**Prof. A. Janssens**
Vakgroep **Architectuur en Stedenbouw**
Onderzoeksgroep **Bouwfysica, Constructie en Klimaatbeheersing**

| **uw kenmerk** | **ons kenmerk** | **datum** |
|---|---|---|
| | | 2013-02-22 |
| **contactpersoon** | **e-mail** | **tel. en fax** |
| M. Delghust | marc.delghust@UGent.be | **T** +32 9 264 3964<br>**F** +32 9 264 4185 |

**Onderzoek naar de relatie tussen het berekend energieverbruik in de EPB-aangifte en het reële energieverbruik op basis van enquêtegegevens**

***Onderzoek in opdracht van het Vlaams Energieagentschap***

***Uitgevoerd door de Universiteit Gent***

# 1. DEEL 1: OMSCHRIJVEND KADER

## 1.1 Situering

De EPB-methodiek heeft als voornaamste doel een kwaliteits-inschatting van en kwaliteits-stimulans voor gebouwen te bieden, zowel op vlak van energiegebruik als op vlak van binnenklimaat. De semi-stationaire rekenmethode steunt vnl. op de basisprincipes van de warmtebalans van een woning en de rendementen van de geïnstalleerde technieken, onder gestandaardiseerde randcondities en mits bepaalde vereenvoudigingen (bijv. quasi-steady-state berekening, mogelijkheid tot gebruik van waarden bij ontstentenis). De vereenvoudigingen zijn noodzakelijk om de rekentool flexibel en hanteerbaar te houden binnen het kader van de Vlaamse bouwpraktijk. De gestandaardiseerde randcondities zijn noodzakelijk voor een genormaliseerde kwaliteitslabelling van de gebouwen op zich, zodat de impact van ontwerpkeuzes evalueerbaar zijn en aftoetsbaar aan door de overheid opgelegde eisen. Wanneer de EPB-aangifte daarentegen als kwantitatieve inschattingstool gebruikt zou worden voor het energiegebruik van een gebouw onder specifieke, werkelijke randcondities, kunnen de resultaten aanzienlijk afwijken van de realiteit doordat deze genormaliseerde randcondities zelf de specifieke werkelijkheid soms onvoldoende benaderen. Een kwantitatieve inschatting van het energiegebruik is nochtans belangrijk, zowel om financiële redenen (bijv. berekening van terugverdientijden) als om ecologische redenen (bijv. bepaling van de CO2-emissies). Deze financiële en ecologische factoren zijn bovendien zowel belangrijk voor de private bouwer en bewoner van de woning als voor overheidsinstellingen en beleidsmakers.

## 1.2 Probleembeschrijving

Om de relatie te onderzoeken tussen het berekend energiegebruik volgens de EPB-methodiek en het reële energiegebruik, is het noodzakelijk de punten te kennen waarop de rekenmethodiek afwijkt van de werkelijkheid: de vereenvoudigingen en standaardisaties. Deze bevinden zich niet enkel op bouwtechnisch vlak (bijv. statistische waarden van materiaaleigenschappen, uitvoeringskwaliteit,…). Veelal is het belangrijkste aandeel van de afwijking te vinden in verschillen tussen de theoretische (gestandaardiseerde) en reële randvoorwaarden binnen en buiten het gebouw.
De belangrijkste afwijkingen voor de beschouwde randvoorwaarden van de buitenomgeving, moeten gezocht worden in de variabiliteit van het buitenklimaat. Data hierover kunnen vergaard worden via de weerstations. De correctie via graaddagen is hierbij een veel beproefde methode, maar ook andere factoren, zoals werkelijke zonne-instraling, kunnen mee in rekening gebracht worden.
De belangrijkste afwijkingen voor de randvoorwaarden ín het gebouw moeten gezocht worden bij de gebruiker zelf. De gebruiker is immers doorslaggevend zowel voor het energiegebruik voor ruimteverwarming als voor sanitair warm water alsook voor de overige elektrische verbruiken. Deze afwijkingen kunnen slechts overbrugd worden a.d.h.v. metingen in-situ (bijv. van binnenklimaat en warm water verbruik) en/of a.d.h.v. bewonersenquêtes. Binnen dit onderzoek wordt er geopteerd voor de bewonersenquêtes, die toelaten om een veel grotere sample aan gegevens over de binnenomgeving te verzamelen met minder tijd en middelen dan een in-situ meetcampagne.
Terwijl hiermee de afwijkingen voor de beschouwde binnen- en buitenrandcondities tussen de EPB-methode en de reële situatie in kaart gebracht kunnen worden, blijft ook nog het probleem over van de analyse van de werkelijke energiegebruikgegevens. Deze zijn veelal enkel op jaarbasis beschikbaar, per energieteller, terwijl meerdere verbruiksposten (bijv. verwarming, sanitair warm water, koken) worden ingevuld door technieken die op eenzelfde energiedrager en dus ook eenzelfde teller staan (bijv. gas- of electriciteitsteller). Een adequate verwerking, normalisatie en opsplitsing van deze verbruiksgegevens is noodzakelijk om een correcte vergelijking met de theoretische berekeningen mogelijk te maken. Immers, de afwijkingen tussen theoretische en werkelijke randcondities hebben niet

in dezelfde mate een invloed op het energiegebruik van de verschillende verbruiksposten (bijv. effect van buitenklimaat op verwarming t.o.v. op sanitair warm water). De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van deze analyses zal afhangen van de nauwkeurigheid van de verbruiksgegevens (o.a. frequentie en meetperiode), de opsplitsing van de verschillende verbruiksposten t.o.v. de energielevering en –tellers (bijv. verwarming, sanitair warm water en koken op gas, electriciteit,…), de beschikbare aanvullende data uit enquêtes en metingen (bijv. aantal personen, bezettingsprofielen, klimaatgegevens…) en de kennis en ervaring van de onderzoeker bij het kritisch analyseren van al deze data in relatie tot mekaar.
Hieruit blijkt duidelijk dat complexiteit binnen de problematiek van het verschil tussen werkelijk en theoretisch energiegebruik zich niet enkel bevindt op vlak van de rekenmethode zelf en de kennis ervan, maar ook op vlak van het correct vergaren en analyseren van zeer uiteenlopende, maar sterk gecorreleerde data.

### 1.3 Context-illustratie

Ter illustratie van de context en de problematiek, worden in onderstaande figuren energieverbruiken voor verwarming getoond uit twee uiteenlopende wijken: een oude wijk uit de jaren zestig en een nieuwbouwwijk gebouwd circa 2006-2008 (na de invoer van de eerste EPB-rekenmethode) (Fig. 1 & Fig. 2 (a),(b),(c),(d)). Beide wijken zijn, elk afzonderlijk, samengesteld uit quasi-identieke woningen. Ze steunen telkens op eenzelfde grondplan en zijn in korte tijd gebouwd door eenzelfde architect en aannemer. De (beperkte) variaties in de theoretische verbruiken zijn vnl. toe te kennen aan het voorkomen van enkele halfopen bebouwingen (einde van huizenrijen), aan de spreiding in oriëntatie (huizen aan weerszijde van elke straten) en, vnl. wat de oude wijk betreft, aan de heel beperkte renovatie-ingrepen (o.a. sporadisch voorkomen van dubbel glas en spreidingen in luchtdichtheid). Het verzamelen en analyseren van deze data vond plaats in het kader van een lopend doctoraatsonderzoek aan de UGent, ism het VITO [7][8][9]. Binnen dit kader zijn metingen uitgevoerd op de gebouwen zelf (o.a. luchtdichtheidsmetingen) en op het binnenklimaat (temperatuur, luchtvochtigheid, CO2). Deze metingen zijn aangevuld met data verzameld a.d.h.v. enquêtes. Bevindingen hieruit zijn vervolgens verwerkt in theoretische berekeningen a.d.h.v. zowel de EPB-methode als van een eigen, aangepaste rekenmethode. De analyses op deze wijken houden m.a.w. een andere aanpak in dan bij deze opdracht en zijn voorlopig uitgevoerd op minder performante woningen, maar bieden net daarom een goede illustratie van de problematiek en de uitdagingen. Ter referentie, is in Fig. 1 met een rode stip aangeduid waar de steekproef uit dit rapport zich situeert t.o.v. de twee wijken.
Het meest opvallend bij deze wijken is:

- De overschatting van de energievraag voor verwarming, vooral voor de oude wijk. (Fig. 2 (a))
- De grote spreiding van het werkelijk energieverbruik. (Fig. 2 (b))
- Het hierop volgend lager verschil in energieverbruik tussen de oude en de nieuwe wijk dan verwacht wordt volgens de EPB-methode. (Fig. 2 (c))
- De grote mogelijke spreiding en onzekerheid op vlak van reële energiebesparing wanneer hiernaar gekeken wordt op niveau van de individuele woning. (Fig. 2 (d))

Een groot stuk van de afwijkingen en spreidingen op vlak van energieverbruiken, kunnen worden toegekend aan vereenvoudigingen in de rekenmethode en de variatie in gebruikersgedrag. Ter illustratie zijn in Fig. 1 ook de theoretische verbruiken opgenomen volgens een verbeterde methode, die rekening houdt met o.a. de zonering binnen het gebouw en het individueel stookgedrag. Aangezien de grotere variatie in gebouwen binnen de steekproef van deze opdracht, zal de spreiding op vlak van werkelijk energieverbruik en op vlak van afwijkingen tussen werkelijk en theoretisch energieverbruik hier evenzeer aanzienlijk zal zijn. Gezien de andere aanpak van deze opdracht (o.a. geen in-situ metingen) en de toevoeging van extra verbruiksposten, bovenop deze voor verwarming (o.a. sanitair warm water, hulpenergie, huishoudelijk electriciteitsverbruik), zal de complexiteit hier nog groter zijn en zullen andere analyse-methodes toegepast worden. De kennis, door de onderzoekers opgedaan o.a. in het kader van de hier vermelde wijk-analyses, zal weliswaar sterk bijdragen aan de analyses en de interpretatie van de resultaten.

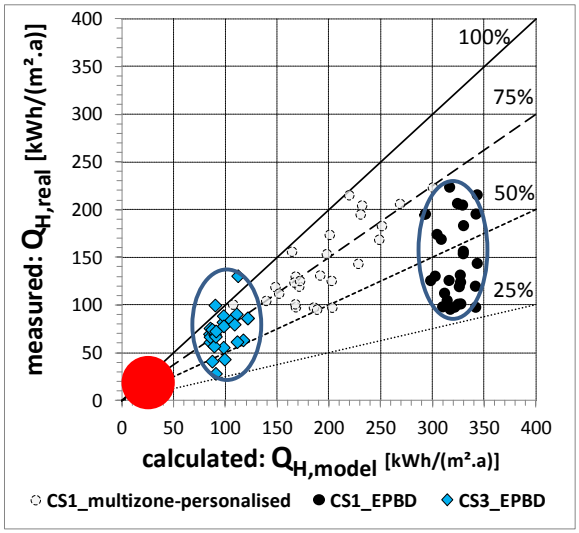


Fig. 1: werkelijk vs. theoretisch energieverbruik voor verwarming in 2 wijken [kWh/(m².j)]
illustratie uit doctoraatsonderzoek M.Delghust (UGent-VITO-FWO) [7][8][9]
*Licht-grijs: aangepaste rekenmethode, rekening houdend met gebruikersgedrag en zonering.*
*In rood: indicatie van de steekproef uit dit project.*

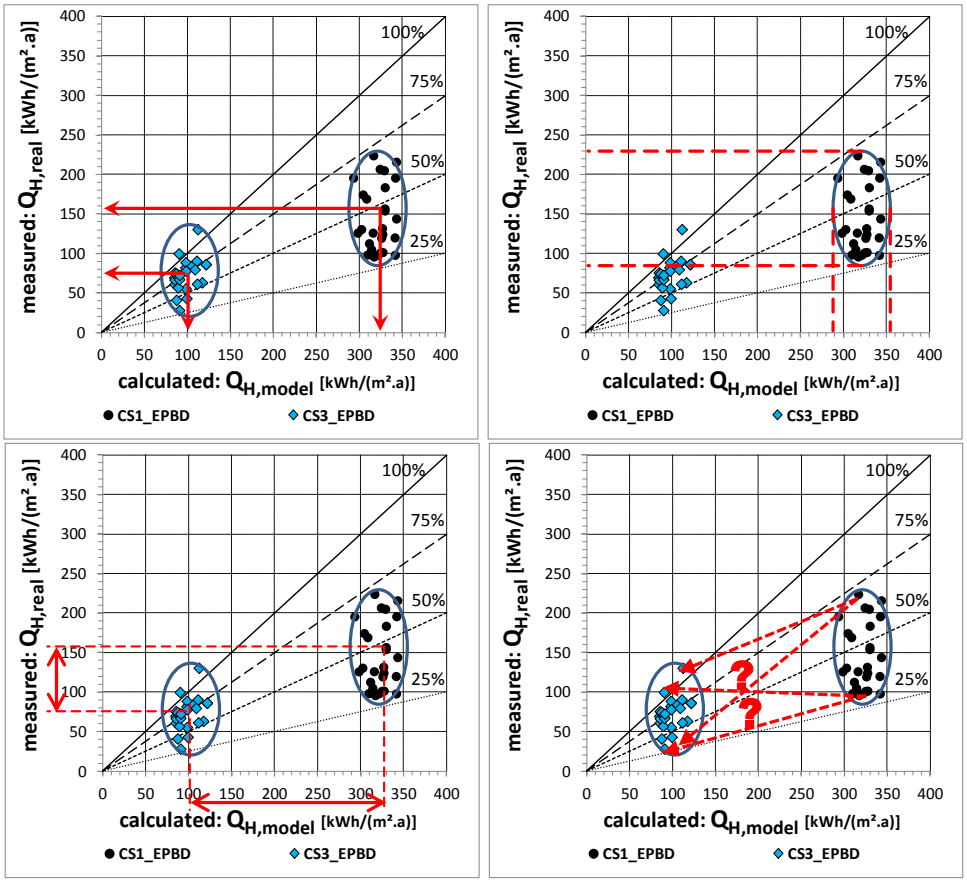


Fig. 2 werkelijk vs. theoretisch energieverbruik voor verwarming [kWh/(m².j)]
illustraties uit doctoraatsonderzoek M.Delghust (UGent-VITO-FWO) [7][8][9]
Verbruik: (a) afwijking, (b) spreiding en onzekerheid
Besparingspotentieel: (a) afwijking, (b) spreiding en onzekerheid

## 1.4 Projectomschrijving

Dit onderzoek werd uitgevoerd door de Universiteit Gent (UGent), in opdracht van het Vlaams Energieagentschap (VEA), op basis van data die door het VEA aan de UGent ter beschikking werden gesteld. Deze data werden vergaard vóór aanvang van dit project, in een samenwerkingsverband tussen het VEA en het bedrijf IPSOS.

### 1.4.1 Voorafgaande dataverzameling ('fase 0')

1850 gezinnen werden aangesproken om deel te nemen aan dit onderzoek. De selectie van deze 1850 cases werd uitgevoerd door het VEA op basis van data uit de EPB-database. De criteria voor deze selectie waren:

- De datum van ingebruikname van de woning: om bruikbare verbruiksdata te hebben, moeten de woningen minstens reeds 2 jaren in gebruik zijn.
- Maximum E-peil E70: de woningen moeten voldoen aan de huidige E-peil-eis.
- De woningen moeten beschikken over een individuele verwarmingsinstallatie.
- Geldigheid van het EPB-dossier:
    - De woningen moesten voldoen aan alle EPB-eisen die hen opgelegd waren en geen handhavingsdossier hebben.
    - Het hulpenergieverbruik uit EPB mocht niet nihil zijn.
    - Het energieverbruik voor sanitair warm water mag niet nihil zijn.

De bevraging werd opgesteld in een samenwerking tussen het VEA en het privé-bedrijf IPSOS. IPSOS stond vervolgens in voor het afnemen van de enquête -via papieren en online-formulieren-, het verzamelen van de antwoorden en het samenvoegen van de enquête-data in één digitaal eindbestand.
In geval het bevraagde gezin in de enquête zijn toestemming gaf om zijn verbruiksgegevens op te vragen bij de nutsmaatschappijen (Infrax en Eandis), werden deze vervolgens opgevraagd door het VEA.
Deze enquête- en verbruiksdata werden door het VEA verder aangevuld met data over de woningen, komende uit de EPB-database.
Deze 3 dataclusters (enquête, verbruiksgegevens en EPB-gegevens) werden vervolgens door het VEA in Excel-formaat overhandigd aan de UGent. Van de enquête-data werd ook een bestand in SPSS-formaat overhandigd.

### 1.4.2 Onderzoek (fases 1, 2, 3, 4)

Het onderzoek vond plaats in 4 opeenvolgende fases:

1) de controle en herformattering van de **dataset**
2) de beschrijving en analyse van de woningen en de huishoudens uit de **sample** en van de onderlinge verbanden tussen woningen en huishoudens
3) het opstellen van de **onderzoeksmethodologie** voor de analyse van het energieverbruik en de nodige voorberekeningen
4) de **analyse van het werkelijk energiegebruik en de afwijking** tussen het werkelijk energiegebruik en het geschatte verbruik volgens de EPB-berekening.

Deze 4 fases worden hieronder besproken.

# 2. DEEL 2: DATASET (fase 1)

In dit deel van het rapport wordt de voorverwerking van de dataset beschreven. Bij de verkenning van de dataset werden immers tegenstrijdigheden en tekortkomingen tegengekomen. Hieronder wordt kort omschreven hoe men hiermee is omgegaan.

## 2.1 ALGEMENE WERKWIJZE

### 2.1.1 Foutieve codering

Naast de data zelf, ontving de UGent bij aanvang van dit project een document dat de vragen samenvat alsook de codes die bij de online enquêtering gebruikt zijn. Hierin staat beschreven welke vragen al dan niet gesteld werden in functie van eerdere antwoorden, welke mogelijke antwoorden er waren (bijv. een keuzelijst of begrensde invoer) en welke standaardcodes gebruikt werden in geval van ontbrekende invoer (meestal “99.999”). Bij de eerste analyses op de dataset, bleek er een belangrijk aantal tegenstrijdigheden te zijn tussen de dataset en de formulering in dit beschrijvend document. Bepaalde tegenstrijdigheden waren van die aard dat bij het bepalen van afgeleide variabelen en het uitvoeren van verdere statistische analyses ernstige fouten zouden opduiken. Om dit te vermijden werden eerst alle variabelen één per één gecontroleerd en opnieuw gecodeerd. De voornaamste controles waren:

- Controleren dat de invoer steeds binnen het bereik ligt dat volgens het beschrijvend document opgelegd was (bijv. oppervlakte van de PV-panelen begrensd tussen 00 en 99 vierkante meters)
- Controleren dat de invoer steeds mogelijke waarden aanneemt (bijv. aantal uren stoken per dag mag niet groter zijn dan 24uren en 00minuten)
- Controleren dat de ontbrekende waarden steeds gecodeerd zijn zoals beschreven in het document (bijv. “99.999”, zie volgende paragrafen)
- In geval van ontbrekende of ongeldige invoer, de invoerwaarde vervangen door de overeenstemmende code (“-1” of “-2”, zie volgende paragraaf)

### 2.1.2 Foutieve en ontbrekende waarden

Voor verdere wiskundige en statistische analyses, is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen ontbrekende waarden en datacellen met waarde ‘nul’. Bij ontbrekende waarden, is het bovendien vaak nuttig om een onderscheid te maken tussen waarden die ontbreken omdat ze niet van toepassing zijn en waarden die ontbreken terwijl ze wel van toepassing zijn. Bijvoorbeeld, in het geval de woning een natuurlijk ventilatiesysteem heeft, is een ontbrekend antwoord op de vraag of er warmterecuperatie plaatsvindt in het ventilatiesysteem geen probleem, aangezien dit niet van toepassing is. Een ontbrekend antwoord op deze vraag is daarentegen wel een probleem als de woning een balansventilatiesysteem heeft, want dan is de vraag wel van toepassing.
Hiertussen was geen onderscheid gemaakt in de data die werd aangeleverd bij aanvang van het project. Om hieraan te remediëren, zijn alle variabelen opnieuw gecodeerd, met als code voor ontbrekende variabelen “-1” indien de vraag niet van toepassing is (en het ontbreken van een antwoord dus niet problematisch is) en “-2” indien de vraag wel van toepassing is (en het ontbreken van een antwoord dus wel problematisch is). Voor nagenoeg alle variabelen konden de codes “-1” en “-2” gebruikt worden, omdat de meeste variabelen enkel positieve waarden konden aannemen (bijv. gemiddelde U-waarde, volume, K-peil…) Uitzonderingen hierop, zijn de verbruiksgegevens en het E-peil, die ten gevolge van de electriciteitsopwekking door PV-panelen wel negatieve waarden kunnen aannemen. Aangezien de grootte van die negatieve waarden steeds beperkt is, zijn “-1” en “-2” voor die variabelen vervangen door respectievelijk “-1.000.000” en “-2.000.000”.
De filterwaarde “-2” is ook toegepast wanneer onmogelijke waarden opduiken in de dataset: dan zijn die waarden vervangen door “-2”. Een voorbeeld hiervan is het antwoord “24 uren en 21 minuten” die

iemand gaf op de vraag hoeveel uren per dag hij een bepaalde ruimte verwarmt. Het is in dit geval onmogelijk te weten of de respondent 24uren en 00minuten heeft willen ingeven, of een ander aantal uren en 21 minuten. Bijgevolg wordt het antwoord vervangen door de code “-2”.
In de verdere wiskundige en statistische analyses worden bovenstaande codes telkens in rekening gebracht als ‘ontbrekend’, om de resultaten niet foutief te beïnvloeden.

### 2.1.3 Foutieve resultaten en afgeleide variabelen

Ten gevolge van foutief ingevoerde parameters, kunnen ook afgeleide resultaten die in de database voorkomen foutief zijn. Zo zijn er bijvoorbeeld een beperkt aantal cases die volgens de EPB-database geen ventilatoren hebben voor ventilatie (al dan niet met verwarmde lucht), terwijl deze wel een mechanisch ventilatiesysteem hebben. In die gevallen is de resulterende vraag voor hulpenergie uit EPB, die ook hard-coded in de database zit, automatisch foutief. Bijgevolg worden deze afgeleide resultaten ook vervangen door de code “-2”.
Deze werkwijze wordt ook toegepast op afgeleide variabelen. Elke afgeleide variabele krijgt ook “-2” als waarde toegekend indien een waarde waarop deze steunt ook foutief is (bijv. de bepaling van het maximaal aantal uren dat er een kamer verwarmd wordt, van zodra er voor minstens één kamer een onmogelijke waarde is ingevoerd).

### 2.1.4 Bruikbaarheid van de data

De vergaarde data is zeer omvangrijk en zeer leerrijk. Bepaalde gegevens zijn weliswaar niet bruikbaar voor numerieke analyses op vlak van energieverbruik. In de enquête zijn vragen gesteld over thema’s als gezinsamenstelling, stookgedrag, ventilatie, gebruik van elektrische toestellen, comfortappreciatie enz.
Sommige van deze vragen zijn vrij gedetailleerd en vergen een zekere inzet van de respondent om er correct op te antwoorden. Het is bijvoorbeeld niet vanzelfsprekend voor de respondent om uit te rekenen hoeveel uren per dag alle lampen van een huis branden en dit uit te rekenen per type lamp (gloeilamp/spaarlamp/halogeenlamp/TL-lamp/LED-lamp).
Sommige vragen zijn niet gemakkelijk om vervolgens om te rekenen tot bruikbare, betrouwbare parameters in een statistische analyse. Zo is het niet vanzelfsprekend om de antwoorden op de vorige vraag tot één gewogen som te herleiden. Er is immers niets gekend over het vermogen van deze lampen (bijv. gloeilampen van 25W of van 100W?).
Bij andere vragen kan men ook twijfelen aan de betrouwbaarheid van de antwoorden. Redenen hiervoor kunnen de complexiteit van de vraagstelling zijn, de nodige algemene kennis en/of de grondige kennis van het specifieke huis. Dit geldt bijvoorbeeld voor vraag V49, waar gevraagd wordt of de temperatuur in de woning geregeld kan worden, met als mogelijke antwoorden:

a) neen, ik kan de binnentemperatuur niet regelen
b) ja, via een manuele thermostaat
c) ja, via een klokthermostaat
d) ja, via een buitenvoeler zonder thermostaat
e) ja, via een buitenvoeler en thermostaat
f) ja, via de thermostatische kranen van mijn radiatoren of convectoren

Ten slotte ontbreekt bij bepaalde vragen de nodige context om de antwoorden te kunnen gebruiken. Er wordt bijvoorbeeld gepeild naar hoe vaak ramen worden open gezet (vraag VE8), maar zonder daarbij te specificeren in welke periode van het jaar. Literatuur wijst er nochtans op dat voor het openen en sluiten van ramen niet dezelfde gedragspatronen gevonden worden op koude winterdagen als op warme zomerdagen. Aangezien de enquêtering plaats vond tijdens de zomer van 2012, zijn de antwoorden op deze vragen waarschijnlijk niet bruikbaar voor analyses op het energiegebruik voor verwarming.

## 2.2 OPLIJSTING

Een oplijsting van de belangrijkste tekortkomingen in de dataset kan helpen voor het opstellen van nieuwe datasets voor toekomstige gelijkaardige projecten. Hieronder volgt een oplijsting van enkele belangrijke fouten, tegenstrijdigheden en aandachtspunten, met telkens een voorbeeld. Dit vormt geen exhaustieve lijst, maar eerder een illustratief overzicht.

### 2.2.1 Ontbrekende waarden

In het beschrijvend document bij de enquête, wordt voor de meeste invulvelden aangegeven dat ontbrekende waarden de code “99.999” kregen. Kijkt men daarentegen naar de dataset, dan blijkt dat in plaats van “99.999” vaak “99”, “999”, “9999” staat. Dit blijkt vaak functie te zijn van het bereik van het invulveld, maar niet altijd. Bovendien komen er voor eenzelfde parameter, naast deze waarden, regelmatig blanco cellen voor (blanco in SPSS, “#NULL!” in Excel). Het is onduidelijk of hier een bepaalde logica gevolgd is. Er is bijvoorbeeld geen duidelijk onderscheid tussen volgende 3 mogelijkheden

- Ontbrekende waarde wegens niet van toepassing (de vraag werd niet gesteld)
- Ontbrekende waarde wegens niet ingevuld (de vraag werd gesteld, maar er werd daar niet op geantwoord, al dan niet omdat men het antwoord niet wist of men niet wilde antwoorden)
- Ontbrekende waarde met als betekenis “0”

*<u>Voorbeeld 1:</u> onder vraag “V60” wordt de oppervlakte van de zonneboiler-panelen gevraagd. Zowel case 74853 als case 91140 geven aan een zonneboiler te hebben, maar hun antwoord op vraag V60 is respectievelijk blanco/”#NULL!” en “99999”.*
*<u>Voorbeeld 2:</u> onder vraag “V55” wordt gevraagd hoeveel douchekoppen van volgende drie types er in huis zijn: waterbesparende, spaar- en regen-douchekoppen. Case 98941 geeft hierop als antwoord “0”, ”0” en “1”, terwijl case 98951 de antwoorden “2”, blanco/”#NULL!” en “1” geeft. Het valt hieruit niet met zekerheid af te leiden of case 98951 geen spaardouchekoppen heeft dan wel of deze cel niet ingevuld werd uit onzekerheid of onwetendheid.*

### 2.2.2 Beperkt invoerbereik

Een van de belangrijkste beperkingen die opgelegd kunnen worden bij een bevraging, om foutieve antwoorden te vermijden, is een beperkt bereik. Zo weet men bijv. dat de dikte van een isolatielaag een positief getal is en deze isolatielaag waarschijnlijk nooit meerdere meters dik zal zijn. Door weloverwogen grenzen op te leggen, vermijdt men foutieve invoer (bijv. ten gevolge van foutieve omzetting van eenheden door de respondent). Deze werkwijze werd ten volle en efficiënt benut in het kader van deze enquête. Bij enkele vragen, bleek het bereik weliswaar tegen de verwachtingen in ontoereikend.

*<u>Voorbeeld 1:</u> Vraag V22 peilt naar de totale oppervlakte aan photovoltaïsche zonnepanelen die op het huis liggen. Als mogelijk bereik werd opgegeven “RANGE 1-99” en als code voor ontbrekende waarden “99.999”. Twee respondenten (ID 122926 en 141279) gaven aan een totale oppervlakte aan PV-panelen te hebben die gelijk is aan 99m². Aangezien bij meerdere andere cases de code “99999” correct vermeld staat, kunnen we veronderstellen dat “99” voor deze twee cases een bewuste invoer was. Waarschijnlijk hebben beide huizen meer dan 99m² PV-panelen, maar kon dit hier niet worden opgegeven.*

### 2.2.3 Niet overeenstemmende bereiken

In het beschrijvend document bij de enquête, wordt voor de meeste invulvelden aangegeven binnen welk bereik de invoer mogelijk was. Sommige cases vertonen desalniettemin waarden buiten dat bereik. Dit kan bovendien een mogelijke overlap geven met de code voor ontbrekende waarden (zie vorige paragraaf).

> *Voorbeeld 1: wie een koelinstallatie heeft, kreeg de vraag welk vermogen deze installatie heeft. Als bereik staat in het beschrijvend document "RANGE 1-999". Cases 25654 en 39714 geven daarentegen een vermogen aan van respectievelijk "7500" en "9000".*
> *Voorbeeld 2: met vraag VER1B werd gevraag hoeveel lampen van een bepaald type er minstens één uur per dag branden in het huis. Als mogelijk invoerbereik staat opgegeven "RANGE 1-20" en als code voor "ik weet het niet" zou "CODE 99.999" gebruikt worden. Nochtans geven veel cases getallen op groter dan 20 (28, 48, 24, 60, 90…), terwijl niemand "99.999" heeft, maar er wel meerderen "99" aangeven. Hier doet zich dus een mogelijke overlap tussen de code voor ontbrekende waarden en de werkelijke, ingevoerde waarde.*

### 2.2.4 Andere niet overeenstemmente enquête/programmeer-regels

Volgens het beschrijvend document bij de enquête, zijn voor bepaalde vragen beperkingen opgelegd aan de invoer. Deze blijken niet steeds gerespecteerd. Dit kan leiden tot foutieve analyses, des te meer doordat de bepaling van afgeleide variabelen op zo'n grote dataset geautomatiseerd wordt.

> *Voorbeeld 1: in de vragen V23, V24 en V25 wordt respectievelijk gevraagd welke energiebron hoofdzakelijk gebruikt wordt voor verwarming, of er een secundaire bron gebruikt wordt voor verwarming en, zoja, welke secundaire bronnen. Volgens het beschrijvend document kan de hoofdenergiebron niet opnieuw worden ingegeven als een van de secundaire bronnen. Strijdig hiermee, geeft boeknummer 6322 op deze vragen de antwoorden "aardgas", "ja" en opnieuw "aardgas".*

### 2.2.5 Incoherente nummering

Sommige nummeringen worden niet aangehouden over de verschillende vragen heen. Dit werd weliswaar correct aangegeven in de labels van de variabelen in het SPSS-bestand, maar niet in het beschrijvend document.

> *Voorbeeld 1: Met vraag TO1 wordt gepeild naar (A) de aanwezigheid van elektrische toestellen in het huis, (B) het aantal toestellen, (C) het aantal uren per week dat ze in gebruik zijn en (D) of deze ook in stand-by blijven buiten die gebruiksuren. De lijst bestaat uit 31 toestellen, voor de subvragen A en B genummerd vanaf 1 t.e.m. 31. De subvragen C en D zijn niet voor elk toestel van toepassing en werden bijgevolg enkel voor een aantal van deze toestellen gesteld (bijv. er wordt niet gevraagd hoeveel uren per week de koelkast draait). Voor de subvragen C en D werd daarentegen niet dezelfde nummering van de toestellen gehanteerd als bij A en B (1-31), maar werd steeds vanaf 1 doorgeteld, waardoor de nummers over de vragen heen niet overeen stemmen.*

### 2.2.6 Non-controle van de invoer

Voorafgaand aan de enquêtering, is het mogelijk om bepaalde beperkingen en regels op te leggen aan de invoer, om onmogelijke antwoorden te voorkomen of om consistente opmaak te verkrijgen.
Bepaalde belangrijke regels werden hiertoe gecodeerd of opgegeven in de formulering van de vragen. De regels die werden geformuleerd bij de vragen zijn daarentegen niet altijd geprogrammeerd, noch vóór het afnemen van de enquête (om foutieve invoer te voorkomen), noch nà het afnemen van de enquête (om foutieve invoer te verwijderen of te herformatteren). In de mate van het mogelijke is deze laatste optie alsnog uitgevoerd vóór het uitvoeren van de analyses.
Soms ontbraken bepaalde invoerbeperkingen. Het is haast onmogelijk om op voorhand alle mogelijke foutieve invoeren op te lijsten en te vermijden via geprogrammeerde regels. Hierdoor zullen zich steeds een aantal fouten voordoen in grote enquêtes. Onderstaande voorbeelden kunnen eventueel helpen om dat aantal bij een vervolgproject verder te beperken.

*<u>Voorbeeld 1:</u> Vraag V48. luidt "Gedurende welke periode in het jaar verwarmt u gewoonlijk uw woning? Gelieve hierbij de dag en de maand in te geven (in deze volgorde). Gelieve bij uw antwoord rekening te houden met een kalenderjaar: u begint dus met 1 januari en eindigt op 31 december." Daarbij was het mogelijk om twee periodes in te geven (bijv. 01/01-31/03 en 01/10-31/12) In vele gevallen werden dit toch niet volgens kalenderjaar, maar volgens winterperiode ingevuld (bijv. 01/10-31/12 en 01/01-31/03) en is dit zo opgenomen in de dataset. Deze regel werd dus wel geformuleerd in de bevraging, maar niet opgelegd vóór de bevraging of erna, bij het verzamelen van de data.*
*<u>Voorbeeld 2:</u> Onder vraag V50c wordt gevraagd hoeveel uren en hoeveel minuten per dag de verschillende ruimtes verwarmd worden. Als regels wordt opgelegd dat het vak "uren" steeds binnen het bereik [0-24] moet liggen en dat het vak "minuten" optioneel is, tenzij er "0" uren wordt aangegeven. Er werd daarentegen geen bovengrens opgelegd aan de som van het aantal uren en het aantal minuten, waardoor respondent met ID 49517 aangaf een bepaalde ruimte 24 uren en 21 minuten per dag te verwarmen.*

## 3. DEEL 3: ANALYSE VAN DE SAMPLE (fase 2)

Na de nodige controles op de dataset en het herformatteren van de data, werd overgegaan tot de analyse van de sample. Hierbij werd eerst gekeken naar de data over de gebouwen enerzijds en over de bewoners anderzijds, waarna onderlinge verbanden onderzocht werden. De bevindingen uit deze achtergrond-analyse worden hieronder samengevat.

### 3.1 GEBOUW

#### 3.1.1 Performantie-criteria

Bij het vergaren van de data, voorafgaand aan dit onderzoek, is er gekozen om enkel woningen te selecteren met een E-peil kleiner dan of gelijk aan E70, overeenkomstig de huidige EPB-eisen, die strenger zijn dan de eisen op het moment dat deze woningen werden gebouwd. 64% van de sample haalde bij de definitieve EPB-aangifte een E-peil lager dan E60, hetgeen overeenstemt met de eerste premiegrens ten tijde van de bouw (zie Fig. **3**(a)). 13% van de sample haalde toen reeds de strengere premie-grens van E40. De grafiek vertoont bij elk van die twee grenzen een sprong, hetgeen wijst op een stimulans om deze grenzen te halen. 29% haalt de recentere premiegrens van E50.
Uit verder onderzoek van de gegevens uit de enquêtes blijkt dat een aanzienlijk aandeel van de sample photovoltaïsche zonnepanelen (PV-panelen) heeft geplaatst ná de bouw van de woning (en dus na de EPB-aangifte), waarschijnlijk onder stimulans van recentere premies of vrijgekomen budgetten. Deze panelen zijn bijgevolg niet ingerekend in de EPB-waarden. Het in rekening brengen van deze PV-panelen op basis van de enquête-data, veroorzaakt een sterke daling van het E-peil, waardoor 43% van de sample onder de E50-grens komt te liggen (Fig. 3(b)). Terwijl de woningen met hun oorspronkelijke E-peilen reeds tot de kopgroep behoorden op het moment van nieuwbouw, is dit nog versterkt door de later toegevoegde PV-panelen, waardoor ze over het algemeen nog steeds beter scoren dan de huidige E-peil-eis. Hierbij wordt weliswaar geen rekening gehouden met latere wijzigingen aan de EPB-rekenmethode, zoals bijvoorbeeld het verplicht in rekening brengen van de bouwknopen.

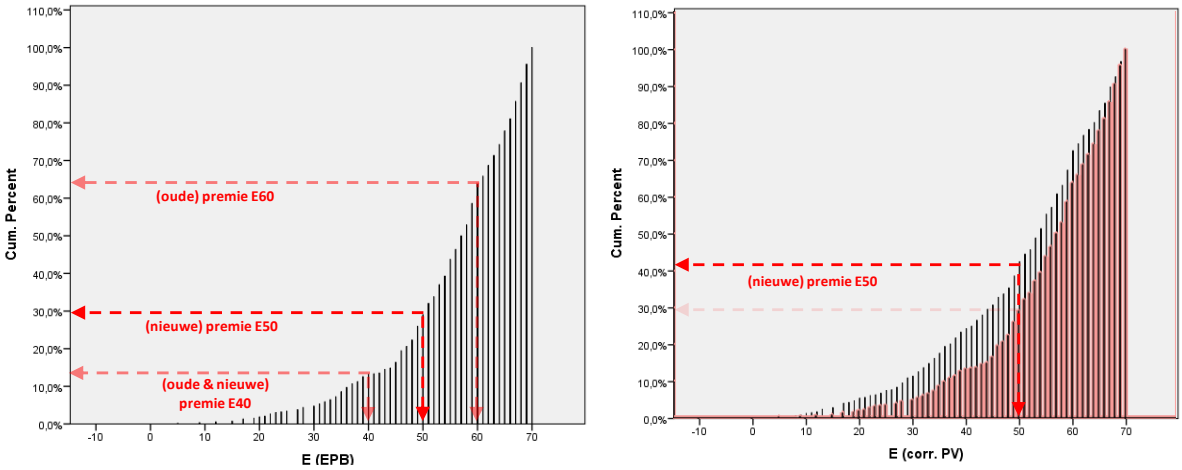

Fig. 3: E-peil (cumulatieve distributie), (a) volgens EPB , (b) gecorrigeerd incl. toegevoegde PV-panelen

Als we kijken naar een tweede belangrijke indicator uit de EPB-regelgeving, het K-peil, komt men tot een andere conclusie. De volledige sample voldoet aan de K45-eis die gold op het moment van de

bouwvergunning en behoorde toen zelfs tot de betere groep, met als mediaan K34 (Fig. 4). Als men daarentegen rekening houdt met de recente verstrenging van de eisen, richting K40, en van de inmiddels verplichte inrekening van bouwknopen, voldoet nauwelijks 60% van de sample meer aan de huidige K40-eis. Als geschatte toeslag voor de bouwknopen werd hierbij met 5K-peil-punten gerekend, vertrekkend van de forfaitaire toeslag van 3K-peil-punten uit 'methode B' en een geschatte, additionele 2K-peil-punten voor niet-EPB-aanvaarde bouwknopen. Deze tegenstrijdigheid tussen te hoge K-peilen en vooruitstrevende E-peilen wijst erop dat de lage E-peilen hier in belangrijke mate gehaald werden dankzij technische installatie die goed scoren in de EPB-berekening en PV-panelen. Dit wordt mede bevestigd door de behaalde jaarlijkse netto-warmtevraag. Daaruit blijkt o.a. de slechts beperkte aanwezigheid van passief-woningen, ondanks de lage E-peilen.

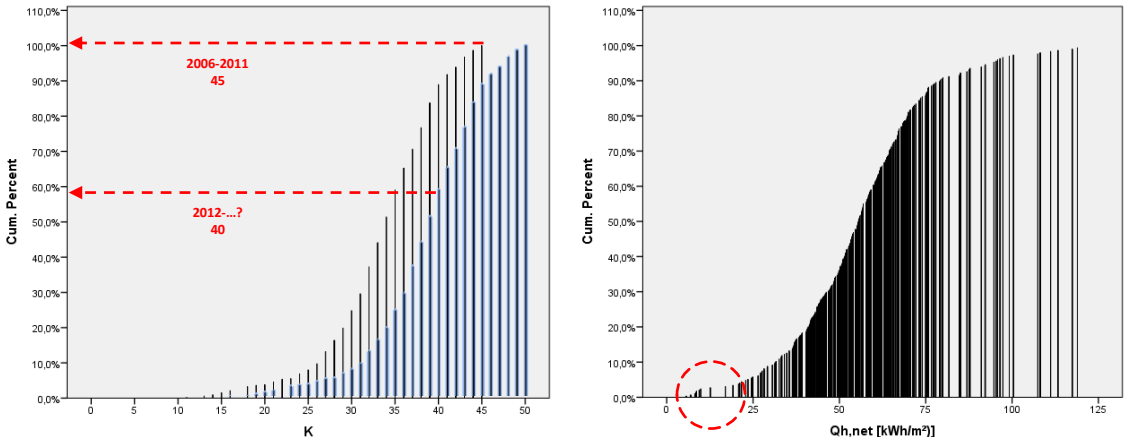


Fig. 4 (a) K-peil uit de EPB-aangifte (zwart) en mits geschatte toeslag van 5K-punten tgv bouwknopen (blauw) (b) Jaarlijkse netto-warmtevraag uit de EPB-aangifte.

Dat de sample voornamelijk bestaat uit voorlopers, met E-peilen beduidend beneden de toen geldende eisen, ligt uiteraard in belangrijke mate aan de preselectie, waarbij enkel woningen met E-peil lager dan E70 gekozen werden. Dit effect wordt nog versterkt ten gevolge van de respons van de bewoners op de enquêtering (Tabel 1). Als we de verdeling van de bevraagden over de E-peilen heen vergelijken met deze van de personen die effectief geantwoord hebben, valt duidelijk op dat vooral de inwoners van de beter presterende huizen op de enquête zijn ingegaan: 42% van de bevraagden met E-peil lager dan E40 hebben geantwoord, terwijl dat de respons-rate voor de woningen in de range E60-E70 slechts 24% bedraagt. Enerzijds verklaart dit de lage E-peilen uit de sample, anderzijds wijst dit op de motivatie van de inwoners die in de sample vertegenwoordigd zijn.

Tabel 1: respons-rate op de enquête

| | ≤ E40 | E40-E50 | E50-E60 | E60-E70 | TOTAAL |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bevraagd** | 167 | 241 | 611 | 833 | *1850* |
| **Geantwoord** | 70 | 86 | 183 | 199 | *537* |
| **Respons-rate** | 42% | 36% | 30% | 24% | *29%* |

Voor 47 cases (9% van de sample) blijkt uit de enquête dat bijkomende isolatiewerken zijn uitgevoerd nà de bouw van de woning, ondanks dat het reeds om nieuwbouw-woningen met een laag E-peil gaat. Opvallend genoeg is de mediaan van de geplaatste isolatiedikte 15cm, met als oppervlakte-mediaan 50m². Dit gaat dus om niet te verwaarlozen isolatiewerken. Aangezien deze wijzigingen, wegens de EPB-data die voorhanden is, niet kunnen worden doorgerekend in de uiteindelijke resultaten van de EPB-berekening, zijn deze woningen uit de sample gehaald voor elke analyse op verbruiken die met de schil gerelateerd zijn (warmte- en koelingsvraag).

### 3.1.2 systemen

In de sample heeft 83% van de woningen een balansventilatiesysteem (Fig. 5 (a)). Terwijl dit in schril contrast staat tot het aandeel met systeem D binnen de volledige EPB-database (nieuwbouw sinds 2006), stemt dit goed overeen met het voorkomen van balansventilatie bij deze lage E-peilen. Dezelfde conclusie kan getrokken worden voor het voorkomen van warmtepompen (Fig. 5 (b)).. Deze zijn geplaatst in 22% van de woningen in de sample. Dit bevestigt dat de sample representatief is voor deze lage E-peilen, behaald in die periode.

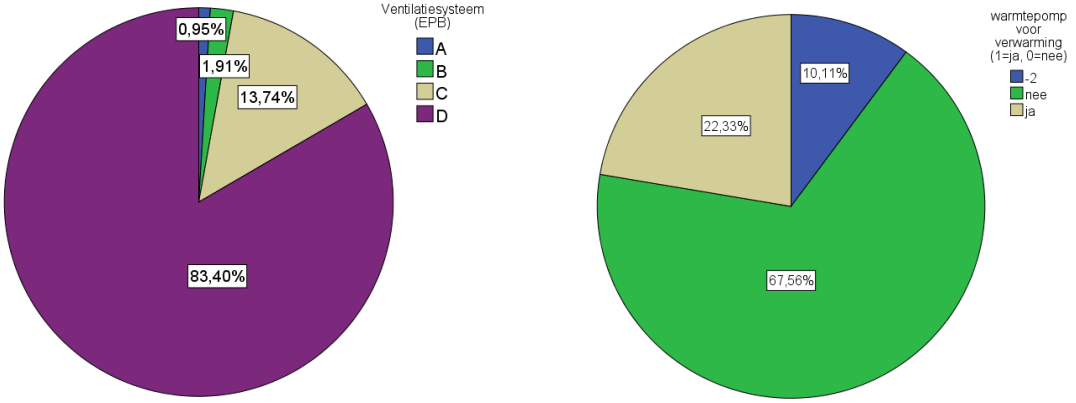


Fig. 5 voorkomen van systemen binnen de sample: (a) ventilatiesysteem, (b) warmtepomp voor verwarming

Opvallend is daarentegen de hoge aanwezigheid van photovoltaïsche panelen. Volgens de EPB-aangifte beschikt 15% van de woningen over PV-panelen -hetgeen goed overeenstemt met het gemiddelde uit de EPB-database voor die E-peil-range- terwijl daar volgens de enquête het dubbele (30%) bijgekomen is door latere plaatsing. Slechts ongeveer de helft van de woningen (54%) heeft geen enkel PV-paneel.

### 3.1.3 gebouwtypologie

In de uiteindelijke sample komen slechts 13 appartementen voor, een te kleine hoeveelheid voor statistische analyses. Daarom is enkel gewerkt met de sample aan eengezinswoningen. In contrast tot de verdeling in nieuwbouwwoningen volgens de EPB-database, zijn de vrijstaande woningen in deze sample oververtegenwoordigd terwijl de halfopen en vooral de rijwoningen ondervertegenwoordigd zijn (Tabel 2).

Tabel 2: verdeling volgens gebouwtypologie

| | vrijstaand | Halfopen | gesloten | appartementen |
|---|---|---|---|---|
| **EPB-database totaal** | 26% | 20% | 8% | 45% |
| **EPB-database eengezinswoningen** | 48% | 37% | 15% | - |
| **sample** | 68% | 28% | 4% | - |

De steekproef bevat relatief grote woningen, met als mediaan voor het vloeroppervlak van alle woningen 248m² (gemiddelde: 257m²) (Fig. 6). Dit is veel hoger dan de gemiddelde vloeroppervlakte volgens de EPB-database als men naar alle eengezinswoningen samen kijkt, maar ligt niet veel hoger dan het resultaat voor de vrijstaande woningen alleen.

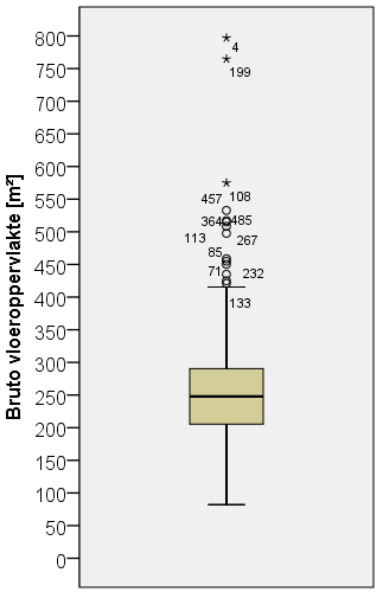

Fig. 6 vloeroppervlaktes (sample)

### 3.2 BEWONER

Uit de enquêtes kan veel afgeleid worden over de huishoudens in de steekproef. Het gaat voornamelijk om jonge gezinnen met 2 tot 4 gezinsleden (Fig. 7 (a)). Dat jonge gezinnen sterk vertegenwoordigd zijn, volgt zowel uit de verdeling van de leeftijd van de inwoners (Fig. 7 (b)) als uit hun antwoord op een andere vraag uit de enquête. Aan wie zijn gas- en/of electriciteits-factuur bij de hand had (respectievelijk 68% en 50% van de gas- en electriciteitsverbruikers), werd gevraagd of ze al dan niet een gewijzigde woningbezetting hadden tijdens de facturatieperiode en, zoja, om welke reden. 31% gaf aan een gewijzigde bezetting te hebben gehad, waarvan 57% van de gezinnen een zwangerschapsverlof aanstipte als een van de redenen. Dit betekent dat minstens 18% of bijna 1 op de 5 gezinnen die de vraag ontvingen, een zwangerschap hebben gekend binnen de laatste 2 jaar.

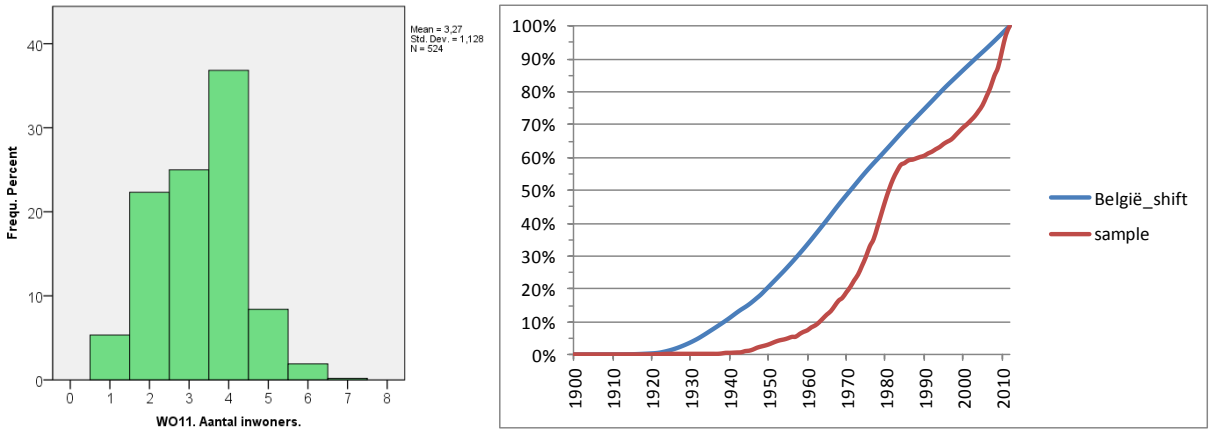


Fig. 7 : samenstelling van de sample:
(a) aantal inwoners , (b) geboortedatum: sample vs. België (cumulatieve distributie)

Aanvullend op de gezinsamenstelling, kan ook gekeken worden naar de opleidingsgraad, het beroep en het inkomen van de gezinnen. Voor het opleidingsniveau en het beroep, is er gepolst naar die van het gezinshoofd, die gedefinieerd wordt als de voornaamste verantwoordelijke van het gezinsinkomen. Voor het inkomen is er gevraagd naar het totaal, netto beschikbaar inkomen per maand van het gezin (incl. uitkeringen e.d.). Hierbij valt de hoge opleidingsgraad op, alsook de hoge activiteitsgraad (slechts 5,2% gepensioneerden en 0,4% zonder beroepsactiviteit) en daarbij horend het goed inkomen. Zo zijn er in de sample bijv. meer kaderleden dan arbeiders. Tot het inkomensrange € 1.000 tot € 1.499 per maand behoren slechts een klein aantal gezinnen, waardoor dit bereik best niet in beschouwing wordt genomen bij verdere correlaties met het inkomen (omwille van significantie).

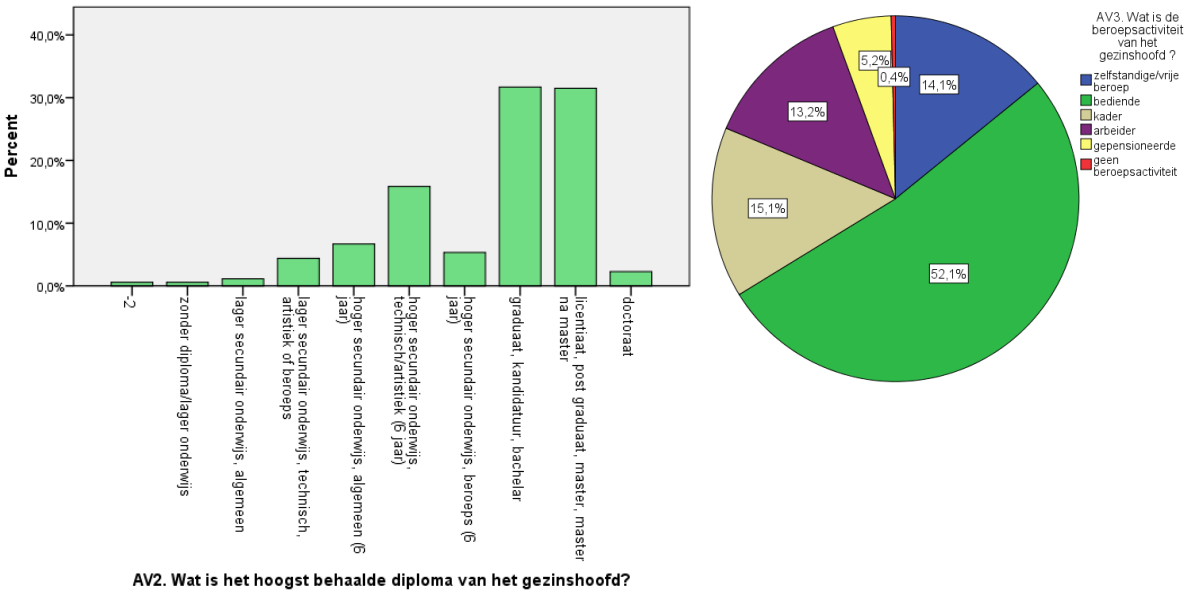


Fig. 8: (a) hoogst behaalde diploma en (b) beroepsactiviteit van het gezinshoofd.

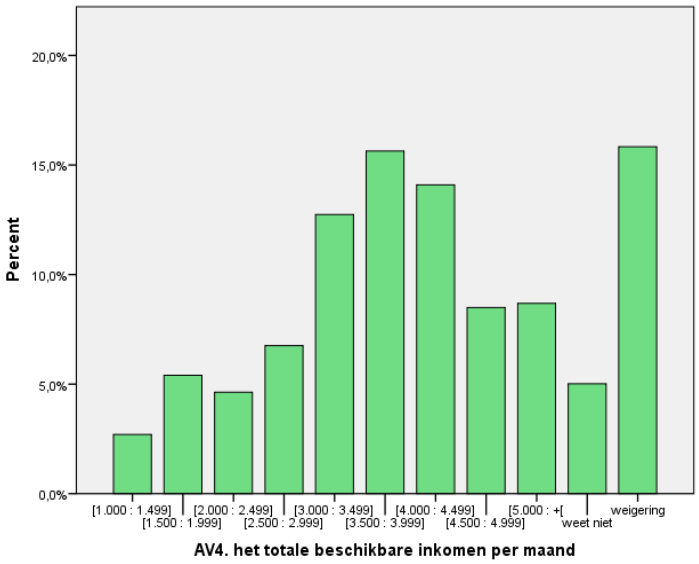


Fig. 9 totaal maandelijks beschikbaar inkomen (per gezin)

Er valt een duidelijk verband af te leiden tussen het hoogst behaalde diploma en het maandelijks beschikbaar inkomen, alsook tussen het aantal gezinsleden en het inkomen, ook al is daarbij vnl. de sprong van alleenstaanden naar tweeverdieners het grootst. Hieruit volgt dat het bij verdere analyses heel moeilijk wordt om rechtstreekse causale verbanden te leggen tussen bijv. energieverbruik en inkomen, aantal inwoners, opleiding, beroep of inkomen, aangezien deze laatste allemaal rechtstreeks gecorreleerd zijn met mekaar. Hierbij moet ook vermeld worden dat deze sample op zich slechts een subset van de bevolking vertegenwoordigt: jonge, goed opgeleide mensen met een degelijk inkomen. De spreiding in gezinssamenstelling, beroepsactiviteit, opleiding en inkomen zal veel groter zijn in de totale bevolking en mogelijks afwijkende verbanden vertonen. Hieruit kunnen bijgevolg nauwelijks conclusies getrokken worden voor andere doelgroepen.

### 3.3 GEBOUW & BEWONER

Vooraleer over te gaan naar analyses op het energieverbruik, dienen nog de verbanden te worden onderzocht tussen de karakteristieken van de gebouwen en van de huishoudens. Beide zijn hierboven apart beschouwd en worden hieronder met elkaar in verband gebracht.

#### 3.3.1 Gebouw vs. bewoner

Een van de meest rechtstreekse verbanden tussen een gebouw en zijn gebruiker, is of hij al dan niet eigenaar is van de woning en mee aan de basis stond van de bouw ervan. Opvallend voor deze sample, is dat zo goed als elk bevraagd huishouden eigenaar is van de woning en de woning zelf heeft laten bouwen (Fig. 10 (a) & (b)). Hieruit kan men een zekere graad van betrokkenheid verwachten van de bewoners bij de keuzes die gemaakt werden bij de bouw, ook op vlak van energiebesparende maatregelen. Terwijl hierdoor deze sample minder representatief is voor de volledige bevolking, is deze meer representatief voor wie een eigen nieuwe woning bouwt. Als voordeel voor de studie kan men een relatief hogere graad van kennis verwachten van het gebouw, wat kan leiden tot meer nauwkeurige antwoorden op gebouw-gerelateerde vragen.

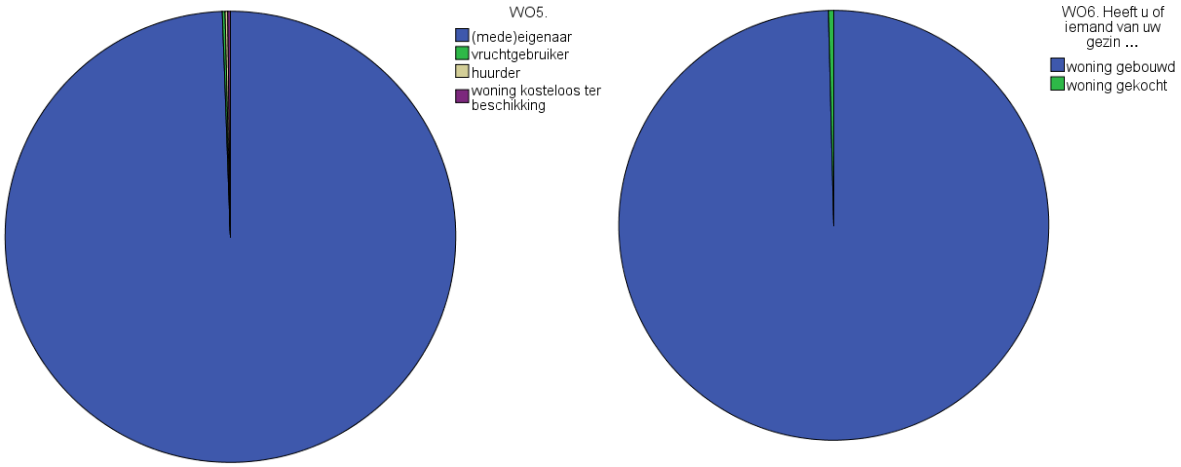


Fig. 10 rechtstreeks verhouding tussen het gebouw en het gezin

In tegenstelling tot hetgeen misschien verwacht zou kunnen worden, wordt er, binnen deze sample, nauwelijks een verband gevonden tussen het aantal inwoners en de grootte van de woning. Dit kan mede verklaard worden doordat het om jonge gezinnen gaat met in het algemeen reeds relatief grote woningen. Ze bouwen mogelijks met uitzicht op verdere gezinsuitbreiding. De gezinnen met 6 inwoners vertonen wel grotere vloeroppervlaktes, maar door het geringe aantal gezinnen met 6 of meer inwoners in de dataset, is de significantie hiervan beperkt.

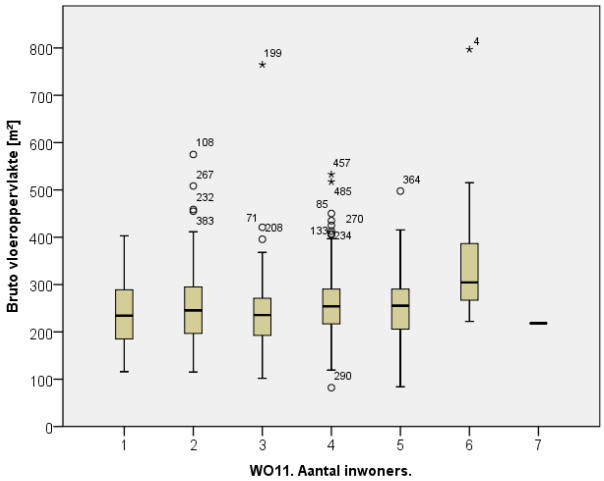


Fig. 11 brutto vloeroppervlakte [m²] vs. aantal inwoners

Er wordt wel een duidelijk verband gevonden tussen de theoretische energieprestatie van de woning en het gezinsinkomen. Zowel vóór (volgens EPB) als nà het toevoegen van PV-panelen, is er een duidelijke daling van het E-peil bij stijgend gezinsinkomen (Fig. 12 (a) & (b)). Dit wordt ondermeer verklaard door het groter aantal gezinnen met PV-panelen naarmate het inkomen stijgt. Voor wie PV-panelen heeft, blijkt bovendien ook het oppervlak daarvan toe te nemen naarmate het inkomen stijgt (Fig. 13 (a) & (b)).

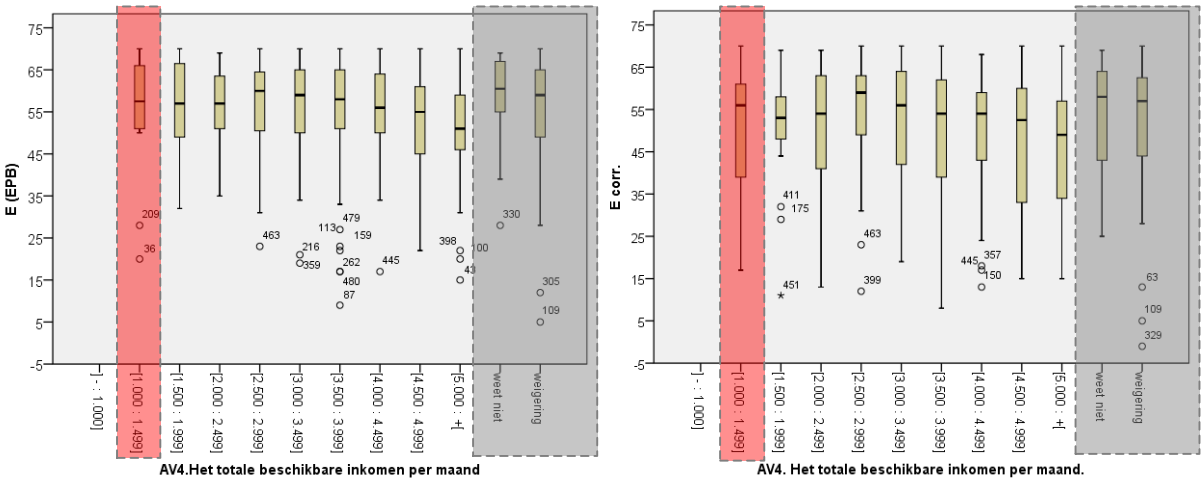


Fig. 12 het E-peil volgens de EPB-database (a) en rekening houdend met toegevoegd PV-panelen (b), in functie van het maandelijks beschikbaar gezinsinkomen
(interval [1.000:1.499] is te verwaarlozen om redenen van significantie.)

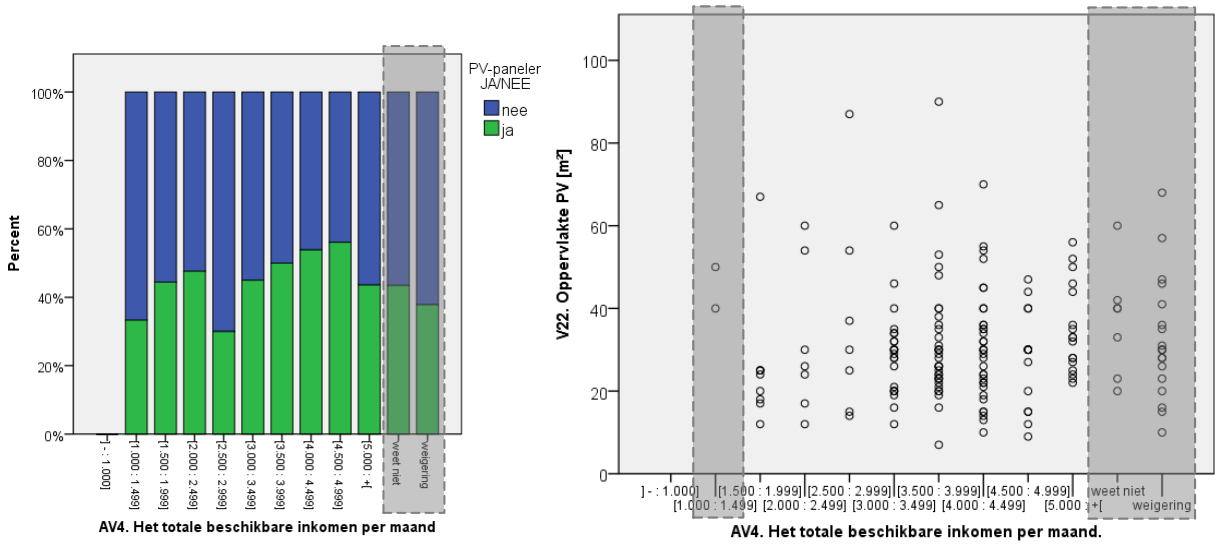


Fig. 13 percentage aan cases met PV-panelen (a) en totaal PV-oppervlak ifv het inkomen

### 3.3.2 Bewoner als gebruiker

Eenmaal de huishoudens geplaatst worden in de context van het bewoonde huis, kunnen ze beschouwd worden als actieve gebruikers, met eigen gebruikspatronen en oordelen. Qua concrete gebruikspatronen kunnen enkele voor de hand liggende verbanden gevonden worden, zoals het stijgend aantal baden en douches in functie van het aantal inwoners (Fig. 14).

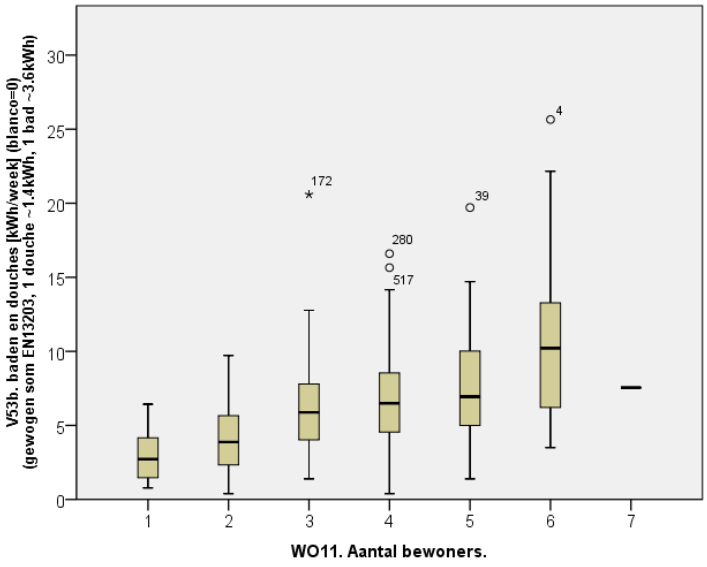


Fig. 14 aantal douchen en baden ifv het aantal inwoners (gewogen som van baden en douches, volgens de overeenstemmende, gestandaardiseerde energievraag volgens EN 13203-2)

Op vlak van subjectief, onderliggend gedachtegoed, is bij de bewoners gepeild naar een eigen oordeel over de energiezuinigheid van hun gedrag. De vraag luidde: *"Als u kritisch naar het energieverbruik van uw gezin kijkt, welke uitspraak is dan op jullie het meeste van toepassing?"*, met als mogelijke antwoorden:

1) *Wij staan niet stil bij ons energiegebruik en zouden waarschijnlijk nog energie kunnen besparen.*
2) *Wij gaan niet bijzonder zuinig om met energie, maar verbruiken ook niet onnodig energie.*
3) *Wij gaan zuinig om met energie, maar kunnen nog op enkele punten besparen.*
4) *Wij gaan heel zuinig om met energie en doen alles wat binnen onze mogelijkheden ligt om energie te besparen.*

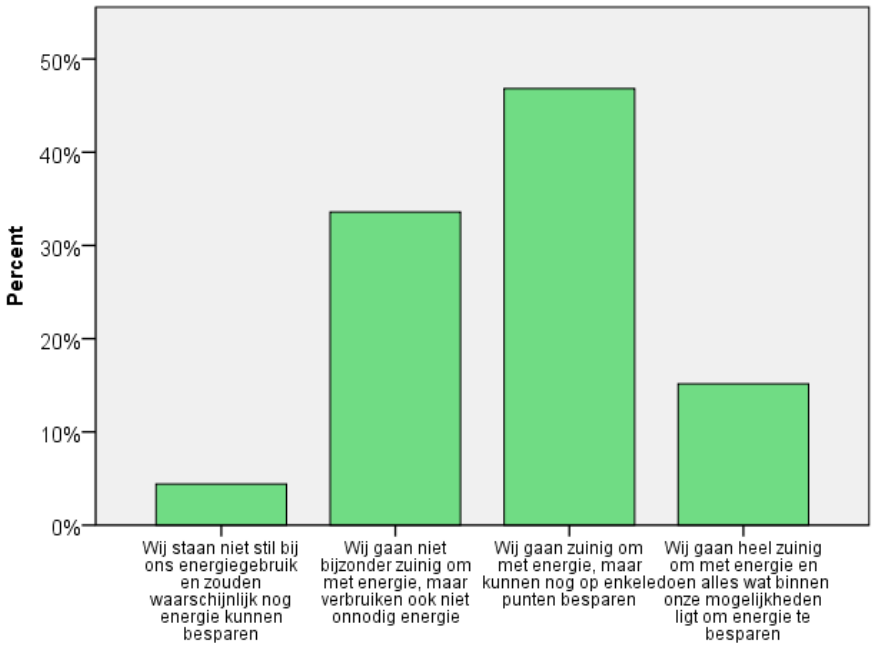


Fig. 15 antwoorden op de vraag naar het eigen, subjectieve oordeel over het verbruiksgedrag

Er zijn geen overeenstemmende gegevens gevonden die representatief zijn voor België of Vlaanderen, waardoor de antwoorden niet vergeleken kunnen worden met de bredere bevolking. De antwoorden op deze vraag blijken desalniettemin zeer interessant, zeker wanneer ze in verband gebracht worden met andere data, zoals het inkomen en de keuze voor specifieke installaties in de woning. Hierbij moet wel eerst opgemerkt worden dat de groep met antwoord '1)', die aangeeft het minst stil te staan bij het energieverbruik, te klein is om bij verdere analyses mee in beschouwing te nemen. Het valt op dat de mensen die van zichzelf aangeven meer te letten op hun energieverbruik, ook deze zijn die meer geneigd zijn om PV-panelen of zonneboilers te installeren (Fig. 16 (a) & (b)). Hiermee kan geen uitspraak gedaan worden over de werkelijke ecologische of economische waarde van deze systemen. Bij verdere analyses op het werkelijk energieverbruik, mag deze correlatie niet vergeten worden. Door deze correlatie riskeert men immers verkeerdelijk causaliteit toe te kennen aan bijv. de aanwezigheid van PV-panelen of zonneboilers in plaats van aan het gedrag van de bewoners, of omgekeerd.

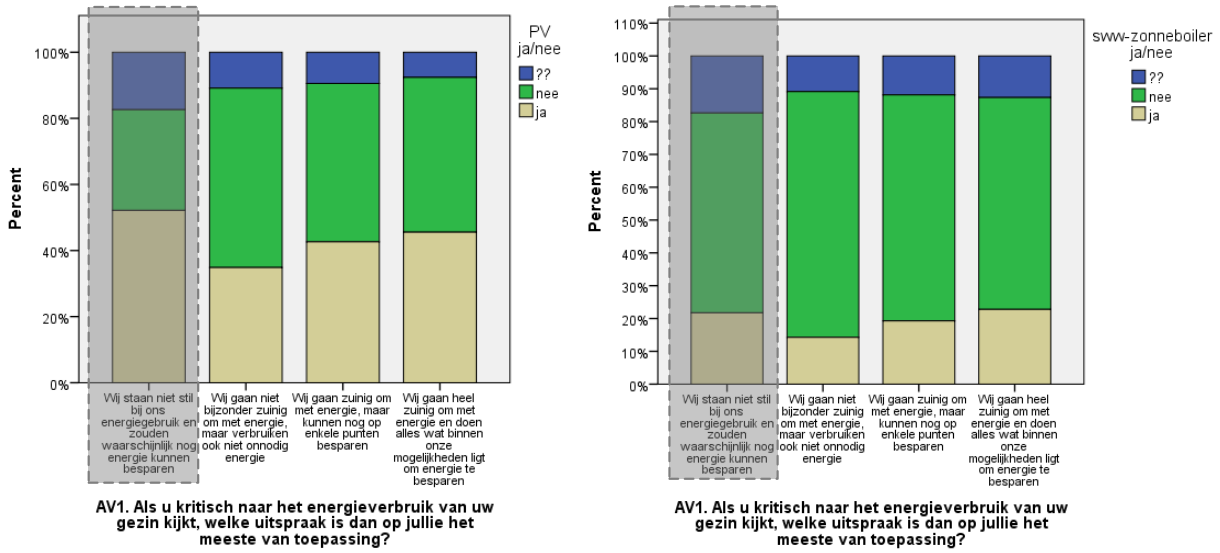


Fig. 16 aanwezigheid van PV-panelen (a) en zonneboilers (b) ifv het subjectieve oordeel over het verbruiksgedrag ("??" wijst op mogelijke fouten of tegenstrijdigheden in de dataset)

Ook interessant, is het verband tussen het inkomen en het energiezuinig gedrag van de inwoners (Fig. 17). Daarbij valt op dat, naarmate het inkomen stijgt, er steeds minder huishoudens aangeven er alles aan te doen om hun energieverbruik te beperken. Dit valt vooral op bij de groepen met een inkomen vanaf € 3.000 per maand, die het meest vertegenwoordigd zijn en wiens procentuele weergave bijgevolg het meest betrouwbaar is. Hierbij moet opgemerkt worden dat de steekproef op zich slechts een subset is van de werkelijke bevolking, namelijk gezinnen met een degelijk inkomen. Men kan verwachten dat deze trend zich zal verder zetten mits uitbreiding van de sample naar doelgroepen met een lager inkomen.

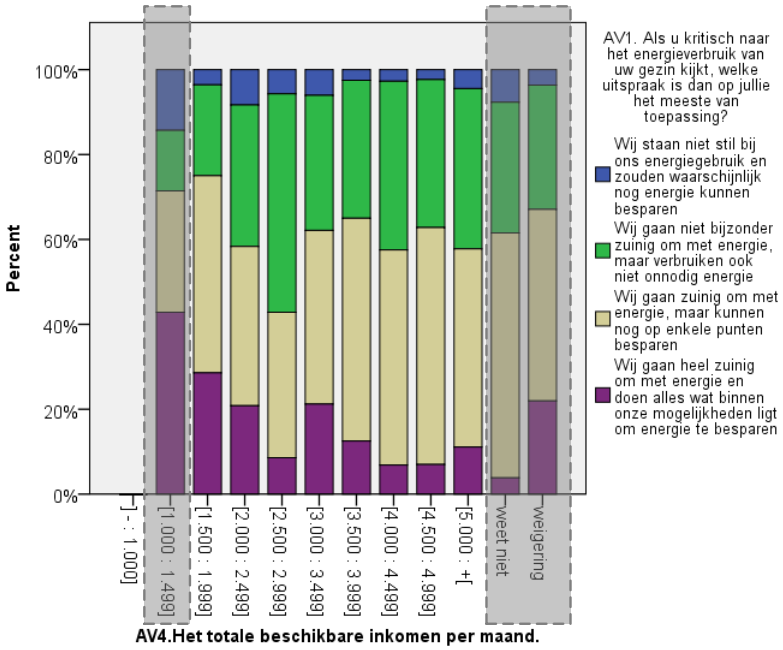


Fig. 17 subjectief oordeel over verbruiksgedrag vs. maandelijks gezinsinkomen

## 3.4 CONCLUSIES

Hierboven is aangetoond dat de sample vooral bestaat uit lage-energie-woningen die vóórop waren op de geldende eisen ten tijde van de bouwaanvraag. De woningen beantwoorden allemaal aan de huidige E-peil-eisen en een groot aantal loopt nog steeds vóór op deze nieuwe eisen, mede dankzij de inmiddels bijgeplaatste PV-installaties. De lage E-peilen worden in belangrijke mate behaald door deze PV-installaties, terwijl veel woningen uit de steekproef op vlak van isolatie (zie K-peil), ondertussen achterlopen op de huidige eisen. Dit komt vooral door de vernieuwde rekenmethode, waarbij de bouwknopen verplicht in rekening gebracht worden. Hierdoor is de sample slechts in beperktere mate representatief voor toekomstige lage E-peilen, waarbij de theoretische netto-energievraag lager zal liggen.
De huishoudens bestaan vooral uit jonge gezinnen met welopgeleide gezinshoofden en een degelijk inkomen. Het zijn bijna allemaal eigenaar-bouwers die dus ook zelf, in min of meerdere mate, aan de basis lagen van de keuze om een lage-energie-woning te bouwen. Dit verklaart mee de correlaties die gevonden zijn tussen gebouwkarakteristieken en gezinskarakteristieken, hetgeen gevaren inhoudt voor het verkeerdelijk toekennen van causale verbanden bij verdere analyses.
Bij al deze bevindingen dient men zich de vraag te stellen voor welke doelgroep deze steekproef representatief is. Voor lage energie-bouwers van gisteren, is deze sample waarschijnlijk representatief. Voor lage energie-bouwers in de toekomst, zal dit mede afhangen van hoe men tot de lage energie-eisen komt (bijv. het belang van isolatie vs. technische installaties) en of de bewoners nog als ‘gemotiveerde voorlopers’ kunnen beschouwd worden indien de lage E-peilen inmiddels verplicht worden. De steekproef is alvast minder representatief voor bijvoorbeeld huurders met een lager inkomen die niet bewust voor een lage-energie-woning kiezen, zoals in de toekomst waarschijnlijk steeds vaker zal voorkomen, o.a. in de sociale huisvesting.

# 4. DEEL 4: ONDERZOEKSMETHODOLOGIE (fase 3)

Na het voorbereidend werk op de dataset en de analyse van de sample, ging de aandacht naar de methodologie om het werkelijk energieverbruik in deze woningen te onderzoeken alsook de afwijkingen tussen het werkelijk energieverbruik en de resultaten uit de EPB-berekeningen. Hieronder wordt de problematiek en de aanpak hiervan uitgelegd.

## 4.1 VRAAGSTUK

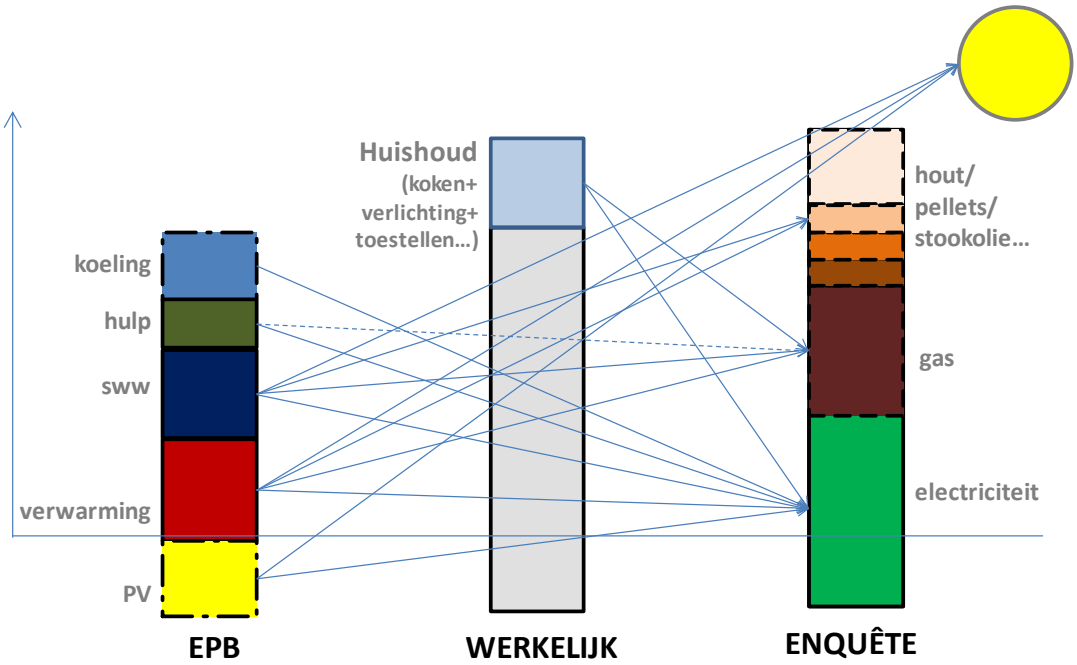


Fig. 18 energieverbruik: posten en energiebronnen, opsplitsing i.f.v. van de EPB-methode en de meterstanden

### 4.1.1 EPB: niet exhaustieve lijst van verbruiksposten

Wanneer het werkelijk energieverbruik van huishoudens vergeleken wordt met het berekend energieverbruik uit EPB, moet er eerst en vooral op gewezen worden dat niet alle verbruiksposten in de EPB-methode vervat zitten. Terwijl in de EPB-methode een theoretische berekening gemaakt wordt van de energievraag voor verwarming, koeling, sanitair warm water en hulpenergie (mits aftrek van de energiewinsten uit bijv. locale PV-panelen), komt daar in de praktijk het huishoudelijk energieverbruik bovenop. Dit is het verbruik voor vnl. koken, verlichting en allerhande toestellen (huishoudelijk apparatuur, multimedia e.a.). Deze laatste energievraag zal mee vervat zitten in de verbruiksgegevens van de nutsmaatschappijen en waarschijnlijk voor een hoger totaal werkelijk energieverbruik zorgen dan het geraamd, sterker gebouwgebonden energieverbruik uit de EPB-berekening. Dit zal een eerste uitdaging vormen bij de vergelijking van de werkelijke met de theoretische verbruiksgegevens.

### 4.1.2 Primair theoretisch verbruik per energiepost vs. werkelijk verbruik per energiebron

Uit de EPB-database kunnen enkel de verbruiken per verbruikspost gehaald worden, uitgedrukt in primaire energie (per jaar en per maand), met als primaire energieconversiefactor voor electriciteit 2,5. Dit heeft als gevolg dat als een verbruikspost op meerdere energiebronnen steunt (bijv. verwarming op gas + zonneboiler, of centrale warmtepomp + locale pelletkachel enz.), deze niet uit elkaar gehaald kunnen worden tot verbruiken per energiebron. De werkelijke verbruiken komen daarentegen van de

meterstanden en zijn dus per energiebron, ook al zitten mogelijks meerdere verbruiksposten op eenzelfde energiebron (bijv. verwarming en sanitair warm water op gas). Dit zorgt ervoor dat de theoretische en werkelijke verbruiken enkel geanalyseerd kunnen worden eenmaal gegroepeerd tot clusters waarbij de som van verbruiksposten uit EPB overeenkomt met de som van verbruiken uit verschillende energiebronnen volgens de enquêtegegevens. Dit wordt nog complexer door de grote heterogeniteit van de dataset: tussen de verschillende woningen komen er heel uiteenlopende combinaties van energiebronnen voor per verbruikspost.

### 4.1.3 Uiteenlopende randcondities

De EPB-berekening wordt uitgevoerd voor één enkel referentiejaar. Het buitenklimaat week tijdens de periode van de facturatiegegevens uiteraard af van deze standaardsituatie. Bovendien stemmen de facturatiegegevens voor elke woning overeen met een andere periode. Ten eerste zijn deze t.o.v. mekaar verschoven in de tijd, met bijv. een andere winterperiode voor een andere woning. Ten tweede zijn de periodes van de facturatiegegevens steeds van een andere lengte, waarbij de ene periode meerdere maanden meer kan tellen dan de andere. Om de werkelijke verbruiksdata te vergelijken met de theoretische data uit EPB, dienen de werkelijke verbruiksgegevens herrekend te worden naar de randcondities van de theoretische verbruiksgegevens of omgekeerd. Om verbruiksdata te vergelijken tussen de woningen onderling, dienen in het beste geval, indien mogelijk, alle verbruiksgegevens herleid te worden tot dezelfde randcondities, of dient er bij de statistische analyse rekening te worden gehouden met de onderlinge afwijkingen.

### 4.1.4 Nauwkeurigheid en detaillering van de werkelijke verbruiksdata

De werkelijke verbruiksgegevens werden opgevraagd via de enquêtes, voorafgaand aan dit onderzoek. Voor gas en electriciteit, werd er gevraagd naar de facturatiegegevens. Wie deze gegevens niet bij de hand had, werd de toestemming gevraagd om deze bij Eandis en/of Infrax op te vragen. Mits wegfilteren van verkeerde manuele ingave door de ondervraagden, kan deze data als vrij nauwkeurig beschouwd worden. Daarentegen beschikt men zo slechts over één enkel datapunt per energiebron: het totaal-verbruik over één periode van gemiddeld ongeveer één jaar. Het is hieruit dus niet mogelijk om bijvoorbeeld een beeld te schetsen van het verbruik voor sanitair warm water vs. dat voor verwarming door zomerperiodes te vergelijken met winterperiodes. Doordat het onderzoek bovendien uitgevoerd wordt op woningen met relatief lage energievragen, kunnen fouten ten gevolge van vereenvoudigde inschattingen van verbruiksposten zwaar doorwegen op de uiteindelijke nauwkeurigheid van de analyse.

Voor de werkelijke verbruiken aan andere energiebronnen zoals hout, pellets, stookolie en gasflessen, werd aan de inwoners gevraagd een inschatting te maken van hun gemiddeld verbruik per jaar. Er kunnen heel sterke twijfels geuit worden over de nauwkeurigheid van deze antwoorden. Dit vergt immers een relatief goed inschattingsvermogen of boekhouding. De nauwkeurigheid van een dergelijke inschatting zal stijgen naarmate de woning meerdere jaren in gebruik is, maar de meeste woningen waren nog maar een tweetal jaar in gebruik. In het begin van de bewoning zullen zich daarentegen tijdelijke wijzigingen hebben plaatsgevonden (verhuis, droging van het gebouw…), waardoor de bewoner daarmee rekening zou moeten houden om een ‘correct’ antwoord te geven. Daarbij komt ook dat de energie-inhoud van bijv. hout heel moeilijk uniform af te leiden is voor de uiteenlopende invoermogelijkheden uit de enquête (bijv. sterre, volume, gewicht) en sterk afhankelijk is van de eigenschappen van dat hout (o.a. vochtigheidsgraad). Hierdoor zou het gebruik van deze data voor een te grote onnauwkeurigheid zorgen bij de vergelijking met het theoretisch energieverbruik, des te meer gezien de beperkte dataset en de relatief lage energievragen. Daarom zijn cases die beroep doen op deze energiebronnen buiten beschouwing gelaten bij analyses op de bijhorende energieposten.

## 4.2 NORMALISATIE

Voor de analyse van de verbruiksgegevens en de afwijkingen tussen theoretische en werkelijke verbruiken, wordt voorafgaand beroep gedaan op normalisatie. Standaard houdt dit in dat de werkelijke verbruiken, onderhevig aan de werkelijke, uiteenlopende randcondities, herleid worden tot één gestandaardiseerde situatie. Dit gebeurt dan ook meestal per verbruikspost, in functie van zijn determinanten (bijv. koken i.f.v. de tijd, verwarming i.f.v. het buitenklimaat, …) Voor dit project werd een afwijkende werkwijze toegepast.

### 4.2.1 Klassieke methodes

In de voorafgaande paragrafen zijn de moeilijkheden opgelijst die voorkomen bij het vergelijken van de verbruiken uit EPB met deze uit de enquêtes. De klassieke methodes van normalisatie zou men kunnen samenvatten in de volgende 3 opties:

Optie 1:
Via regressieanalyses of schattingen van verbruiksposten, de verschillende verbruiksposten kunstmatig opsplitsen uit de facturatiegegevens en deze afzonderlijk normaliseren. Doordat slechts één enkele verbruikspunt gekend is (één totaalverbruik per meter voor één enkele periode), is een regressieanalyse onmogelijk. Werken met geschatte verbruiken voor bepaalde posten (bijv. sanitair warm water i.f.v. het aantal personen), zou een negatie zijn van de invloed van individueel gebruikersgedrag, hetgeen net een onderzoeksvraag is. Gezien de relatief hoge energieprestatie van de woningen zou dit bovendien leiden tot te grote procentuele onzekerheden. Deze optie is bijgevolg niet weerhouden.

Optie 2:
Een andere denkpiste bestaat erin de werkelijke verbruiken op te splitsen in afzonderlijke verbruiksposten, evenredig met de procentuele verdeling uit de theoretische EPB-berekening. Een eerste probleem hierbij is het ontbreken van het huishoudelijk energieverbruik in de EPB-berekening. Een tweede probleem is opnieuw de negatie van gebruikersgedrag. Een derde probleem is dat hierdoor mogelijke fouten uit de EPB-berekeningen geprojecteerd zouden worden naar de werkelijke verbruiken, terwijl men net de afwijkingen tussen beide wil onderzoeken. Ook deze optie is bijgevolg niet weerhouden.

Optie 3:
Een laatste optie bestaat erin enkel te werken met ‘zuivere’ cases, waarbij één energiebron overeenstemt met één enkele verbruikspost (bijv. verwarmen 100% op gas en gas voor niets anders, noch voor koken, noch voor sanitair warm water). Voor deze dataset is dit niet van toepassing, aangezien dit zou leiden tot veel te weinig overblijvende cases om nog enige analyse op uit te voeren.

### 4.2.2 Alternatieve methode

In plaats van alle werkelijke verbruiken te normaliseren naar een standaard (EPB-)jaar, is er als alternatief voor dit project gekozen om alle theoretische EPB-berekeningen te (a)normaliseren naar de respectievelijke werkelijke randcondities van elke werkelijke verbruiksperiode. Deze werkwijze is wel mogelijk op een zuivere en relatief nauwkeurige manier, doordat de theoretische verbruiken uit EPB wel per verbruikspost zijn uitgedrukt. Bovendien is men bij de theoretische verbruiken volgens EPB niet beperkt door slechts één enkel totaalverbruik over één enkele periode: men beschikt over gedetailleerde invoergegevens en tussenresultaten. Hierdoor is het mogelijk om deze (a)normalisatie

gebouwspecifiek te maken en m.a.w. niet de nadelen te ondervinden van bijv. een graaddagen-methode die niet gebouw-specifiek is.
De variatie in randcondities tussen de werkelijke verbruiksperiodes uit de verschillende cases was enerzijds beperkt door de relatief beperkte spreiding ervan en werd anderzijds opgevangen door dit mee als parameter in rekening te brengen in de verdere statistische analyses. Deze methode is hier des te meer toepasbaar omdat de interesse van het onderzoek vooral gaat naar de afwijking tussen de theoretische en de werkelijke verbruiken. Hiervoor is het bovendien veelal aangewezen om te werken met relatieve verschillen.
Een eerste optie voor deze omzetting, is het steunen op standaard normalisatiemethodes zoals bijv. de graaddagen-methode. Deze negeert daarentegen de gebouwspecifieke verhouding van de warmtevraag van een woning i.f.v. het buitenklimaat (zoals bijv. de afhankelijkheid van zonnewinsten i.f.v. o.a. de beglazing). Een andere optie zou erin bestaan de EPB-berekening opnieuw uit te voeren voor de werkelijke klimaatcondities, hetzij vanaf de ruwe invoerdata (bijv. oppervlaktes en U-waarden), hetzij vanaf tussenstappen (bijv. winsten en verliezen). Hiervoor is de data voorhanden in de EPB-database ontoereikend.
De optie die hier gekozen is, bestaat erin een multipele regressie toe te passen, per verbruikspost, met als afgeleide outputvariabele de energievraag volgens EPB en als onafhankelijke input de meest bepalende randcondities en variabelen. Hiervoor beschikt men voor elke verbruikspost over 12 punten, één per maand. Hieruit worden dan de regressieparameters bepaald die, in combinatie met KMI-data van de werkelijke verbruiksperiode, gebruikt worden om herrekende, periode-specifieke theoretische waarden te bekomen. Voor verwarming komt dit bijv. neer op een multipele regressie met als afhankelijke variabele de warmtevraag per tijdseenheid en als onafhankelijke inputvariabelen de gemiddelde buitentemperatuur en de bezonning per tijdseenheid.
Als indicatie van de nauwkeurigheid van deze methode, is de afgeleide regressie opnieuw toegepast op het EPB-jaar en zijn de resultaten hiervan vergeleken met de directe EPB-resultaten, afzonderlijk voor verwarming, sanitair warm water en hulpenergie (Fig. 19). Dit illustreert de relatief hoge nauwkeurigheid die gehaald kan worden voor een werkelijke verbruiksperiode van meerdere maanden. Dit is veel beter dan de afwijkingen bij vereenvoudigde graaddagen-methodes. De afwijkingen zijn uitgedrukt in onder de vorm van enerzijds (a) de absolute waarde (steeds positief) van de procentuele afwijkingen op jaarbasis en (b) voor de maand met de grootste absolute afwijking, de procentuele afwijking daarvan t.o.v. het jaartotaal. (Dat laatste wordt uitgedrukt i.f.v. het jaartotaal om geen betekenisloze procentuele afwijkingen te tonen voor de maanden met een energievraag quasi gelijk aan nul. Er moet hierbij immers ook rekening gehouden worden met de lengtes van de werkelijke verbruiksperiodes, die steeds meer dan een half jaar zijn, over verschillende seizoenen heen.)

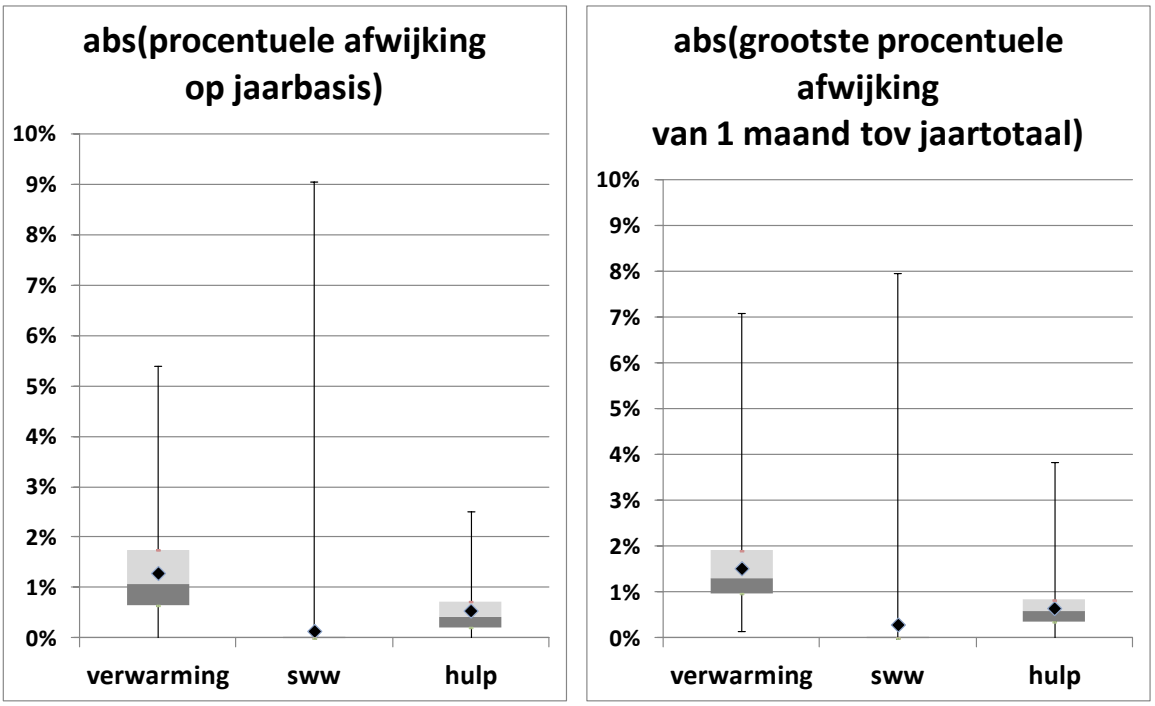


Fig. 19 Afwijking tussen directe EPB-resultaten en resultaten via regressie

### 4.2.3 PV-panelen

Eén uitzonderingspost waarop deze regressiemethode niet is toegepast, is deze van de electriciteitsproductie van fotovoltaïsche zonnepanelen. De productie daarvan is rechtstreeks afhankelijk van het klimaat (zoninstraling) en van de oriëntatie en beschaduwing van de panelen. Dit leidt tot een sterk tijdsgerelateerd verband (omwille van de oriëntatie, beschaduwingshoeken en wijzigende zonnestand). Aangezien er geen andere invloedsparameters zijn in de berekening, bestaat er een meer nauwkeurige normalisatiemethode voor de PV-productie: rechststreeks per kalendermaand de verhouding bepalen van de productie t.o.v. de irradiantie uit de EPB-klimaatdata en deze vervolgens, voor de overeenstemmende kalendermaanden, toepassen op de werkelijke klimaatdata van het KMI.
Zoals eerder aangetoond, heeft 30% van de huishoudens later PV-panelen toegevoegd. De enige data die daarbij beschikbaar is, komt uit de enquête en beperkt zich tot een schatting van de oppervlakte van de PV-panelen door de inwoners zelf. Zowel ten gevolge van deze benaderende schattingen alsook ten gevolge van het ontbreken van aanvullende informatie (bijv. oriëntatie, helling, beschaduwing, rendement, geïnstalleerd vermogen, groene-stroom-certificaten,…), is een nauwkeurige bepaling van de theoretische opbrengst van de deze panelen onmogelijk. Om toch enige schatting te maken van de opbrengst door deze toegevoegde PV-panelen, is voor elke maand een afzonderlijke regressie bepaald tussen het oppervlak aan PV-panelen en de bezonning (EPB-klimaat) als input, en de resulterende electriciteitsopwekking volgens EPB als output. Dit is uitgevoerd voor de cases die wel reeds PV-panelen hadden bij nieuwbouw. Daarvan beschikken we immers over zowel data uit de EPB-database alsook de schatting van de oppervlakte aan PV-panelen volgens de bewoners.
Als controle hebben we hier manueel de oppervlaktes volgens de enquêtes vergeleken met het aantal panelen en het type paneel volgens de EPB-database. Hieruit blijkt duidelijk de beperkte nauwkeurigheid van de oppervlakteschattingen door de bewoners.
Een veilige weg, bestaat erin al deze cases te verwijderen uit de analyses m.b.t. het electriciteitsverbruik. Dit zou daarentegen resulteren in een te kleine datase. Daarom zijn deze cases in de analyses opgenomen, maar zijn alle analyses uitgevoerd zowel met als zonder deze cases, om het effect hiervan na te gaan.

### 4.2.4 Eindbeschouwing

De voorgestelde werkwijze is zeker niet 100% nauwkeurig, maar is veel nauwkeuriger dan andere klassieke normalisatiemethodes. Dit komt doordat foutieve inschattingen en foutenprojecties vermeden worden, alsook doordat deze methode rekening houdt met de warmtebalansen van de afzonderlijke woningen, waardoor er een 'normalisatie op maat' gebeurt.
De electriciteitsgegevens van de cases met toegevoegde PV-panelen zullen daarentegen een veel lagere nauwkeurigheid kennen, waardoor deze analyses ook beperkt zijn.
Een belangrijke kanttekening, is dat alle energieverbruiken in de EPB-database uitgedrukt zijn in primaire energie. Door het ontbreken van data over energiebronnen in de EPB-database, kunnen de verbruiksposten niet opgesplitst worden per energiebron (bijv. in geval van verwarming op warmtepomp met extra houtkachel). Tenzij expliciet anders geformuleerd, wordt daarom verder steeds gewerkt met primaire energie-equivalenten (met als conversiefactor voor electriciteit volgens EPB 2,5). De werkelijke verbruiken volgens de elektriciteitsfacturen zijn dan ook met 2,5 vermenigvuldigd alvorens te vergelijken met de waarden uit EPB.

## 4.3 SAMPLING

### 4.3.1 Samples

Om gerichte analyses uit te voeren, zijn er uit de volledige dataset drie afzonderlijke samples bepaald.

Sample 1: totaalverbruik
De eerste sample omvat cases waarvoor het totale energiegebruik als geheel kan worden geanalyseerd. Hierin zitten alle verbruiksposten vervat uit de EPB-berekening, alsook het energieverbruik voor koken, verlichting, huishoudelijke toestellen enz. Dit zijn de cases waarvoor al deze verbruiksposten volledig op gas en/of electriciteit steunen.

Sample 2: verwarming en sanitair warm water
De tweede sample focust zich enkel op twee verbruiksposten die veelal het zwaarst doorwegen in EPB-berekeningen: verwarming en sanitair warm water. Dit zijn cases waarbij verwarming en sanitair warm water volledig op gas steunen en gas voor niets anders gebruikt wordt (ook niet voor koken). Cases die hiervoor al dan niet volledig steunen op electriciteit of andere energiebronnen (bijv. hout), horen hier niet bij, aangezien electriciteit ook steeds gebruikt wordt voor posten die niet in de EPB-methode zitten.

Sample 3: basis electriciteitsverbruik
De derde sample focust op het vast electriciteitsverbruik. Hierin zitten enkel cases die electriciteit noch voor verwarming, noch voor sanitair warm water gebruiken. De enige posten die hierin vervat zitten en ook in EPB zitten, zijn de hulpenergie en de electriciteitsproductie door PV-panelen. Cases met koeling zijn hier uit weggehaald: door hun beperkte aantal en de reeds heel grote spreiding op het werkelijk electriciteitsverbruik bij de andere cases, kan er geen significante uitspraak gemaakt worden over de werkelijke koelvraag en riskeren deze cases de analyses te verstoren.

Er is gezocht naar bijkomende samples, zoals bijv. samples waarbij enkel verwarming of enkel sanitair warm water kan worden geïsoleerd, maar dit leidt telkens tot verwaarloosbaar kleine samples (vaak minder dan een tiental), waarop geen statistisch significante uitspraak zou kunnen worden gemaakt gezien de spreiding zowel in huishoudens als in gebouwkarakteristieken.
Voor elk van de drie vermelde samples, zijn subsamples bepaald voor doelgerichte analyses (bijv. voor sample 2 enerzijds de cases met een gemeten luchtdichtheid en anderzijds deze met een v50-waarde bij ontstentenis).

### 4.3.2 Filtering & controles

#### 4.3.2.1 Sample-afhankelijke filtering

Er is reeds melding gedaan van de vele tekortkomingen, fouten en onzekerheden (o.a. tegenstrijdigheden) die zijn gevonden in de dataset.
De daarbij horende parameters zijn niet noodzakelijk relevant voor elke verbruikspost. Daarom is voor elke sample een aparte set aan filters gebruikt om de onbruikbare cases te verwijderen, maar toch zoveel mogelijk cases te behouden. Zo zijn bijv. de cases waarbij de EPB-data en de enquêtes mekaar tegenspreken op vlak van gebouwtypologie (gesloten/halfopen/vrijstaand) verwijderd uit sample 2 en sample 1, omdat dit een groot invloed kan hebben op de warmtevraag, maar zijn ze niet verwijderd uit sample 3. Omgekeerd zijn bijv. cases met een onoverkomelijke fout m.b.t. de PV-panelen weggehaald uit sample 3 en sample 1, maar niet uit sample 2.
Een laatste, manuele filtering is uitgevoerd nà bovenvermelde filtering en tijdens de analyses achteraf. Hierbij worden onverklaarbare afwijkingen geïdentificeerd en vervolgens manueel onderzocht door alle parameters te onderzoeken naar mogelijke oorzaken. Dit vergt een zekere voorkennis van het

probleem en tijdrovend manueel werk, maar is noodzakelijk om heel specifieke fouten eruit te halen en zo te voorkomen dat foutieve outliers de analyses verstoren. Een tiental cases werden op deze manier verwijderd, over alle samples heen. (Zo kunnen bijv. cases voorkomen waarbij de afwijking zodanig groot is dat die mogelijks kan worden toegeschreven aan foutief afgelezen eenheden op de energiefactuur: Wh vs. kWh.)

Ondanks de specifieke aanpassing van de set filters aan elke sample afzonderlijk, heeft het grote aantal fouten en tegenstrijdigheden in de dataset gezorgd voor een heel grote krimp aan bruikbare cases. Terwijl oorspronkelijk ongeveer 350 cases in sample 1 zaten, 135 cases in sample 2 en 260 cases in sample 3, blijven er na de volledige filterprocedure nog maar respectievelijk ongeveer 100, 75 en 150 cases over.

#### 4.3.2.2 Analyse-afhankelijke filtering

Verder kan het ontbreken van een parameter in iemands enquête wel in de weg staan van een specifieke analyse, maar niet van het opnemen van deze case in de sample. Bijv. indien het inkomen van een gezin niet is ingevuld, kan die case niet meegenomen worden in een analyse naar het verband tussen het gezinsinkomen en het verbruik, maar wel in eventuele andere analyses. Bij multipele regressie kan het ontbreken van bepaalde parameters soms wel een probleem vormen. Daarvoor kan men in statistische analysesoftware nog steeds kiezen om enkel de cases te gebruiken die voor àlle parameters een bruikbare waarde hebben (filtering ‘list-wise’), of om steeds met alle cases te werken die voor die specifieke parameter een bruikbare waarde hebben (filtering ‘pair-wise’).

## 4.4 ANALYSE

### 4.4.1 Tools

Als werktools zijn voornamelijk Excel [5] en SPSS [4] gebruikt. De filtering en berekeningen (normalisaties, bepaling van afgeleide variabelen,…) zijn vooral met Excel gebeurd. De statistische analyses en de meeste grafieken zijn met SPSS uitgevoerd.

### 4.4.2 Werkwijze

Als eerste stap wordt er gezocht naar verbanden. Dit gebeurt enerzijds puntsgewijs, door het aftoetsen van specifieke veronderstellingen uit voorkennis (bijv. de link tussen inkomen en opleiding) of het stellen van specifieke vragen. Anderzijds is er ook geclusterd gewerkt, door het random zoeken naar mogelijks onverwachte correlaties tussen variabelen.
Eenmaal verbanden gevonden worden (of verwachte verbanden niet gevonden worden), wordt dit in een tweede stap verder onderzocht. Hierbij wordt enerzijds gezocht naar de opeenvolging van al dan niet rechtstreekse verbanden (rechtstreekse vs. onrechtstreekse correlaties) en anderzijds naar mogelijke theoretische verklaringen (uit achtergrondkennis en parallel opzoekingswerk, aangevuld met extra berekeningen).
In functie van de bevindingen uit deze stap, wordt teruggekeerd naar de eerste stap en doet het proces zich cyclisch verder.

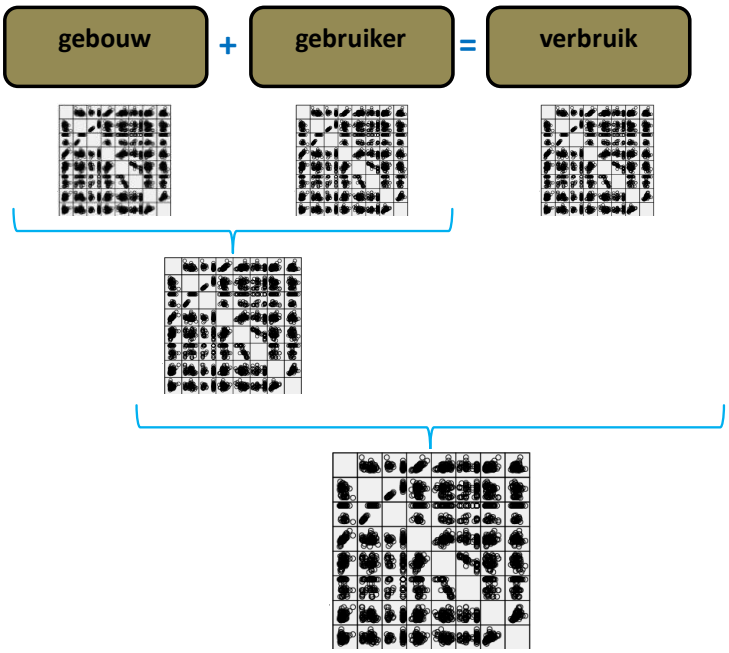


Fig. 20 werkwijze in opeenvolgende fases

Deze werkwijze wordt in een eerste fase afzonderlijk uitgevoerd op de gebouwdata, de bewonersdata en de verbruiksdata (o.a. verbruiken en absolute en relatieve afwijkingen). Vervolgens wordt dit in een 2$^{de}$ fase uitgevoerd op de data over de gebouwen en de gebruikers samen. (Resultaten uit deze eerste twee fases op gebouw en bewoner, staan reeds beschreven in 3 DEEL 3: ANALYSE VAN DE SAMPLE.) In een derde fase wordt de verbruiksdata toegevoegd aan de analyses. De resultaten met betrekking tot de werkelijke verbruiksgegevens en de afwijkingen tussen theoretische en werkelijke verbruiken worden hieronder samengevat.

# 5. DEEL 5: ANALYSE VAN HET ENERGIEVERBRUIK EN DE AFWIJKINGEN (fase 4)

Hieronder worden de resultaten samengevat van het onderzoek op het werkelijk energieverbruik en op de afwijkingen tussen werkelijk en theoretisch energieverbruik. Eerst worden de verbruiken en afwijkingen in kaart gebracht, waarna er per sample verder onderzoek wordt uitgevoerd.

Bij het doornemen van de resultaten moeten enkele belangrijke punten onthouden worden:

- Tenzij specifiek anders vermeld, worden de verbruiken hier steeds uitgedrukt in hun primaire energie-equivalent, met als conversiefactor voor electriciteit deze van de EPB-methode (2,5).
- Afwijkingen tussen theorie en werkelijkheid worden steeds bepaald als het werkelijk verbruik min het theoretisch verbruik. Een positieve afwijking betekent bijgevolg een onderschatting, een negatieve afwijking een overschatting.
- Procentuele afwijkingen:
    - Wanneer afwijkingen procentueel worden uitgedrukt in functie van het totaal verbruik, kunnen zich extreme waarden voordoen ten gevolge van de soms lage absolute verbruiken. Dit verklaart mee de aanwezigheid van outliers.
    - Omwille van de PV-panelen, kan het totaal verbruik soms negatief zijn (bijv. het theoretisch verbruik uit sample 3, gelijk aan de hulpenergie min de productie door PV-panelen). Daarbij zou een procentuele afwijking betekenisloze waarden aannemen. Daarom wordt, wanneer vermeld, overgegaan tot de procentuele afwijking t.o.v. de energievraag zonder rekening te houden met de PV-panelen. (Dit zou men ook kunnen beschouwen als de werkelijke procentuele afwijking van de energievraag zonder PV, indien men veronderstelt dat de raming van de productie door PV-panelen in EPB nauwkeurig genoeg is.)
- Er wordt steeds zoveel mogelijk gewerkt met overeenstemmende verbruiksposten tussen theoretische EPB-waarden en werkelijke waarden. Als bijhorende speciale aandachtspunten bij sample 1 en sample 3, dient men te onthouden dat er in werkelijkheid een post is die niet in EPB zit (koken, verlichting, ander huishoudelijk electriciteitsverbruik, …) en dat voor de EPB-waarden geen rekening is gehouden met fictieve koeling, aangezien dit gaat om cases waar er geen koelinstallatie is.
- Wanneer waarden per jaar worden uitgedrukt, dienen deze als indicatief beschouwd te worden ten gevolge van de normalisatiemethode. De jaarlijkse waarden zijn bepaald uit de gemiddelde waarden per dag, vermenigvuldigd met 365. Aangezien elke case vertrekt van een min of meer afwijkende periode, die niet exact één jaar duurt, doet zich hier een normalisatiefout voor. Deze jaarlijkse waarden worden daarom enkel in het volgend paragraaf gebruikt ter indicatie van de grootteorde van de verbruiken. Bij de statistische analyses wordt gewerkt zoals hogerop aangegeven.

## 5.1 BESCHRIJVING VAN DE VERBRUIKEN EN AFWIJKINGEN

Ter indicatie, worden de werkelijke jaarlijkse verbruiken en de jaarlijkse afwijkingen tussen werkelijke en theoretische verbruiken weergegeven in onderstaande grafieken. Eerst worden de verbruiken en afwijkingen getoond per jaar ([kWh/j] Fig. 21 (a) & (b)) en vervolgens genormaliseerd per vloeroppervlakte ([kWh/(m².j)], Fig. 22 (a) & (b)). Ook al zitten niet steeds dezelfde cases in sample 1, 2 en 3, kan sample 1 beschouwd worden als de 'totaal-sample', waarin de som zit van de verbruiken uit sample 2 (verwarming en sanitair warm water) en sample 3 (hulpenergie, PV, huishoudelijk electriciteitsverbruik). Hierbij valt op dat, gezien de relatief hoge energieprestatie van de gebouwen op vlak van verwarming en sanitair warm water, de electriciteitsverbruiken zwaar doorwegen. Hierin speelt de conversiefactor naar primaire energie voor electriciteit een grote rol. Desalniettemin, staat dit in schril contrast tot de verdeling van de energievraag in oude woningen.
Kijken we naar de afwijkingen, dan valt op dat het verbruik voor verwarming en sanitair warm water voor de overgrote meerderheid van de cases wordt overschat, maar dat dit, op sample-schaal, meer dan volledig gecompenseerd wordt door de onderschatting van het electriciteitsverbruik in sample 3. Hierdoor verbruiken de meeste huishoudens in totaliteit meer primaire energie dan volgens EPB aangegeven. Dit kan uiteraard vooral worden toegeschreven aan de verbruiksposten die niet in de EPB-methode vervat zitten, zoals hogerop aangehaald en verder besproken zal worden.
Ter verdere indicatie, worden de afwijkingen ook procentueel uitgedrukt, met en zonder de productie van de PV-panelen in te rekenen in het totaal verbruik waardoor de afwijking gedeeld wordt (Fig. 23 (a) & (b)).
In de volgende paragrafen wordt er verder ingegaan op de afzonderlijke samples, vertrekkend van sample 2 en sample 3, om af te sluiten bij sample 1 dat inhoudelijk het resultaat is van de twee andere.

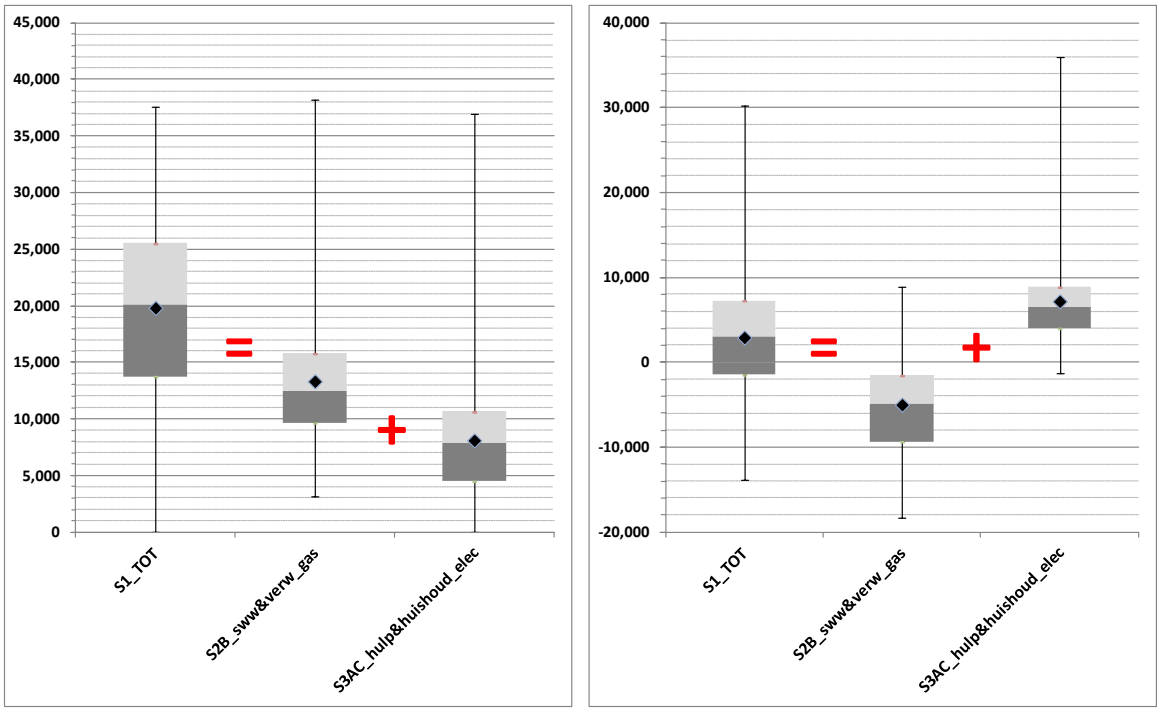


Fig. 21 werkelijke energieverbruiken (a) en afwijkingen tussen werkelijke en theoretische energieverbruiken (b), per jaar [kWh/j]

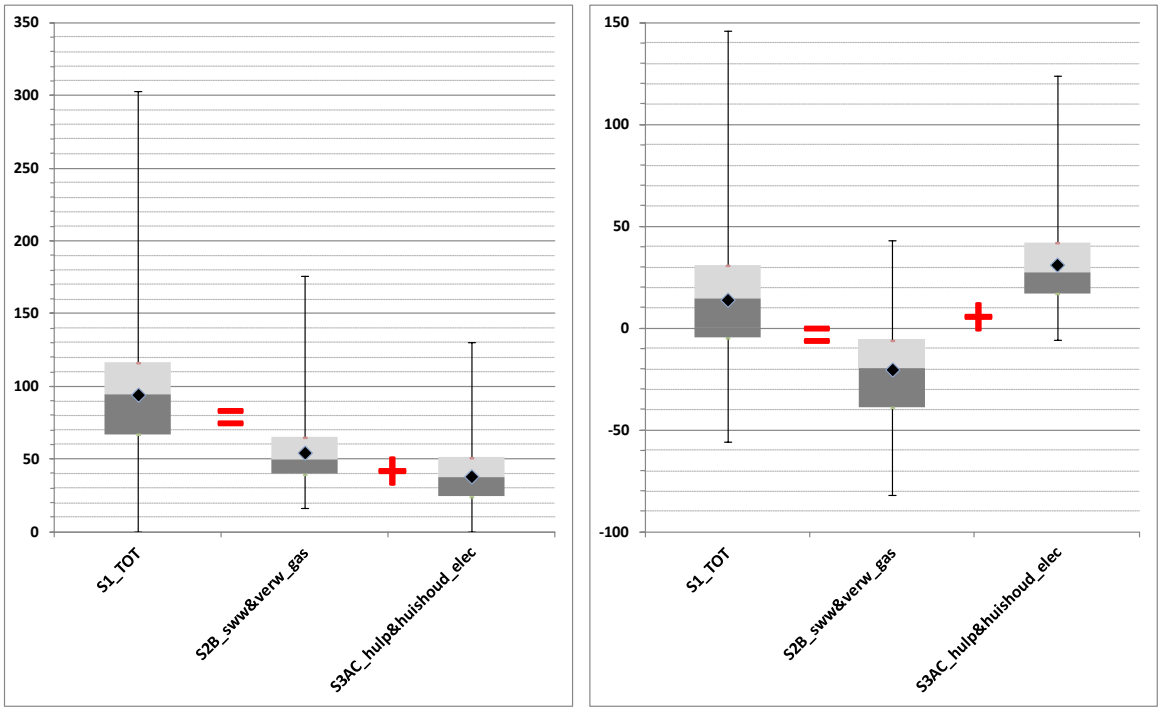


Fig. 22 werkelijke energieverbruiken (a) en afwijkingen tussen werkelijke en theoretische energieverbruiken (b), per vloeroppervlakte en per jaar [kWh/(m².j)]

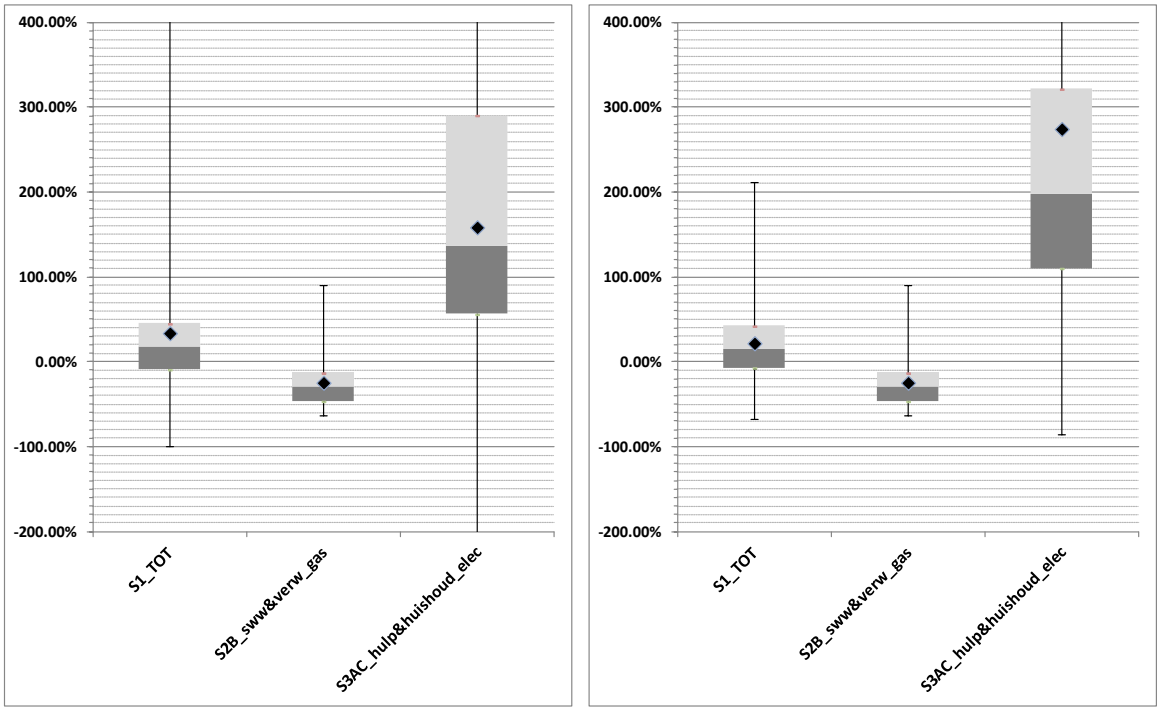


Fig. 23 afwijkingen tussen werkelijke en theoretische energieverbruiken met (a) en zonder (b) de productie door PV-panelen in te rekenen. [%]

## 5.2 SAMPLE 2

### 5.2.1 Inleiding

Aangezien sample 2 steunt op gasverbruiken, geldt hier een conversiefactor naar primaire energie gelijk aan 1. Zonder enige parameters toe te voegen in een multipele regressie, vertoont het werkelijk verbruik een heel sterk en onbetwistbaar significant verband met de ge(a)normaliseerde berekeningen uit EPB (in [kWh]) (Fig. 24). Dit verband kan weliswaar mee veroorzaakt worden door de variatie in de lengtes van de 'meetperiodes' en het afwijkend klimaat tussen deze periodes. Multipele regressieanalyse wijst uit dat de correlatie hierdoor weliswaar wat versterkt wordt, maar dat er wel degelijk een rechtstreekse sterke correlatie met onbetwistbare significantie is tussen het werkelijk verbruik en de rekenmethode. Dit kan slechts in beperkte mate in een tweedimensionale grafiek aangeduid worden. Ter indicatie zijn in de figuren de cases blauw ingekleurd waarvan de periode het meest afwijkt van een gemiddeld jaar, hetzij ten gevolge van de lengte van de meetperiode (vooral van belang voor sanitair warm water) hetzij ten gevolge van het klimaat tijdens die periode (op basis van het gemiddeld aantal graaddagen per dag, vooral van belang voor verwarming). Daarbovenop geven Fig. 25 (a) & (b) dezelfde verbruiken weer, maar uitgedrukt respectievelijk per dag en per graaddag. Hieruit blijkt duidelijk de blijvende correlatie, ook al is dit hier slechts tweedimensionaal voorgesteld.

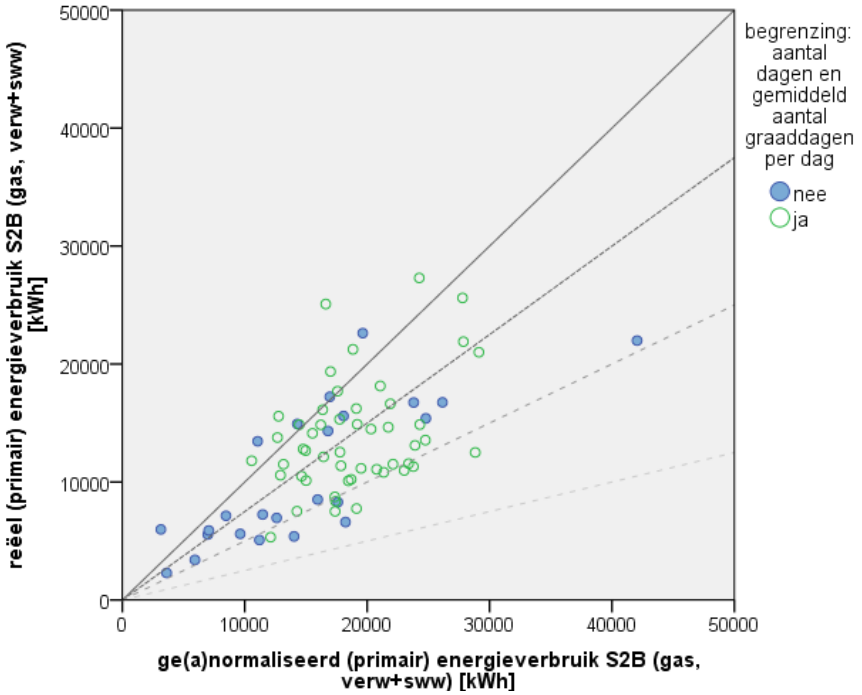


Fig. 24 werkelijk vs. theoretisch ge(a)normaliseerd energieverbruik (sample 2 [kWh])

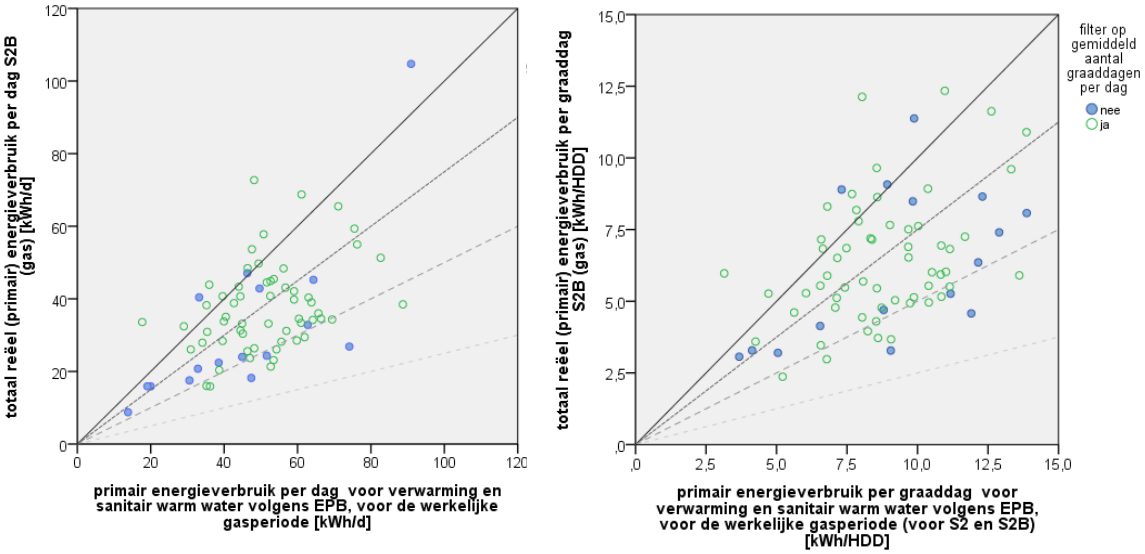


Fig. 25 werkelijk vs. theoretisch ge(a)normaliseerd energieverbruik (sample 2)
(a) per dag [kWh/d] en (b) per graaddag [kWh/HDD]

### 5.2.2 Onderzoek naar de afwijking

Via correlatieanalyses en multipele regressieanalyses, is onderzocht welke de mogelijke oorzaken zijn van de afwijkingen tussen het werkelijk en het berekend energiegebruik. De eerste twee parameters die besproken worden, zijn gebouwgebonden. De twee volgende parameters zijn gebruiksgebonden.

#### 5.2.2.1 Luchtdichtheid

##### 5.2.2.1.1 bevindingen

De meest doorslaggevende determinant in de afwijking tussen het theoretisch en het werkelijk energievebruik, blijkt de inrekening van de luchtdichtheid in de EPB-berekening. Op een groot deel van de woningen is er geen luchtdichtheidstest uitgevoerd, waardoor in de berekening gewerkt is met de v50-waarde bij ontstentenis van 12m³/(h.m²) (m³/h per vierkante meter verliesoppervlakte). De werkelijke luchtdichtheid van de woningen waar wel een meting op gebeurd is, blijkt veel lager, ook al zijn dit niet allemaal woningen die aan de luchtdichtheidseis voor passiefhuizen voldoen (n50=0,6 m³/(h.m³)) (Fig. 26 (a) & (b)). Dit komt ook overeen met luchtdichtheidsmetingen op random nieuwbouwwoningen uitgevoerd in het kader van andere onderzoeksprojecten van de UGent ([6], [7]): zelfs bij de woningen waar geen luchtdichtheidstest werd uitgevoerd door of in opdracht van de architect, bouwheer of aannemer, lag de gemiddelde luchtdichtheid beduidend lager dan de waarde bij ontstentenis. Hieruit kan verondersteld worden dat dit ook voor de meeste cases uit deze sample het geval zal zijn.

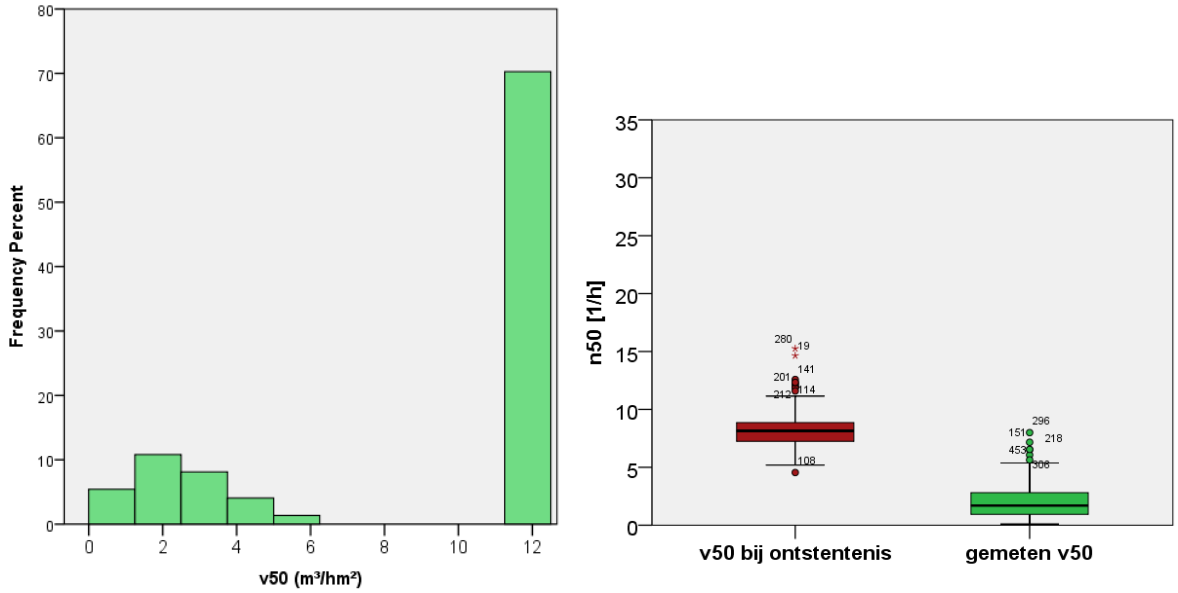


Fig. 26 luchtdichtheid: (a) distributie van de v50-waarde [m³/(h.m²)] en
(b) n50-waarde [m³/(h.m³)] voor cases met v50-waarde bij ontstentenis vs. cases met gemeten v50-waarde

Dit resulteert in een relatieve overschatting van de infiltratieverliezen voor de cases zonder luchtdichtheidsmeting. Aangezien de infiltratieverliezen berekend worden als het product van de v50-waarde en het verliesoppervlakte, weegt deze relatieve overschatting des te zwaarder door naarmate het verliesoppervlakte groter wordt. Aangezien de dataset voornamelijk bestaat uit grote, vrijstaande woningen, is dit hier het geval. Deze relatieve overschatting weegt nog eens zwaarder door naarmate het gebouw dankzij andere maatregelen (bijv. isolatie en balansventilatie met warmterecuperatie) een lagere netto warmtevraag heeft, aangezien het procentuele aandeel van de verliezen ten gevolge van

infiltratie dan toeneemt. Ook dit is van toepassing op de dataset, waarin meer dan 80% van de cases balansventilatie met warmterecuperatie heeft.
Het gevolg hiervan op de afwijking tussen het werkelijk en het theoretisch verbruik kan duidelijk afgeleid worden uit Fig. 27. Multipele regressieanalyse bevestigt dat het opgemerkt verband geïsoleerd kan worden tot de infiltratieverliezen, waarbij logischerwijze de hoogste correlatie gevonden wordt niet met de v50, maar met het product van de v50-waarde en het verliesoppervlakte. Dit kan ook enigszins visueel opgemerkt worden uit Fig. 28, waaruit duidelijk blijkt dat dit geldt over zowel de woningen met hogere als deze met lagere totale energievragen.

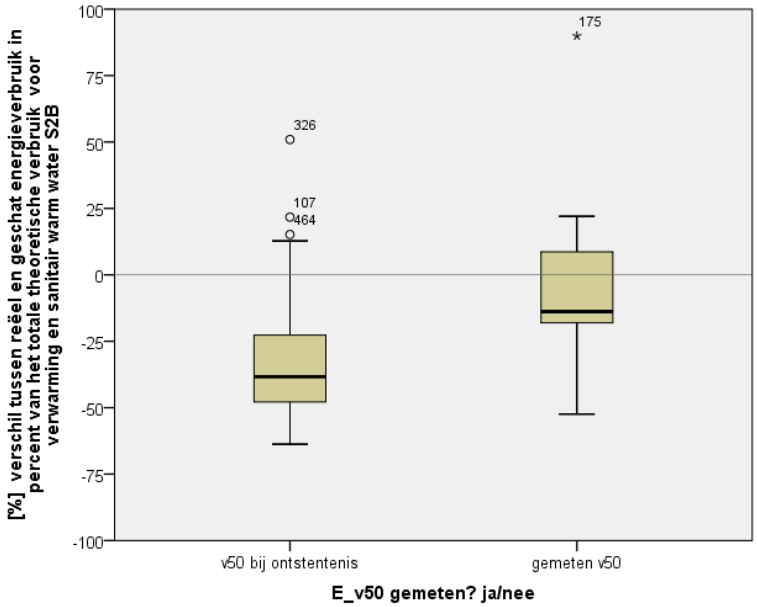


Fig. 27 procentuele afwijking tussen werkelijk en theoretisch verbruik (sample 2)

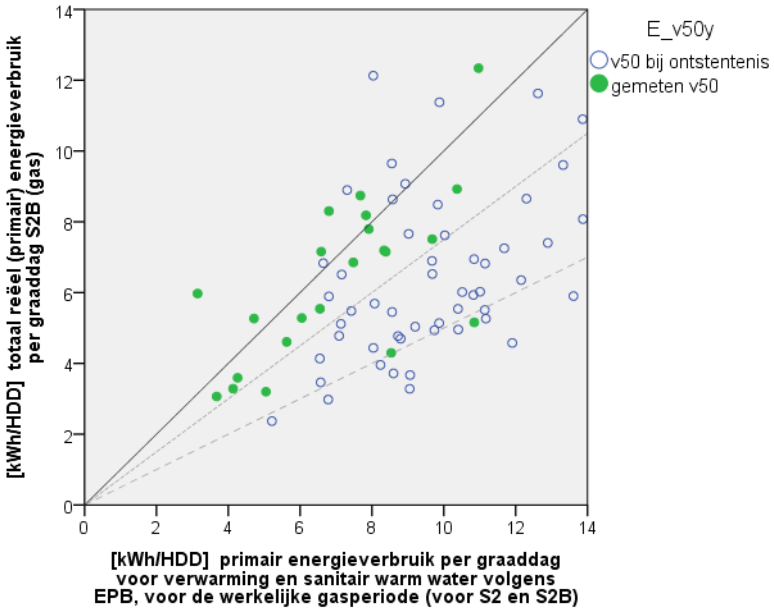


Fig. 28 werkelijk vs. theoretisch energieverbruik per graaddag [kWh/HDD] (sample 2)

Hieruit mogen geen overhaaste conclusies getrokken worden. Hiermee wordt immers noch bewezen (1) dat de werkelijke infiltratieverliezen bij cases met luchtdichtheidsmeting correct zijn ingeschat in EPB, noch (2) dat deze foutief zijn overschat voor de cases zonder luchtdichtheidsmetingen en bijgevolg ook niet (3) dat de infiltratieverliezen realistisch zijn ingerekend in de EPB-rekenmethode. Het enige wat hiermee wordt aangeduid, is de overschatting van het relatief verschil in warmtevraag tussen de cases met en deze zonder luchtdichtheidsmeting.
Het gevolg van deze waarde bij ontstentenis op het geschat energieverbruik volgens EPB is voor dergelijke woningen heel groot. Om een correctere inschatting te maken van het verschil in werkelijk energieverbruik tussen woningen, dient rekening te worden gehouden met een meer realistische waarde voor de luchtdichtheid. Of de waarde bij ontstentenis ook moet worden aangepast in het kader van de EPB-regelgeving, voor het toekennen van energielabels (o.a. E-peil), is een andere vraag, die mee bepaald kan worden door andere overwegingen. Zo kan een strengere waarde bij ontstentenis als stimulans genomen worden voor het uitvoeren van luchtdichtheidstesten en bij uitbreiding voor een grotere aandacht voor luchtdichtheid in het ontwerp en tijdens de uitvoering.

##### 5.2.2.1.2 inrekening

De waarden bij ontstentenis voor luchtdichtheid wegen voor deze cases zwaar door in het resultaat en zorgen voor een grote afwijking. Doordat het effect hiervan afhankelijk is van o.a. het verliesoppervlak en van de verdeling van de warmteverliezen over transmissie, bewuste ventilatie en infiltratie, zorgt dit ook voor een grote spreiding in de afwijkingen tussen de werkelijke verbruiken en de resultaten uit EPB. Dit maskeert op zijn beurt andere mogelijke correlaties. Om verder onderzoek te voeren naar andere correlaties, moet eerst en vooral het effect van de luchtdichtheid bij ontstentenis opgenomen worden. De zuiverste weg, bij gebrek aan werkelijke metingen, zou erin bestaan de EPB-berekening opnieuw uit te voeren, maar met een realistischere inschatting van de v50-waarden, bijv. steunend op de distributie van de gekende gemeten waarden. Dit is echter niet mogelijk doordat bepaalde parameters niet in de EPB-database zitten. Als alternatief is men aangewezen op het inbrengen van dit effect als parameter binnen een multipele regressie. Hierdoor worden analyses op verdere determinanten weliswaar moeilijker, hetgeen mede de lagere significantiegraden verklaard die bij de volgende correlaties zijn gevonden. Verder onderzoek op een grotere en/of beter gedocumenteerde sample zou dit probleem kunnen helpen oplossen.

##### 5.2.2.1.3 kanttekening

Statistische analyses van de invloedsparameters op de afwijking tussen werkelijk en theoretisch verbruik, vergt een goede kennis van de rekenmethodiek uit EPB. Zo veroorzaakt bovenvermelde afwijking op de v50-waarde meerdere, onrechtstreekse en niet noodzakelijk causale correlaties tussen de afwijking op het verbruik en andere, gerelateerde parameters. De afwijking op de v50-waarde veroorzaakt bijvoorbeeld ook een correlatie tussen enerzijds de afwijking tussen werkelijk en theoretisch verbruik en anderzijds het totale warmteverlies, aangezien hierin ook de infiltratieverliezen zitten. Ook de warmteverliescoëfficiënt voor transmissie vertoont een correlatie met de afwijking in energieverbruik, die nochtans kan worden toegeschreven aan de afwijking op de v50-waarde. Dit komt doordat de afwijking op de v50-waarde in de EPB-berekening vermenigvuldigd wordt met het verliesoppervlak; Dit verliesoppervlak is zelf ook een rechtstreekse parameter in de transmissieverliezen. Bijgevolg zal een woning met een groter verliesoppervlak zowel grotere transmissieverliezen hebben alsook een grotere afwijking op de infiltratieverliezen in het geval de v50-waarde bij ontstentenis gebruikt wordt. Bijgevolg veroorzaakt de afwijking in v50-waarde onrechtstreeks een correlatie tussen de afwijking in energieverbruik en de transmissieverliezen. Pas mits correctie op de infiltratieverliezen (door correctie van de EPB-waarde of door een goede multipele regressie), kan dit secundair effect verholpen worden. Een zuivere statistische aanpak riskeert hier tot verkeerde conclusies te leiden en wijst op de complexiteit van deze analyses.

#### 5.2.2.2 Opwekkingsrendement

##### 5.2.2.2.1 bevindingen

Er is nog een correlatie gevonden tussen een tweede gebouwgebonden parameter en de afwijking tussen het werkelijk en het theoretisch energieverbruik. Deze parameter is het opwekkingsrendement van de warmte-opwekkers, die in dit geval allemaal op gasverbranding steunen. De correlatie tussen het opwekkingsrendement en de afwijking in energieverbruik blijkt hier negatief. Dit betekent dat een hoger rendement zou overeenkomen met een grotere onderschatting of een kleinere overschatting van het energieverbruik in EPB. Of omgekeerd, betekent dit dat een lager rendement zou overeenkomen met een grotere overschatting of een kleinere onderschatting van het energieverbruik.
Dat deze correlatie gevonden wordt tussen het opwekkingsrendement en de absolute afwijking in energieverbruik kan toegeschreven worden aan het feit dat het bruto-verbruik gelijk is aan de netto-warmtevraag gedeeld door het rendement. Daardoor zal elke overschatting van het energieverbruik (bijv. ten gevolge van een v50-waarde bij ontstentenis), meer uitvergroot worden naarmate het rendement lager is. Deze correlatie doet zich echter ook voor wanneer men kijkt naar de procentuele afwijking tussen het werkelijk en het theoretisch energieverbruik. Deze correlatie is minder sterk dan dat van de infiltratieverliezen en haalt ook niet dezelfde enorm hoge significantiegraad, ook al is ook deze als sterk significant te catalogeren.

Er zijn verschillende mogelijke verklaringen voor deze correlatie tussen het afwijkend energieverbruik en het opwekkingsrendement in EPB:

- Eerst en vooral kan dit liggen aan de formule die in EPB gehanteerd wordt om het 30% deellastrendement, opgegeven door de fabrikant, om te rekenen tot een gecorrigeerd opwekkingsrendement in functie van de ontwerp-retour-temperatuur. Dit verband is in EPB lineair uitgedrukt en onbegrensd, terwijl dit in werkelijkheid niet volledig lineair verloopt. Deze eerste mogelijke verklaring kan mee versterkt worden door de volgende potentiële verklaringen.
- Waarschijnlijk wordt vaker gekozen voor de waarde bij ontstentenis voor de ontwerp-retour-temperatuur (70°C), wanneer er ook minder geïnvesteerd wordt in betere ketels of lage-temperatuur-verwarming. Daardoor zal deze beperktere investering zwaarder doorwegen in de EPB-berekening. Dit is gelijkaardig aan de problematiek van de v50-waarde bij ontstentenis.
- Ten gevolge van de relatief lage netto energievraag voor verwarming van deze woningen, aangevuld met het frequent voorkomen van combi-ketels, waarvan de dimensionering mee afhangt van de vraag naar sanitair warm water, is er voor deze woningen een aanzienlijk risico op overdimensionering van de ketels. Daarenboven kan men zich steeds de vraag stellen of de werkelijke inregeling (o.a. van de retourtemperatuur, mede afhankelijk van de dimensionering) correct gebeurd is en overeenstemt met de waarden ingevuld in de EPB-aangifte. Deze mogelijke sub-optimale uitvoering (overdimensionering en inregeling) kan proportioneel zwaarder doorwegen voor de installaties die volgens EPB het best presteren (hoogste opwekkingsrendement en laagste retour-temperatuur).

Onderstaande grafiek (Fig. 29) toont de resulterende opwekkingsrendementen volgens de EPB-formules in functie van de ontwerp-retour-temperatuur, voor de cases uit sample 2. Hierbij valt het volgende op: (1) het lineair verband op tussen beide parameters, (2) de lagere uitschieters bij de waarde bij ontstentenis van 70°C en (3) de uiterst hoge waarden die volgens EPB effectief gehaald worden bij lage retourtemperaturen.

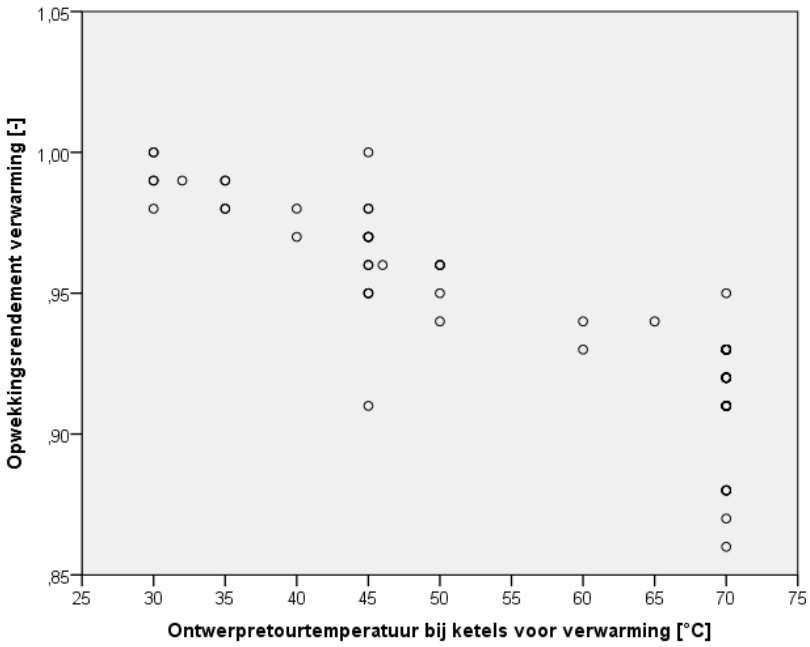

Fig. 29 resulterende opwekkingsrendement volgens EPB ifv ontwerpretourtemperatuur (sample 2)

Via statistische analyse kan noch bewezen worden dat de beste opwekkingsrendementen te positief worden ingeschat, noch dat de lage rendementen te negatief worden ingeschat. Er kan ook niet aangetoond worden of de gevonden correlatie nu aan de ketel zelf ligt, aan het verband met de ontwerp-retour-temperatuur of aan de dimensionering of inregeling. Er kan hier enkel gewezen worden op een schijnbare overschatting in EPB van de verbetering die men behaalt ten gevolge van de overstap naar een betere ketel en/of een lagere retourtemperatuur.

Hierbij lijkt verdere analyse van het probleem nodig, zowel via onderzoek op concrete cases als via nazicht op de formulering in de EPB-methode. Het belang van een goede dimensionering en inregeling is hier waarschijnlijk doorslaggevend en -net als voor bijv. de luchtdichtheid van gebouwen, de luchtdichtheid van ventilatiekanalen en de inregeling van ventilatiesystemen- kan men zich hier vragen stellen bij de keuze van waarden bij ontstentenis en de mogelijkheid om metingen en inregelrapporten in rekening te brengen.

#### 5.2.2.3 Stookgedrag

De eerste gebruiksgebonden parameter die een significante correlatie vertoont met het werkelijk energieverbruik en met de afwijking daarvan t.o.v. het theoretisch verbruik, is het stookgedrag in de slaapkamers. Dit stookgedrag wordt bepaald door de combinatie van de setpunttemperatuur en het aantal uren dat dagelijks verwarmd wordt.
Dat een hoger setpunt en een groter aantal uren verwarmen per dag leiden tot een hogere energievraag voor verwarming, lijkt vanzelfsprekend. In de enquête werd voor 13 verschillende types kamers (living, keuken, slaapkamer…) gevraagd of deze verwarmd worden of niet en, indien ja, hoeveel uur per dag en tot welk setpunt. Dit resulteert in minstens 26 parameters per case. In vergelijking tot het aantal cases in de sample, is dit teveel om significante statistische analyses op uit te voeren. Bovendien is het effect van tijdelijk stoken op de warmtevraag, afhankelijk van de thermische tijdsconstante van het gebouw, hetgeen dus een extra parameter vormt. Om dit probleem efficiënt aan te pakken, zijn deze parameters herleid tot één enkele afgeleide parameter per kamer.

De correctie voor het slechts tijdelijk stoken, is gebeurd a.d.h.v. de correctiefactor uit de Nederlands norm NEN 7120 [3] (de Nederlandse tegenhanger van de Vlaamse EPB-bijlagen), in functie van het aantal uren dat er per dag verwarmd wordt en van de thermische tijdsconstante van het gebouw. De thermische tijdsconstante van het gebouw kan uit de data van de EPB-database berekend worden, aangezien volgende parameters gegeven zijn: het volume van het gebouw, de reductiefactor voor voorverwarming van de ventilatielucht, het verliesoppervlakte, de gemiddelde U-waarde, de v50-waarde en de type constructie. Om de afwijkende setpunten in rekening te brengen, is rekening gehouden met de verhouding tussen enerzijds het verschil tussen het werkelijke setpunt uit de enquête en de gemiddelde buitentemperatuur tijdens het stookseizoen (volgens EPB) en anderzijds het setpunt volgende EPB (18°C) en de gemiddelde temperatuur tijdens het stookseizoen (eveneens volgens EPB). Beide procentuele correctiefactoren, voor tijdelijk stoken en voor het aangepast setpunt, worden vervolgens per kamer met mekaar vermenigvuldigd om tot één enkele correctiefactor te komen, m.a.w. 13 in totaal.

Uit deze 13 factoren, springt vooral de ouderlijke slaapkamer naar boven als deze met de meest significante correlatie met de afwijking op het energieverbruik. Dit heeft twee belangrijke verklaringen. Eerst en vooral heeft niet iedereen elk type ruimte in zijn woning (bijv. een speelkamer), waardoor bepaalde ruimtes proportioneel te weinig voorkomen in de sample om significante correlaties te vinden. Ten tweede, van de ruimtes die wel het meest voorkomen, vindt men de grootste spreiding in stookgedrag in de slaapkamers. Onderstaande figuren (Fig. 30 (a) & (b)) illustreren het uiteenlopend stookgedrag. Sommigen verwarmen de slaapkamer nog geen uur per dag, anderen 18 uren per dag. Sommigen verwarmen enkel om heel lage temperaturen te vermijden (bijv. 10°C), anderen vragen hoge comforttemperaturen (tot 22°C).

Er zijn ook indicaties gevonden dat het al dan niet verwarmen van de andere ruimtes een effect heeft op de afwijking in warmtevraag, maar de dataset is te klein om die correlaties voldoende significant te beschouwen. De afwijkingen ten gevolge van de eerder besproken parameters (de luchtdichtheid en het opwekkingsrendement) zorgen voor bijkomende complexiteit bij de analyse van deze parameters. Verdere analyses op een grotere, bredere en/of beter gedocumenteerde sample zouden hier uitsluitsel over kunnen brengen. Dit stemt alleszins overeen met bevindingen uit ander onderzoek, waaruit weliswaar ook blijkt dat de variatie in stookgedrag een nog groter effect heeft op de warmtevraag in geval van slechter geïsoleerde gebouwen [8]. Bovendien zullen andere types huishoudens waarschijnlijk ook een ander stookgedrag vertonen. Zo zal de beroepsactiviteit (incl. al dan niet werkloos of op pensioen zijn) het aantal uren aanwezigheid per dag bepalen en bijgevolg ook de stooktijd. Hieruit volgt dat de bevindingen uit deze steekproef waarschijnlijk versterkt zouden worden indien er naar een bredere sample aan types gebouwen en types huishoudens zou worden gekeken.

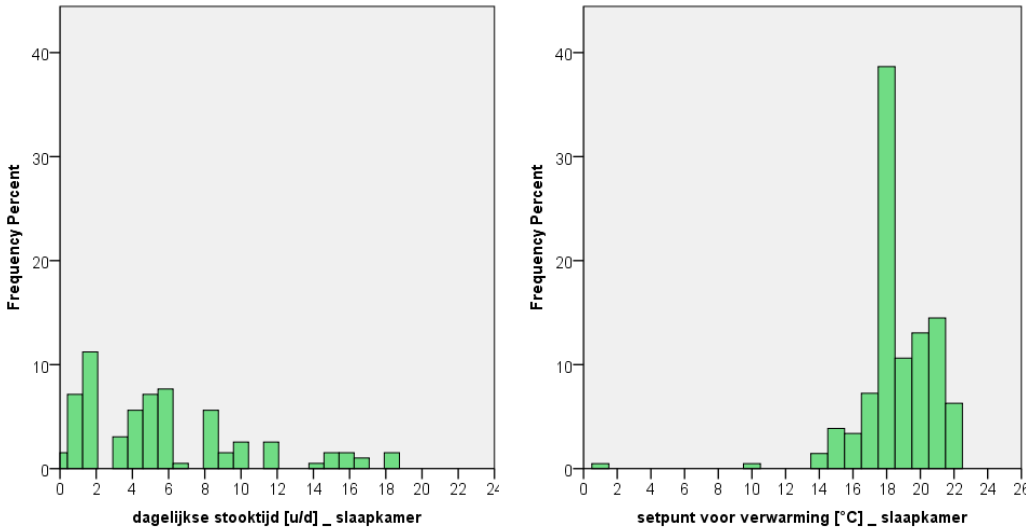


Fig. 30 (a) dagelijkse stooktijden en (b) setpunttemperaturen, voor wie de ruimte rechtstreeks verwarmt: de ouderlijke slaapkamer

#### 5.2.2.4 baden en douches

Een tweede gebruiksgebonden parameter met significante invloed op het werkelijk energieverbruik in sample 2 heeft betrekking tot het sanitair warm-water-verbruik voor douchen en baden. Zoals verwacht, stijgt de energievraag naarmate men zich meer wast.
In de enquête is er gevraagd hoeveel baden en hoeveel douches alle gezinsleden samen gemiddeld nemen per week. Hoe meer douches er genomen worden, hoe minder baden er genomen worden en omgekeerd (Fig. 31). Bovendien verbruikt men gemiddeld een andere hoeveelheid warm water bij het nemen van een douche dan bij het nemen van een bad. Om dit probleem aan te pakken, zijn beide aantallen herleid tot één enkele parameter. Dit is gebeurd door de gewogen som van beide te nemen. Als weegfactoren hiervoor, zijn de gemiddelde warmtevragen genomen per douche en per bad, volgens de norm EN 13203-2 [2].
In de enquête is ook gevraagd hoelang een douche gemiddeld duurt. Dit is niet in rekening gebracht in de analyse om meerdere redenen. Eerst en vooral houdt de formulering van de vraag enige onduidelijkheid in. Daardoor is het onzeker hoe de verschillende gezinnen deze vraag hebben geïnterpreteerd: de tijd onder lopend water, de tijd in de douche of de tijd in de badkamer bij het nemen van een douche. Een bijkomend probleem is dat er heel vaak een vak blanco gelaten is (bijv. aantal douches en/of aantal baden), waarbij het onzeker is of dit komt omdat de persoon hier niet op geantwoord heeft (omdat hij niet wou of het niet wist), of omdat daarmee ‘nul’ bedoeld is. In dit geval zijn beide opties getest, maar automatisch zorgt dit voor een grotere onzekerheid. Een laatste belangrijke invloedsparameter is natuurlijk het waterdebiet en de watertemperatuur tijdens het wassen. Hier bestaan geen bruikbare gegevens over in de enquête. Dit zorgt opnieuw voor een grotere onzekerheid en laat vermoeden dat in werkelijkheid het verband nog meer significant zou zijn.
De sterkste en meest significante correlatie tussen dit douche-en-baden-gedrag enerzijds en de afwijking tussen het werkelijk en het theoretisch energieverbruik anderzijds, is gevonden via een afgeleide parameter. Die parameter is bovenvermelde gewogen som van baden en douchen, gedeeld door het volume van het gebouw. Dit wordt verklaard doordat in de EPB-methode de vraag aan sanitair warm water is uitgedrukt in functie van dat volume. Men veronderstelt hierbij dat in een grotere woning waarschijnlijk meer warm water verbruikt zal worden (al dan niet door het groter aantal inwoners).

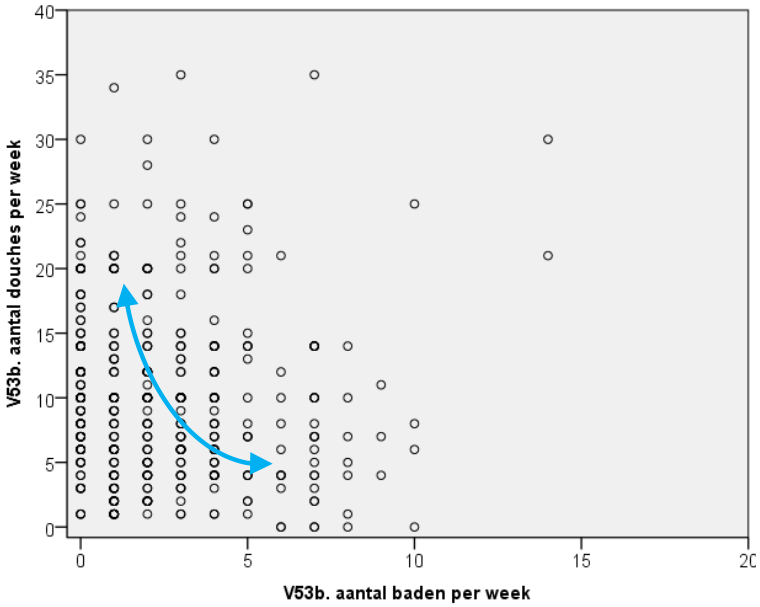


Fig. 31 spreiding in sanitair warm-water-gebruik: aantal douches vs. aantal baden, per week voor alle cases

### 5.2.3 Conclusies

Hierboven is eerst en vooral aangetoond dat voor de som van verwarming en sanitair warm water een sterke en onbetwistbaar significante, positieve correlatie is tussen het werkelijk verbruik en de theoretische berekeningen uit EPB.
Verder is aangetoond dat de variatie op de afwijkingen tussen het werkelijk en het theoretisch energieverbruik voor verwarming en sanitair warm water deels kunnen worden toegeschreven aan gebouwgebonden parameters en deels aan gebruiksgebonden parameters. De belangrijkste gebouwgebonden parameters blijken de inbreng van de luchtdichtheid en het opwekkingsrendement. De belangrijkste gebruiksgebonden parameters blijken het stookgedrag (vooral in de slaapkamer) en het aantal baden en douches dat wordt genomen.
Terwijl deze parameters reeds in deze dataset significant zijn gebleken, zou een verdere analyse op een grotere, bredere en meer gedetailleerde dataset waarschijnlijk veel bijkomend inzicht kunnen leveren en mogelijks nieuwe verbanden en/of verklaringen zichtbaar maken.
In het geval van deze dataset, is er over het algemeen een overschatting van de energievraag voor verwarming en sanitair warm water. De vraag blijft of men dezelfde conclusies zou kunnen trekken op een bredere, toekomstige dataset, mede in functie van volgende parameters:

- Zal de werkelijke, gemiddelde luchtdichtheid van de gebouwen in de toekomst sterk verbeteren en zullen vaker luchtdichtheidstesten uitgevoerd en ingerekend worden?
- Zal in de toekomst de netto-energievraag van lage-energie-woningen dalen, door meer aandacht te besteden aan isolatie, waardoor het effect van opwekkingsrendementen misschien zal wijzigen?
- Vertonen cases met andere warmteopwekkingssystemen (bijv. warmtepompen) andere afwijkingen tussen het werkelijk en het theoretisch verbruik?
- Hoe zwaar zullen deze effecten doorwegen in compactere gebouwen, met minder verliesoppervlakte dan in deze grote, vrijstaande woningen?
- Welke verbanden zullen gevonden worden indien de huishoudens in de dataset anders zijn, met minder gemotiveerde en/of energiebewuste, jonge gezinnen?

## 5.3 SAMPLE 3

### 5.3.1 Inleiding

Sample 3 spitst zich toe op (1) het electriciteitsverbruik voor hulpenergie dat ook in EPB wordt geschat, (2) het huishoudelijk energieverbruik (verlichting, multimedia…) en (3) de electriciteitsproductie door PV-panelen. Tenzij expliciet anders vermeld, zijn de analyses en de grafieken uitgevoerd met waarden voor primaire energie, met als conversiefactor voor electriciteit 2,5. Deze analyse wordt overschaduwd door twee grote tekortkomingen in de dataset. Eerst en vooral werden in 30% van de cases PV-panelen toegevoegd, waarvan de verzamelde eigenschappen (enkel het geschatte oppervlak) niet toelaten om een goede theoretische inschatting te maken van de electriciteitsproductie. Ten tweede blijken de werkelijke verbruiksgegevens foutief voor iedereen die meer electriciteit heeft geproduceerd dan hij verbruikt heeft. Omwille van deze tekortkomingen in de beschikbare data, is een doorgedreven analyse van het electriciteitsverbruik niet mogelijk. Hieronder worden de tekortkomingen en algemene bevindingen verder besproken.

### 5.3.2 Analyse

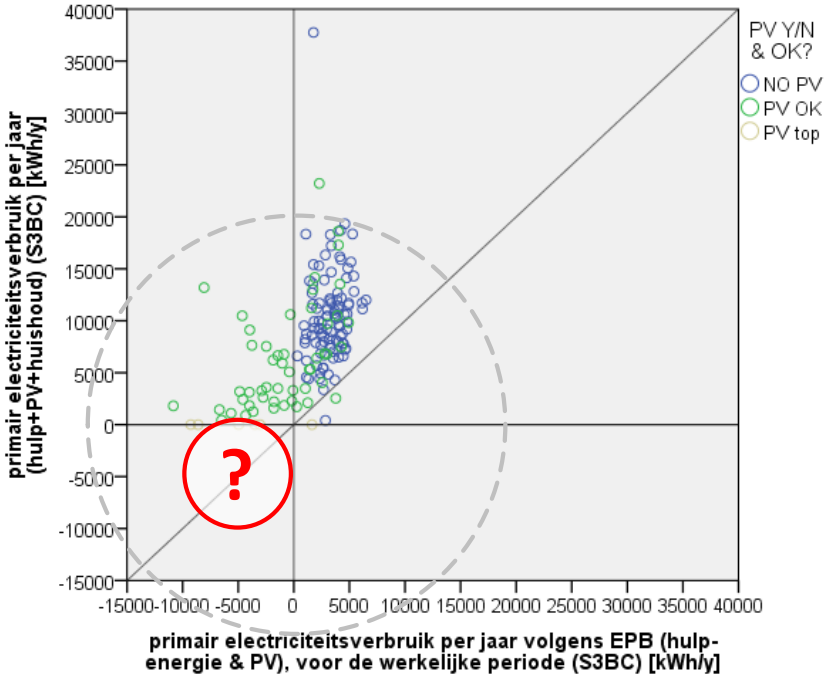


Fig. 32 werkelijk electriciteitsverbruik vs. electriciteitsverbruik volgens EPB in primaire energie (conversiefactor 2,5), indicatief uitgedrukt per jaar [kWh/j]

Als we het werkelijk verbruik vergelijken met het theoretisch verbruik volgens EPB (Fig. 32), valt eerst en vooral op dat bijna iedereen meer electriciteit verbruikt dan a.d.h.v. de EPB-berekening wordt voorspeld. Dit komt uiteraard doordat het huishoudelijk electriciteitsverbruik niet is opgenomen in de EPB-berekening. In deze berekening zitten enkel het hulpenergieverbruik (o.a. voor ventilatie) en de productie door PV-panelen. Het tweede punt dat opvalt, is de enorme spreiding in werkelijk energieverbruik. Het derde punt dat opvalt, is dat volgens de werkelijke verbruikscijfers, niemand meer heeft geproduceerd dan hij heeft verbruikt.

Dit laatste punt komt door een fout in de verbruiksgegevens die voorhanden waren voor dit onderzoek. In de data van Eandis en Infrax, heeft niemand een negatief verbruik, maar meerdere woningen hebben een verbruik dat exact gelijk is aan 0kWh. In de enquête-data heeft niemand een werkelijk verbruik dat negatief is, noch 0kWh, maar hebben wel meerdere bewoners een verbruik opgeschreven dat volgens hun factuur exact gelijk is aan 1kWh. Er wordt verondersteld dat alle negatieve waarden zijn afgetopt op 0kWh, maar dat er op de facturen om boekhoudkundige redenen (bijv. voor de vaste kosten) 1kWh wordt vermeld. Daarom wordt in de grafieken een onderscheid gemaakt tussen de cases zonder PV-panelen, deze met PV-panelen met een werkelijk verbruik dat niet 0 of 1 kWh is (in primaire energie 0 en 2,5 kWh) en tenslotte de cases met PV-panelen met een werkelijk verbruik gelijk aan 0 of 1 kWh (Fig. 32 & Fig. 33 (a)). Deze laatste cases zijn bij verdere analyses niet in beschouwing genomen.
Ten gevolge van de toegevoegde PV-panelen in 30% van de cases, de beperkte kennis hierover en de daaruit volgende beperkte nauwkeurigheid van de theoretische opbrengst van deze PV-panelen, is in Fig. 33 (b) een verder onderscheid gemaakt tussen de cases waarvan de PV-panelen reeds waren ingegeven in de EPB-berekeningen en deze die later werden toegevoegd. Hieruit blijkt dat beide groepen met PV-panelen een zelfde spreiding vertonen, ook al zal de onzekerheid bij de laatste groep het grootste zijn. In beide gevallen valt duidelijk op dat de cases met PV-panelen over het algemeen een beduidend lagere electriciteitsvraag hebben, ook al is er overlap met de cases zonder PV-panelen.

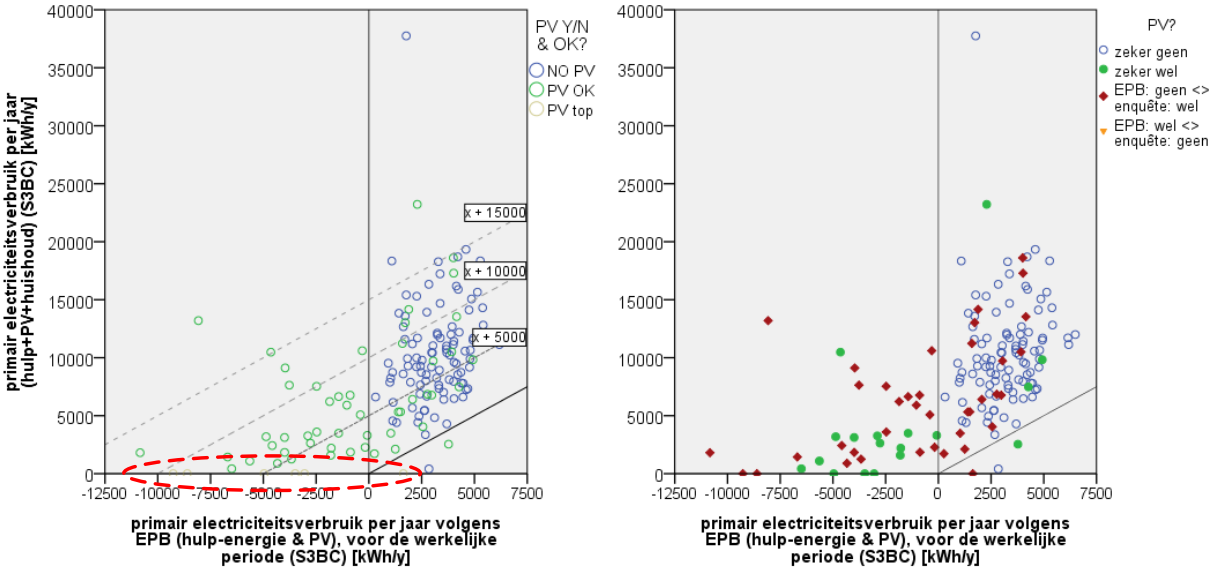


Fig. 33 (a) & (b) werkelijk electriciteitsverbruik vs. electriciteitsverbruik volgens EPB in primaire energie (conversiefactor 2,5), indicatief uitgedrukt per jaar [kWh/j]

Als we veronderstellen dat de theoretische productie van electriciteit door PV-panelen relatief nauwkeurig is ingeschat, en deze terug bijtellen bij de facturatiegegevens, komt men tot een benaderende waarde voor de werkelijke netto vraag aan electriciteit van de gezinnen. Dit is weergegeven in Fig. 34 , waarbij 3 lijnen zijn toegevoegd, die overeenkomen met een werkelijk verbruik dat per jaar 5.000, 10.000 en 15.000 kWh (primaire energie) groter is dan de vraag aan hulpenergie volgens EPB. Rekening houdend met een gemiddelde vloeroppervlakte van ongeveer 250m², komt dit respectievelijk overeen met 20, 40 en 60 kWh/(m².j) (primaire energie), of 8, 16 en 24 kWh/(m².j) aan electriciteit (niet uitgedrukt in primaire energie). Dit wijst op de grote energievraag die deze woningen vertonen voor huishoudelijk verbruik, alsook op de enorme spreiding hierop.
De meest doorslaggevende parameter voor het hulpenergieverbruik in EPB, is voor deze cases het ventilatiesysteem. Er is in deze dataset geen correlatie gevonden tussen het ventilatiesysteem en het werkelijk electriciteitsverbruik. Dit komt mede doordat er in sample 3 slechts 2 cases zitten met systeem A en 15 cases met systeem C. Rekening houdend met bovendien het enorme relatieve aandeel van het

huishoudelijk verbruik binnen het totaal electriciteitsverbruik, kon hier geen grondige analyse op gebeuren. Om een analyse uit te voeren op het werkelijk electriciteitsverbruik in functie van het ventilatiesysteem, zou een grotere dataset nodig zijn, met meer gedetailleerde data (meer gedetailleerde verbruiksgegevens en gegevens over het gebruik van het ventilatiesysteem door de gebruikers).

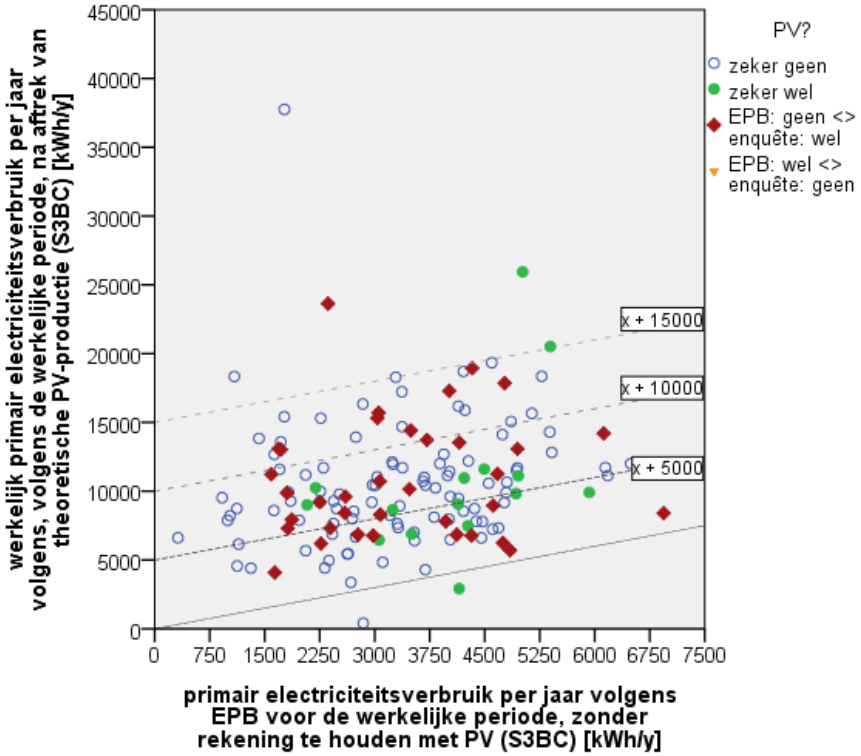


Fig. 34 werkelijk electriciteitsverbruik vs. electriciteitsverbruik voor hulpenergie volgens EPB, na het terug bijtellen van de theoretische electriciteitsproductie door PV-panelen
in primaire energie (conversiefactor 2,5), indicatief uitgedrukt per jaar [kWh/j]

## 5.4 SAMPLE 1

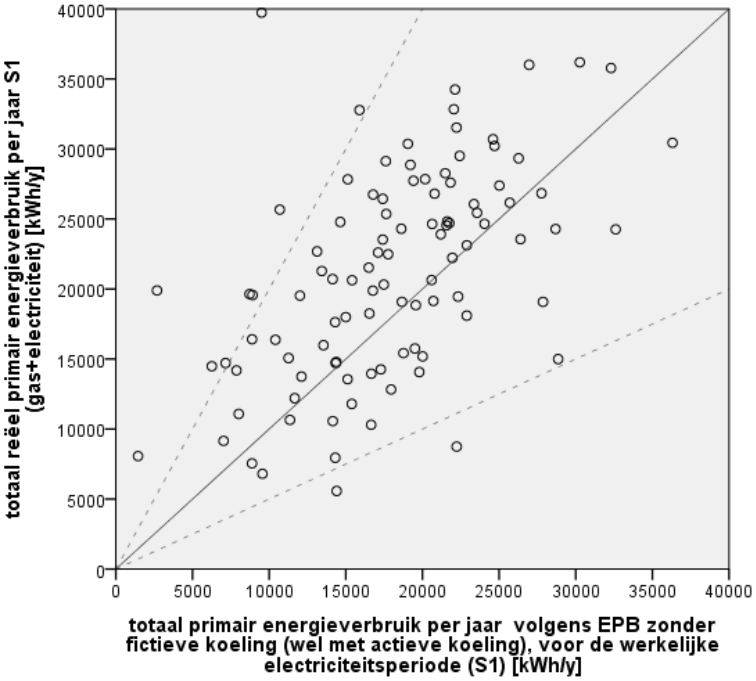


Fig. 35 totaal werkelijk energieverbruik vs. energieverbruik volgens EPB, uitgedrukt in primaire energie, ter indicatie per jaar [kWh/j] (sample 1)

Sample 1 geeft een indicatie van het totaal primair energieverbruik van de huishoudens. De cases in deze sample komen niet 100% overeen met de cases in sample 2 en sample 3, maar principieel zijn de verbruiken in sample 1 de combinatie van de verbruiksposten uit de samples 2 en 3.
Zoals reeds aangegeven in paragraaf 5.1, compenseren de hogere werkelijke verbruiken uit sample 3, ten gevolge van de huishoudelijke energievraag, de overschatting van de energievraag voor verwarming en sanitair warm water uit sample 2. In het algemeen blijft er een direct verband zichtbaar tussen het geschat verbruik volgens EPB en het werkelijk energieverbruik (Fig. 35). In totaal komt het werkelijk verbruik bij de meeste cases hierdoor hoger uit dan in EPB geschat wordt. Dit zal waarschijnlijk verder in die richting evolueren naarmate de energievragen voor de posten die wel in EPB zitten kleiner worden, waardoor de aandacht voor het huishoudelijk energieverbruik steeds zal stijgen. In deze dataset lopen de uitersten behoorlijk uiteen. Enkele zeldzame cases verbruiken minder dan de helft aan primaire energie dan de schatting volgens de EPB-methode. Andere cases verbruiken tot meer dan het dubbele dan in de EPB-berekening geschat wordt (Fig. 35).
Anderzijds zal deze trend mee beïnvloed worden door trends in parameters die besproken zijn bij samples 2 en 3, zoals bijv. het inrekenen van de luchtdichtheid, het effect van het opwekkingsrendement (wat bij warmtepompen?) enz. Bovendien zijn veel parameters hier niet bestudeerd kunnen worden ten gevolge van de beperkte dataset en tekortkomingen ervan.
De significante correlaties die zijn opgemerkt in de voorgaande samples, kunnen hier nauwelijks geïdentificeerd worden, door de groeiende complexiteit wanneer alle posten worden opgeteld. Zo is het onderscheid tussen cases met en zonder gemeten luchtdichtheid onduidelijk (Fig. 36). Zelfs de cases met PV-panelen kunnen er niet rechtstreeks uit gehaald worden (Fig. 37). Dit komt mede doordat in sample 1 nu ook cases zitten met zowel PV-panelen als verwarming en/of sanitair warm water op electriciteit (via weerstandsverwarming en/of warmtepompen), die noch in sample 2, noch in sample 3

zaten. Dit bevestigt het nut van de aanpak uit dit onderzoek, die toelaat om meer gericht en diepgaand onderzoek uit te voeren via sub-samples. Anderzijds bevestigt dit ook het belang om in de toekomst analyses uit te voeren op grotere en voldoende nauwkeurig gedocumenteerde samples, om ook deze cases grondig te analyseren die hier in te kleine aantallen aanwezig waren om afzonderlijke sub-samples te vormen en grondiger onderzocht te worden.

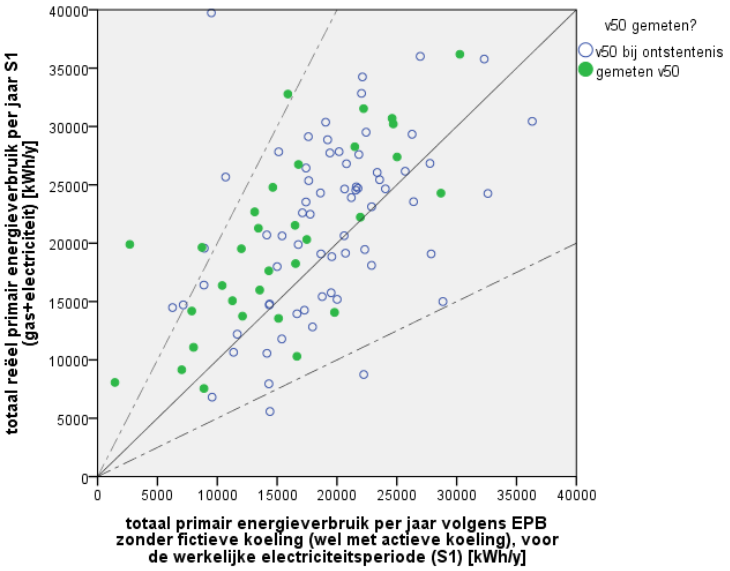


Fig. 36 totaal werkelijk energieverbruik vs. energieverbruik volgens EPB, opgesplitst: cases met gemeten luchtdichtheid vs. cases met v50-waarde bij ontstentenis uitgedrukt in primaire energie, ter indicatie per jaar [kWh/j] (sample 1)

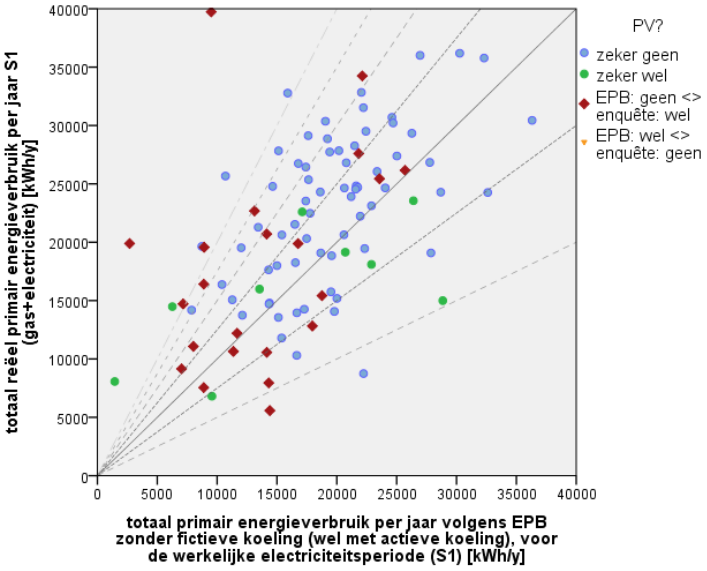


Fig. 37 totaal werkelijk energieverbruik vs. energieverbruik volgens EPB, opgesplitst in functie van de aanwezigheid van PV-panelen uitgedrukt in primaire energie, ter indicatie per jaar [kWh/j] (sample 1)

# 6. DEEL 6: ALGEMENE CONCLUSIES

De sterke correlatie tussen het werkelijk verbruik en de EPB-berekeningen is ontegensprekelijk, voor zover men zich beperkt tot de verbruiksposten die in de EPB-berekeningen zijn opgenomen. De spreiding in afwijking tussen werkelijk en theoretisch energieverbruik is niet verwaarloosbaar en moet zowel toegeschreven worden aan gebouwgebonden als aan gebruikgebonden parameters.

Daar kan weliswaar rekening mee worden gehouden in verdere berekeningen (bijv. a.d.h.v. aangepaste randcondities en gebruikersprofielen). Verder onderzoek op deze aspecten zou hier nuttige bijdrage tot kunnen leveren. Hiervoor kan zowel gekeken worden naar onderzoek op grote, gevarieerde samples zoals bedoeld was in dit onderzoek, alsook naar onderzoek op kleinere en gerichte, maar sterker gedetailleerde en grondig onderzochte samples, zoals reeds gebeurt in andere onderzoeksprojecten, ook specifiek in de Vlaamse bouwcontext ([7],[8],[9],[10]).

Aandachtspunten voor verder onderzoek op grote samples via enquêtering zijn:

- De grootte van de sample (rekening houdend met de nodige datafiltering, subsampling en statistische analyse-methodes)
- De bredere doelgroep, zowel qua gebouw als qua gebruikers
    - Om betere regressies te kunnen bepalen
    - Om de toepasbaarheid te vergroten ten gevolge van de grotere representativiteit van de sample
- De volledigheid en doelgerichtheid van de datavergaring (mee op basis van hier opgedane ervaring)
    - enquêtering: optimalisatie van de bevraging ifv het onderzoek
    - werkelijke verbruiksdata (meer gedetailleerd en meer punten) (o.a. groene-stroom-certificaten, extra meterstanden)
    - EPB-database: verdere, gerichte uitwerking van de opslag van parameters (o.a. m.b.t. zonnewinsten ; de verbruiken per post verder opsplitsen per bron)

Bevindingen uit deze onderzoeksprojecten zouden kunnen leiden tot betere kennis over de problematiek, en zo tot nuttige verbeteringen van de EPB-methodiek en -regelgeving. Bij de implementatie van de bevindingen in de rekenmethodes en regelgevingen, zullen belangrijke discussies moeten plaatsvinden. De uitkomst hiervan zal mede afhangen van het doel van de rekentool(s): het bepalen van een energielabel met o.a. uitzicht op stimulansen en/of het beter inschatten van het werkelijk energieverbruik, voor specifieke gebruikers of gemiddeld voor een bepaalde bevolkingsgroep. Een concreet voorbeeld hiervan, is het vastleggen van waarden bij ontstentenis en vereenvoudigingen.

Opgemaakt te Gent,
22 Februari 2013

M. Delghust
*Wetenschappelijk medewerker*

A. Janssens
*Hoogleraar*

## REFERENTIES


[1] Onderzoek naar de relatie tussen het berekend energieverbruik in de EPB-aangifte en het reële energieverbruik op basis van enquêtegegevens -- *Vlaamse Overheid, Vlaams Energieagentschap, 2012 (Nummer bestek: 2012/relatie energieverbruik berekend versus reëel)*

[2] EN 13203-2:2006 Gas-fired domestic appliances producing hot water. Appliances not exceeding 70 kW heat input and 300 l water storage capacity. Assessment of energy consumption

[3] NEN 7120+C2 Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode

[4] IBM SPSS Statistics

[5] Microsoft Office 2007 Excel

[6] Airtightness assessment of newly built single family houses in Belgium -- *Laverge, Jelle; Delghust, Marc; Van de Velde, Stijn; De Brauwere, Tomas et al. ; Building and Ductwork Air-tightness, 5th International symposium, Copenhagen (Denmark), 21-22/10/2010*

[7] Energy renovation and occupant behaviour: towards a correct prediction of real energy savings in dwellings -- *Delghust, Marc ; doctoraatsonderzoek onder FWO-VITO-beurs, UGent & VITO, 2010-2014*

[8] The influence of user behaviour on energy use in old dwellings: case-study analysis of a social housing neighbourhood -- *Delghust, Marc; Laverge, Jelle; Janssens, Arnold, Van Erck, Charline; Taelman, Charlotte ; 5th International Building Physics Conference (IBPC 2012), Kyoto (Japan) 28-31/05/2012*

[9] Analysing energy use in residential neighbourhoods: a comprehensive approach on complementary case-studies -- *Delghust, Marc; Laverge, Jelle; Janssens, Arnold; Cnockaert, Elisabeth; Davidson, Tracy; Temmerman, Frederik; Vandenbroucke, Caroline (BEhavE 2012), Energy Efficiency & Behaviour Conference, Proceedings. Helsinki (Finland) 2012*

[10] Concerto-project 'ECO-Life': "Sustainable Zero Carbon ECO-Town Developments Improving Quality of Life across EU" *(Voorbeeldproject in België, Denemarken en Lithouwen, gecofinancierd door de Europese Commissie binnen het Concerto-programma ( http://www.ecolife-project.eu/ ))*