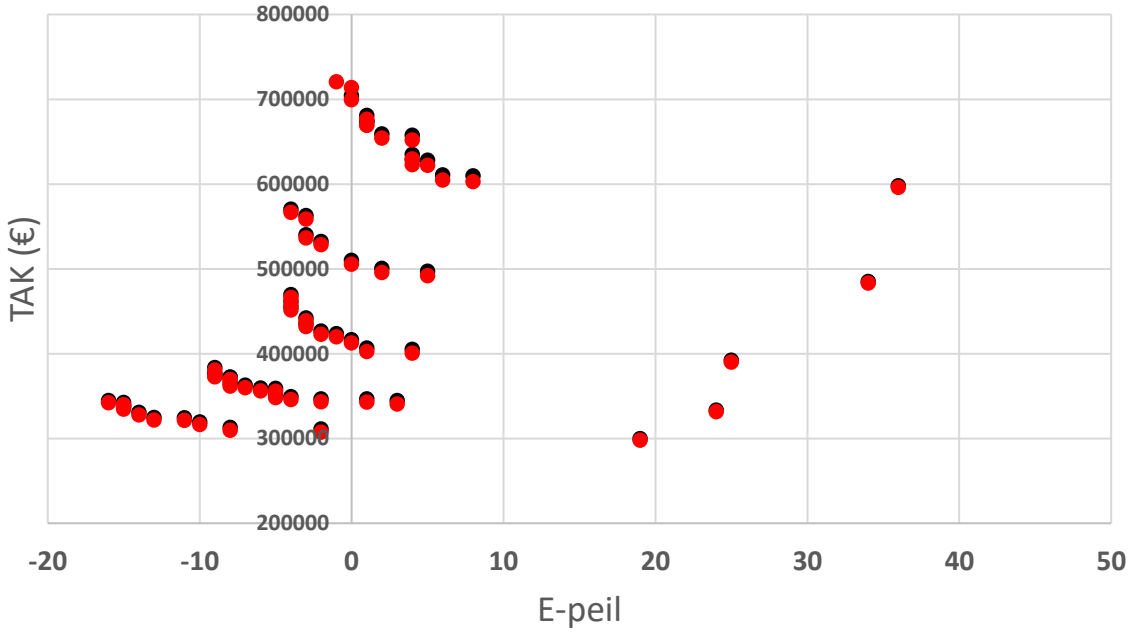
In principe werkt een lagere PEF in het nadeel van het maatregelpakket met gasketel. Het feit dat ook het injectietarief daalt, en op elke woning PV werd geplaatst in functie van het elektriciteitsverbruik, reduceert de impact op het paretofront.



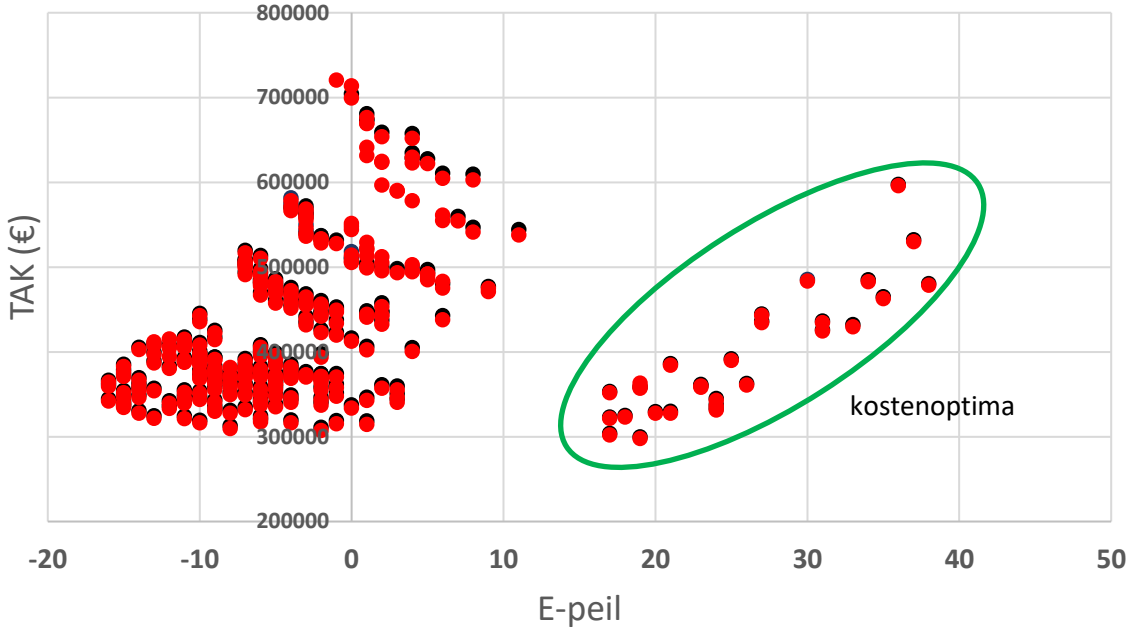
Figuur 73: Paretofront voor telkens één woning per cluster, elektriciteitsprijzen met PEF 2.5 (zwart) en variant met PEF 2.1 (rood).



Figuur 74: Paretofront voor elk van de 29 woningen, elektriciteitsprijzen met PEF 2.5 (zwart) en variant met PEF 2.1 (rood).



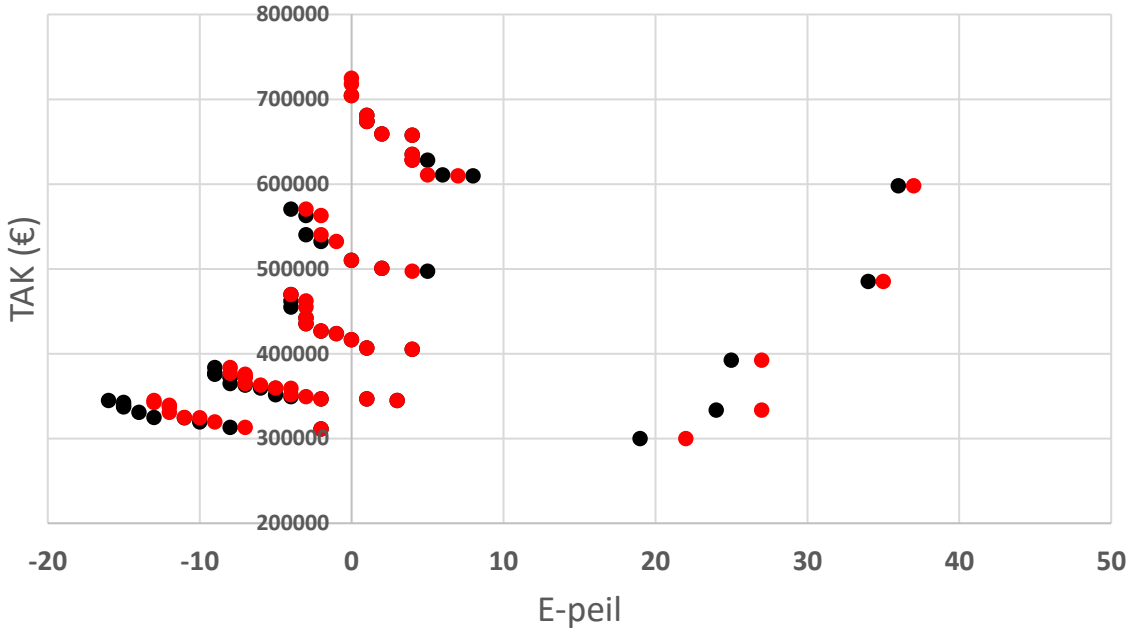
Figuur 75: Paretofront voor telkens één woning per cluster, elektriciteitsprijzen met PEF 2.5 (zwart) en variant met PEF 1.8 (rood).



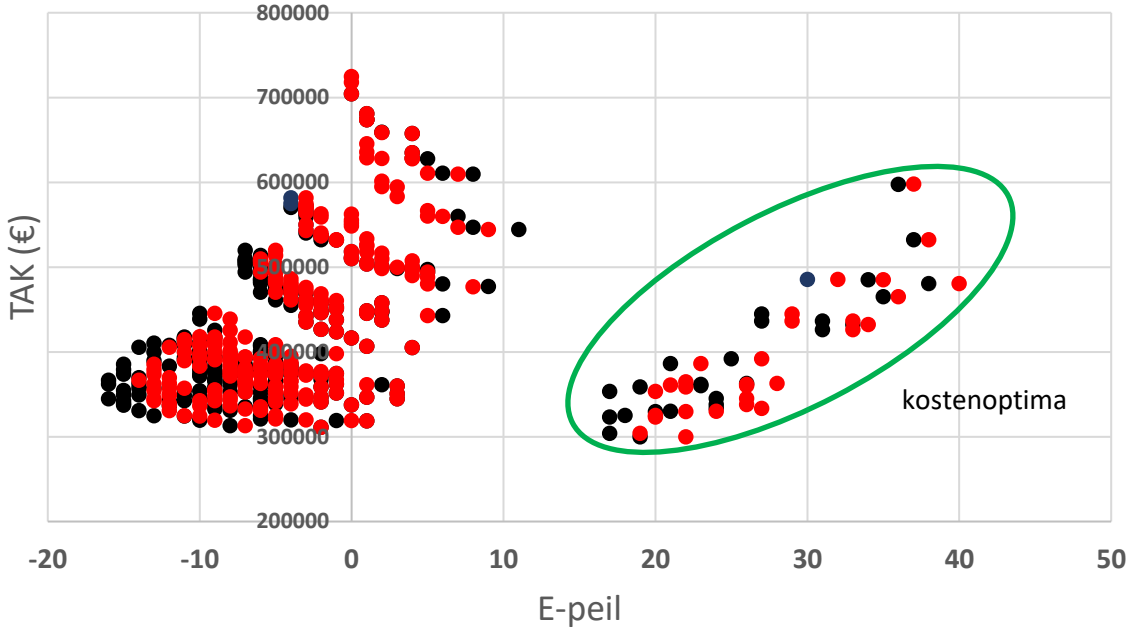
Figuur 76: Paretofront voor elk van de 29 woningen, elektriciteitsprijzen met PEF 2.5 (zwart) en variant met PEF 1.8 (rood).

De **primaire energiefactor (PEF) komt ook tussen bij de berekening van het E-peil**. Bij de maatregelpakketten met gasketel zorgt een lagere PEF voor een lagere opbrengst van de PV panelen, zodat het E-peil stijgt voor dezelfde TAK. De andere pakketten hebben een opwekker op elektriciteit en PV in functie van het verbruik, zodat verbruik en productie in de teller van het E-peil meer in evenwicht zijn. Een kleinere PEF zorgt er dan voor dat het E-peil meer naar nul opschuift.

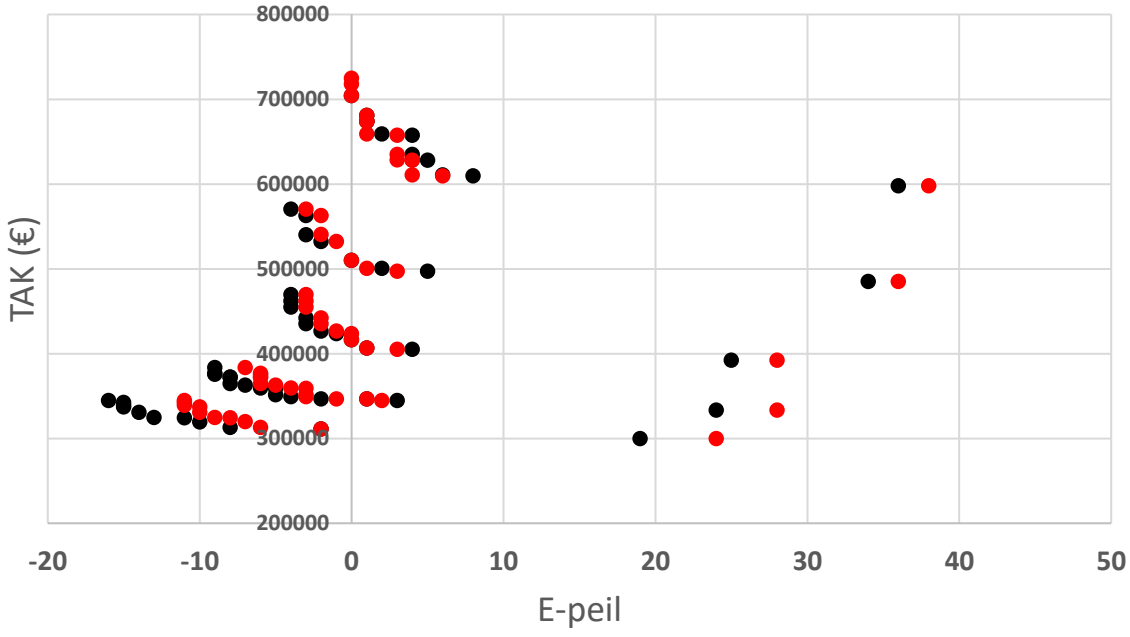
De resultaten met PEF 2.1 en 1.8 zijn weergegeven in Figuur 77 - Figuur 80.



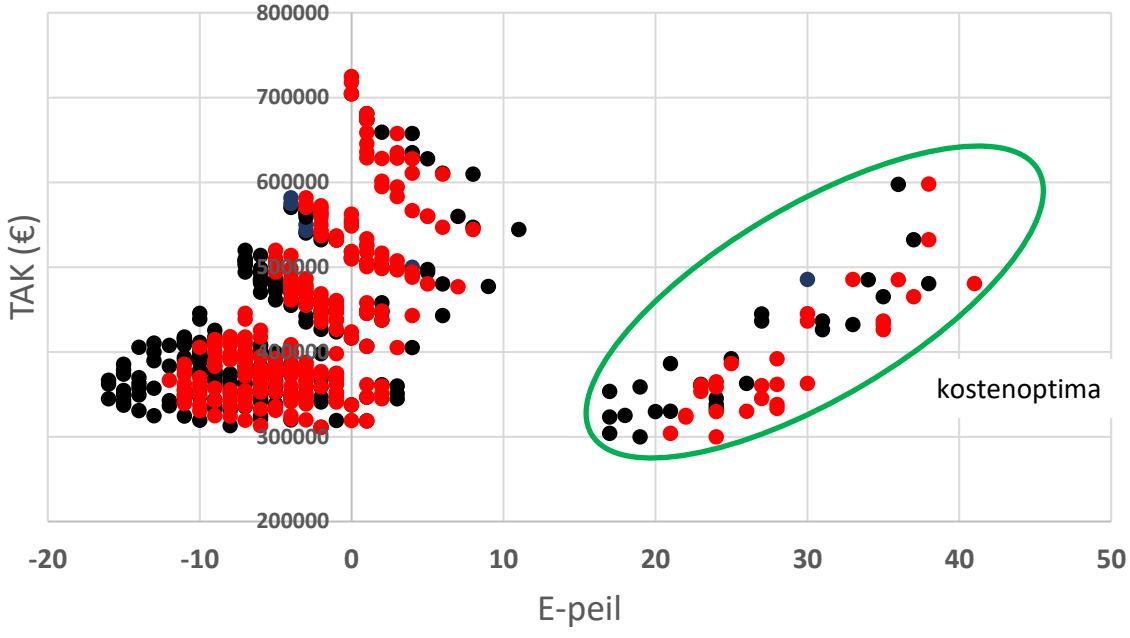
Figuur 77: Paretofront voor één woning per cluster, E-peil berekening met PEF 2.5 (zwart) en variant met PEF 2.1 (rood).



Figuur 78: Paretofront voor elk van de 29 woningen, E-peil berekening met PEF 2.5 (zwart) en variant met PEF 2.1 (rood).



Figuur 79: Paretofront voor telkens één woning per cluster, E-peil berekening met PEF 2.5 (zwart) en variant met PEF 1.8 (rood).



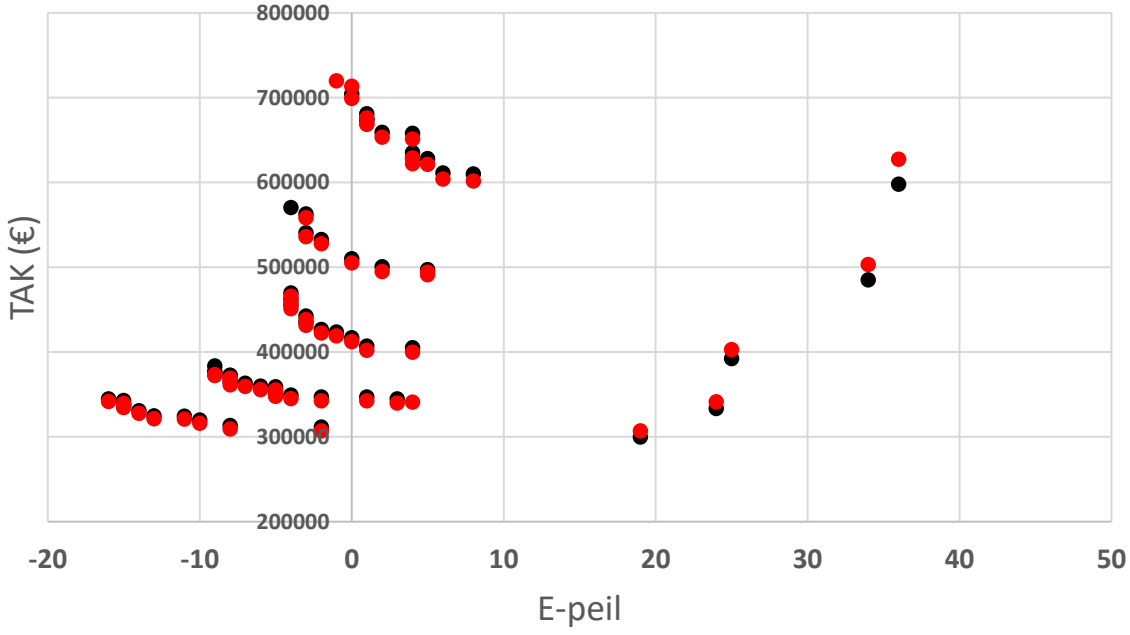
Figuur 80: Paretofront voor elk van de 29 woningen, E-peil berekening met PEF 2.5 (zwart) en variant met PEF 1.8 (rood).

6.2.6 Verhouding elektriciteitsprijs versus gasprijs

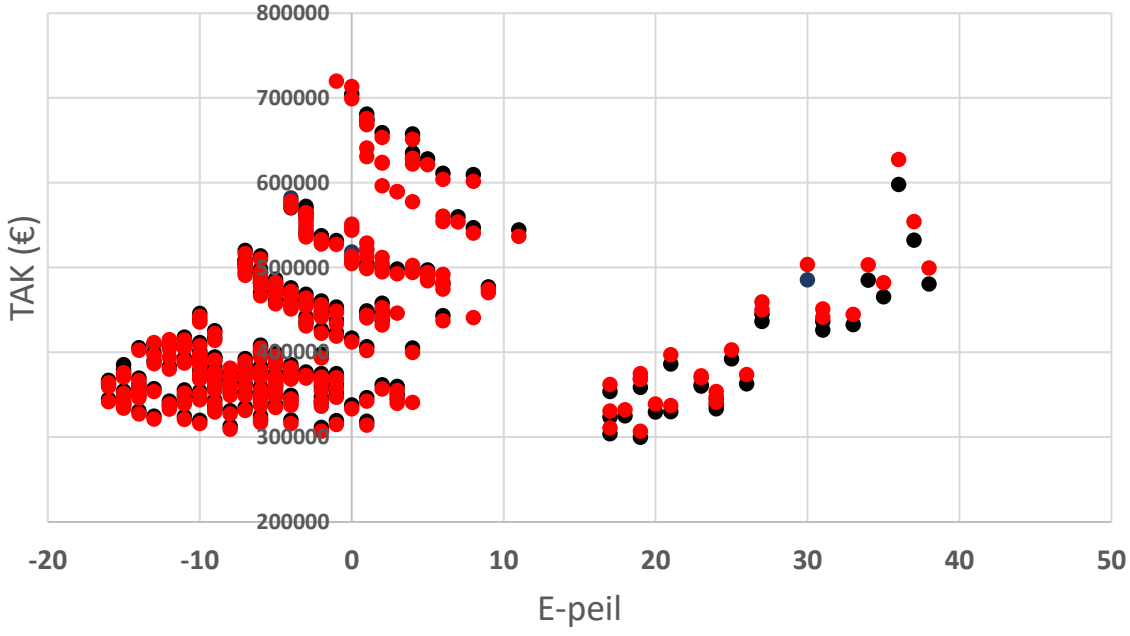
Bij een PEF van 2.1 of zelfs 1.8 blijft het kostenoptimum met gasketel behouden. Gaan we naar een prijsverhouding elektriciteit- gas van 270 – 132 euro/MWh (elektriciteit in laag energiescenario versus gas in hoog energiescenario), dan zien we het kostenoptimum verschuiven naar de LLWP.

In Figuur 81 behoudt enkel de woning met de laagste TAK (uit cluster3) het maatregelpakket met gasketel als kostenoptimum. In Figuur 82 is de verschuiving van het paretofront voor alle woningen weergegeven. Van de 29 woningen behouden vijf woningen (waarvan vier uit cluster3) het pakket

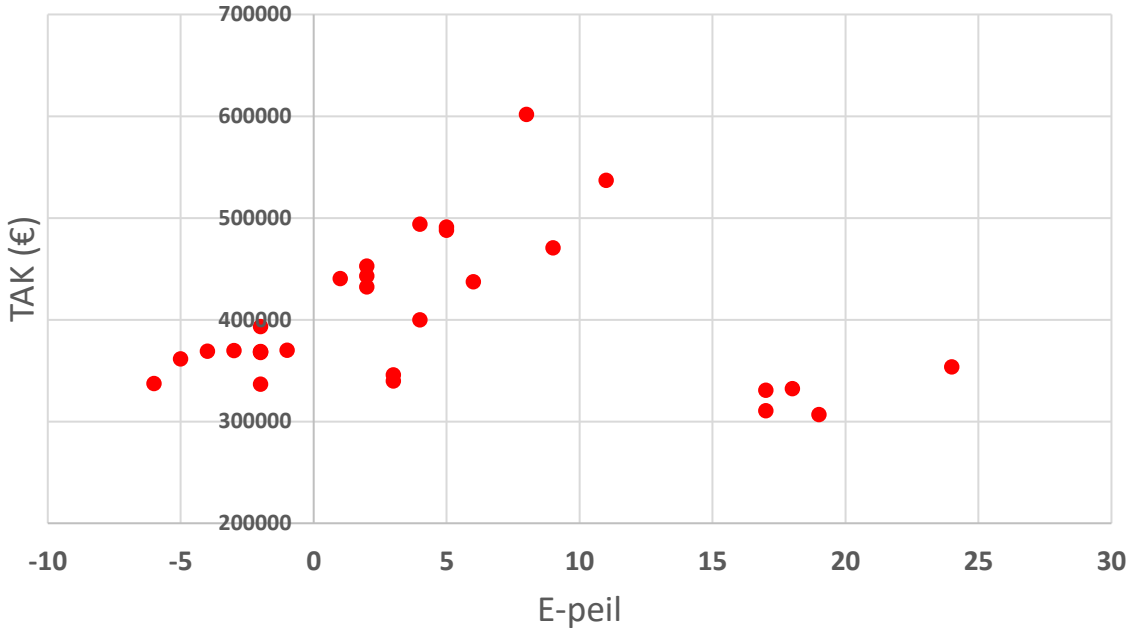
met gasketel als kostenoptimum. In de overige 24 woningen verschuift het kostenoptimum naar het volgende maatregelpakket op het paretofront, met LLWP en minimale isolatie. De kostenoptima zijn weergegeven in Figuur 83.



Figuur 81: Paretofront voor telkens één woning per cluster, met elektriciteit en gasprijs respectievelijk 341 euro/MWh- 80 euro/MWh (zwart) en 270 euro/MWh – 132 euro/MWh (rood).



Figuur 82: Paretofront voor elk van de 29 woningen, met elektriciteit en gasprijs respectievelijk 341 euro/MWh- 80 euro/MWh (zwart) en 270 euro/MWh – 132 euro/MWh (rood).



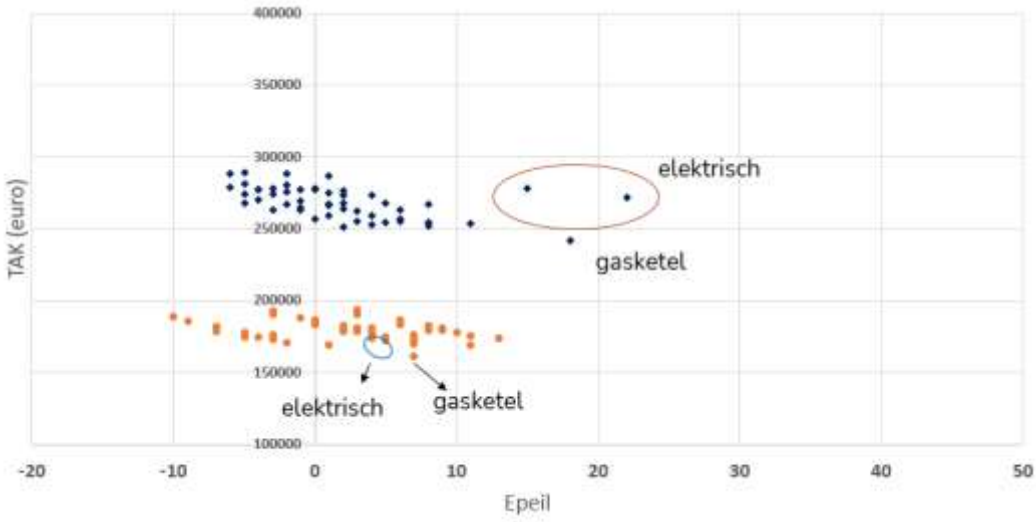
Figuur 83: Kostenoptima voor de 29 woningen, met elektriciteit en gasprijs respectievelijk 270 euro/MWh – 132 euro/MWh.

7 RESULTATEN APPARTEMENTEN

7.1 Paretofront en kostenoptimale niveaus

7.1.1 Appartementen met enkel individuele installatie voor verwarming

Voor negen appartementen, die zich in een gebouw bevinden met minder dan acht woonéénheden, worden enkel individuele installaties doorgerekend. Figuur 84 toont als voorbeeld de totale actuele kost (TAK) in functie van het E-peil voor de maatregelpakketten toegepast op twee appartementen. Het appartement met de hoogste TAK, is één van de grotere appartementen, het andere is een erg compact, klein appartement.

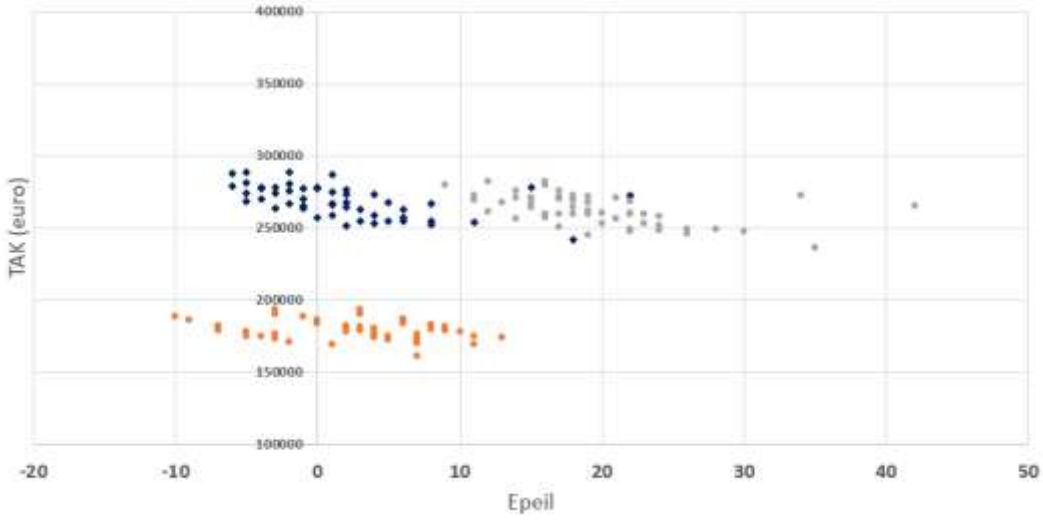


Figuur 84: TAK versus E-peil voor alle maatregelpakketten, toegepast op twee appartementen.

Voor beide appartementen heeft het maatregelpakket met gasketel, minimale isolatie en ventilatiesysteem C1 de laagste TAK. De resultatenwolk voor het grootste, minder compacte appartement is gelijkaardig aan dat van de ééngezinswoningen. De pakketten met elektrische verwarming hebben een gelijkaardig E-peil maar duidelijk een hogere TAK. De pakketten met warmtepomp hebben steeds een beter E-peil.

Voor het erg compacte appartement zien we het belang van SWW en vooral de ventilatieverliezen/hulpenergie voor ventilatoren toenamen ten opzichte van de verliezen via de schil. Een aantal pakketten met warmtepomp (LLWP of LWWP1), maar met een minder goed scorend ventilatiesysteem scoren nu zelfs slechter qua E-peil dan het referentiepakket met gasketel. De pakketten met elektrische verwarming scoren dan weer iets beter dan de gasketel.

Ook voor de appartementen is de hoeveelheid PV die kan geplaatst worden, een belangrijke parameter voor het E-peil. Nemen we een appartement dat zich qua grootte en compactheid situeert tussen de twee voorgaande appartementen, maar met minder PV (915Wp ten opzichte van 3250Wp voor het grootste en 1625Wp voor het kleinste appartement), dan zien we op Figuur 85 de oplossingen naar rechts verschuiven, zodat de pakketten met gasketel en elektrische verwarming niet meer voldoen aan E30.



Figuur 85: Impact van PV op het paretofront.

Voor de andere appartementen vinden we gelijkaardige resultaten terug. De grafieken per appartement zijn terug te vinden in BIJlAGE B.

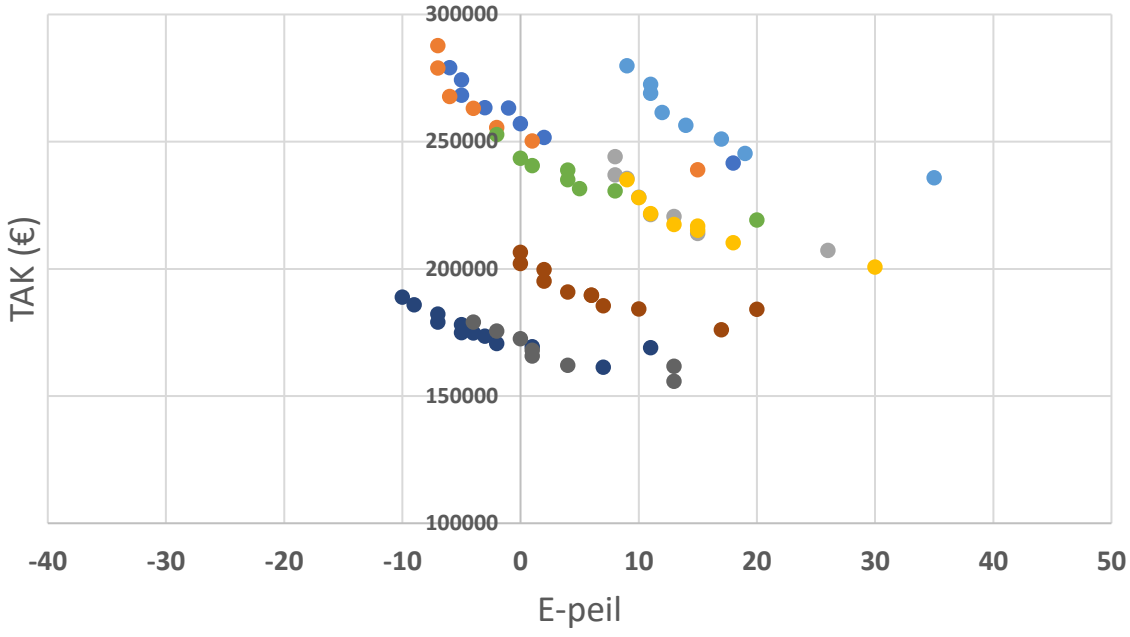
Analyse van het paretofront van alle appartementen, leert dat een beperkt aantal maatregelpakketten zich bij nagenoeg alle appartementen op het paretofront bevinden. Deze maatregelen zijn weergegeven in Tabel 12. In vergelijking met het paretofront bij ééngezinswoningen, valt het pakket met ventilatiesysteem C2 weg.

Tabel 12: Maatregelpakketten die bij nagenoeg alle appartementen op het paretofront liggen, genummerd volgens stijgende TAK.

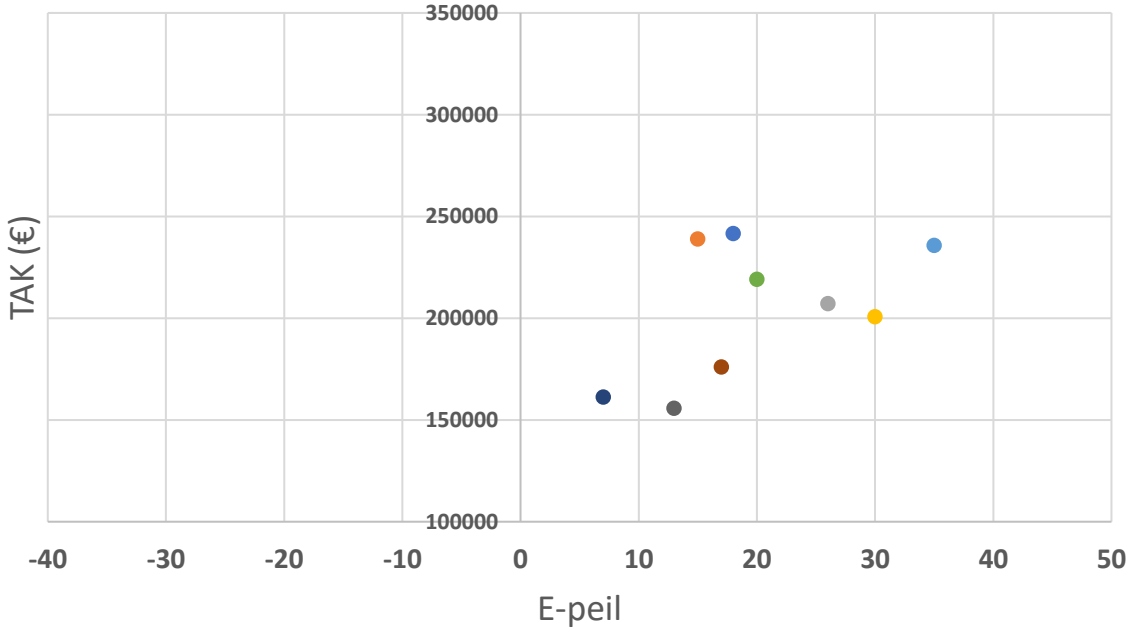
positie	isolatie	ventilatie	opwekker	zonthermie	PV
1	minimaal	C1	gasketel	nee	potentieel benut
2	minimaal	C1	LLWP	nee	potentieel benut
3	minimaal	C1	LWWP2	nee	potentieel benut
4	gemiddeld	C1	LLWP	nee	potentieel benut
5	gemiddeld	C1	LWWP2	nee	potentieel benut
6	doorgedreven	C1	LWWP2	nee	potentieel benut

Het paretofront wordt bij minstens vijf appartementen aangevuld met de BWWP2 in combinatie met gemiddelde of doorgedreven isolatie, of met de LWWP1 in combinatie met gemiddelde isolatie.

Figuur 86 en Figuur 87 geven een overzicht van de paretofronten voor elk van de negen appartementen die doorgerekend zijn met enkel individuele installaties.



Figuur 86: Paretofront van appartementen met enkel individuele installaties.

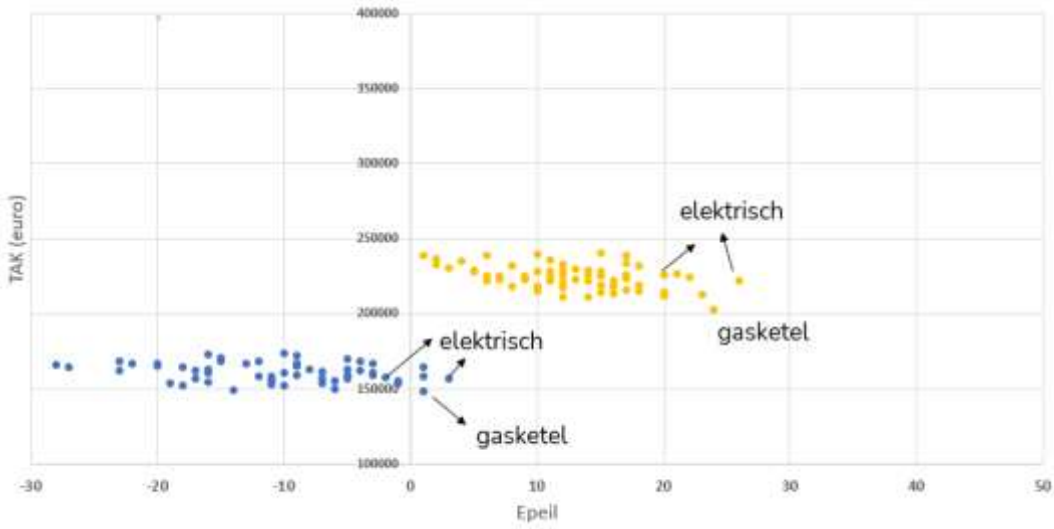


Figuur 87: Kostenoptima van appartementen met enkel individuele installaties.

7.1.2 Appartementen met individuele en collectieve installaties voor verwarming

Voor 13 appartementen in een gebouw met minstens acht éénheden, worden ook een aantal maatregelpakketten met collectieve installaties doorgerekend.

Figuur 88 toont als voorbeeld de totale actuele kost (TAK) in functie van het E-peil voor de maatregelpakketten toegepast op twee appartementen. De grafieken van de overige appartementen zijn terug te vinden in BIJlAGE B.



Figuur 88: De totale actuele kost (TAK) in functie van het E-peil voor de maatregelpakketten toegepast op twee appartementen.

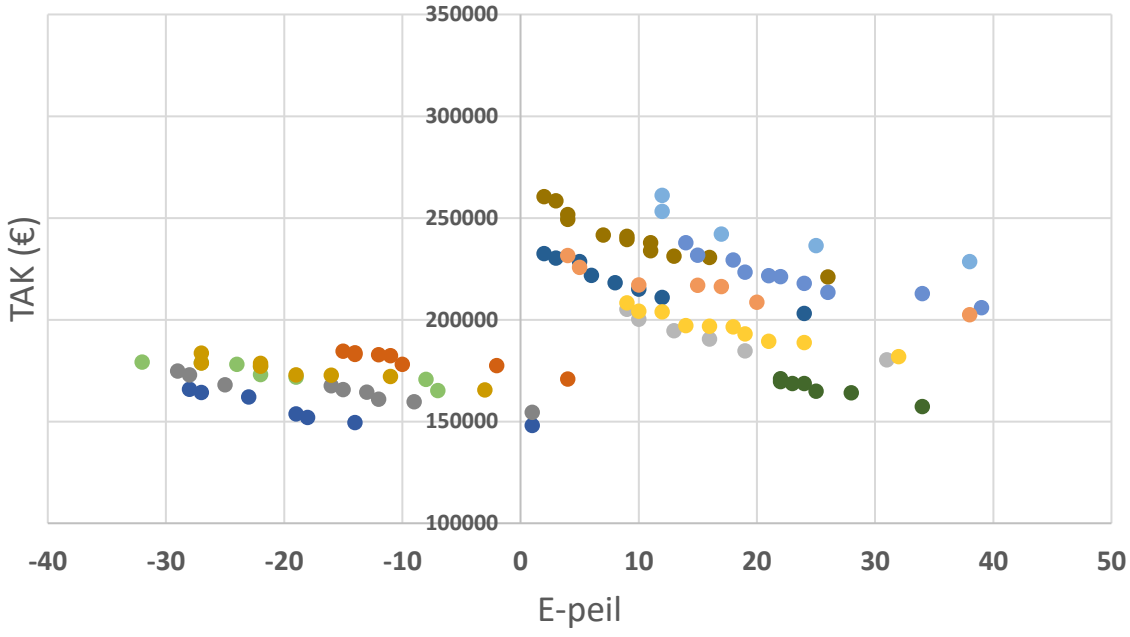
Bij de installaties die bijna altijd op het paretofront liggen, zien we een aantal oplossingen met individuele installatie vervangen door collectieve oplossingen. Tabel 13 toont de maatregelpakketten liggen bij minstens 10 van de 13 appartementen op het paretofront.

Tabel 13: Maatregelpakketten die bij nagenoeg alle appartementen op het paretofront liggen, genummerd volgens stijgende TAK.

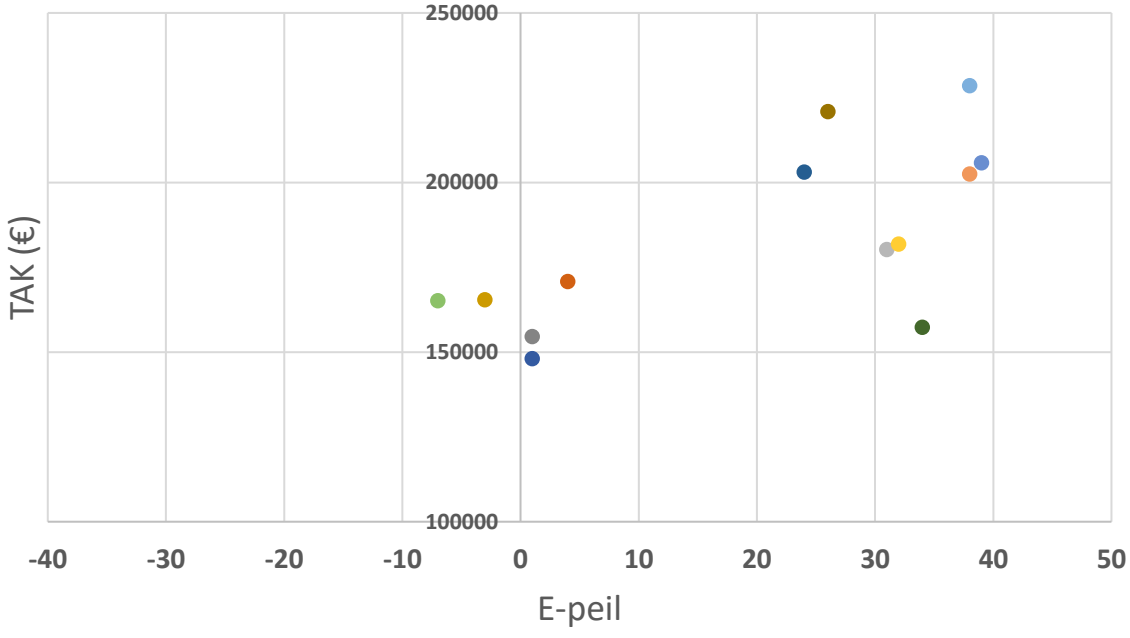
positie	isolatie	ventilatie	opwekker	zonthermie	PV
1	minimaal	C1	gasketel	nee	potentieel benut
2	minimaal	C1	LLWP	nee	potentieel benut
4	gemiddeld	C1	LLWP	nee	potentieel benut
5	minimaal	C1	Combilus BWWP2	nee	potentieel benut
6	gemiddeld	C1	Combilus BWWP2	nee	potentieel benut
	doorgedreven	C1	Combilus BWWP2	nee	potentieel benut

Bij verschillende appartementen liggen ook de combilus installaties met LWWP op het paretofront. Ook de individuele installaties vermeld onder 7.1.1 komen hier regelmatig terug.

Figuur 89 en Figuur 90 geven een overzicht van de paretofronten voor elk van de 13 appartementen die met individuele en collectieve installaties zijn doorgerekend.



Figuur 89: Paretofront van appartementen met individuele en collectieve installaties.

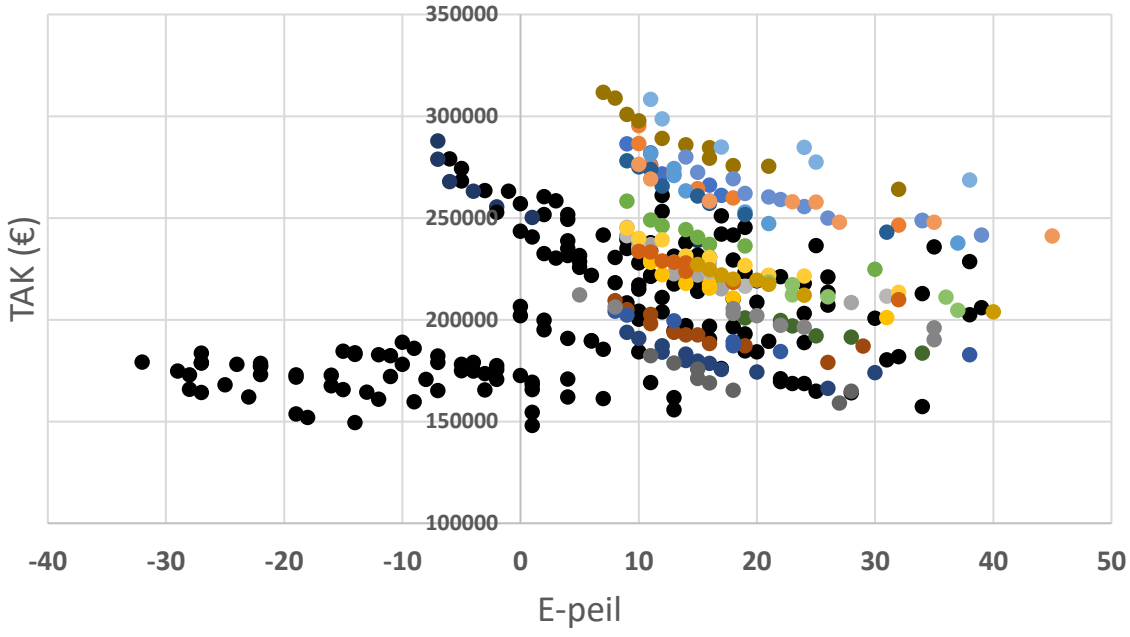


Figuur 90: Kostenoptima van appartementen met individuele en collectieve installaties.

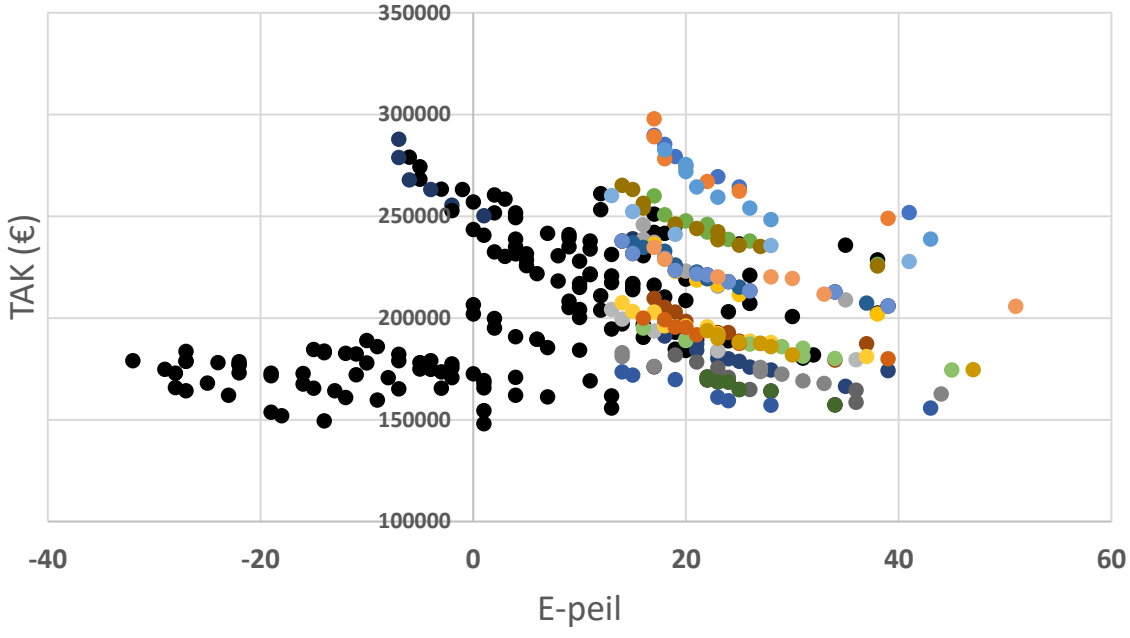
De laagste E-peilen zijn afkomstig van een aantal appartementen in één van de grotere appartementsgebouwen, met veel dakoppervlak en 2500 tot 4000Wp aan PV per appartement.

7.2 Varianten

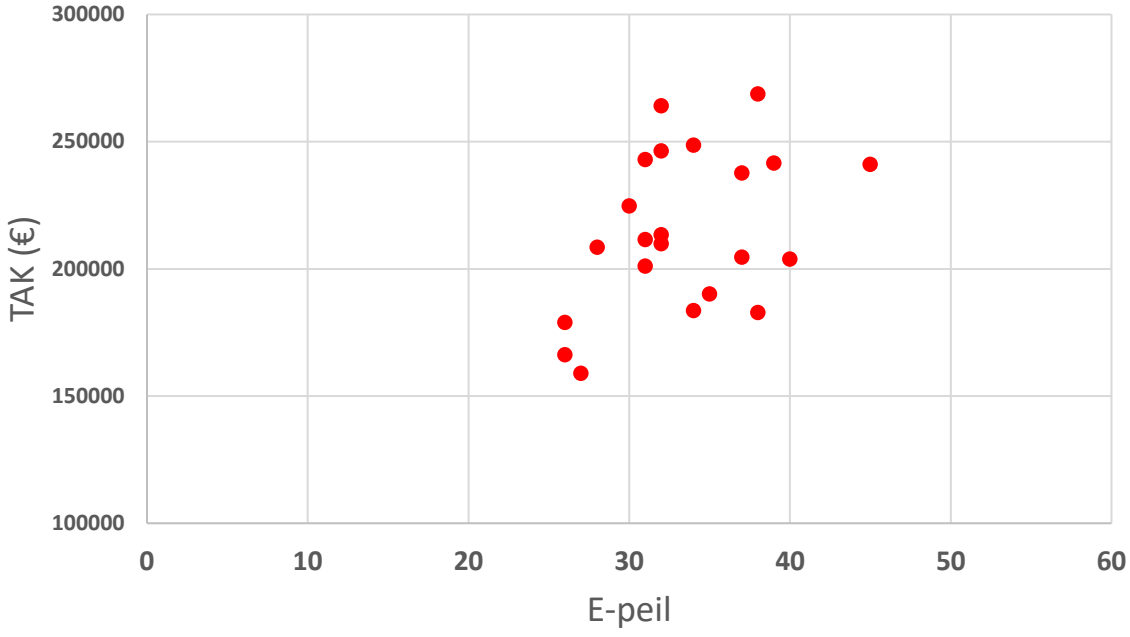
De parameter met de grootste impact is het aandeel PV. Voor de appartementen worden nieuwe berekeningen gemaakt, met een minimale hoeveelheid PV in functie van de eis HE (maar nog steeds rekening houdend met wat haalbaar is zoals bepaald in de basisoefening) en zonder PV. De resultaten worden weergegeven in respectievelijk Figuur 91-Figuur 94.



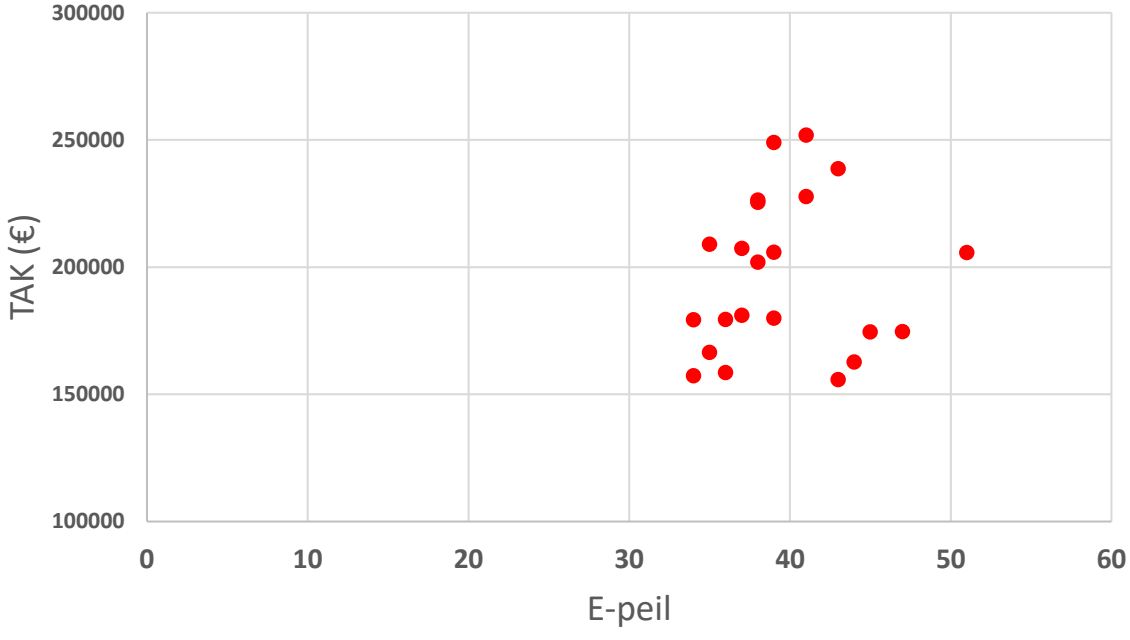
Figuur 91: Paretofront van alle appartementen, met PV volgens potentieel (in het zwart) en met PV volgens de eis HE (kleur per woning).



Figuur 92: Paretofront van alle appartementen, met PV volgens potentieel (in het zwart) en zonder PV (kleur per woning).



Figuur 93: Kostenoptima van appartementen met PV volgens de eis HE.



Figuur 94: Kostenoptima van appartementen zonder PV.

8 ALGEMEEN BESLUIT

In deze studie wordt geëvalueerd of de EPB-eisen, met name de E-peil eis E30, nog in overeenstemming zijn met het kostenoptimum binnen de huidige en toekomstige context, met name de recente prijsevoluties en het relevante beleid. Hierbij ligt de nadruk op de geplande uitfasering van olie en gas. Om dit na te gaan werden 50 referentiewoningen geselecteerd uit recente EPB-aangiftes. Daarop werden per woning 50 à 100 maatregelpakketten toegepast die zich in de buurt van het paretofront bevonden in voorgaande studies (2015 en 2017). Op basis van grafieken totale actuele kost (TAK) versus Epeil en de bijhorende paretofronten, wordt de eis E30 geëvalueerd.

Gezien de uitfasering van olie en gas is in het overgrote deel van de maatregelpakketten een warmtepomp als opwekker gekozen. In vergelijking met de voorgaande studies, worden deze opwekkers meer in detail bekeken en worden bijvoorbeeld per type warmtepomp twee varianten beschouwd. De warmtepompen worden verder gecombineerd met verschillende isolatieniveaus en ventilatiesystemen, die zodanig gekozen zijn dat de markt zoveel mogelijk wordt afgedekt (bv. toestel uit goedkopere marktsegement versus toestel uit duurdere, maar beter presterende marktsegement, enz.). Naast de warmtepompen worden ook elektrische weerstandsverwarming en houtpelletketels als opwekker beschouwd, maar deze worden enkel gecombineerd met isolatieniveaus en ventilatiesystemen die hen in de vorige studies in de buurt van het paretofront brachten. Voor de appartementen worden ook een aantal collectieve systemen meegenomen. Tenslotte wordt als referentie ook een pakket met gasketel en minimale isolatie beschouwd.

Waar in voorgaande studies steeds werd gewerkt met vaste niveaus voor toepassing van photovoltaïsche panelen (PV), wordt de hoeveelheid PV nu bepaald per woning en afgestemd op het ingeschat elektriciteitsverbruik (woningen) of op het potentieel (appartementen), wat waarschijnlijk het best aansluit bij de praktijk en de EPB-eis aan de minimale hoeveelheid hernieuwbare energie (HE) in 2025. Er werden nadien ook varianten uitgerekend met een minimale hoeveelheid PV in functie van de eis HE. Tenslotte wordt bij het invoeren van de maatregelen en de berekening van de energieprestatie zo weinig mogelijk met default waarden gewerkt.

In het algemeen blijft het maatregelpakket met gasketel het **kostenoptimum** uitmaken. Het E-peil met dit maatregelpakket ligt voor de woningen tussen E15 en E40, voor de appartementen wordt het bereik groter (E-10-E40) omdat er meer verschil is in hoeveelheid PV. De volgende pakketten op het paretofront hebben een warmtepomp (eerst lucht-lucht of lucht-water), meestal in combinatie met een performant ventilatiesysteem C en minimale isolatie en voldoende PV. Hiermee schuiven we op naar E10 of lager, voor een meerkost (in TAK) die beperkt blijft tot gemiddeld 3%. Gaan we naar hogere isolatieniveaus, en eventueel ook naar een bodem-waterwarmtepomp, dan bevinden we ons op een veelal steiler deel van het paretfront (vooral steiler bij de grotere, minder compacte woningen met hoogste TAK).

In een aantal gevallen verschuift het kostenoptimum voor de meeste woningen weg van de gasketel:

- Indien we rekening houden met S28. De reden is dat de kostenoptima met gasketel minimaal geïsoleerd zijn en vaak niet voldoen aan S28. De nieuwe kostenoptima liggen tussen E-10 en E10.
- Indien we uitgaan van een verhouding elektriciteitsprijs versus gasprijs die dichter aanleunt bij de verhouding tussen de primaire energiefactoren.
- Bij het beschouwde hoog energiescenario verschuift het optimum enkel voor de woning met de hoogste TAK.

In het algemeen kunnen we stellen dat we voor de pakketten met warmtepomp, indien we PV (kunnen) plaatsen in functie van het verbruik, logischerwijs in de buurt van E0 uitkomen (tussen E-15 en E10 voor alle woningen). Enkel het pakket met gasketel ligt nog rond E30. Hier gaan we natuurlijk uit van de veronderstelling dat PV in die hoeveelheid steeds mogelijk is, wat niet altijd het geval is.

Indien we minimale PV plaatsen om te voldoen aan de eis HE, verhoogt het E-peil aanzienlijk en wordt de *gap* tussen de pakketten met warmtepompen en het pakket met gasketel 'opgevuld'.

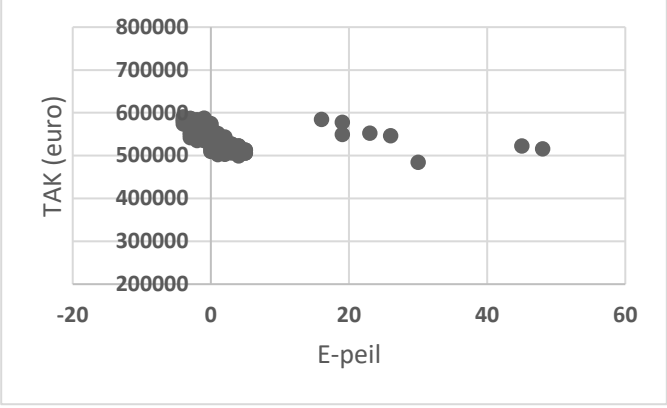
Ook bij de appartementen, waar de hoeveelheid PV meestal beperkt is, zien we de punten op het paretofront met WP of gas beter op elkaar aansluiten, en wordt een bredere range aan E-peilen (E-30 tot E50) mogelijk. Bij appartementen met veel dakoppervlakte en een groot potentieel voor zonnepanelen, zijn erg lage E-peilen mogelijk (tot circa E-30). Wanneer geen of slechts een minimale hoeveelheid zonnepanelen mogelijk zijn, blijft het E-peil positief.

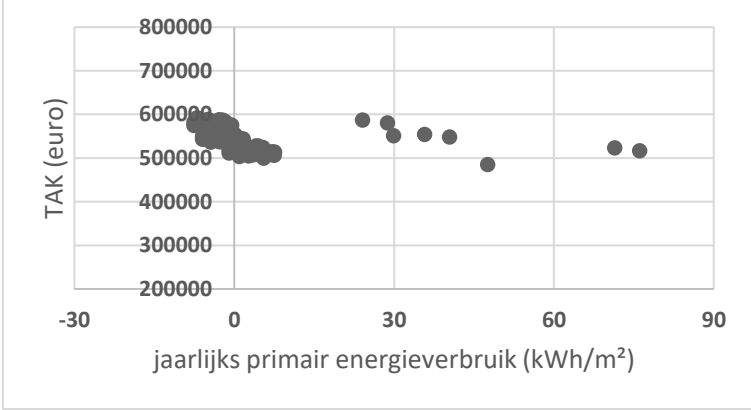
Andere sensitiviteitsanalyses hebben minder impact op het paretofront. Bij de micro-economische analyse en bij een kleinere of grotere discontovoet, zien we de grootste (verticale) verschuiving van het paretofront, maar deze gebeurt eerder gelijkmatig zodat het kostenoptimum behouden blijft. Onder invloed van een wijzigende PEF in de E-peil berekening, concentreren de paretofronten zich duidelijker rond E0, maar ook daar blijft het kostenoptimum bij de gasketel.

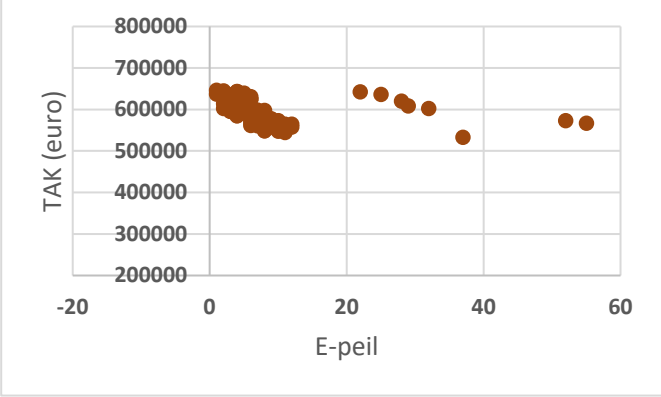
9 BIJLAGE A

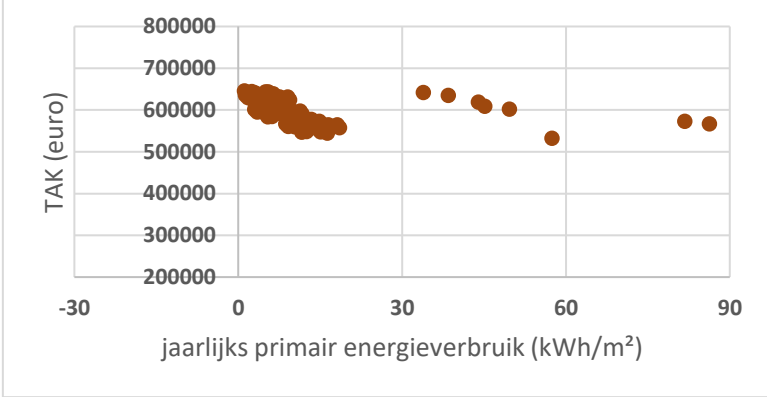
TAK in functie van E-peil en TAK in functie van primair energieverbruik per m² van alle maatregelpakketten per woning (voor de macro-economische berekening).

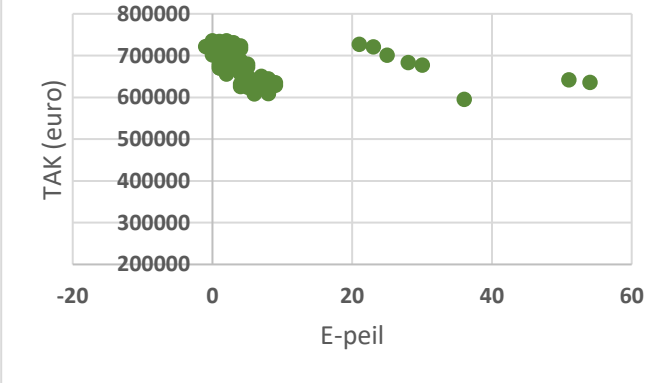
Cluster 4, cases 2,3,23

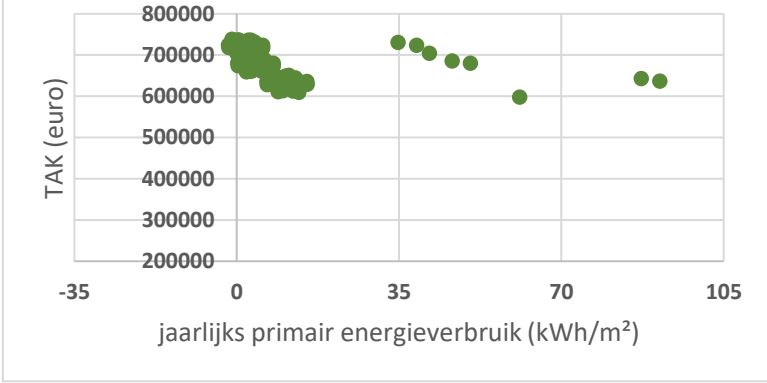




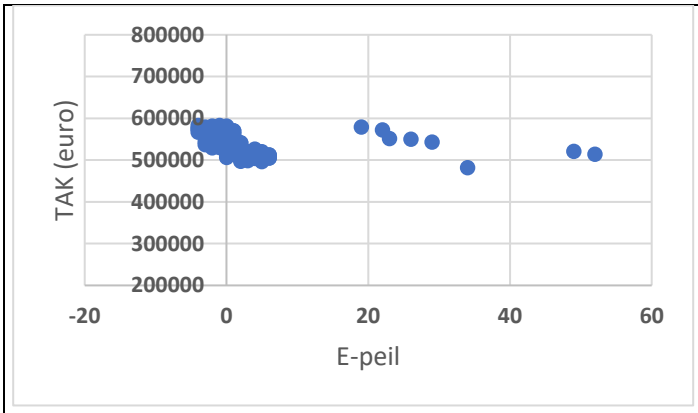


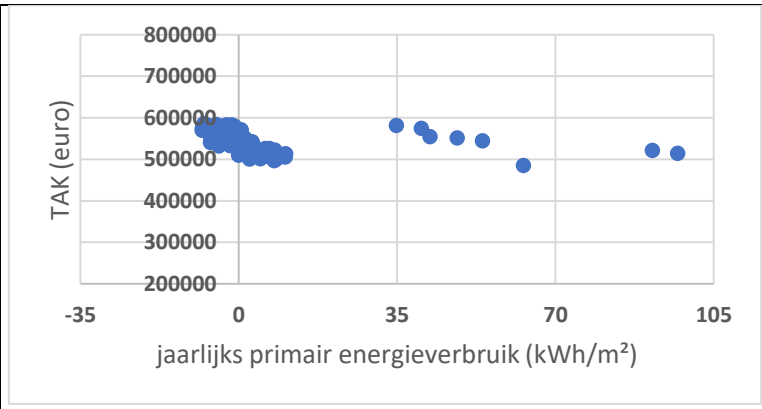


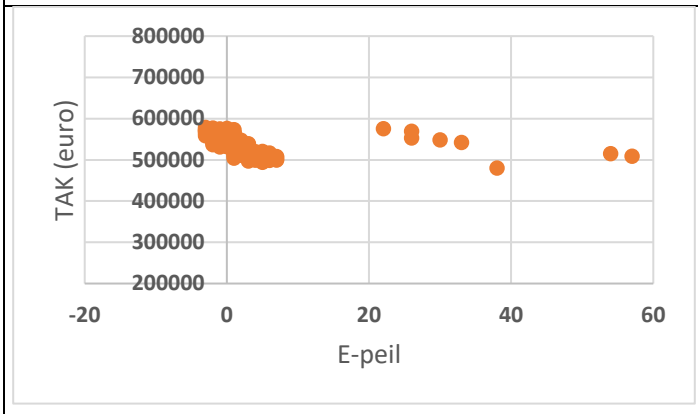


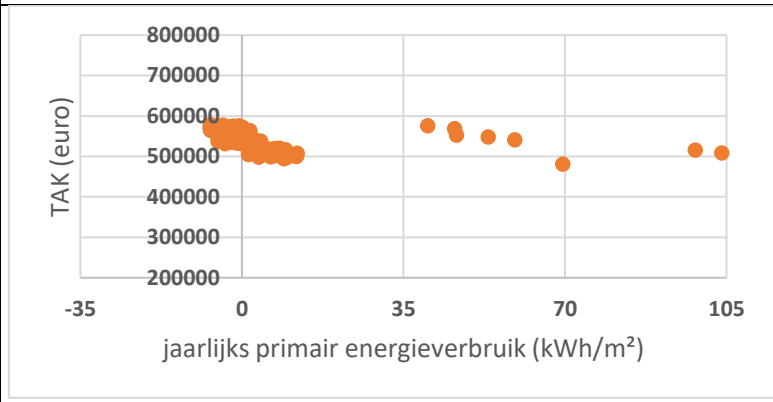


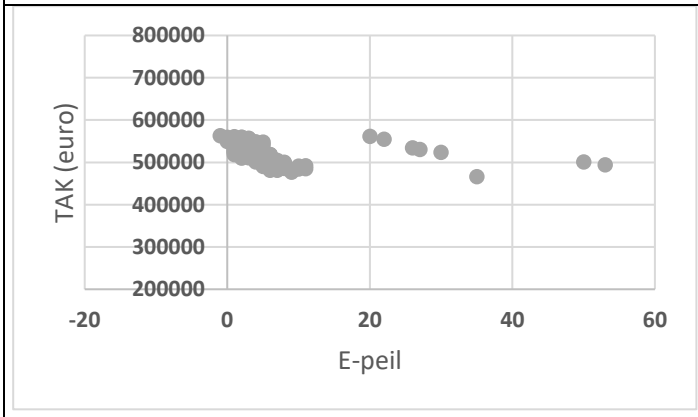
Cluster 2, cases 1,4,5,9,10,18,25

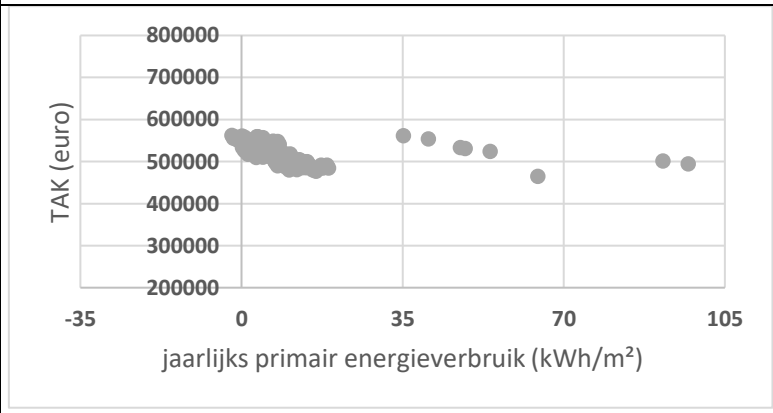

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

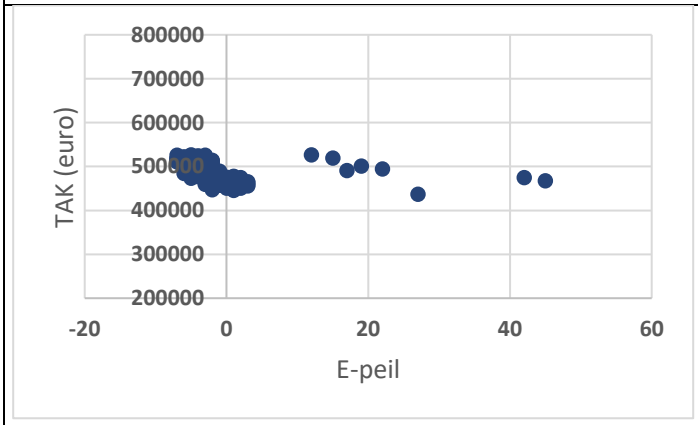

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

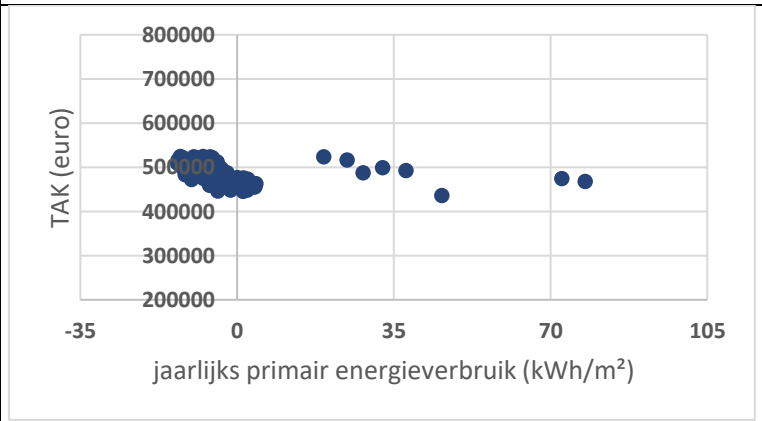

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

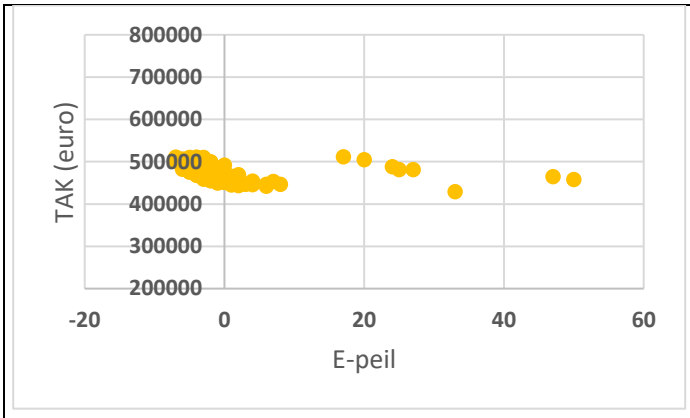

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

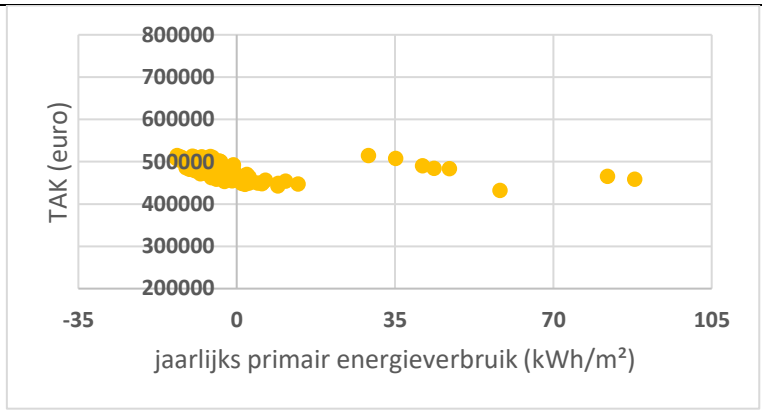

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

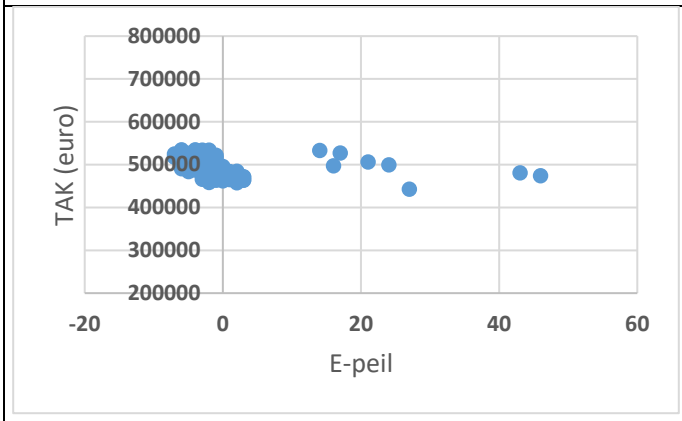

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

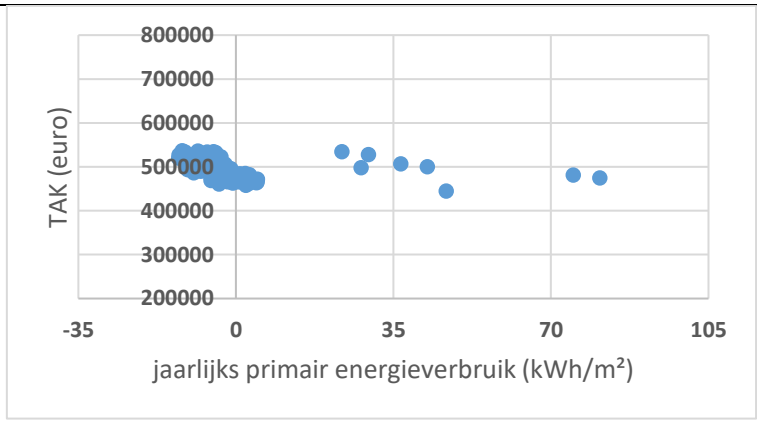

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

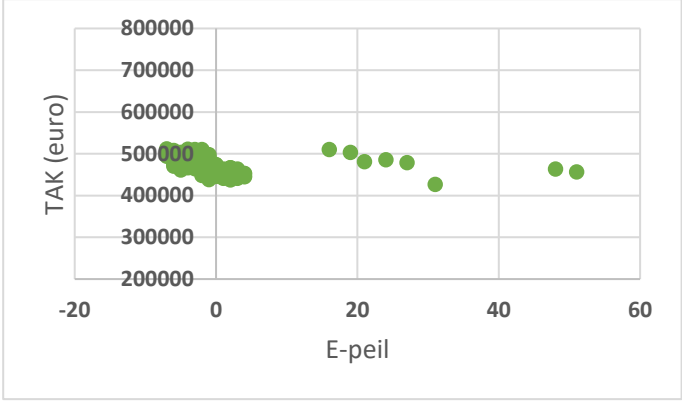

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

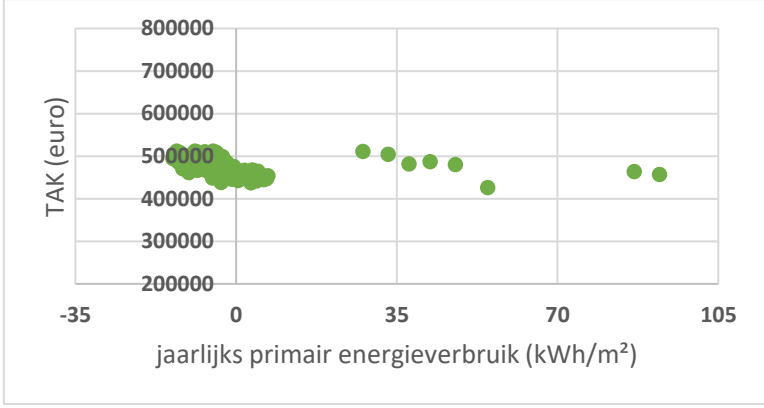




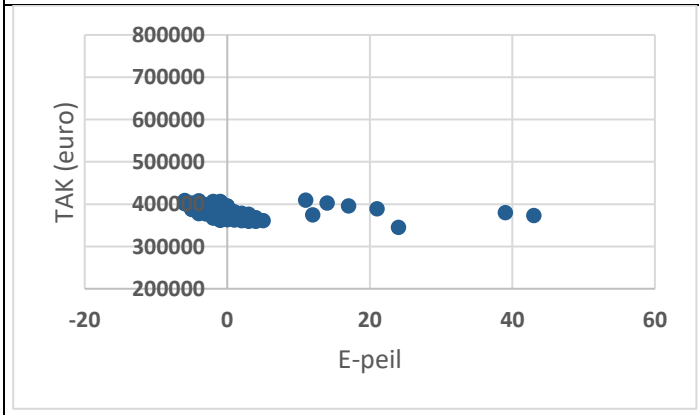


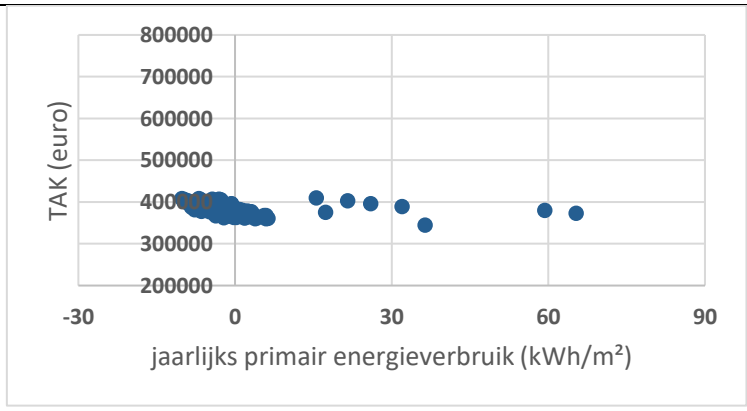


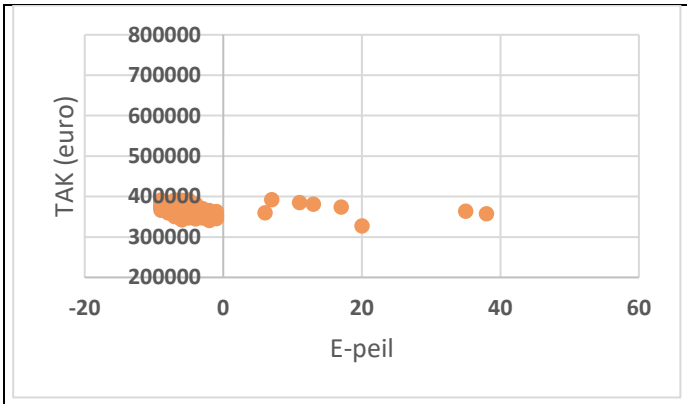


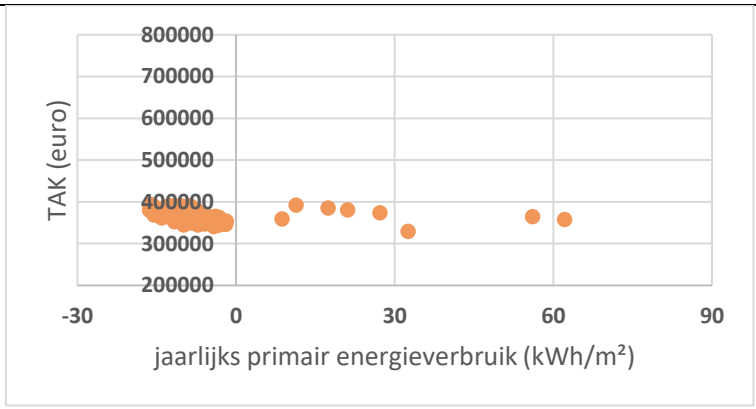


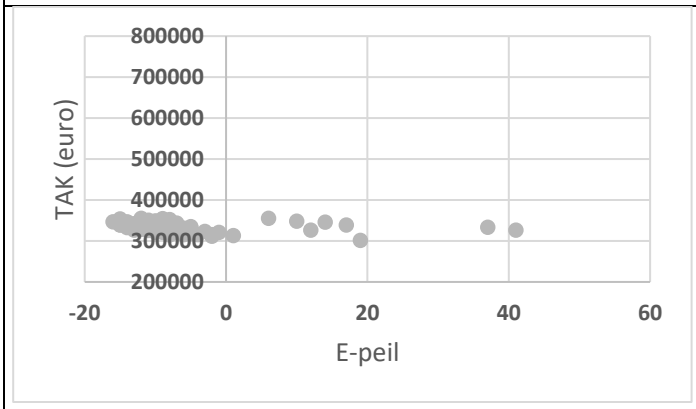
Cluster 3, cases 7,12,13,14,19

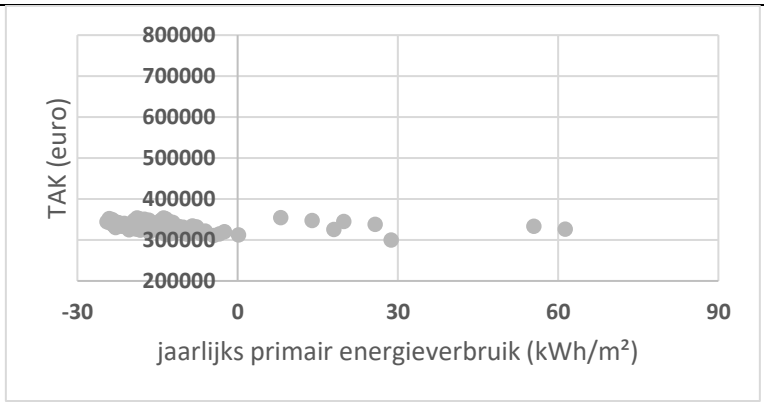


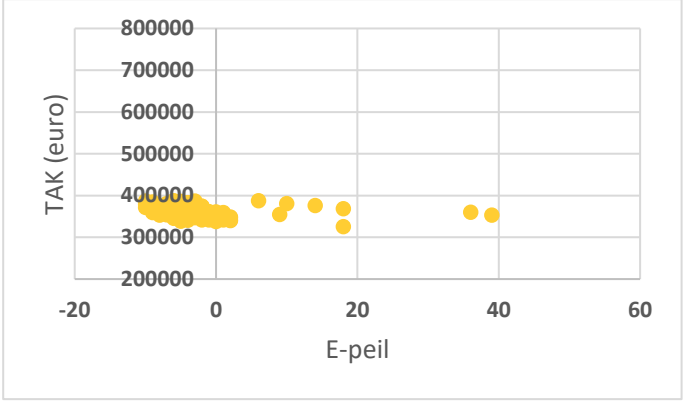


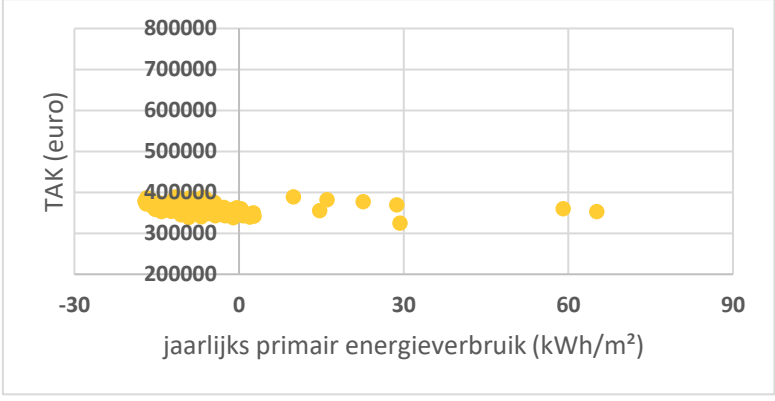


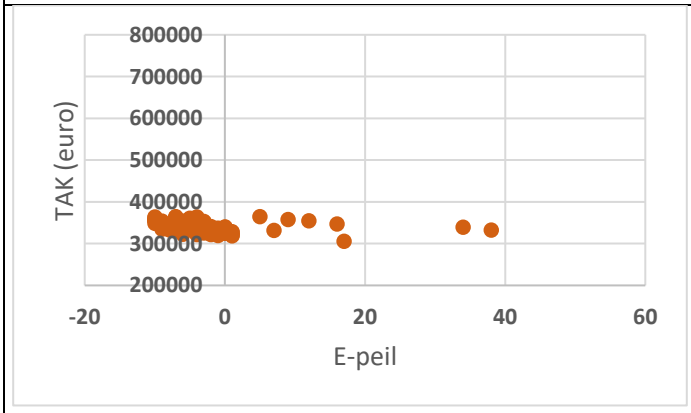


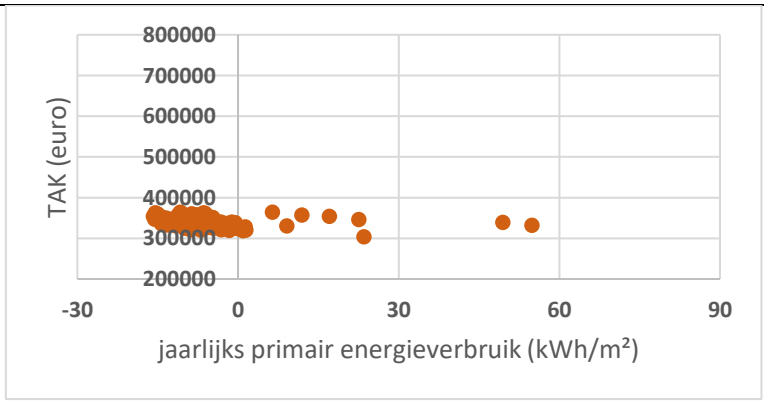




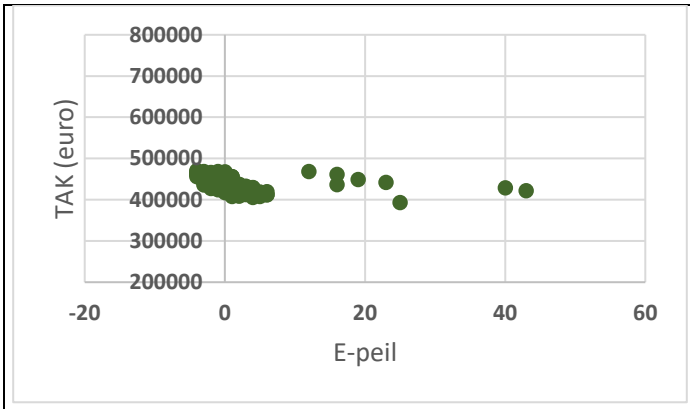


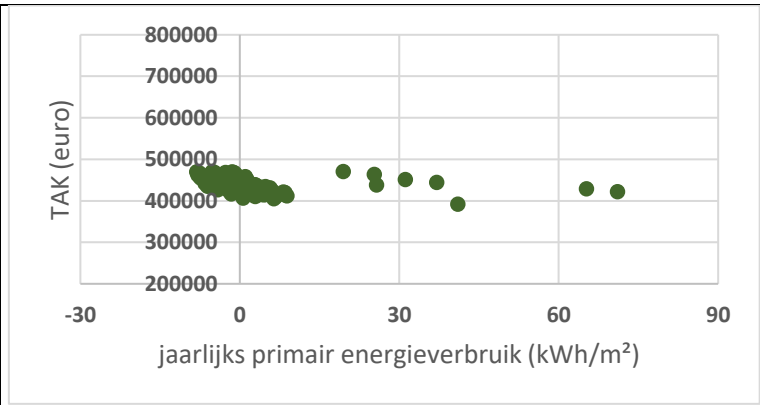


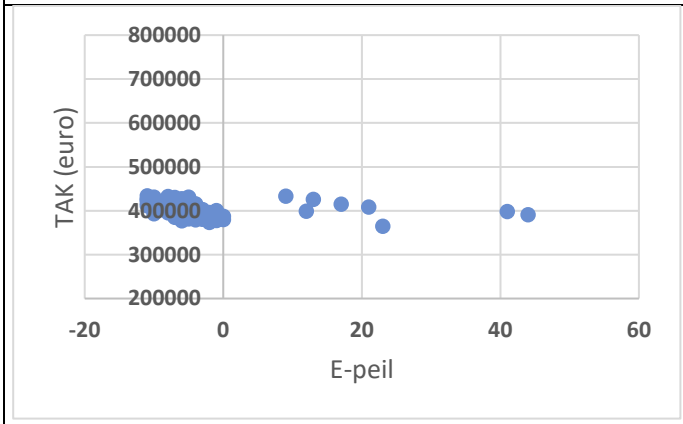


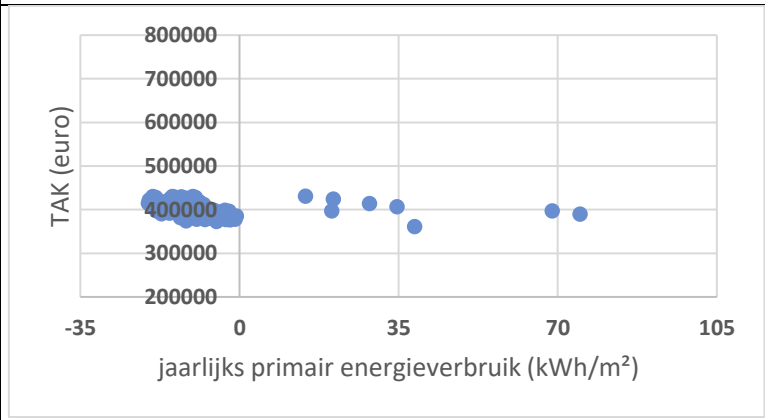


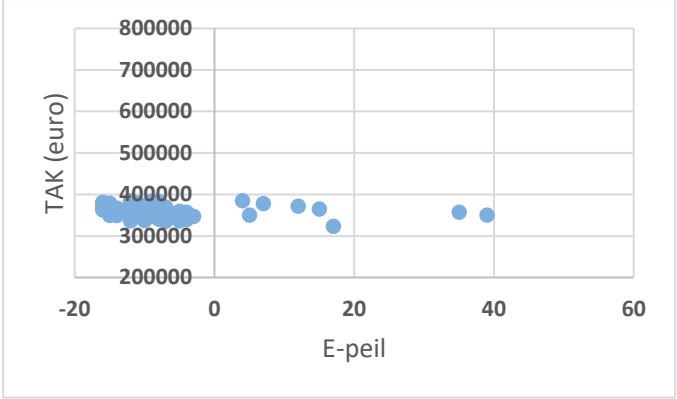
Cluster1, cases 8,11,15,17,21,22,29	

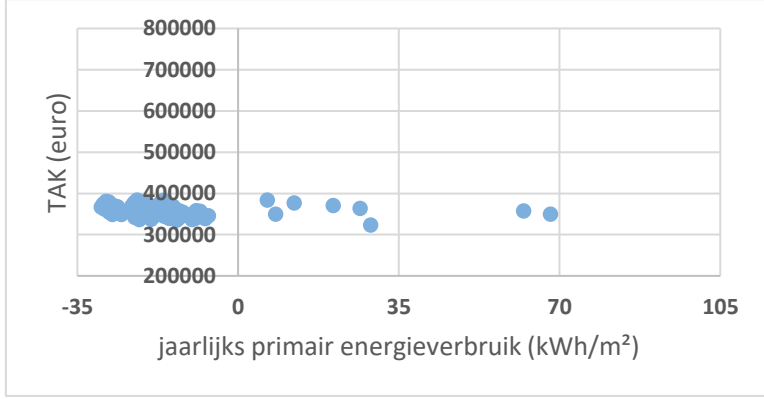

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

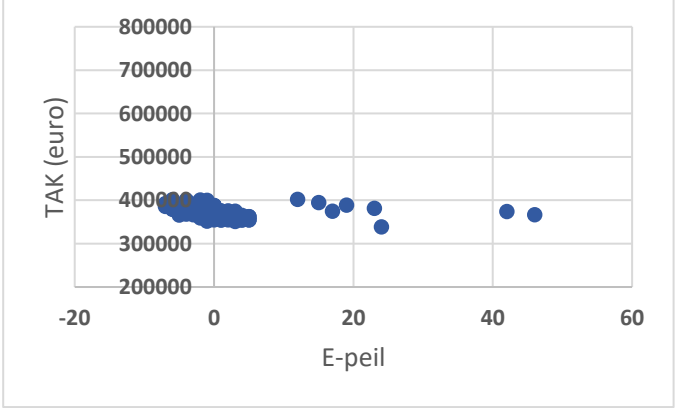

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-30
0
30
60
90
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

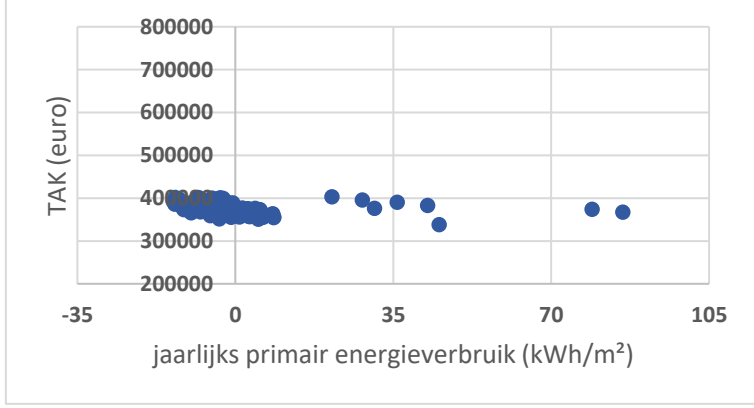

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

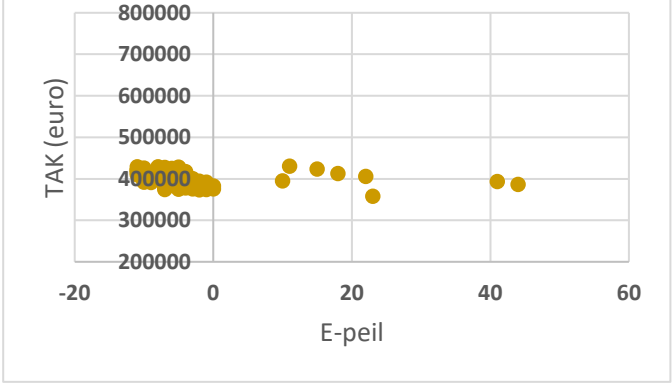

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

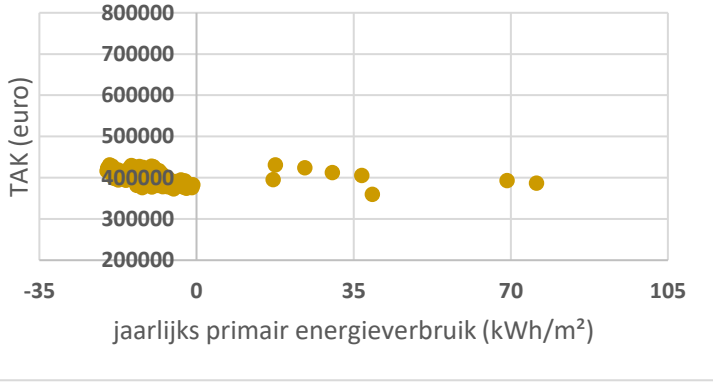

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

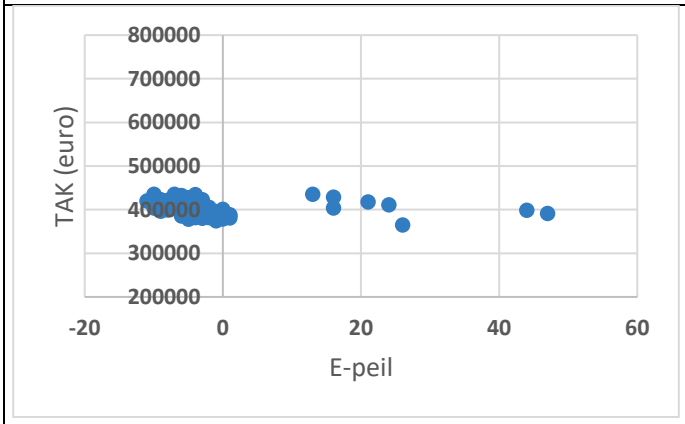

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

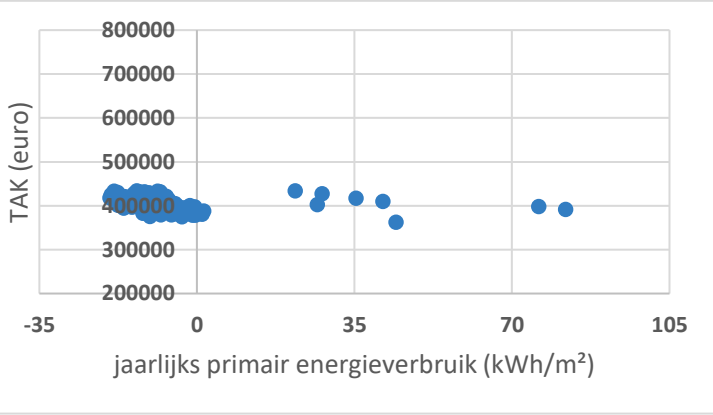

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

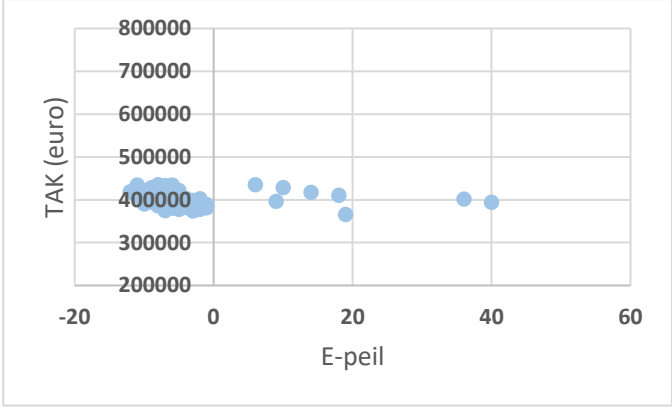

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

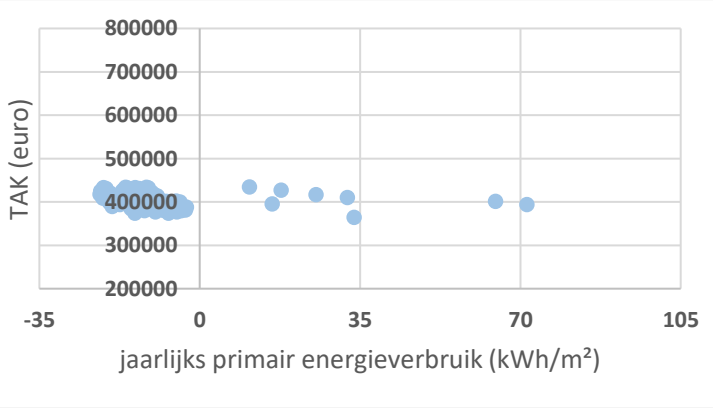




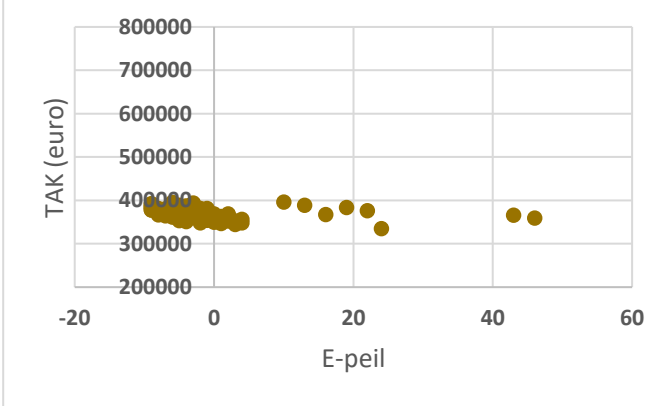


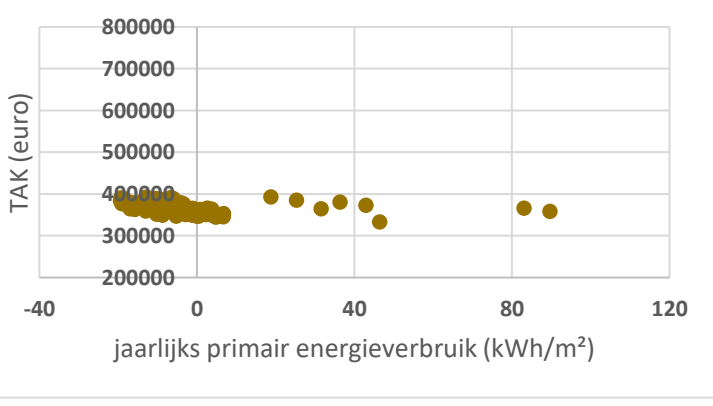


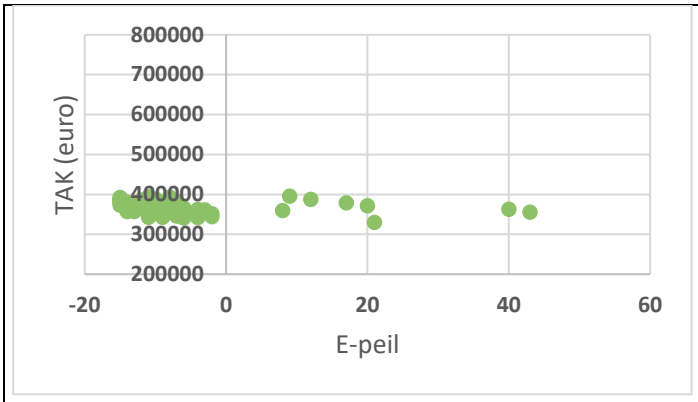


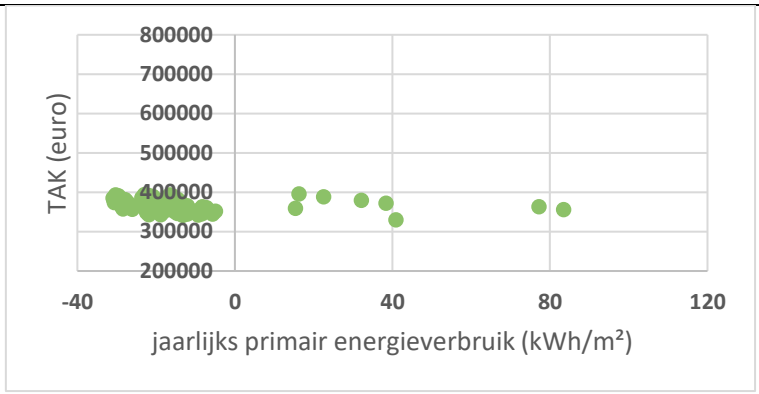


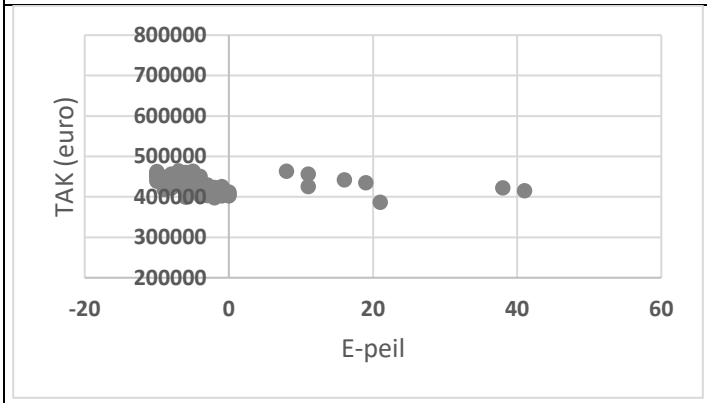
Cluster 0, cases 6,16,20,24,26,27,28

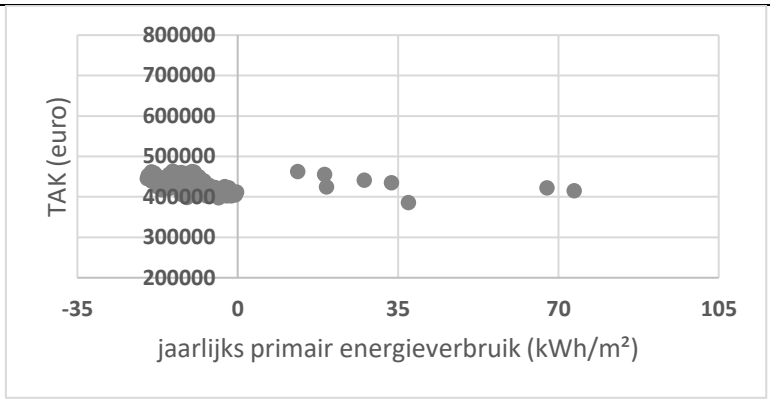


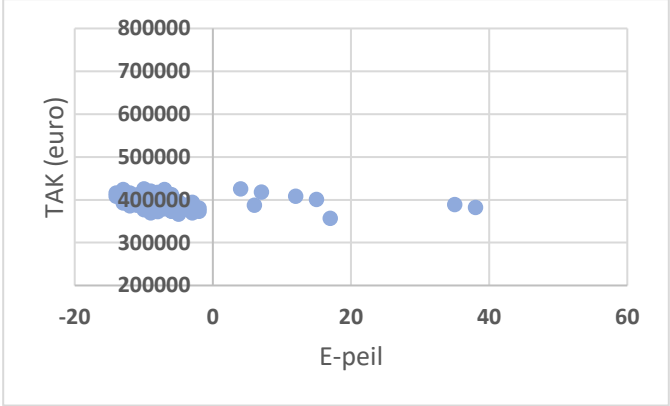


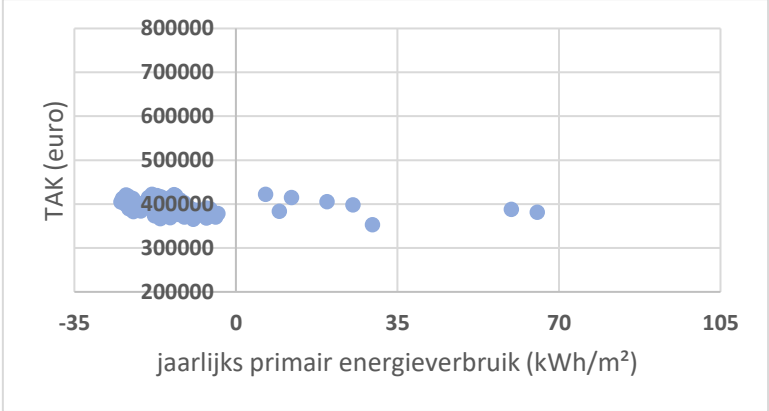

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

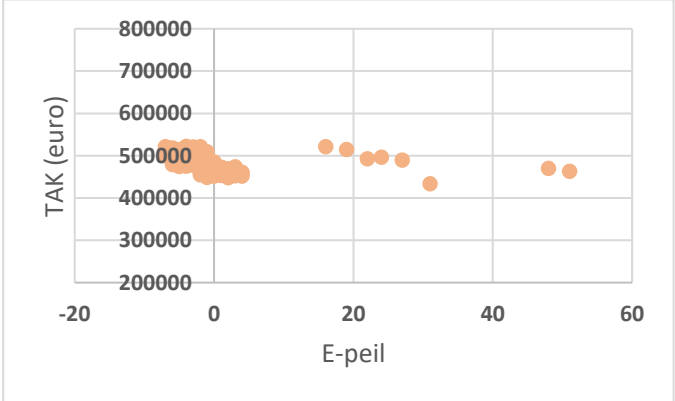

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-40
0
40
80
120
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

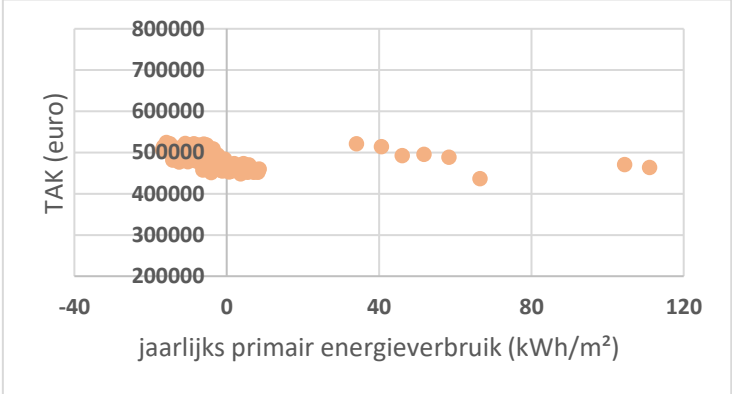

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

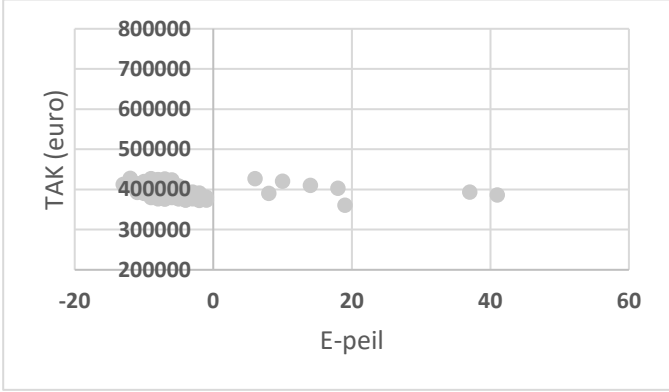

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

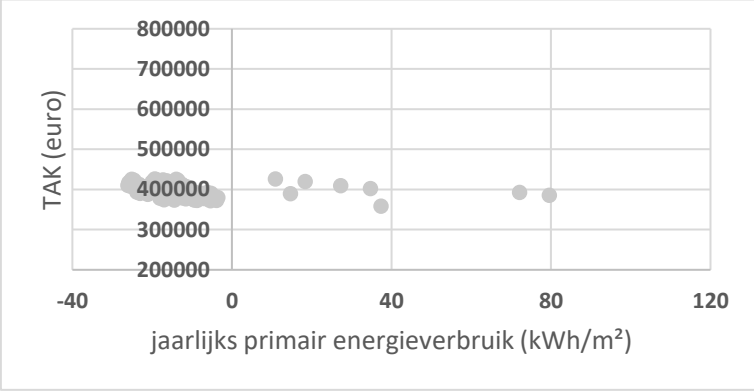

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil

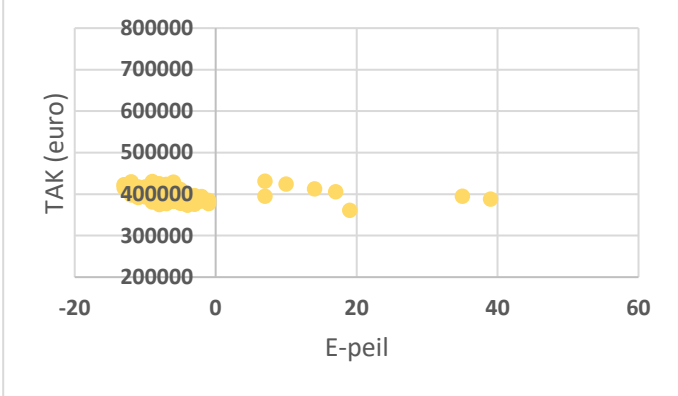

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-35
0
35
70
105
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

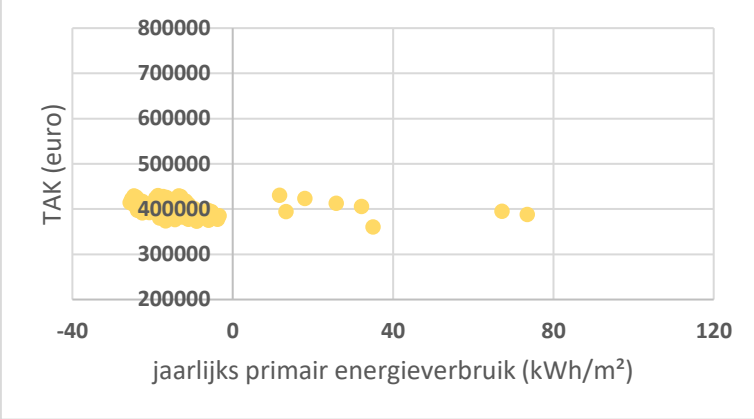

TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-20
0
20
40
60
E-peil


TAK (euro)
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
-40
0
40
80
120
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)


800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
TAK (euro)
-20
0
20
40
60
E-peil

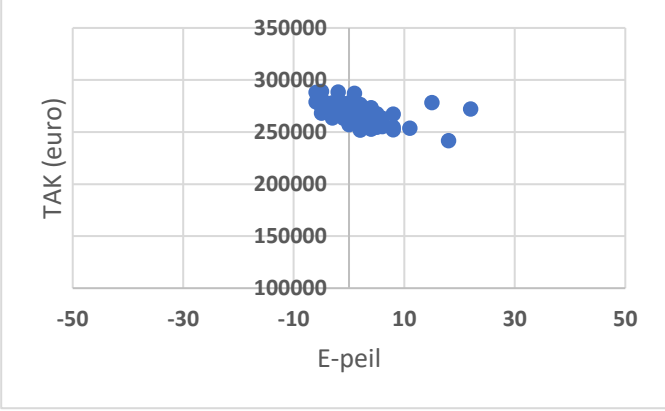
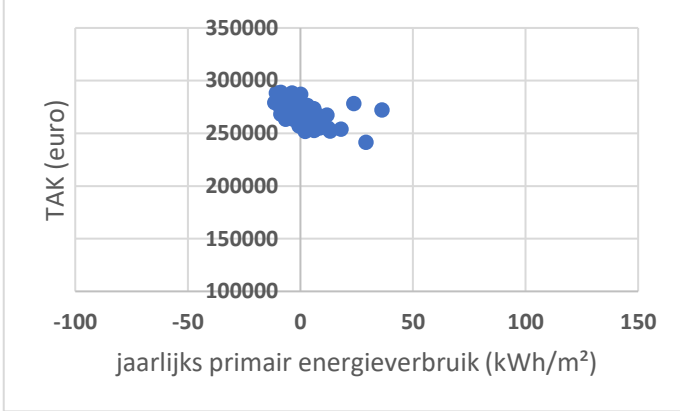
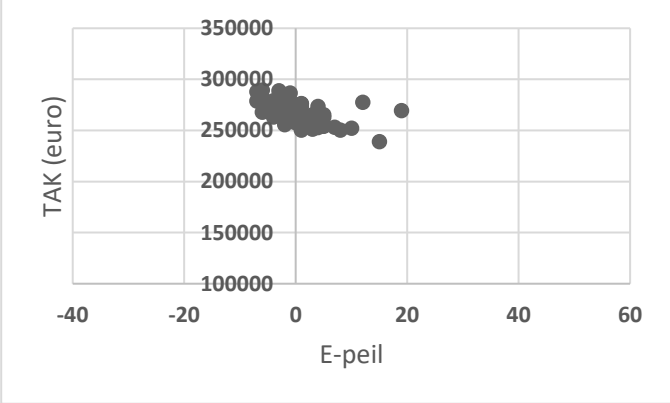
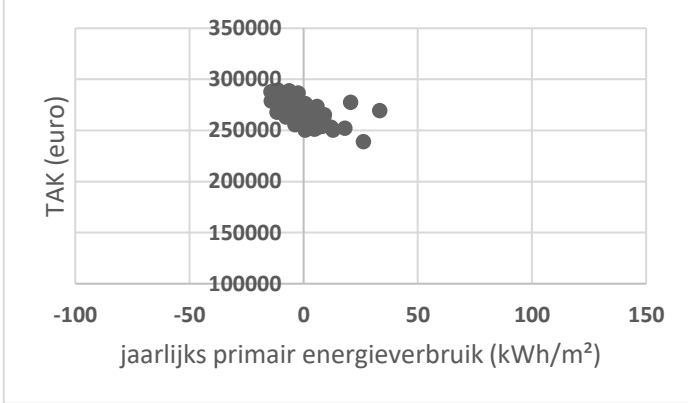
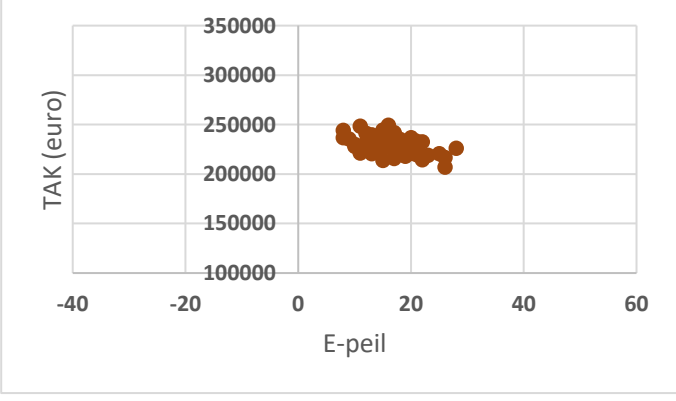
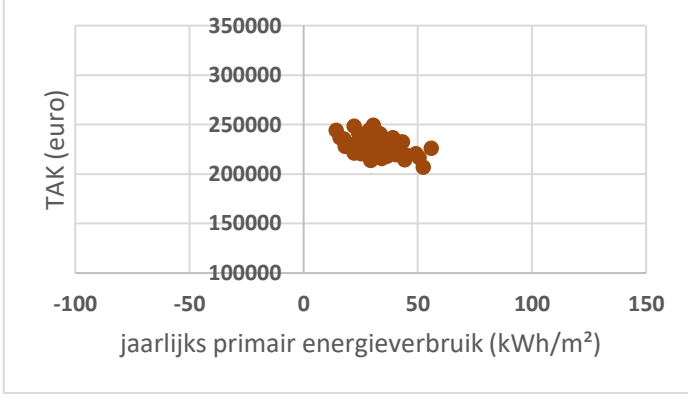

800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
TAK (euro)
-40
0
40
80
120
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

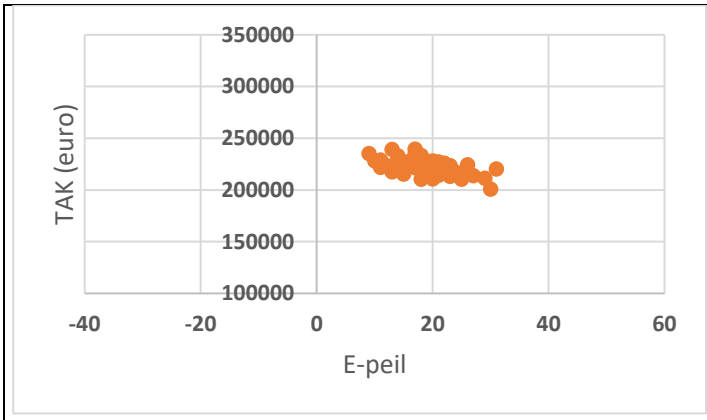

800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
TAK (euro)
-20
0
20
40
60
E-peil

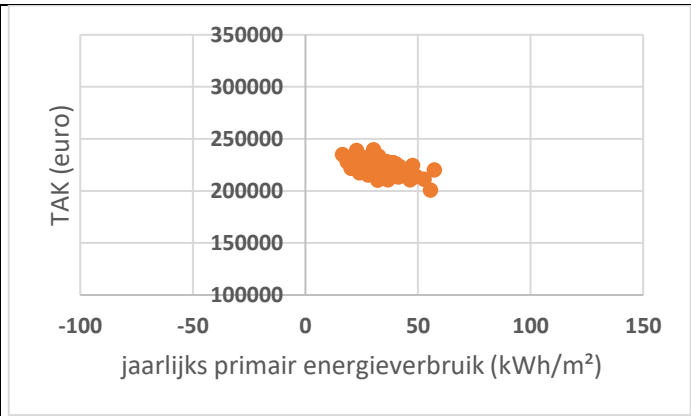

800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
TAK (euro)
-40
0
40
80
120
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

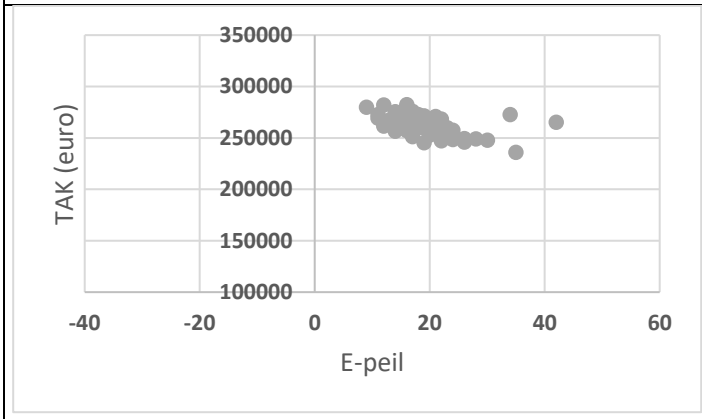
10 BIJLAGE B

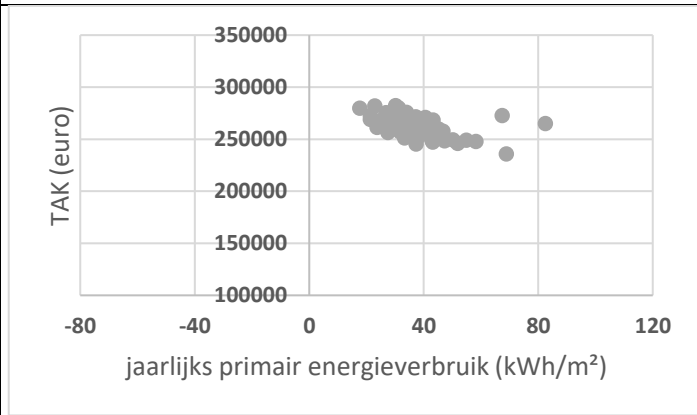
TAK in functie van E-peil en TAK in functie van primair energieverbruik per m² van alle maatregelpakketten per appartement (voor de macro-economische berekening).

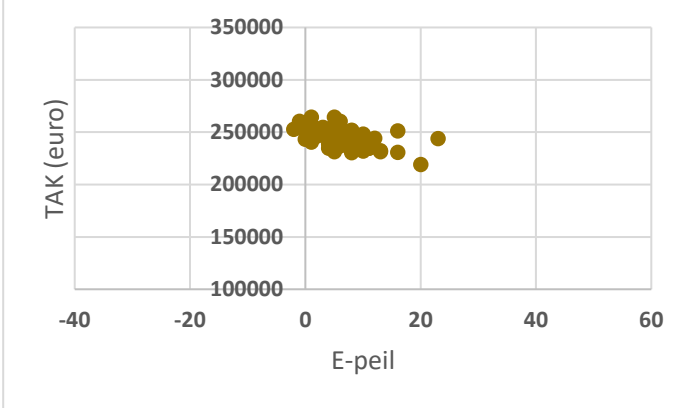
Appartementen uit gebouw met < 8 éénheden (enkel individuele installaties)	
	
	
	

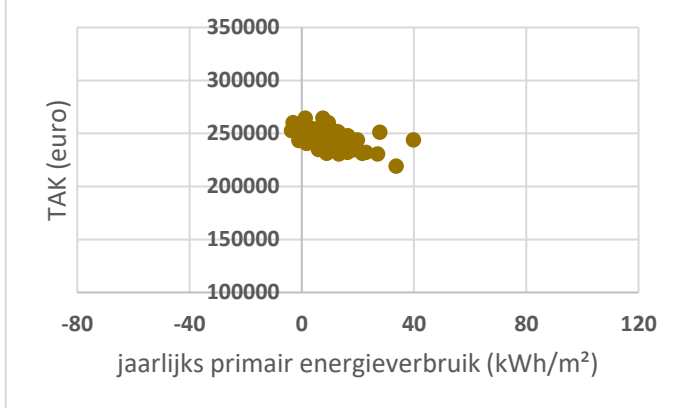

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

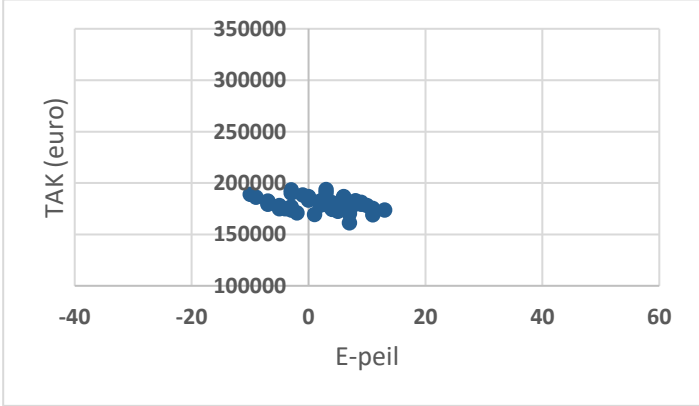

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-100
-50
0
50
100
150
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

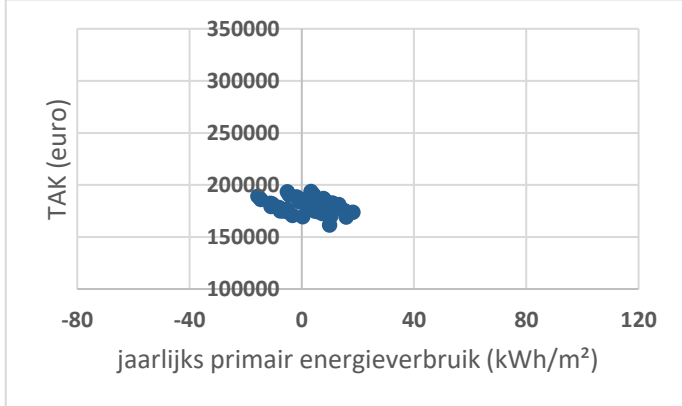

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

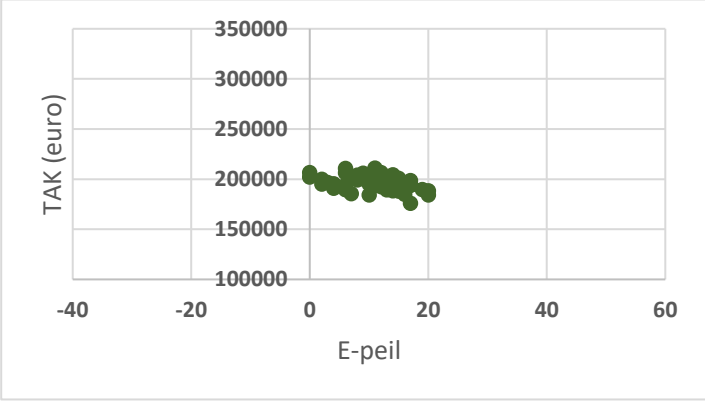

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-80
-40
0
40
80
120
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

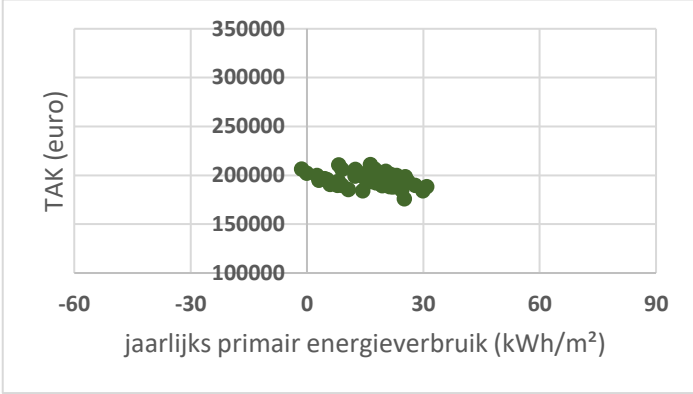

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

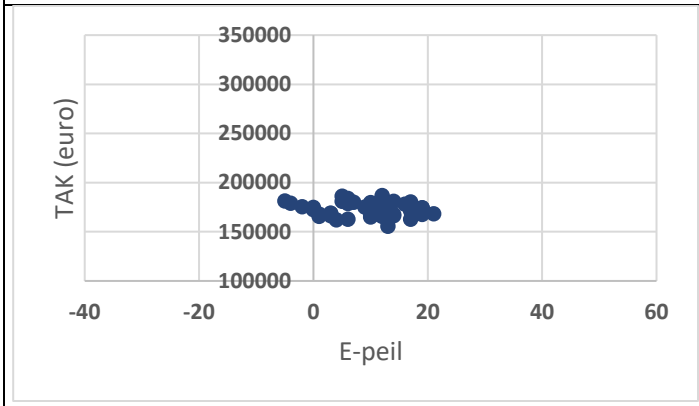

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-80
-40
0
40
80
120
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

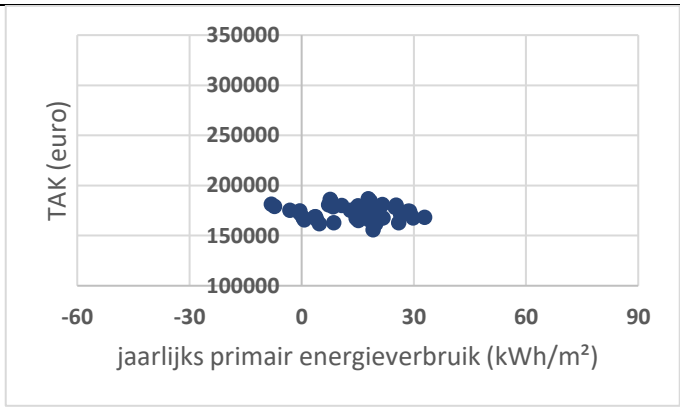

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil


TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-80
-40
0
40
80
120
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

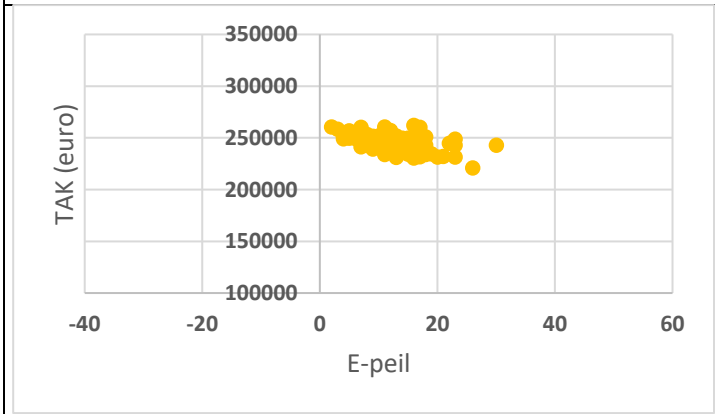


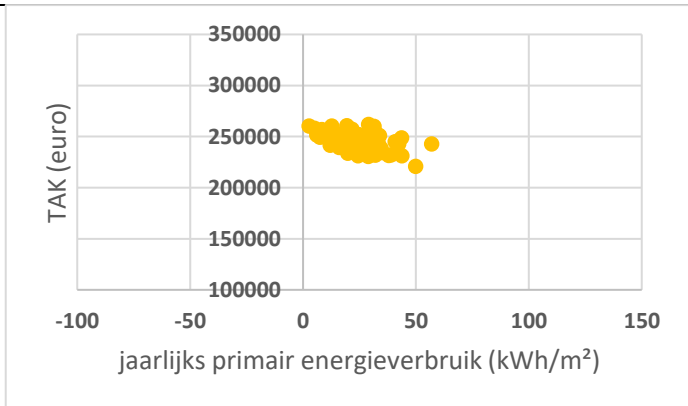


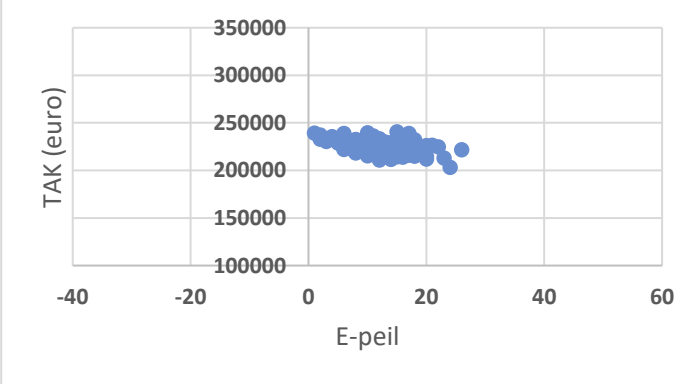


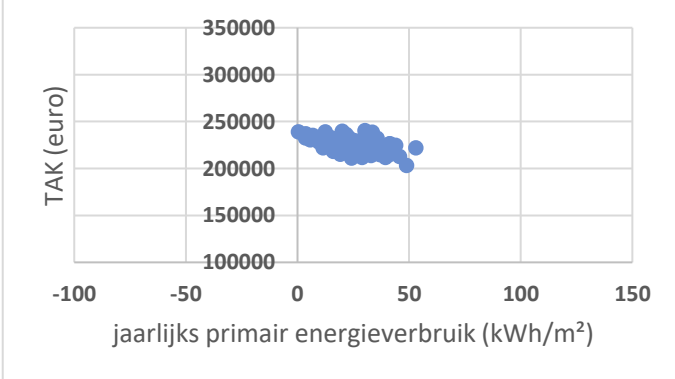


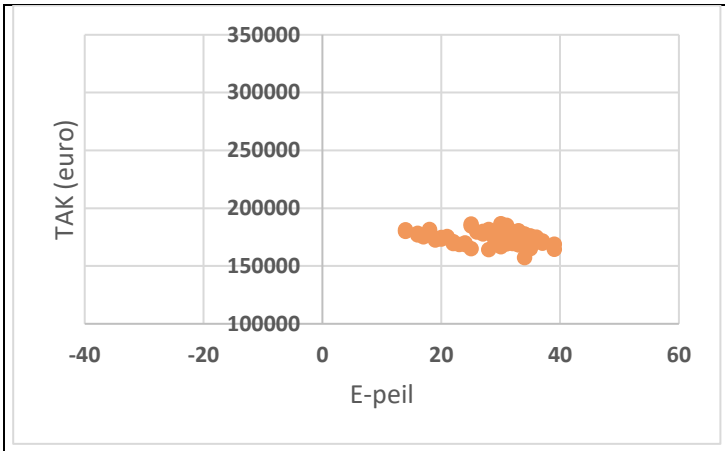
Appartementen in gebouw met >8 wooneénheden, individuele en collectieve installaties

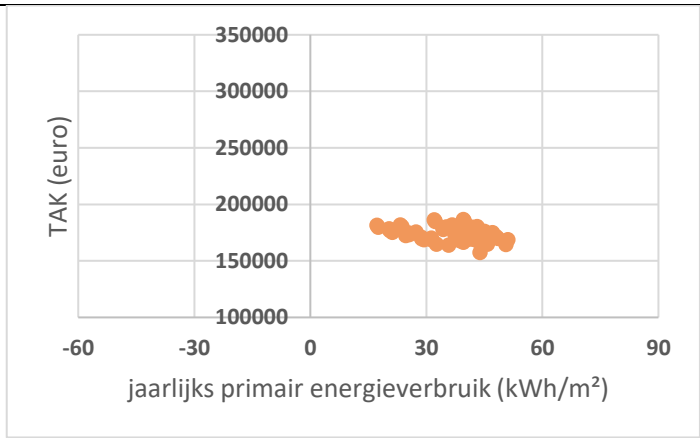


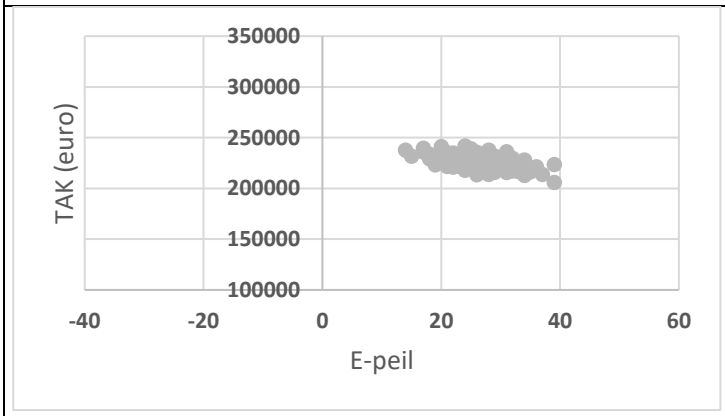


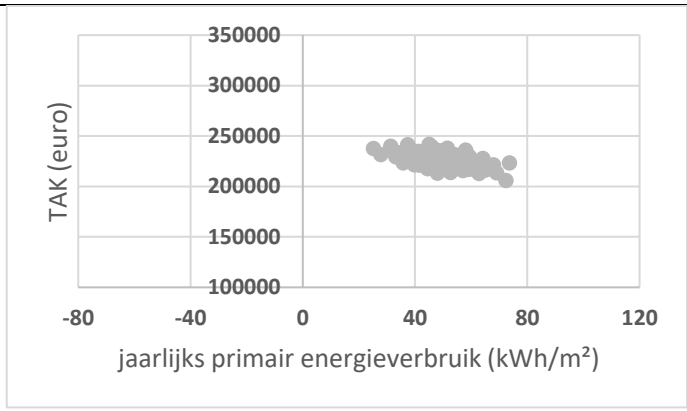


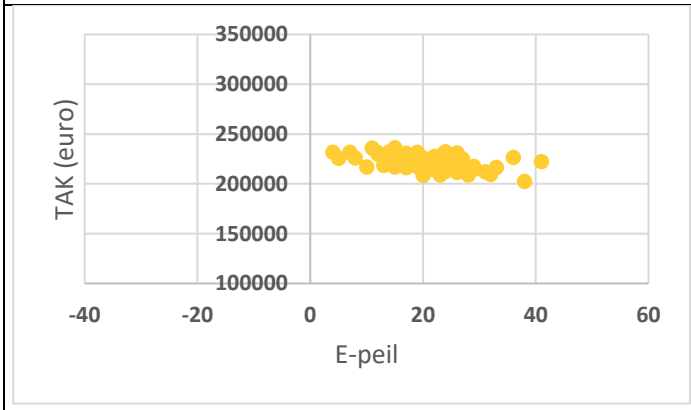


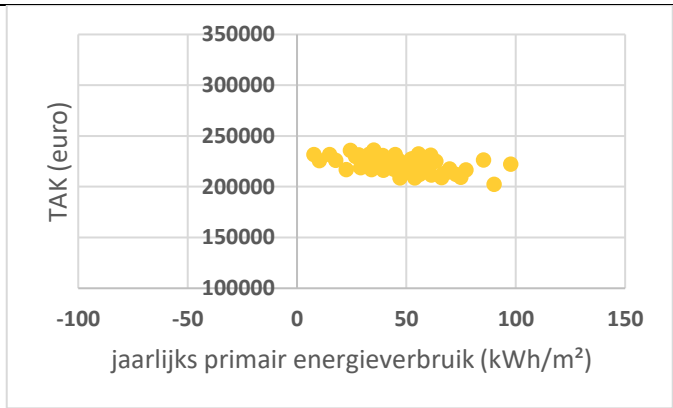

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

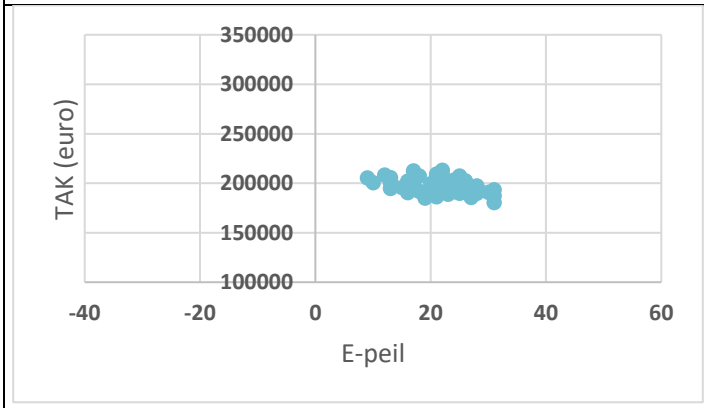

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-60
-30
0
30
60
90
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

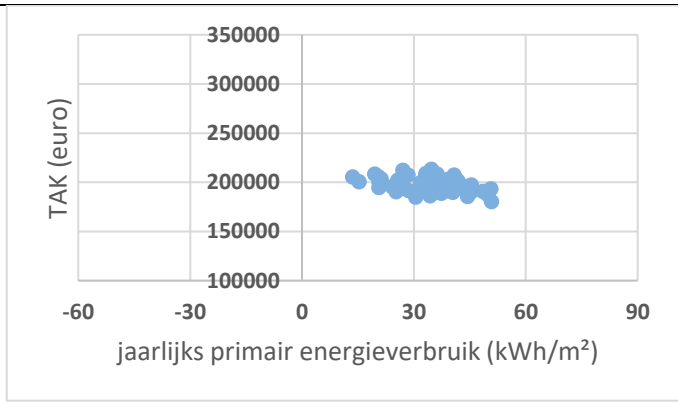

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

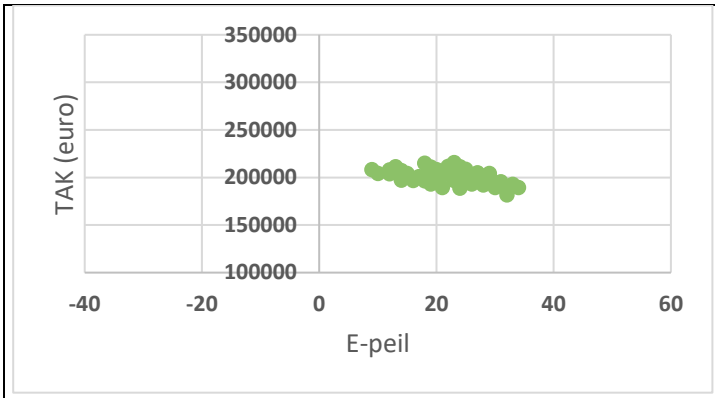

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-80
-40
0
40
80
120
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

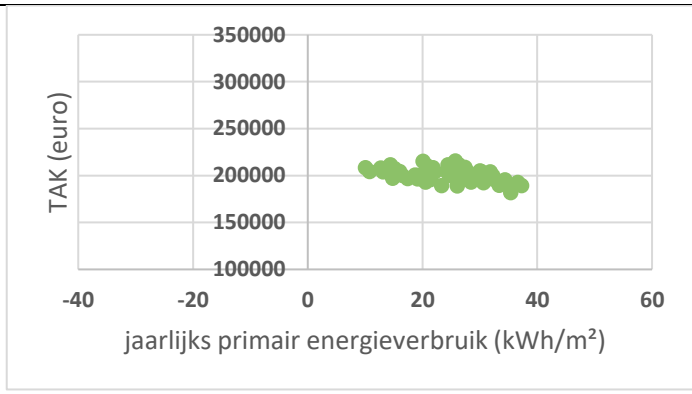

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

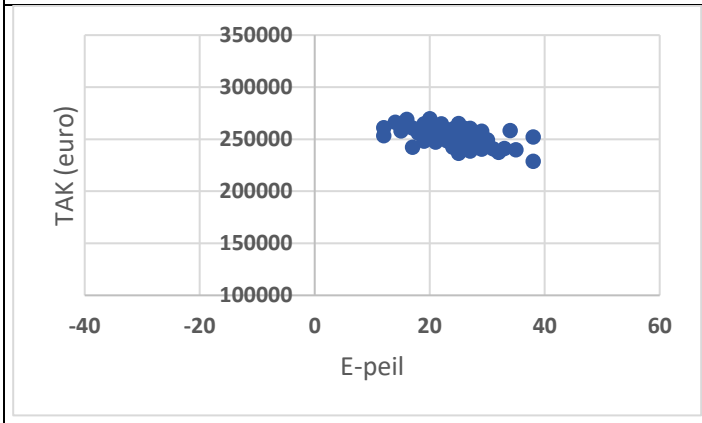

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-100
-50
0
50
100
150
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

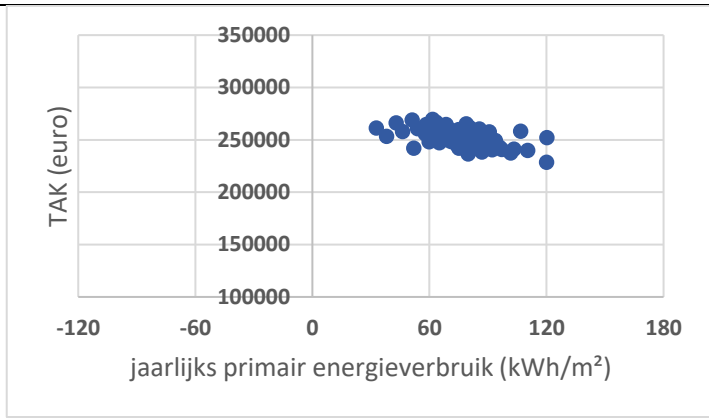

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

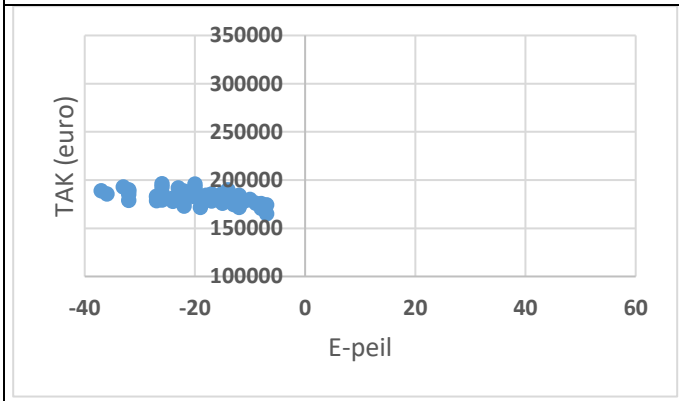

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-60
-30
0
30
60
90
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

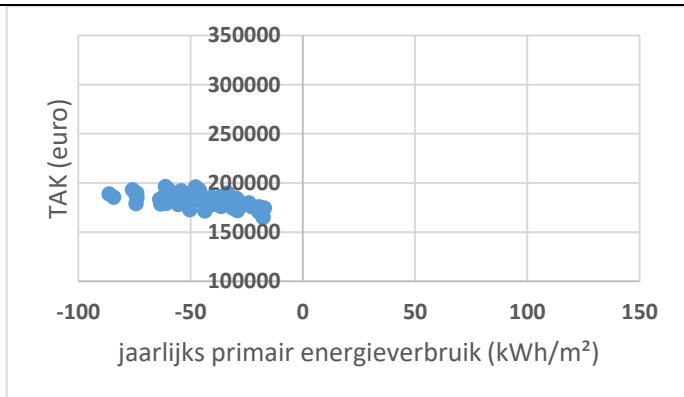

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

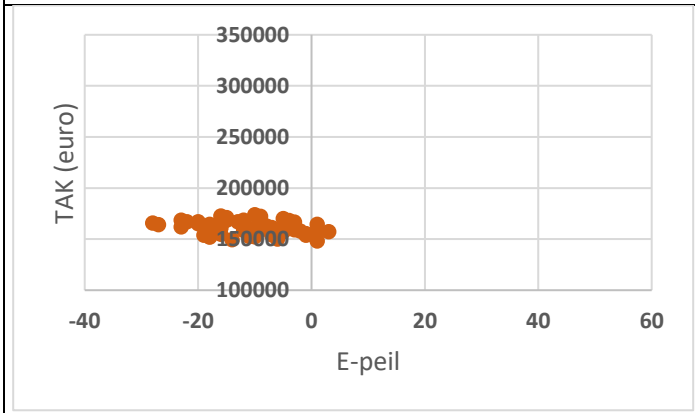

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

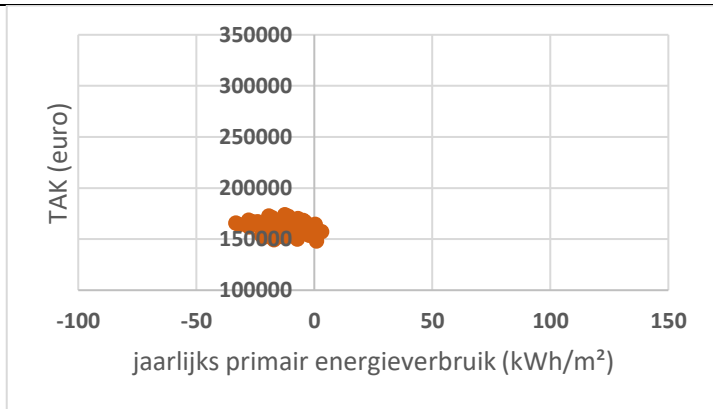

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

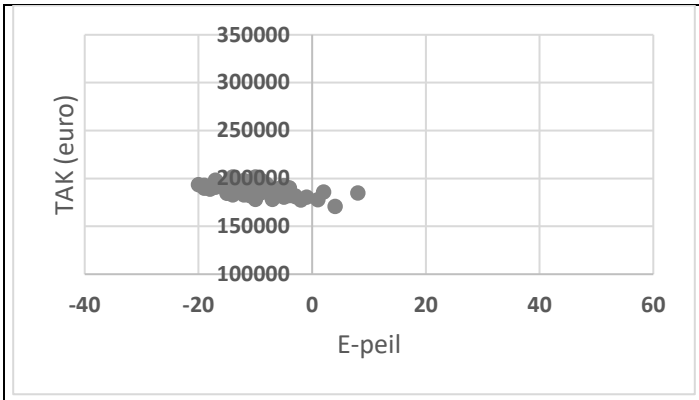

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-120
-60
0
60
120
180
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

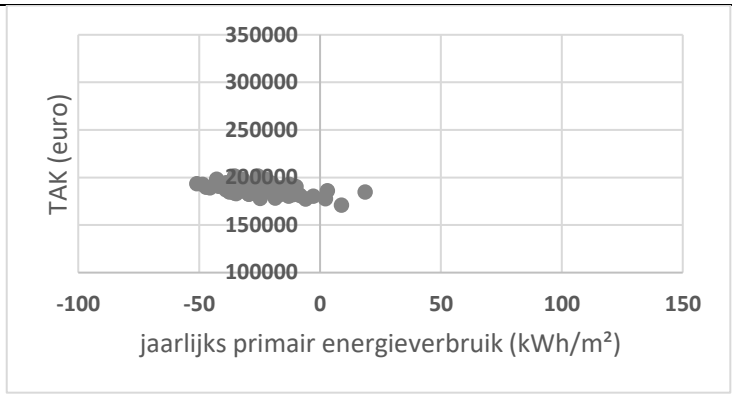

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

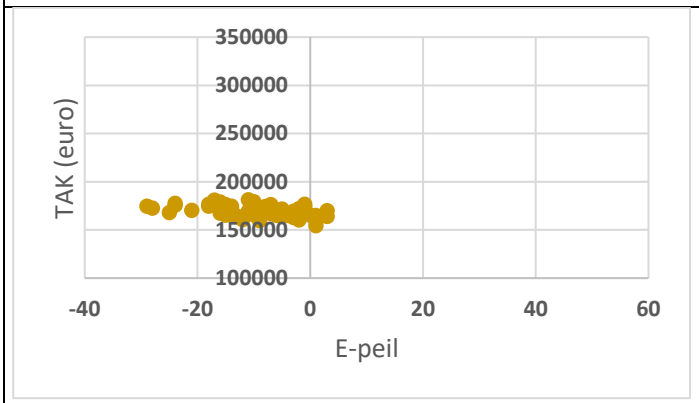

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-100
-50
0
50
100
150
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

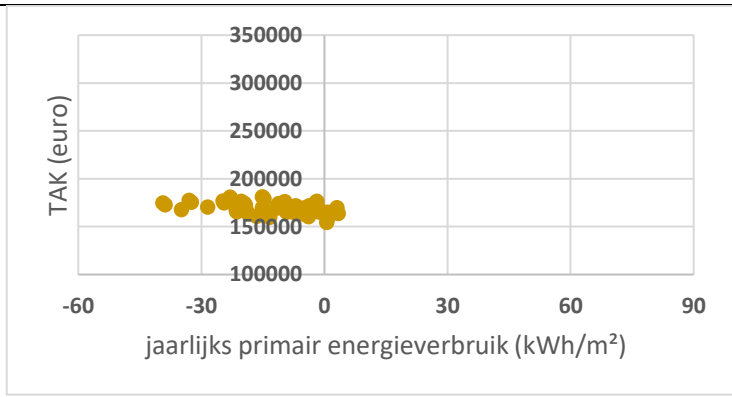

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil

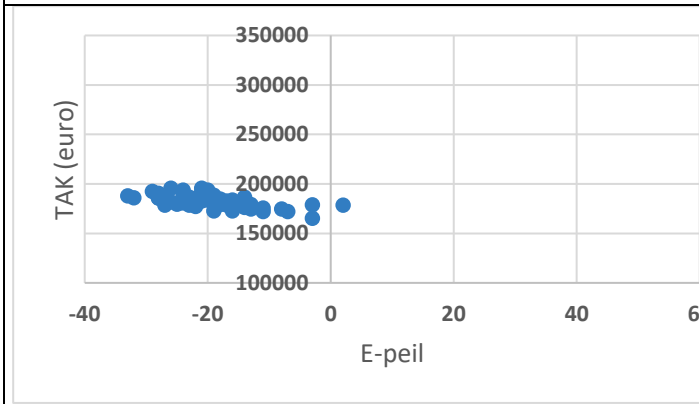

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-100
-50
0
50
100
150
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)

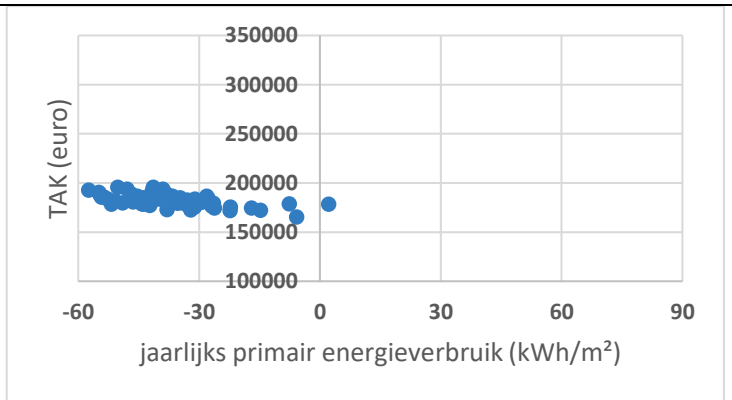

TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil


TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-100
-50
0
50
100
150
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)


TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil


TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-60
-30
0
30
60
90
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)


TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-40
-20
0
20
40
60
E-peil


TAK (euro)
350000
300000
250000
200000
150000
100000
-60
-30
0
30
60
90
jaarlijks primair energieverbruik (kWh/m²)