

Effecten van energetische investerings in woningen

Literatuuronderzoek

Katleen Van den Broeck



Gelieve naar deze publicatie te verwijzen als volgt:

Van den Broeck, K. (2020). *Effecten van energetische investeringen in (sociale) woningen. Literatuuronderzoek*. Leuven: Steunpunt Wonen.

Voor meer informatie over deze publicatie katleen.vandenbroeck@kuleuven.be

In deze publicatie wordt de mening van de auteur weergegeven en niet die van de Vlaamse overheid. De Vlaamse overheid is niet aansprakelijk voor het gebruik dat kan worden gemaakt van de opgenomen gegevens.

D/2020/4718/010 – ISBN 9789055506927

© 2020 STEUNPUNT WONEN

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

No part of this book may be reproduced in any form, by mimeograph, film or any other means, without permission in writing from the publisher.

p.a. Secretariaat Steunpunt Wonen
p/a HIVA - Onderzoeksinstituut voor Arbeid en Samenleving
Parkstraat 47 bus 5300, BE 3000 Leuven

Deze publicatie is ook beschikbaar via www.steunpuntwonen.be

INHOUD

Inleiding	4
1. Energetische investeringen en energieverbruik	6
1.1 Energiebesparende renovaties	6
1.1.1 Verschil tussen theoretisch en effectief rendement van energiebesparende maatregelen	7
1.1.2 Energiebesparende effecten in sociale woningen	8
1.2 Bewonersgedrag en het effect van energetische investeringen	8
1.2.1 Rebound effect	9
1.2.2 Prebound effect	9
1.2.3 Andere gedragseffecten	9
1.2.4 Grootte van gedragseffecten op energieprestatie	10
1.3 De rol van feedback en informatie	10
1.3.1 Type feedback	10
1.3.2 Vorm van feedback	11
1.3.3 Feedback energieverbruik bij kwetsbare huishoudens	12
1.3.4 Informatie over gebruik van de technologie	13
2. Energetische investeringen en effecten op de bewoners	14
2.1 Welbevinden/comfort	14
2.1.1 Mogelijke elementen die het comfort bepalen	14
2.1.2 Perceptie/tevredenheid	15
2.2 Gezondheid	15
2.2.1 Wereldgezondheidsorganisatie over woonkenmerken en gezondheid	15
2.2.2 Empirisch onderzoek	16
3. Onderzoeksdesign voor het meten van effecten van energetische renovaties	18
3.1 Determinanten van energieverbruik	18
3.2 Meten van effect van renovatie	19
3.2.1 Methodologie	19
3.2.2 Voorbeelden van effectmetingen uit de literatuur	20
4. Besluit	26
Referenties	27

INLEIDING

Het verhogen van de woningkwaliteit en van de energiezuinigheid van de woningvoorraad zijn belangrijke doelstellingen van de Vlaamse overheid. Deze doelstellingen vinden een grond in ambities op vlak van klimaatbeleid, maar evenzeer in het woonbeleid en armoedebeleid. Energiezuinige woningen zijn immers ook comfortabele woningen en energie-investeringen hebben een gunstige invloed op de woonkosten, zodat de betaalbaarheid van wonen erdoor kan verbeteren en de energie-armoede kan afnemen. Daarnaast wordt verwacht dat door het verminderen van kille, eventuele vochtigheid en koude luchtstromen, renovaties kunnen bijdragen tot een betere gezondheid en algemeen welbevinden (Koning Boudewijnstichting, 2018).

Een actieplan om de energiezuinigheid te verbeteren moet zowel nieuwbouw als renovatie van de bestaande woningvoorraad omvatten. Het Vlaams Woonbeleidsplan¹ stelt onder de pijler 'In 2050 zijn alle woningen kwaliteitsvol' voorop dat in 2050 alle woningen en woon- en leefomgevingen beantwoorden aan de duurzaamheidsprincipes. De EU heeft opgelegd dat in 2021 alle nieuwbouw, ook woningen, BijnaEnergieNeutraal (BEN) moet zijn. Maar veruit de grootste stap in de verduurzaming van het woningbestand zal moeten gebeuren via renovaties aan bestaande woningen. De te halen energiedoelstellingen tegen 2050 worden duidelijk vooropgesteld (zie Renovatiepact en de langetermijndoelstellingen voor bestaande gebouwen).²

De sociale huisvesting kan op vlak van energiezuinigheid een voortrekkersrol en voorbeeldfunctie vervullen. De afgelopen jaren zijn in de sociale huisvesting met financiële steun van de Vlaamse overheid de inspanningen voor energiebesparende renovaties verhoogd. Zo trekt de Vlaamse overheid sinds 2016 gedurende vier jaar jaarlijks 20 mio euro uit waarmee de VMSW aan SHM's premies toekent om enkel glas en verouderde verwarmingssystemen te vervangen, zonneboilers en warmtepompen te plaatsen en/of gevels, daken en vloeren te isoleren. In 2018 bedroeg het aandeel sociale huurwoningen dat aan al deze normen voldoet 79%. Komende van 52% in 2010 is er dus sterke vooruitgang geboekt. Maar er blijft nog een groot stuk van de weg af te leggen met één op vijf woningen die nog niet voldoet. Daarenboven worden de normen betreffende isolatie steeds strenger.

Het blijkt echter niet zo dat het ontwerp van een energie-efficiënte woning (door nieuwbouw of renovatie) automatisch resulteert in een effectief energiezuinige woning (Santangelo & Tondelli, 2017). Er lijkt in de realiteit een groot verschil te bestaan tussen het voorspelde en effectieve energie-verbruik (zie bv. Cali, Osterhage, Streblow & Mümmer, 2016). De kloof tussen de potentiële en de effectieve energiezuinigheid kan oplopen tot 50% (Teli et al., 2016) en wordt beïnvloed door verschillende factoren.

Bekend is onder andere dat de energiewinst sterk bepaald wordt door de woningtypologie, de oppervlakte van de woning, de compactheid en andere kenmerken van de woning. En verder blijkt de grondigheid van de renovatie bepalend. Onvolledige of suboptimale renovaties hebben tot gevolg dat enkele jaren later andere investeringen moeten gebeuren, waardoor de kost van de oorspronkelijke renovatie deels voor niets was (het 'lock-in' effect).

Niet alleen de technische aspecten, zoals hierboven beschreven, zijn relevant bij het uiteindelijke effect van de investeringen. De gemaakte winst is in belangrijke mate mee bepaald door het gedrag van de bewoners (voor een recent overzicht zie Paone & Bacher, 2018). Elementen die hierin meespelen zijn de tijd die men aanwezig is in de woning en men dus verwarmt, de gewenste temperatuur, of de temperatuur 's nachts wordt verlaagd, het aantal bewoners, de manier waarop men verlucht/ventileert, hoe vaak de bewoners een bad nemen of douchen, welke huishoudtoestellen men

¹ https://www.wonenvlaanderen.be/sites/wvl/files/woonbeleidsplan_vlaanderen.pdf (23.03.2018).

² <https://www.energiesparen.be/renovatiepact> en <https://www.energiesparen.be/energiedoelstellingen-tegen-2050>.

gebruikt en hoe vaak, ... Onderzoek heeft aangetoond dat er grote verschillen in gebruik kunnen zijn tussen huishoudens in zeer gelijkaardige woningen. De bewoners en hun gedrag spelen dus een grote en minder voorspelbare rol.

Gekend is bijvoorbeeld het 'reboundeffect', dat er in bestaat dat een deel van de energiebesparende investering zal worden omgezet in comfortverhoging en niet in energiebesparing (Delbeke et al., 2013; Hens, Parijs & Deurinck, 2010). Een investering in energiebesparende technologie moet dus gepaard gaan met energie-efficiënt bewonersgedrag om bestendige dalingen in energieverbruik te verzekeren (Paone & Bacher, 2018).

Er bestaan specifiek voor de sociale huur niet veel gegevens over de mate waarin energetische investeringen aanleiding geven tot effectieve energieverbruiksverminderingen. In een recente studie van de Koning Boudewijnstichting (2018) wordt de maandelijkse winst van een 'veralgemeende energierenovatie' van het sociale woningpark geschat op 34 euro per maand. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat het initiële energieverbruik met 50% kan worden verminderd (zoals werd vastgesteld in het kader van reeds uitgevoerde programma's in Wallonië en in Frankrijk).

Voor kwetsbare groepen speelt ook het 'preboundeffect'. Het kan namelijk zijn dat er voor de energetische renovatie te weinig energie werd gebruikt omwille van energiearmoede. Na de renovatie kan het verwachte energiewinsteffect kleiner uitvallen omdat het voor deze huishoudens betaalbaarder wordt om op een meer comfortabele manier energie te kunnen gebruiken. Zo heeft energiearmoede ook een effect op de uiteindelijke energiewinst (zie Teli et al., 2016). De kost van energie zal misschien dezelfde blijven maar het comfort voor de bewoners verhogen.

Onder andere het verlenen van energie-informatie (eco-feedback) speelt een rol in het bevorderen van energie-efficiënt gedrag waarbij de manier waarop deze wordt voorgesteld ook van belang lijkt (bv. Jain, Taylor & Culligan, 2013). Het verlenen van energie-informatie die bovendien begrijpbaar en aantrekkelijk is zodat de bewoners bewust keuzes kunnen maken, is minder onderzocht (uit Paone & Bacher, 2018). Er lijkt dus ook een rol weggelegd te zijn voor begeleiding in het gebruik van nieuwe energetische investeringen en daarbij horende meet-en informatie-apparatuur zodat ook het bewonersgedrag mee verandert.

Verder wordt er ook vastgesteld dat de impact van investeringen in energetische kwaliteit niet beperkt blijft tot een daling van het energieverbruik, maar dat deze ook bijdragen tot het comfortgevoel van de bewoners en ook een belangrijke invloed hebben op de (fysieke) gezondheid van de bewoners (bv. effecten op luchtwegen, longen, ...). Twee cruciale elementen daarbij zijn de vochtigheid en de temperatuur/kilte. Vocht in de woning en schimmelvorming die daarmee gepaard gaan, kunnen leiden tot longproblemen, infecties en andere gezondheidsproblemen, terwijl een te lage temperatuur kan gelinkt worden met verschillende gezondheidsrisico's zoals, een verhoogd risico op een hartinfarct en kans op overlijden (Vlaamse Woonraad, 2018). De effecten van (energetische) renovaties zijn dus niet beperkt tot energiewinsten maar hebben ook een sociale impact (Teli et al., 2016).

De belangrijke investeringen in energiezuinigheid die in de sociale huisvesting op stapel staan, bieden kansen om meer inzicht te krijgen in de impact daarvan op effectief energieverbruik, en op de elementen die die impact beïnvloeden (zoals het verstrekken van informatie) alsook op comfort en gezondheid.

In dit rapport geven we een overzicht over de effecten van energetische investeringen met focus op sociale woningen, naar energieverbruik en gezondheid, en hoe deze metingen kunnen worden uitgevoerd. De literatuur rond effecten op energieverbruik is reeds relatief uitgebreid terwijl de literatuur over effecten op welbevinden of gezondheid veel beperkter is. Deze houden ook een zeker langetermijnsaspect in, wat het opzetten en opvolgen van de studiegroep bemoeilijkt.

1. ENERGETISCHE INVESTERINGEN EN ENERGIEVERBRUIK

In vele landen wordt er ingezet op renovatie van woningen om de energiedoelstellingen te halen aangezien nieuwbouw slechts een minimale fractie van de woningvoorraad geldt. De term 'retrofitting' wordt daarbij meestal gebruikt wanneer het gaat over interventies aan een gebouw met de bedoeling om de energieprestatie ervan te verbeteren (Teli et al., 2016). Het kan daarbij gaan over veranderingen aan de gebouwconstructie, vervanging van vaste apparatuur, al dan niet samengaan met het voorzien van controle- en monitoringsystemen.

1.1 Energiebesparende renovaties

De soorten energetische investeringen die worden beschreven in de literatuur betreffen enerzijds ingrepen die ervoor zorgen dat minder energie nodig is en anderzijds ingrepen om te switchen van niet-hernieuwbare energiebronnen (met CO₂-uitstoot) naar hernieuwbare energiebronnen. Ze worden energiebesparende renovatiewerken genoemd.

Op de website van Energiehuis (mijnenergiehuis.be) worden de meest voorkomende energiebesparende renovaties opgesomd:

- dak-, vloer- en muurisolatie;
- plaatsen van hoogrendementsglas;
- plaatsen van een zonneboiler;
- plaatsen van zonnepanelen;
- plaatsen van nieuwe verwarmingsketel (condensatieketel of warmtepomp);
- onderhouden van de verwarmingsketel;
- plaatsen van geothermische warmtepomp;
- plaatsen van thermostatische kranen;
- plaatsen van kamerthermostaat met programmeermogelijkheden;
- energie-audit laten uitvoeren.

De meest voorkomende investering is het aanbrengen van isolatie aan dak of zoldervloer (zie o.a. Van den Broeck, 2019), zowel bij de Vlaamse huishoudens algemeen (o.b.v. REG-enquête 2017) als specifiek bij woningen van sociale huisvestingsmaatschappijen (Van den Broeck, 2020, o.b.v. Patrimoniumgegevens VMSW). Het plaatsen van isolatie zorgt ervoor dat er minder warmteverlies is doorheen de structuur van het gebouw. Het verbeteren van isolatie kan potentieel voor een grote energiebesparing zorgen (zie Marshall et al., 2016). Het plaatsen van energie-efficiënte verwarmings-systemen zorgt enerzijds voor een verbeterde verdeling van warmte binnenin het gebouw (Hong et al., 2009), met een comfortverbetering tot gevolg, en anderzijds voor een hogere efficiëntie waardoor minder energie nodig is om hetzelfde resultaat te verkrijgen. Bijvoorbeeld kan het verschil in efficiëntie tussen een oude niet-condenserende boiler en een (A-klasse) condenserende boiler 15%-punten bedragen. Orr, Lelyveld en Burton (2009) vinden bijvoorbeeld voor de eerste een efficiëntie van 70% en voor de laatste één van 85,6%.

Het plaatsen van een kamerthermostaat met programmeermogelijkheden is een minder kostelijke investering en beoogt geen verhoging van de efficiëntie maar is dan weer een vorm van controle over het leveren van een bepaalde energiedienst, in dit geval temperatuurcontrole (Marshall et al., 2016). Zo kan de verwarming een half uur voordat er iemand in de kamer/woning is die van die dienst kan genieten, opgezet worden, en weer af aan het verwachte einde van die periode. Dit kan een comfortverbetering en/of een energiebesparing opleveren.

In de literatuur vinden we onderzoek naar de energiebesparende effecten van het investeren in één, een aantal ingrepen samen of totaalrenovaties. Het effectieve effect wijkt meestal af van het theoretische rendement van deze investeringen. We gaan hieronder dieper in op deze performantiekloof en hoe deze kan verklaard worden.

1.1.1 Verschil tussen theoretisch en effectief rendement van energiebesparende maatregelen

Het plaatsen van energiebesparende investeringen leidt bijna steeds tot een lager dan verwacht rendement. In onderstaande tabel (Tabel 1) tonen we enkele empirische studies naar de effecten van energiebesparende ingrepen, maar deze is geenszins exhaustief. Het verschil tussen de voorspelde en werkelijke effecten op energieverbruik naar aanleiding van een renovatie kan tot 50% bedragen (Teli et al., 2016; Sunikka-Blank et al., 2012). Het theoretische of verwachte rendement (of de energiebesparing) wordt vaak berekend aan de hand van modellen of uitgevoerd in laboratorische omstandigheden. Studies in het verleden vonden reeds dat er een (grote) kloof bestond tussen wat werd vooropgesteld als besparing door de modellen en wat er in realiteit bespaard kon worden. Een studie uitgevoerd door Metcalf en Hassett (1999) toonde dat het effectief rendement van zolderisolatie ongeveer 10% was, veel lager dan wat werd vooropgesteld of getoond in eerder onderzoek. Deze auteurs halen ook een reeks andere studies aan waarin lagere returns in de werkelijkheid worden gevonden dan wat de ingenieurs vooropstellen. Majcen, Itard en Visscher (2013) onderzochten het theoretische versus het actuele gasverbruik van residentiële gebouwen met een energielabel (cf. EPC). Zij ontdekten dat vooral voor de energie-efficiënte gebouwen met de betere labels de werkelijke gasconsumptie hoger lag dan de theoretische. Meer recent onderzochten Cali et al. (2016) wat de performantiekloof was van totaalrenovaties (met zeven verschillende renovatiepatronen, verschillend naar isolatie en installaties) vonden performantiekloven van 41% tot zelfs 117%. Allcott en Greenstone (2017) vonden dat werkelijke energiebesparingen van energiebesparende maatregelen slechts 58% waren van de voorspelde. Fowlie, Greenstone en Wolfram (2018) vonden ook via een experimentele benadering dat de werkelijke besparingen (door allerlei investeringen zoals vervanging verwarmingsketel, isolatie van dak en muur, voorkomen van infiltratie van lucht) slechts 30% bedragen van de voorspelde.

Tabel 1 Overzicht verschillen tussen theoretische en effectief rendement van energiebesparende maatregelen

Beschrijving ingreep	Performantiekloof	Auteur(s)
Renovaties	50%	Teli et al. (2016); Sunikka-Blank et al. (2012)
Zolderisolatie	10%	Metcalf en Hassett (1999)
Verschillen tussen gebouwen volgens energielabels	Werkelijke gasconsumptie hoger dan de theoretische, vooral waar betere energielabels	Majcen, Itard en Visscher (2013)
Totaalrenovaties - 7 renovatiepatronen	41%-117%	Cali et al. (2016)
Energiebesparende investeringen	58%	Allcott en Greenstone (2017)
Allerlei energiebesparende investeringen	30%	Fowlie, Greenstone en Wolfram (2018)

Bron: Zie kolom 'Auteurs'

We kunnen dus besluiten dat de werkelijke rendementen of besparingen van energie-efficiënte investeringen (ver) onder de voorspelde lijken te liggen. Bij berekeningen van bijvoorbeeld de terugverdientermijnen of de huur (wanneer die gebaseerd wordt op de energetische staat van de woning)

moet er dus rekening mee gehouden worden dat de werkelijke besparing voor de huishoudens ver onder de voorspelde kan liggen.

Metingen op lange termijn duiden er wel op dat de kloof kleiner kan worden over de tijd (zie Cali et al., 2016). De vermindering van de kloof wordt door de auteurs toegeschreven aan het leren hoe het systeem optimaal gebruikt moet worden (door de bewoners).

1.1.2 Energiebesparende effecten in sociale woningen

Omwille van energie-armoede of de angst om de rekeningen niet te kunnen betalen zijn sociale huurders mogelijks voorzichtiger in het gebruik van energie en houden daardoor een lager thermische comfort aan (Aranda et al., 2017) door het instellen van een lage binnentemperatuur of het beperken van het aantal te verwarmen uren of ruimtes. Daardoor kan het zijn dat bij woningen van sociale huurders de reële besparingen nog lager uitvallen omdat de simulaties vaak uitgaan van de assumptie van een gelijk thermisch comfort voor en na de investering. Maar de energetische renovatie kan toelaten dat deze huishoudens naar een hoger comfortniveau overschakelen.

Aranda et al. (2017) vonden in sociale woningen in Spanje verschillen in werkelijk energieverbruik van 23% meer voor elektriciteit en 31% voor gas tegenover het verwachte verbruik na de energiebesparende investeringen, naar aanleiding van een bundel van no-investment ingrepen (eerder op gedrag gericht) en andere lage-kost investeringen (een deel door de huurders en een deel door de huisvestingsmaatschappij gefinancierd). In Santangelo en Tondelli (2017) worden een aantal energieverbruiksberekeningen aangehaald waar grootschalige (energetische) renovaties aan sociale woningen werden doorgevoerd. Via het Skåne Initiative in Zweden (2007-2016) werden ongeveer 400 000 woningen van 106 gemeentelijke huisvestingsmaatschappijen gerenoveerd (o.a. extra isolatie, vervangen van ramen, warmterecuperatie van ventilatielucht). Er werden technische maatregelen genomen alsook campagnes gevoerd bij de bewoners met onder anderetips over hoe energie te besparen. Er werd een energieverbruiksvermindering van 20% verwacht en er werd 12% gemeten.

1.2 Bewonersgedrag en het effect van energetische investeringen

Bij het renoveren van woningen wordt dus vaak een kloof gevonden tussen de voorspelde en de effectieve energiewinsten (zie hierboven) zowel bij sociale woningen als algemeen. Enerzijds kan deze kloof te wijten zijn aan technische aspecten zoals de kwaliteit van de renovatie of fouten aan de installatie (bv. in Hong et al., 2006; Cali et al., 2016) of de kwaliteit van de energiemodellen die de verwachte winsten moeten simuleren (bv. in Santangelo & Tondelli, 2017). De modellen die aangeven wat het verwachte energieverbruik na een ingreep zal zijn, zijn gebaseerd op standaardwaarden en houden geen rekening met de levensstijl, en de mentaliteit van de bewoners. Standaardwaarden gaan er bijvoorbeeld vaak vanuit dat de aangehouden binnentemperatuur dezelfde zal zijn voor en na de ingreep. Er worden gemiddelde bezettingspatronen en gemiddelde buitenklimaatwaarden gebruikt. Maar onderzoek door Delghust, De Weerdts en Janssens (2015) toont aan dat er grote verschillen bestaan in verwarmingsprofielen zowel naar ingestelde temperatuur, als naar verwarmingsuren. Voor bepaalde types huishoudens of woningen zullen de modellen dus goed voorspellen en voor andere minder goed. Delghust et al. (2015) vinden bijvoorbeeld ook dat officiële energiepreformantieberekeningen niet altijd accuraat het werkelijke energieverbruik kunnen voorspellen in hoogperformante woningen. Het model overschatte het gebruik van verwarming terwijl het belangrijk ander elektriciteitsgebruik verwaarloosde. Van belang bij het verklaren van de fouten was onder andere de gebruikte standaard voor luchtdichtheid.

Maar het is een in de literatuur algemeen erkend gegeven dat de voorkeuren en het gedrag van de bewoners een grote invloed hebben op het uiteindelijke resultaat van een energetische investering.

De meest besproken effecten zijn het rebound of prebound effect (wanneer het gaat over huishoudens in energie-armoede).

1.2.1 Rebound effect

Het rebound effect (zie bv. Sorrell, Dimitropoulos & Sommerville, 2009; Aydin, Kok & Brounen, 2017) houdt in dat er meer dan verwacht energie wordt gebruikt na een verbetering van de energie-efficiëntie van woningen ten gevolge van een verandering in gedrag van de bewoners. Het rebound effect heeft een direct en een indirect element (Cali et al., 2016). Het directe element houdt in dat door verbeteringen aan de energie-efficiëntie de energiediensten goedkoper worden wat aanzet tot een verhoogde vraag naar en consumptie van deze goedkoper geworden dienst. De comforttemperatuur kan bijvoorbeeld hoger worden ingesteld (de temperature take-back effect, Hamilton et al., 2011) om bijvoorbeeld een verlaagd kledij-isoleringsniveau (minder kledij leidend tot verhoogd fysiek comfort; Hong et al., 2009) toe te laten. Het indirecte rebound effect wordt veroorzaakt doordat energie bespaard wordt binnen één bepaalde energiedienst en er daardoor meer (financiële) mogelijkheden vrijkomen om een andere energiedienst meer te gaan gebruiken. Het rebound effect leidt zo tot een energieverbruik dat hoger ligt dan de berekende (energy performance) waarde.

Het rebound effect wordt beperkt wanneer verzadiging intreedt, met name wanneer de binnentemperatuur het maximum niveau voor thermisch comfort heeft bereikt. Het rebound effect wordt dan ook verwacht groter te zijn voor huishoudens met lage inkomens aangezien zij zich oorspronkelijk verder van de verzadigingstemperatuur zullen bevinden (Sorrell et al., 2009; Lilne & Boardman, 2000). Dit hoeft echter in de werkelijkheid niet (altijd) het geval te zijn. We bespreken dit verder onder het prebound effect (1.2.2).

1.2.2 Prebound effect

Het zogenaamde 'preboundeffect' (Sunikka-Blank & Galvin, 2012; Santangelo & Tondelli, 2017; Teli et al., 2016; McCabe et al., 2018) is specifiek relevant voor bewoners in sociale huisvesting of algemeen huishoudens met lage inkomens. Dit effect wordt veroorzaakt door energiearmoede, welke een situatie reflecteert van een huishouden met laag inkomen, in een inefficiënt gebouw met inefficiënte verwarmingssystemen en slechte toegang tot energiediensten (dus een situatie van laag inkomen en hoge energiekost). Deze huishoudens verbruiken minder dan de standaardcomfortwaarde omdat ze een lager/te laag comfortniveau aanhouden. Dit leidt er, net als bij het rebound effect, toe dat de potentiële energiewinsten na een investering lager zijn dan verwacht omdat een deel van de verbeterde energetische situatie gebruikt wordt om een beter thermisch comfort te bereiken (door instelling hogere temperatuur). Ook al lijkt de energiewinst dan laag, andere sociale gevolgen kunnen wel bestaan (verbeterd comfort en gezondheidssituatie, zie later).

Hoewel het (p)rebound effect alom aanvaard lijkt, is het gebaseerd op een vergelijking met de theoretische verwachtingen, welke niet altijd stroken met de werkelijke. Fowlie et al. (2018) bestuderen het rebound effect in een experimentele set-up maar vinden daar geen verhoging van de binnentemperaturen nadat een energetische renovatie werd doorgevoerd (en hun studiegroep waren huishoudens met lage inkomens).

1.2.3 Andere gedragseffecten

Gedrag kan ook via andere kanalen dan het rebound (en prebound) effect gevolgen hebben voor de effectieve rendementen (met verschillen op korte en lange termijn). Zo zijn er bijvoorbeeld de volgende effecten mogelijk:

- bewonersinteractie met de techniek: waar het gebruik van een programmeerbare thermostaat een significant energieverlagend effect zou kunnen hebben, met besparingen tot 30% voor verwarmings-

systemen door bijvoorbeeld dag- en nachttemperaturen in te stellen, wordt dit niet noodzakelijkerwijs gerealiseerd indien de gebruikers het systeem niet kennen (zie Huebner, Cooper & Jones, 2013; Santangelo & Tondelli, 2017). Om een verwacht effect (beter) te bereiken is het ook noodzakelijk dat de bewoners met de (nieuwe) technologie kunnen werken.

- drawback effect: terugvallen op oude gewoontes nadat het nieuwe van de nieuwe techniek/installatie verdwenen is (European Environment Agency, 2013; Santangelo & Tondelli, 2017).
- hawthorne effect: wetende dat men wordt geobserveerd (deelneemt in een studie) kan het gedrag beïnvloeden maar is slechts een tijdelijk effect (Karlin et al., 2015; EEA, 2013; Santangelo & Tondelli, 2017).

Ook met deze gedragseffecten moet worden rekening gehouden wanneer de werkelijke rendementen van energetische investeringen worden bestudeerd.

1.2.4 Grootte van gedragseffecten op energieprestatie

Door het rebound effect worden energiebesparingen dus gedeeltelijk weggecompenseerd. De temperature take-back factor bijvoorbeeld (welke een voorbeeld is van een rebound effect) kan de verwachte CO2 reducties met ongeveer 6% verminderen (Hamilton et al., 2011). Webber, Goldson en Kerr (2015) halen enkele auteurs aan die hebben getracht de effecten van het bewonersgedrag op de energieprestatiekloof te becijferen. Sanders en Phillipson (2006) berekenden dat de kloof tussen de technisch potentiële prestatie van energie-efficiëntie verhogende maatregelen en de effectieve prestatie 50% bedroeg, waarvan 35% kon toegeschreven worden aan prestatiekloven en 15% aan directe rebound effecten. Het directe rebound effect is maximaal 30% volgens Sorrell (2007). Sorrell et al. (2009) besluiten dat het (directe) rebound effect verwacht is kleiner te blijven dan 30%. Chitnis et al. (2013) beweren echter dat het rebound effect 5 tot 15% bedraagt en voornamelijk door het indirecte rebound effect wordt veroorzaakt (besparingen op energiediensten leiden tot een toegenomen vraag naar andere goederen en diensten). Het indirecte rebound effect wordt gemiddeld op 7% geschat (EEA, 2013).

1.3 De rol van feedback en informatie

Feedback krijgen kan een belangrijke rol spelen in het veranderen van gedrag. Verschillende onderzoeken tonen aan dat feedback alleen al veranderingen in energieverbruik kan teweegbrengen. Karlin, Zinger en Ford (2015) besluiten op basis van informatie uit 42 empirische studies uitgevoerd tussen 1976 en 2010 dat feedback effectief is in het verminderen van energiegebruik, met een gemiddelde van 7% energiebesparing. Echter, er wordt een grote variatie op het gemiddelde gevonden met resultaten tussen +8% (energievermeerdering) en -48%. Ze besluiten dat het belangrijk is hoe de feedback wordt aangeboden en aan wie.

1.3.1 Type feedback

Er worden verschillende manieren van feedback gebruikt (EEA, 2013; Santangelo & Tondelli, 2017):

- directe feedback ('learning by looking or paying', EEA, 2013): systemen ontwikkeld om instant (real-time) toegang te geven tot energieverbruiksgegevens op frequente of zelfs volledig continue basis bijvoorbeeld via real time displays (RTD's) en smart meters. Gegevens zijn beschikbaar op vraag bijvoorbeeld over energieverbruik, prijs, energieverbruik voor een bepaald onderdeel zoals verwarming. De meter kan ook historische informatie tonen. De informatie kan uitgedrukt worden in termen van energie, kosten of CO2-emissie. Dit 'in-building' display wordt als cruciaal geacht voor het veranderen van gedrag (EEA, 2013). Deze meters kunnen ook gebruikt worden om advies te geven zoals op welk moment van de dag het beter (goedkoper) is om bepaalde diensten te gebruiken (bv. geen machines gebruiken op piekmomenten).

- indirecte feedback ('learning by reading and reflecting', EEA, 2013): onbewerkte gegevens die door de energieleveranciers aan de klanten worden bezorgd, bijvoorbeeld via een verbeterde manier van factureren, door meer informatieve en meer frequente energiefacturen. Deze kunnen dan bijkomende informatie bevatten zoals vergelijkingen met eigen historische gemiddelden of normatieve feedback (= vergelijking met andere gelijkaardige huishoudens), of gedisaggregeerde feedback;
- inadvertent feedback ('learning by association', EEA, 2013) (=onbedoelde feedback): voorbeelden zijn door gebruik van nieuwe energie-gebruikende toestellen, energiebesparingsprojecten en sociaal leren;
- energie-audits.

1.3.2 Vorm van feedback

De meter gaat vaak gepaard met een in-home display (Faruqui et al., 2010) om de verzamelde informatie over te brengen naar de gebruiker. Maar de informatie kan ook gepresenteerd worden via een app (te consulteren via tablet of smartphone). Zoals eerder vermeld is de manier waarop de data worden gepresenteerd ook mee bepalend voor het effect op energiegebruik.

Kenmerken van de feedback die een rol kunnen spelen (Karlin et al., 2015):

- de frequentie van het geven van feedback;
- het medium waarlangs de feedback wordt gegeven (via de energiefactuur, monitoring, via bepaalde software die de informatie toont op computer/tablet/smartphone);
- hoe verbruik wordt getoond: dit kan het effect beïnvloeden omdat huishoudens verschillende motieven kunnen hebben zoals bekommernis over het milieu, gevoeligheid voor financiële kosten, persoonlijke en sociale normen, doeltreffendheid. Afhankelijk van deze motieven kunnen de energieverbruiken beter getoond worden in termen van koolstof emissie, financiële kost of kWh;
- vergelijking: met een persoonlijke doelstelling rond energieverbruik of met verbruik in het verleden, of met het verbruik van peers. Huishoudens kunnen een bepaalde doelstelling hebben rond energieverbruik of verwachting die ze wensen in te lossen, het kan ook een doel zijn om beter te doen dan zijn eigen verleden, of beter te doen dan peers. In het laatste geval kan informatie over het verbruik van vrienden, burens of een andere gemeenschap aanzetten om beter te presteren;
- detail: de feedback kan voldoende detail bevatten om een bepaald resultaat aan een bepaalde actie te linken. Er is verschil tussen het presenteren van geaggregeerde feedback over het energieverbruik in de hele woning en gedisaggregeerd verbruik uitgesplitst naar verschillende toestellen. De hypothese is dat feedback die toekenbaar is aan specifieke toestellen meer effect heeft in het verminderen van energieverbruik omdat men dan gericht zijn gedrag kan aanpassen (lerende fase).

Resultaten: welk type en vorm van feedback levert de beste energiebesparende resultaten?

Directe feedback kan verantwoordelijk zijn voor 5% tot 15% van de energiebesparingen en indirecte feedback voor 2% tot 10% (Santangelo & Tondelli, 2017). Ook of en hoe de voorafbetalingen voor energie gebeuren kan een effect hebben op het effect van feedback. Een onderzoek naar het gebruik van In-Home Displays (IHDs = directe feedback) toonde aan dat dit voor gemiddeld 7% energiebesparingen kon zorgen wanneer gebruikers niet op voorhand voor elektriciteit betalen maar tot zelfs het dubbele wanneer IHDs gecombineerd werden met een voorafbetalingensysteem (Faruqui, Sergici & Sharif, 2010). Aydin, Brounen en Kok (2018) vinden een onmiddellijk en constant effect (over de behandelde periode) van het voorzien van huishoudens met in-home displays (met hoge frequentie feedback en doelstellingsvergelijking) van 20% (minder energieverbruik, vergeleken met een controle-groep). Volgens de conclusies van EEA (2013), gebaseerd op hun literatuuronderzoek naar verschillende types van feedback, heeft de directe feedback het grootste energieverminderingspotentieel maar heeft indirecte feedback ook positieve energieverminderingseffecten en is deze gemakkelijk en minder kostelijk te implementeren. Een combinatie van beide is aan te raden.

Er werd door Aydin et al. (2018) ook gevonden dat de besparingen zich vooral situeren in de off-piek uren (waarbij de kloof tussen energievraag in dal- en piekuren vergroot), bij oudere huishoudens en bij huishoudens die sowieso meer focus op energiebesparing tonen (energie conservatieve huishoudens die geïdentificeerd worden door het aanschaffen van energie-efficiënte producten in het verleden). De energie feedback is dus het meest effectief bij huishoudens die reeds geïnteresseerd zijn in het besparen van energie. Het effect op oudere huishoudens wordt verklaard door het meer beschikken over tijd om de feedback te interpreteren en gebruiken.

Ook vond EEA (2013) dat informatie over de kost meer werd gebruikt en gewaardeerd dan informatie over de energie-eenheid (in kW) en dat informatie over elektriciteit meer werd gebruikt dan die over gas. Informatie over CO₂ uitstoot werd niet veel gebruikt noch als nuttig gezien (EEA, 2013). In Jain, Taylor en Culligan (2013) werd wel gevonden dat uitdrukken hoeveel bomen nodig waren om het energieverbruik te compenseren (dus energieverbruik uitgedrukt in environment externality units – milieu externaliteit eenheden) een groter effect had op de bewoners hun energiebesparingen dan wanneer energieverbruik uitgedrukt werd in directe energie-eenheden (kWu). Ook Shukla et al. (2019) beschrijven dat energieverbruik in monetaire termen gemakkelijk begrijpbaar is; het kan daarbij meer effect hebben om de financiële gegevens op maandelijkse of jaarlijkse basis te tonen aangezien de bedragen voor kortere periode (bv. dagelijks) te klein zijn om werkelijk effect te hebben.

Uit Fisher (2008) kunnen de volgende kenmerken voor succesvolle feedback worden gehaald: meerdere opties waaruit de gebruiker kan kiezen; interactief; frequentie hoger dan maandelijks, bijvoorbeeld continu, dagelijks, meteen na een bepaalde actie; gedetailleerde, toestel-specifieke uitsplitsing van verbruik, en vergelijkingen met vorige periodes (minimum twee van deze karakteristieken moeten aanwezig zijn voor succesvolle feedback).

Uit het onderzoek van Karlin et al. (2015) komt ook dat het medium met het grootste feedback-effect het meest engagerende en interactieve is, namelijk de computer. Daarenboven vonden zij dat sociale en historische vergelijkingen geen effect leken te hebben maar doelstellingsvergelijkingen wel. Shukla et al. (2019) vinden dat zowel het stellen van doelen, vergelijkingen met zichzelf of andere huishoudens (bv. wijk gemiddelden tonen) effect kan hebben. Ook in het rapport van de EEA (2013) wordt de effectiviteit van het stellen van persoonlijke doelstellingen (bv. gaat men voor 2% energievermindering of voor 20%) bevestigd.

Karlin et al. (2015) halen verder ook aan dat het niveau van detail, energieverbruik uitgesplitst naar verschillende apparaten, zou slechts kort een effect hebben, wanneer de gebruikers door een leerproces gaan. Na een tijd stoppen de gebruikers om die gedisagregeerde feedback te gebruiken.

Algemeen heeft informatieve feedback dus gemiddeld positieve gevolgen op het verminderen van energieverbruik met verschillen afhankelijk van hoe dit gebeurt. Het wordt als belangrijk geacht dat de informatie op maat van de gebruiker moet worden gebracht en dat feedback instrumenten specifiek voor bepaalde huishoudens moeten kunnen geselecteerd worden. Ook EEA (2013) vermeldt dat het belangrijk is dat de gebruikers de feedback begrijpen. De informatie moet steeds begrijpbaar zijn voor wie hij bedoeld is (McCabe et al., 2018; Santangelo & Tondellig, 2017).

1.3.3 Feedback energieverbruik bij kwetsbare huishoudens

In het onderzoek van Shukla et al. (2019) wordt onderzocht wat de mogelijkheden en grenzen zijn om een geïntegreerd meter- en sensorsysteem te plaatsen in bestaande woningen van huishoudens met lage inkomens, waarbij informatie wordt weergegeven over een selectie van indicatoren die het comfort bepalen. Het zou kunnen dat enkel informatie te verkrijgen via smart meters niet voldoende is om effectief gedrag te veranderen daar het energieverbruik niet eenduidig door gebruikers te linken is aan specifieke aspecten van energieverbruik. Het is voor ontvangers van de informatie niet duidelijk hoe of wat aan het gedrag te veranderen om effectieve energiebesparingen te realiseren. Daarenboven kan feedback die enkel weergeeft welke hoeveelheid energie wordt gebruikt (en de daarmee

samenhangende financiële implicaties), ook negatieve gevolgen hebben voor huishoudens in energiearmoede wanneer zij nog meer op energie proberen te besparen en zo onbedoelde gezondheids- of welzijnseffecten veroorzaken. Voor huishoudens met een risico op energiearmoede, wat vermoedelijk bestaat voor huishoudens in sociale woningen, is het dus belangrijk dat zowel financiële als andere (gezondheids- en welzijns-)implicaties kunnen gelinkt worden aan de feedback. De feedback zou dus bijvoorbeeld ook informatie kunnen bevatten over de determinanten van comfort zoals temperatuur en vochtigheid (ook koolstofdioxide CO₂ wordt vaak mee opgenomen).

De vier eerder besproken (energetische) renovatieprogramma's bij kwetsbare huishoudens (sociale woningen of lage inkomens-gebieden) door Santangelo en Tondelli (2017) in Nederland, Zweden, VK en Italië toonden dat er nood aan is dat de aanbieders van sociale woningen de adoptie van een energie-efficiënte levensstijl moeten begeleiden via verschillende strategieën, namelijk door feedback, tips and informatief materiaal. De auteurs merken echter ook op dat dit misschien niet voldoende is om de negatieve effecten die kunnen optreden na het renoveren (zoals het rebound effect) te beperken.

1.3.4 Informatie over gebruik van de technologie

Informatie over het gebruik van de technologie kan ook een positief effect op het energieverminderingspotentieel hebben. Zo stelt EEA (2013, p. 20):

“The project also highlighted that support from the equipment installers may be particularly important for users to learn how to operate the devices in an optimal way.”

Ook Cali et al. (2016) stellen dat informatie over goed gebruik van de technische aspecten de energieperformantiekloof kan minimaliseren. Wanneer de huurders geleerd werd hoe het systeem optimaal te gebruiken, werden zeer kleine energieperformantiekloven genoteerd. Ook in het overzicht van studies naar de toepassing van hernieuwbare energie in sociale woningen besluiten McCabe, Pojani en Broese van Groenou (2018) dat een succesfactor de opleiding van de huurders lijkt te zijn.

2. ENERGETISCHE INVESTERINGEN EN EFFECTEN OP DE BEWONERS

Energiebesparende investeringen hebben niet enkel een energiebesparing en/of kostenbesparing als gevolg maar omwille van de verbeterde kwaliteit van de woning kunnen ook effecten op het comfort en welbevinden alsook op de gezondheid van de bewoners geconstateerd worden.

Het algemeen comfort wordt mee bepaald door warmte. Het thermisch comfort kan verbeterd worden wanneer hogere binnentemperaturen kunnen worden bereikt bijvoorbeeld door het plaatsen van meer of betere isolatie of door het plaatsen van een energie-efficiënt verwarmingssysteem (Hong et al., 2009). Ook andere elementen die het thermisch comfort verhogen worden beïnvloed door isolatie en een verbeterd verwarmingssysteem: warmere buitenmuren kunnen het comfort verhogen door verminderde verschillen in stralingstemperatuur. Een meer uniforme temperatuur vermindert ook de thermische stress die ontstaat bij grote temperatuurverschillen wanneer men zich naar andere kamers begeeft.

Gezondheidsverbeteringen zijn ook te linken aan energie-efficiëntieverbeteringen (zie Santanello en Tondelli, 2017; p. 277; Hamilton et al., 2011). Door verbeteringen aan het binnenklimaat, tengevolge van energie-efficiënte verbeteringen aan gebouwen, kunnen ook effecten op de gezondheid van de bewoners bestaan. Een onderzoek naar de mogelijke gezondheidseffecten van energie-efficiënte verbeteringen in het VK schatte dat als gevolg van een vermindering van het wonen met te koude binnentemperaturen er een jaarlijkse vermindering van 4 400 daly's (disability-adjusted life-years)³ zou kunnen verkregen worden (Hamilton et al., 2011).

Twee cruciale elementen daarbij zijn de vochtigheid en de temperatuur. Vocht in de woning en schimmelvorming die daarmee gepaard gaan, kunnen leiden tot longproblemen, infecties en andere gezondheidsproblemen, terwijl een te lage temperatuur kan gelinkt worden met verschillende gezondheidsrisico's zoals een verhoogd risico op een hartinfarct en kans op overlijden (Vlaamse Woonraad, 2018). De effecten van (energetische) renovaties zijn dus niet beperkt tot energiewinsten maar hebben ook een sociale impact (Teli et al., 2016).

Behalve het opvolgen van indicatoren rond energie (gas/elektriciteit) kunnen smart meters ook andere gegevens presenteren zoals temperatuur, relatieve vochtigheid en CO₂ (deze laatste is daarbij een maat voor de 'gezondheid' van de lucht en mag niet verward worden door de gebruiker met het levensbedreigende koolstofmonoxide).

2.1 Welbevinden/comfort

Aangezien energiebesparing niet het enige mogelijke effect is van een energiebesparende investering, zullen we ook het (thermisch) comfort als meetbaar effect mee bespreken. Warmte is namelijk een belangrijk aspect van comfort (Huebner et al., 2013).

2.1.1 Mogelijke elementen die het comfort bepalen

Onderdelen van thermisch comfort (Teli et al., 2016; zie ook model van Fanger, 1982):

³ De ziektelast ('Burden of Disease') is de hoeveelheid gezondheidsverlies in een populatie die veroorzaakt wordt door ziekten. De ziektelast wordt uitgedrukt in DALY's ('Disability-Adjusted Life-Years'). De DALY kwantificeert gezondheidsverlies en is opgebouwd uit twee componenten: de jaren geleefd met ziekte en de jaren verloren door vroegtijdige sterfte. Het concept is afkomstig van de 'Global Burden of Disease' studie (GBD) van de Wereldbank en de WHO (Murray & Lopez, 1996); uit: <https://www.volksgezondheidenzorg.info/definitie-en-methode-ziektelastberekening#node-ziektelast-dalys>

- temperatuur (van de lucht): aanbevolen door WHO = 18 graden, maar de ideale temperatuur is persoonlijk en een cut-off waarde waaronder sterk negatieve gezondheidseffecten optreden is (nog) niet beschikbaar;
- stralingstemperatuur;
- luchtsnelheid;
- relatieve vochtigheid;
- isolerende eigenschappen van de gedragen kledij door de bewoners;
- metabolisme;
- buitenklimaat en hoe men zich eraan aanpast.

Door sensoren meetbare elementen hiervan zijn voornamelijk de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid.

2.1.2 Perceptie/tevredenheid

Voor het meten van thermisch comfort is niet de objectieve temperatuur belangrijk maar hoe de bewoner de temperatuur ervaart. In de literatuur worden hieromtrent verschillen gevonden tussen de korte-termijn en lange-termijn effecten. Deze worden veroorzaakt door het zich aanpassen aan bepaalde situaties. Bijvoorbeeld door Galiani, Gertler en Undurraga (2018) werd de mate van tevredenheid onderzocht voor en na ingrijpende infrastructuurverbeteringen aan gebouwen. Zij vonden dezelfde mate van tevreden bij de baseline meting als twee jaar na de interventie. Eichholtz, Kok en Palacios (2019), die de effecten van een verbetering aan de werkomgeving onderzochten, vonden wel dat indicatoren voor gezondheid en de perceptie van de kwaliteit van het binnenklimaat persistent over de tijd waren terwijl jobtevredenheidsindicatoren niet verschillend waren van de baseline. Er lijken dus verschillende lange-termijn effecten te bestaan voor verschillende indicatoren.

2.2 Gezondheid

Vaak wordt gesteld dat een (energetische) renovatie positieve effecten op de gezondheid van de bewoners teweeg kan brengen. Bepaalde gezondheidstoestanden kunnen gelinkt worden aan onder andere temperatuur- en vochtsituatie in de woning. Echter, empirisch onderzoek dat de effecten tussen woningkwaliteit en gezondheid cijfermatig kan bewijzen is eerder zeldzaam.

2.2.1 Wereldgezondheidsorganisatie over woonkenmerken en gezondheid

We verwijzen hier naar de informatie en richtlijnen rond wonen en gezondheid door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO, 2018). Het WHO stelt dat wonen, of de kwaliteit van wonen, steeds aan belang wint omwille van demografische en klimaatveranderingen met onder andere een steeds ouder wordende bevolking die veel tijd binnenshuis doorbrengt en de verhoogde blootstelling aan extreme temperaturen.

In het bijzonder wordt er gesteld dat woningen die moeilijk of duur zijn om te verwarmen bijdragen tot een slechtere toestand van de luchtwegen en cardiovasculaire gezondheid. Koude binnentemperaturen zijn niet alleen het gevolg van koude buitentemperaturen maar ook van structurele gebreken aan de woning waaronder niet voldoende isolatie of luchtdichtheid, alsook gebrek aan (de mogelijkheid tot) verwarming. Inzake lage binnentemperatuur en isolatie vinden we geschreven dat koude lucht de longen ontsteekt en de circulatie verhindert, waarbij het risico op luchtwegenziektes verhoogt (waaronder astma-aanvallen of symptomen, verergerende of chronisch obstructieve longziekten genaamd COPD chronic obstructive pulmonary disease, en infecties). Ook cardiovasculaire effecten kunnen door koude getriggerd worden. Koude binnentemperaturen tonen ook een verband met verhoogde bloeddruk en slechte mentale gezondheid.

De aanbeveling van de WHO inzake binnenhuistemperatuur in landen met een koud seizoen is de volgende (WHO, 2018, p. xvii):

“Indoor housing temperatures should be high enough to protect residents from the harmful health effects of cold. For countries with temperate or colder climates, 18°C has been proposed as a safe and well-balanced indoor temperature to protect the health of general populations during cold seasons.”

Isoleren en verwarmen van koude woningen kan helpen de gevolgen op de gezondheid van koude woningen te beperken. Om negatieve gevolgen van een verbeterde isolatie te voorkomen, moet er ook gezorgd worden voor aangepaste ventilatie. Zonder voldoende ventilatie (natuurlijke of mechanische) kunnen vochtproblemen ontstaan. Wanneer er niet voldoende luchtstroming meer is door isolatie, kunnen vochtproblemen leiden tot schimmels en bacteriën die ook weer negatieve gevolgen voor de gezondheid kunnen veroorzaken.

Een vervuild binnenklimaat is tevens te linken aan de toestand van de luchtwegen en de cardio-vasculaire gezondheid en kan ook allergische en irritatiereacties uitlokken (bv. astma). Ongeveer 15% van de astmagevallen bij kinderen in Europa kan verklaard worden door vocht binnen in de woning. Dit wordt uitgerekend in meer dan 69 000 potentieel vermijdbare Dolly's (Disability-adjusted life years) en 103 potentieel vermijdbare sterftes per jaar.

Andere aanbevelingen die te maken hebben met de binnenkwaliteit en vooral luchtkwaliteit van de woning betreffen daarom bijvoorbeeld de aanwezigheid van vocht en schimmels, asbest of lood, of carbon monoxide. (voor een meer uitgebreid overzicht verwijzen we naar WHO, 2018).

De belangrijkste gezondheidsrisico's die aan de fysieke toestand van de woning worden gelinkt zijn groter naarmate men meer tijd binnenshuis doorbrengt. In hoge inkomenslanden zou dit gemiddeld 70% van de tijd zijn, maar dit is hoger waar er grotere werkloosheidscijfers bestaan. Verder spenderen ouderen en personen met een beperking of chronische ziekte meer tijd binnenshuis en zijn dus nog meer blootgesteld aan de gezondheidsgevaaren van de woning. Vooral kinderen verkeren in een grotere risicosituatie wat betreft de aanwezigheid van toxische stoffen in de woning, bijvoorbeeld via de aanwezigheid van lood (in bv. verf).

Er wordt gesteld in het rapport van WHO (2018) dat sommige van de 'groene' normen in de bouwpraktijken bevorderend zijn voor gezonde leefomstandigheden zoals energie-efficiënte verwarming, verbeterde ventilatie, bouwmaterialen zonder formaldehyde, lood en asbest, isolatie, geen tapijten in keukens en badkamers.

2.2.2 Empirisch onderzoek

In de empirische literatuur is vooral het effect van extreme temperaturen (zeer warm of zeer koud, zowel langdurige als piekblootstelling) te linken aan gezondheid van de luchtwegen en cardiovasculaire gezondheid (bv. Nayha, 2002; Deschênes & Greenstone, 2011). Het bestaande onderzoek betreft wel meestal de buitenhuistemperaturen. Recent onderzoek naar gevolgen van stijgende energieprijzen naar aanleiding van de kernramp in Fukushima toonde wel dat energie-armoede en sterfgevallen bij koude temperaturen ook te linken (Neidell, Uchida & Veronesi, 2019).

De binnentemperatuur kan gelinkt worden op basis van enkele kleinere onderzoeken (in het WHO rapport worden studies vermeld uitgevoerd in Japan, Schotland, VK) aan het functioneren van de longen, astma of luchtweginfecties. De bewijskracht van deze studies wordt gemiddeld beschouwd als matig.

Van de 11 studies in het WHO-rapport die isoleren van de woning en het effect op gezondheid onderzochten waren er maar 7 waarbij een link kon getoond worden tussen het wonen in een geïsoleerde woning en een verbeterde gezondheidssituatie. Ook de bewijskracht van deze studies, dat een link

bestaat tussen geïsoleerde woningen en verbeterde gezondheidsuitkomsten, werd beschouwd als matig.

De onderzoeksaanbevelingen van de WHO (zie WHO, 2018, p.41) met betrekking tot het onderzoeken van de kwaliteit van de woning (isolatie en binnentemperatuur) bevatten onder andere het vergelijken van groepen in koude klimaten die wonen in een woning die wel tot een bepaalde temperatuur verwarmd is/geïsoleerd is in vergelijking met groepen die wonen in een woning die niet voldoende verwarmd is/niet geïsoleerd is; voor en na de interventie. Er wordt aanbevolen naar een reeks technische en gezondheidsuitkomsten te kijken. Aan de technische kant bijvoorbeeld: binnentemperaturen, relatieve vochtigheid, en luchttoevoer/-afvoer (ventilatie). Aan de gezondheidskant: ziekte- en sterftecijfers, cardiovasculaire ziekte, astma, COPD, infecties en depressies. Methodologisch worden onder andere randomized trials aanbevolen. Er moet kunnen gecontroleerd worden voor contextfactoren zoals onder andere buitentemperaturen. Onderzoek gebeurt best op basis van professionele metingen van zowel de technische gebouwaspecten als de gezondheidsuitkomsten (te verkiezen boven zelf-rapportage). Op de methodologische aspecten wordt hieronder dieper ingegaan.

Recent gebruikten Künn en Palacios (2019) het Duitse Socio-economisch panel (tijdreeksgegevens) om na te gaan of verbeterde woningkenmerken een effect hadden op de gezondheid van de bewoners. Zij vonden er bewijs voor dat een ingrijpende renovatie van de woning de gezondheidstoestand van de bewoners significant verbeterde. Als indicator voor gezondheidstoestand werd door de auteurs aantal dagen ziekteverlof gebruikt. Daarenboven vinden zij dat het positieve effect voornamelijk door het effect van een renovatie op de gezondheidstoestand van vrouwen wordt gedreven en het effect is groter in koude jaren. Hun resultaat toont aan dat vrouwen gevoeliger zijn aan het effect van de woningkenmerken op gezondheid.

De indicatoren die worden gebruikt om de gezondheidstoestand te meten of te beschrijven zijn onder andere ziektedagen, ziekenhuisopnames, doktersbezoeken, DALY's, ziekte- en sterftepercentages, aantal dagen niet naar school, voorkomen van COPD, voorkomen van astma (al dan niet bij kinderen), algemene luchtwegsymptomen, (hoge) bloeddruk, (zelf-gerapporteerde) piepende ademhaling, winterverkoudheid of griep, opgehoest ochtendslijm, subjectief welzijn, mentale gezondheid, hoesten. Voor het meten van het subjectieve welzijn kan een schaal gebruikt worden, bijvoorbeeld Likert schaal.

3. ONDERZOEKSDESIGN VOOR HET METEN VAN EFFECTEN VAN ENERGETISCHE RENOVATIES

Wanneer men onderzoek uitvoert naar het meten van effecten op energieverbruik en gezondheid of welbevinden, kan dit op verscheidene manieren gebeuren afhankelijk van de beschikbaarheid van bestaande data of de mogelijkheden om nieuwe data te verzamelen of een controlegroep te creëren voor de groep die de investering(en) ontvangt. Hieronder geven we enkele voorbeelden uit de empirische literatuur over het gebruik van beschikbare gegevens als over hoe nieuwe gegevens verzameld kunnen worden om de effecten van een energetische renovatie te meten.

3.1 Determinanten van energieverbruik

Een studie uit Noorwegen (Pettersen, 1994) toonde al aan dat energieverbruik voor verwarming niet beter voorspeld kon worden dan met een precisie van 35-40%. Zij bestudeerde de effecten van klimaat, woningkenmerken en bewoners op energieverbruik. Variatie veroorzaakt door bewoners was veel signifikanter dan de variatie veroorzaakt door klimaat. Schipper (1998) vond dat slechts ongeveer de helft van het energieverbruik kon verklaard worden door kenmerken van de woning en zijn techniek en het bewonersgedrag verklaart de rest. Het is echter niet gemakkelijk om precies te meten welke kenmerken van de bewoners welke effecten veroorzaken.

Aangezien bewonersgedrag een grote invloed uitoefent op het energieverbruik, kan de toevoeging van bewonerskenmerken mee zorgen een deel van de variatie te verklaren. Bedir, Hasselaar en Itard (2013) trachten de determinanten van elektriciteitsverbruik (en de rol van gebruik van licht en apparaten) te identificeren via regressieanalyse. Data werden verzameld via surveys bij 323 huishoudens. Behalve het gebruik van de apparaten (droogkast, wasmachine) en aantal douches aanwezig, vonden ze dat huishoudgrootte en woningtype een significante rol speelden in elektriciteitsverbruik.

Ook bezettingspatroon of aanwezigheidspatroon speelt een rol. Uit het onderzoek van Marshall et al. (2016) blijkt dat het huishoudtype een effect heeft op de energiebesparingen die kunnen gerealiseerd worden. Zij identificeerden drie types huishoudens: een werkende familie, een werkend koppel en een koppel gedurende de dag aanwezig in de woning. Het isoleren van muren en dak leverde de grootste energiebesparingen in alle scenario's. De besparingen bleken ook afhankelijk van het bezettingspatroon.

Ook de focus op energiebesparing is een relevante factor. Santangelo en Tondelli (2017) halen in hun besluit aan dat de manier van gedragsbeïnvloeding afhankelijk is van het type huishouden ten aanzien van energiebewustheid. Energiebewuste huishoudens kunnen meer energie besparen met systemen die een actieve betrokkenheid vereisen terwijl minder energiebewuste huishoudens meer energie besparen met systemen die minder actieve betrokkenheid vereisen. Zij besluiten dus dat de technologische ingrepen moeten aangepast zijn aan het huishoudtype. Het grotere besparingseffect van feedback bij huishoudens die ex ante meer focus op energiebesparing legden werd ook ontdekt bij Aydin et al. (2018).

De voorkeuren en gedrag van bewoners spelen dus een rol in het energieverbruik en deze kunnen onder andere verklaard worden door bijvoorbeeld de grootte van het huishouden, leeftijd, aanwezigheid thuis, maar ook inkomen, opleidingsniveau en tewerkstelling kunnen gelinkt worden aan energieverbruik (Santangelo & Tondelli (2017).

3.2 Meten van effect van renovatie

We beschrijven eerst de methodologie voor het uitvoeren van een impactmeting (3.2.1) met daar- onder enkele voorbeelden van onderzoeken naar effecten van renovatie/energiebesparende investe- ringen (3.2.2).

3.2.1 Methodologie

De bedoeling van een impactmeting is om een causaal effect te kunnen aantonen tussen de interventie en de outcome. Bij de experimentele benadering wordt er gewerkt met een interventiegroep (die de behandeling krijgt) en een controlegroep. Voor een korte introductie over (quasi-)experimentele methodes verwijzen we onder andere naar Gertler et al. (2011) en White en Sabarwal (2014). Er bestaan zogenaamde 'natuurlijke experimenten' waarbij de toewijzing aan één van beide groepen zonder toedoen van de onderzoekers of deelnemers gebeurt (zogenaamde RCT's of randomized controlled trials). Bij dit soort experimenten is de interne validiteit (bewijskracht) het grootst en kan de causaliteit bewezen worden. Bij een toevallige toewijzing is ook de generaliseerbaarheid of externe validiteit aantoonbaar indien de toevallige toewijzing gebeurt op basis van de relevante populatie. Het is echter in de praktijk vaak niet mogelijk zulke set-up te gebruiken, zeker wanneer het over complexe interventies gaat. Meestal gaat het dus over een quasi-experimentele benadering waar de selectie in interventie- of controlegroep door een administrator gebeurt (dit zijn bijvoorbeeld de onderzoekers of de uitvoerders van de interventie of de ambtenaren) ofwel door de deelnemers (zelfselectie) gebeurt of beide. De toewijzing gebeurt dus niet op basis van toeval. Er moet dan voor gezorgd worden dat de controlegroep zo gelijk mogelijk is aan de interventiegroep wat betreft de baseline karakteris- tieken (voor de interventie plaatsgrijpt). Dan kan de controlegroep achteraf dienstdoen als de zogenaamde 'counterfactual': wat zou de outcome zijn indien de interventie niet was uitgevoerd? Met zulk onderzoeksdesign kan de verandering in de outcome, bijvoorbeeld energieverbruik of gezond- heidstoestand, causaal toegewezen worden aan de interventie. Er moet wel nog steeds op de veralgemeenbaarheid (externe validiteit) van de resultaten gelet worden. Het is niet altijd mogelijk de effecten die getest werden voor een bepaalde groep, te veralgemenen.

Om een goede maat van de impact te krijgen, moet er echter voor gezorgd worden dat er doorheen de tijd (tussen baseline en post-interventiemeetpunt) geen veranderingen optreden die anders zijn voor de controle- en de interventiegroep. Er moet dus kunnen vanuit gegaan worden dat er een 'parallele trend' gebeurt. Indien de controlegroep bijvoorbeeld aan andere effecten wordt bloot- gesteld die ook de outcome, energieverbruik, kunnen beïnvloeden, kan de impact niet meer zuiver geïdentificeerd worden door de double difference methode. Bonell et al. (2011) wijzen erop dat alle mogelijke versturende factoren goed in kaart gebracht moeten worden. Wanneer hier dan voor gecorrigeerd kan worden zal het bewijs uit een niet-gerandomiseerde studie sterker zijn. Het is dus heel belangrijk dat de factoren die slechts één van de groepen beïnvloeden, naast de interventie waarvan de impact wordt gemeten, kunnen geïdentificeerd worden. Dit is het grootste nadeel van de methode (en wordt vermeden bij RCT's). Voor het beoordelen van de validiteit van niet- gerandomiseerd onderzoek werd door de Cochrane Collaboration (2014) een checklist⁴ ontworpen.

Data-analyse gebeurt in het geval van experimentele methoden via de single difference of double difference (difference-in-difference) methode. Bij de single difference methode wordt de impact gemeten door de outcomes in de controlegroep en interventiegroep te vergelijken op een bepaald moment na de interventie. Bij de double difference methode wordt de impact gemeten door de veranderingen over de tijd te vergelijken tussen controle- en interventiegroep. De double difference methode is tot heden de meest gebruikte impact evaluatiemethode. Deze methode is een betere maat voor de impact omdat ze ook corrigeert voor verschillen voor de interventie. Doch aangezien de

⁴ A Cochrane Risk Of Bias Assessment Tool: for Non- Randomized Studies of Interventions (ACROBATNRSI).

controlegroep en de interventiegroep zo gelijk mogelijk moeten zijn, zal het verschil voor de interventie beperkt zijn. De double difference methode zorgt er dus voor dat de problemen omwille van niet-geobserveerde kenmerken opgelost worden, ervan uitgaande dat deze kenmerken gelijk blijven over de tijd. Het probleem van zelfselectie wordt er niet door opgelost maar moet bewaakt worden door het creëren van de juiste controlegroep.

3.2.2 Voorbeelden van effectmetingen uit de literatuur

3.2.2.1 Indicatoren en monitoren

Technische output kan gemonitord worden via een IMSS (integrated meter and sensor system). Deze meten bijvoorbeeld energieverbruik, of binnenhuiskenmerken zoals CO₂ (koolstofdioxide), relatieve vochtigheid, of temperatuur.

Comfort/welbevinden en gezondheid zijn moeilijker te meten en worden ook vaak subjectief gemeten.

Er zijn ook een aantal aandachtspunten wanneer men geïntegreerde meter- en monitorsystemen wil plaatsen. De punten kunnen technologisch maar ook van andere aard zijn. Het kan gaan over de compatibiliteit met de bestaande meters en sensoren. Voor technologische details verwijzen we naar Shukla et al. (2019; p. 276 e.v.).

Maar ook de gegevenstransfer en -opslag kan drempels vormen waaronder de gegevensveiligheidsissues. Het gebruik van internet om de gegevens te transporteren en de cloud als bewaarplaats van de gegevens heeft ook bepaalde nadelen zoals de kwetsbaarheid van de data. Wanneer het publieke internet wordt gebruikt in plaats van een privaat netwerk kunnen bekommernissen bestaan bij de gebruikers over waar precies hun gegevens zich bevinden en wie er toegang toe kan krijgen.

Privacy kan ook praktisch een rol spelen (zie Shukla et al., 2019): meestal worden sensoren in keukens en woonplaats geplaatst en niet in slaap- of badkamers omwille van privacy redenen (de gegevens kunnen wired of wireless getransporteerd worden) maar de temperatuur of verwarmingstijd in slaapkamers kan nu net een belangrijke rol spelen in verschillen naar energieverbruik (zie verder).

3.2.2.2 Voorbeelden via econometrische analyse op (bestaande) datasets

Het is minder kostelijk om met bestaande data aan de slag te kunnen gaan, maar deze zijn niet altijd beschikbaar, of bevatten niet precies de juiste indicatoren. Daarbovenop zijn ze niet altijd geschikt om het causaal verband tussen een interventie en een resultaat zonder twijfel te kunnen vaststellen. Als het over complexere interventies gaat, kan deze interventie niet steeds uniform gevat worden in een enkele variabele.

Kenmerken van een econometrische aanpak:

- analyse van secundaire data die onder andere informatie over de vraag naar energie bevatten (energieverbruik) en de relevante energiedienst, eventueel aangevuld met extra surveys;
- deze data komen onder verschillende vormen voor: cross-secties (eenmalige observaties) of een opéénvolging van cross-secties, paneelgegevens (waarbij over dezelfde observatie, persoon of woning, op verschillende momenten in de tijd informatie bestaat);
- ze kennen ook verschillende analyse-eenheden: huishoudens, regio's, landen;
- deze studies schatten vaak elasticiteiten: de procentuele verandering in een afhankelijke variabele (bv. energieverbruik) gegeven de procentuele verandering in een onafhankelijke, terwijl de andere variabelen constant gehouden worden.

Majcen et al. (2013) halen aan dat er weinig studies zijn die het effect van het energielabel op het energieverbruik nagaan omwille van de lage beschikbaarheid van datasets die zowel het verbruik, het energielabel, als de woningkenmerken, en de bewonerskenmerken registreren. Vaak zijn de bestaande

studies gebaseerd op een beperkt aantal observaties en bedoeld om de effecten van het bewonersgedrag in kaart te brengen. Zij onderzoeken voor Nederland de link tussen werkelijk en theoretisch energieverbruik en de EPC-score. Ze linken een databank met gegevens over EPC en de onderdelen van het label alsook andere gebouwkenmerken aan energieverbruiksgegevens op basis van adressen van de huishoudens. Energieverbruiksgegevens worden door Statistiek Nederland bijgehouden en verzameld bij de energiebedrijven. Huishoudens met collectieve verwarmingssystemen werden uit de databank verwijderd omdat het individueel verbruik betwifelbaar was.

Ook voor Vlaanderen werd zulke studie uitgevoerd door Delghust et al. (2015) met de nadruk op hoogperformante woningen (i.e. nieuwbouwwoningen met bouwvergunningen van 2012 of 2013). De auteurs bekeken of de officiële energy performantie label (E-niveau) accuraat de werkelijke energieverbruiken kunnen voorspellen. Hiervoor gebruikten zij data over woningkenmerken en de berekende performantie van de Vlaamse Energie Performantie database (EPB database). Deze werden aangevuld met data van de energienutsbedrijven en surveys bij de bewoners over hun socio-demografische kenmerken en gebruikersgedrag. Uiteindelijk konden 587 observaties gebruikt worden voor de analyse. De auteurs vonden een matige correlatie tussen het label en het werkelijke energieverbruik. Wanneer woningen met zonnepanelen werden uitgesloten vonden ze geen significante correlatie. Wanneer theoretisch en effectief energieverbruik werden vergeleken werd ook een gedragscomponent gevonden. Het ging vooral over verschillende gedragingen rond het verwarmen van slaapkamers. Behalve de conclusie dat de resultaten ook voor hoogperformante woningen afwijkingen constateerden tussen voorspelde en effectieve energieverbruiken, haalden de auteurs enkele caveats van de studie aan. Het gebruik van surveys kan een response fout tot gevolg hebben tengevolge van bijvoorbeeld onzekerheden over gerapporteerde ingestelde temperaturen. Een gebrek aan correlaties kan te wijten zijn aan de gereduceerde steekproefgrootte terwijl het vinden van correlaties te wijten kan zijn aan andere dan de gemeten factoren. De correlatie wordt dan toegeschreven aan een opgenomen factor terwijl het effect eigenlijk veroorzaakt wordt door een externe beïnvloedende factor. Verder zijn er mogelijks ook risico's door selectie en non-response vertekeningen. Degenen die engageren in het bouwen van een hoogperformante woning zijn misschien meer (financieel in staat om) energiebewust (te leven). Deze link tussen de woningvariabelen en de bewonersvariabelen maakt het moeilijk om oorzakelijke verbanden te identificeren en extrapolaties naar de bredere woningvoorraad en –bewoners te maken. De nood aan meer onderzoek naar oorzakelijke verbanden wordt dan ook aangehaald.

Metcalf en Hassett (1999) gebruiken ook de residentiële energieverbruiksdata (Residential Energy Consumption Survey) die uitgevoerd worden door het Departement van Energie. Dit zijn cross-sectiegegevens van huishoudens waarbij huishoudens rapporteren over hun investering in energiebesparende maatregelen (maandelijkse data over een jaar) gekoppeld aan maandelijkse energiefacturen. De focus van deze studie ligt op zolderisolatie. Deze 'interventie' werd gekozen omdat dit goed gemeten werd in de survey en omdat de mogelijke effecten (rendementen naar energiebesparing) zeer hoog zijn. Er wordt een rendement van 9,7% gevonden.

Effecten van een niet-complex interventie zouden kunnen geanalyseerd worden via een éénmalige cross-sectie van energieverbruik (maand of jaar) als afhankelijke, te verklaren variabele, ten opzichte van een reeks verklarende variabelen zoals huishoud- en woningkenmerken en variabelen (de investeringshoogte of de aanwezigheid 1/0) die aangeven welke energiebesparende investering werd gemaakt. De coëfficiënten bij de dummies geven dan een maat voor de besparing die deze investering kan teweegbrengen. Echter, de auteurs (Metcalf en Hassett) merken op dat het probleem met zulke analyse is dat onder andere weeromstandigheden sterk variëren over huishoudens (plaats) en tijd. Dus het is moeilijk te identificeren of een bepaald effect (bv. verlaging van energieverbruik) van een energetische investering werkelijk door deze investering wordt veroorzaakt of omdat temperaturen net die winter op die locatie milder zijn. Men kan dit trachten op te lossen door het opnemen van temperaturen, zowel afzonderlijk als in interactie met de investering. Dit blijft echter wel een ad hoc

oplossing voor weersverschillen. Het gebruik van cross-secties laat echter vaak het bewijzen van een causaal verband niet toe onder andere omwille van het ontbreken van relevante variabelen of zelfselectie (in een cross-sectie-analyse kan niet gecorrigeerd worden voor eigenschappen zoals energiebewustzijn of er kan niet gecontroleerd worden voor andere factoren die mogelijks samenhangen met de interventie en mee het effect veroorzaken). Het gevaar van de niet-opgenomen contextvariabelen wordt hier weerom duidelijk. Allcott en Greenstone (2012) merken ook op in hun bespreking van de empirische onderzoeken naar het bepalen van de energie-efficiëntiekloof dat vele schattingen niet-experimenteel zijn wat het gevaar met zich meebrengt dat deelnemers aan een interventie (bv. renoveren of niet, al dan niet gebruik makend van een renovatiesubsidie zoals in het WAP-programma hieronder uitgelegd) ook kunnen deelnemen aan andere niet-geobserveerde activiteiten die of gedrag hebben dat energieverbruiksbepalend is.

Indien ze beschikbaar zijn is het een voordeel om paneel data te gebruiken. Wanneer dezelfde observaties meermaals over de tijd geobserveerd worden, is er ook een voor- en na-situatie observeerbaar, wanneer in die periode bepaalde observaties een verandering in één van de verklarende variabelen ondergaan. Zie onder andere Künn en Palacios (2019 working paper): via paneeldata en een fixed effects regressietechniek kunnen de kenmerken die gelijk blijven over tijd en een invloed zouden kunnen hebben op (zelf-)selectie tot de interventie, gecorrigeerd worden. Zij vonden een significant effect van een woningrenovatie op de gezondheidstoestand van de bewoners, vooral van vrouwen.

Om het effect van een energetische investering op energieverbruik bij lage inkomens huishoudens te meten (Weatherization Assistance Program) te meten werd door Fowle, Greenstone en Wolfram (2018) een randomized controlled trial opzet gebruikt. Het WAP heeft sinds zijn ontstaan in 1976 aan zo'n 7 miljoen huishoudens met lage inkomenssteun verschaft. De auteurs gebruiken zowel experimentele als quasi-experimentele variatie in deelname aan het programma om de rendementen ervan te identificeren:

- de huishoudens in de studie ontvingen gemiddeld ongeveer 5 150 USD aan verbeteringen aan hun woning (zonder eigen inbreng). Meestal ging het over vervanging van de verwarmingsketel, zolder- en muurisolatie en vermindering van infiltratie (lucht). Er namen 30 000 huishoudens deel aan het experiment welke allemaal in aanmerking kwamen voor de steun. Ongeveer een vierde werd random toegewezen aan de te behandelen groep. Deze werden aangemoedigd deel te nemen aan het programma en kregen daarbij ook begeleiding. Huishoudens in de controlegroep konden ook deelnemen maar werden niet gecontacteerd of begeleid. Het aanmoedigen van de huishoudens leidde tot 6% deelname terwijl in de controlegroep slechts 1% deelnam. De WAP-investeringen leidden tot een vermindering van het maandelijks energieverbruik tussen 10 en 20%.

Er werden binnentemperaturen gemeten om ook het directe rebound effect na te gaan; er werden na de investeringen geen hogere binnentemperaturen gemeten dus geen rebound effect onder de vorm van temperature take-back; toch werd maar 30% van de verwachte besparingen opgetekend.

Ook Allcott en Greenstone (2017) gebruiken experimentele and niet-experimentele variatie om de effecten van residentiële energie efficiëntie programma's te meten, waarbij ze een veldexperiment uitvoeren met 100 000 huishoudens. Ze evalueren twee grote energie-efficiëntieprogramma's (in Wisconsin) welke een tweeledig proces kennen. Ten eerste moeten huiseigenaars beslissen of ze een energie-audit wensen waaruit ze kunnen leren over welke energiebesparende maatregelen aan te raden zijn zoals betere isolatie of een nieuw verwarmingssysteem (het programma subsidieert zowel de audit als de investering). In een tweede stap beslissen ze of en welke aanbevolen investeringen ze zullen doen. Het model wordt geschat gebruik makende van de administratieve data van de Wisconsin programma's. Deze worden gekoppeld aan een gerandomiseerd experiment met 100 000 huishoudens. Door te variëren met de inhoud van de promotiebriefjes om het programma bekend te maken, worden twee identificatieproblemen opgelost (waaronder zelfselectie door het toevallig toewijzen van auditsubsidies). De auteurs vinden door het experiment ook sterke bewijzen voor het

bestaan van zelf-selectie-effecten bij deelname aan het programma. Behalve deze methodologische bevindingen, vonden de auteurs ook weer een lager dan verwacht rendement van energiebesparende investeringen. Dit verschil was volgens hen te groot om enkel en alleen door het rebound effect te kunnen zijn veroorzaakt en wordt dus mede door verkeerde voorspellingen veroorzaakt. Het is belangrijk om accuratere voorspellingen te kunnen doen aangezien deze verwachte effecten vaak een rol spelen in de keuze om over te gaan tot de investering.

Wanneer administratieve of representatieve surveydata niet beschikbaar zijn of bij complexe interventies, waar onder andere bewonersgedrag een grote rol kan spelen, is het moeilijk om de interventie aan een bepaalde variabele te koppelen, zeker te zijn wat deze variabele juist meet of om een causaal effect toe te kunnen schrijven aan de interventie. Er kan een verband gevonden worden, maar het oorzakelijke kan daarmee niet altijd bewezen worden, noch de grootte van het effect, aangezien er vaak sprake is van endogeniteit. Endogeniteit vertekent het effect door het bestaan van invloeden die wel relevant zijn maar niet werden opgenomen als verklarende variabele (niet-geobserveerde verschillen), of de endogeniteit kan ook ontstaan door selectie. Er kunnen dus enerzijds niet-opgenomen variabelen bestaan die het effect mee sturen en samenhangen met de variabele waarvan men het effect op de outcome wil bestuderen waardoor het effect dat gemeten wordt, vertekend is. Maar het kan ook zo zijn dat door selectie het effect vertekend wordt. Het kan namelijk zijn dat huishoudens die andere kenmerken hebben en daardoor eerder een bepaalde investering wensen te maken, ook door die andere kenmerken de effecten op de outcome veroorzaken. Zoals we eerder zagen, kan het gedrag of de instelling van de huishoudens ten opzichte van energiebesparing een effect hebben op het resultaat, welk dan deels onterecht aan de ingreep wordt toegewezen.

3.2.2.3 Voorbeelden veldstudies: verzamelen nieuwe gegevens

Om de causaliteit beter vast te stellen en de grootte van het effect te kennen, zeker van een complexe interventie, kan een experimenteel design opgezet worden. Hieronder geven we enkele voorbeelden van (quasi-)experimentele evaluatie-opzetten. In dit geval zal er behalve de groep die de interventie krijgt, ook een controlegroep opgezet worden. Karlin et al. (2015) wijzen erop dat bepaalde mogelijke gedragingen in gedachten moeten worden gehouden bij het meten van effecten. Er is een verschil tussen een 'blinde' of bewuste controlegroep. In het eerste geval weten de deelnemers niet of ze tot de controlegroep of de interventiegroep behoren (bv. wanneer met een placebo wordt gewerkt). Voor interventies rond renovaties, of het ontvangen van feedback lijkt het niet mogelijk om met een blinde controlegroep te werken. Bij de bewuste controlegroep kan wel het gevaar bestaan op het Hawthorne effect namelijk dat je door te weten dat je deelneemt aan een studie je gedrag aanpast (zogenaamde type I error). Verder is er ook nog een verschil tussen een 'lege' en een informatie controlegroep. Soms zijn de controlegroepen niet helemaal neutraal (volledig onbehandeld) maar krijgen ze wel bepaalde informatie. Ook het aantal deelnemers is belangrijk. Hoe minder er zijn, des te groter is de kans op sampling error (steekproeffout).

Cali, Osterhage, Streblow en Müller (2016) bestudeerden de effecten van de renovatie van drie oorspronkelijk gelijke gebouwen met elk 30 appartementen. Dit is een set-up die ook voor onderzoek naar renovaties in sociale woningen kan gebruikt worden, aangezien deze ook vaak gegroepeerd zijn in woonblokken of wijken.

- 3 gebouwen met elk 30 appartementen; de gebouwen zijn elk met een verschillende methode gerenoveerd (zeven verschillende renovatiepatronen);
- Gebouwen van 1950;
- gebouwen naast elkaar gebouwd en geometrisch identiek (dus geen andere omgevingskenmerken voor de controlegroep);
- elk gebouw heeft 3 ingangen en geeft toegang tot 10 appartementen (5 verdiepingen);
- tussen 2008 en 2010 gerenoveerd;
- gebouwen gemonitord sinds 2011 (met goedkeuring van de huurders, tot 2015);

- wat wordt gemonitord: temperatuur en relatieve vochtigheid, CO₂, volatile organic compounds (VOCs), licht, infrarood/zichtbaar licht ratio, raamopensensoren (open/dicht); alles gemeten via een kamer monitoring unit;
- omwille van de omvang van de renovaties konden de huurders niet in de woningen blijven wonen tijdens de renovatie en de meeste huurders die er na de renovatie introkken woonden voordien niet in deze woningen (er is dus geen voormeting van dezelfde groep);
- verschillende informatie voor de huurders: elke huurder ontving de technische handleidingen van de geïnstalleerde technologieën, maar de huurders van één gebouw B1 werden in de herfst van 2011 ingelicht over de juiste manier om met de techniek om te gaan, de andere huurders van de andere twee gebouwen werden hier pas over geïnformeerd in de herfst een jaar later in 2012;
- surveys en interviews in 2013;
- resultaat: energieperformantiekloven tussen verwachte en effectieve besparingen worden opgetekend voor de zeven types renovatie-aanpakken. De kloof varieerde gemiddeld over de observatiejaren van 117% in 2011 tot 60% in 2014. De kloof kon deels worden toegeschreven aan technische elementen en deels aan gedragscomponenten maar kon niet exact opgedeeld worden.

Een voorbeeld van Teli et al. (2016) sluit bij het vorige aan:

- situatie: woontoren van 1968 met 107 woningen over 11 verdiepingen (social housing);
- doelstelling: deze werden gerenoveerd om de standaarden voor Passivhaus certificate for retrofits te halen;
- maatregelen: buitenmuurisolatie- en dak upgrade (om bepaalde standaarden te halen inzake $U=W/m^2K$) + triple beglazing (maximum $U=0,8 W/m^2 K$) + verbetering luchtdichtheid + installatie mechanische ventilatie met warmterecuperatiesysteem;
- methode: voor de energetische renovatie werd een environmental monitoring uitgevoerd gedurende het verwarmingsseizoen en een questionnaire afgenomen bij de deelnemende huurders:
 - 18 appartementen werden gemonitord gedurende 34 dagen (van 18/3 tot 22/4) op temperatuur en relatieve vochtigheid - buitentemperatuur en relatieve vochtigheid werden ook gemeten via een weerstation op 2 km afstand - 2 loggers voor metingen in elk appartement (living en slaapkamers);
 - meting voor en meting na de retrofitting (zelfde 18 huishoudens);
 - metingen voor gaven aan dat de helft van de woningen 'underheated' was (volgens WHO normen) vermoedelijk te wijten aan energiearmoede (cf. prebound effect);
 - effectieve energiebesparingen bleken tussen 14% en 84% minder te zijn dan verwacht (gemiddeld 49%).

Mogelijke nadelen van de hierboven beschreven veldtesten kunnen zijn

- andere factoren, behalve de ingreep, kunnen ook de vraag naar energie veranderen (Frondel & Smith, 2005; Meyer, 1995). De onderzoeken simpel voor en na (zonder gebruik van controlegroep of controleren voor 'verstorende' factoren) zijn vermoedelijk onderhevig aan vertekening;
- selectie bias kan ook aanwezig zijn: wanneer huishoudens kiezen om deel te nemen (aan de renovatie of aan de monitoring) of niet eerder dan random toegewezen te zijn;
- andere tekortkomingen van bestaande studies (Sorrell et al., 2009): kleine steekproefgrootte of grote variatie in de relevante indicator binnen dezelfde of tussen te vergelijken studies. Dit laatste kan bijvoorbeeld inhouden dat huishoudens verschillende types van een energie-efficiëntie verhogende maatregel ontvangen, of een combinatie van verschillende maatregelen. Ook de monitoring periode is vaak te kort om langetermijneffecten te vatten.

Sorrell et al. (2009) presenteren 12 quasi-experimentele studies over effecten op verwarming bij renovaties van woningen. Twee komen er als goed uit (namelijk Oreszczyn et al., 2006 en Hong et al., 2006) waarbij energiebesparingen worden gemeten en de temperature take-back. Deze (voor- en na-)studies worden door Sorrell et al. (2009) als volgt omschreven: 'cross-sectional study but

methodologically robust with large sample size'. Dus indien men cross-sections neemt met een voor- en een na-meting (dus zonder controlegroep) is er een grote steekproef nodig.

We vermelden hier ook een project uit Vlaanderen dat niet echt een controlegroep of een voormeting heeft maar waar wordt vergeleken met het energieverbruik van een referentiehuishouden. Het ECO-Life⁵ project in Vlaanderen (lopend van 2012 tot 2016) betrof de ontwikkeling van een CO₂-neutrale sociale woonwijk in Kortrijk ('Venning') van 196 woningen, zowel appartementen als grondgebonden woningen. Eengezinswoningen uit de jaren '50 werden gedeeltelijk vervangen door nieuwe meer-gesinswoningen en woonblokken en gedeeltelijk gerenoveerd zodat de moderne normen en comfort-niveaus bereikt werden (zie beschrijving en resultaten van het project in Janssens, Vaillant Rebollar, Himpe & Delghust; 2017). Dit gebeurde in drie opeenvolgende fases: 82 appartementen in fase 1, in fase 2 werden 64 eengezinswoningen gerealiseerd en in fase 3 werden 50 oorspronkelijke woningen gerenoveerd. Volgens de beschrijving van het project is er geen voormeting gebeurd bij deze reeds bestaande woningen. Er werd wel intensief gemonitord tijdens de werken en bij de nieuwe bewoning van onder andere energieverbruik en temperaturen met gedetailleerde meters in een steekproef van woningen; bij een kleinere steekproef werden bevragingen van de bewoners georganiseerd. De bewoners werden ook bevraagd en de kwaliteit werd grondig getest. Behalve de berekeningen gebaseerd op de technologische specificaties werd als vergelijkingswaarde voor energieverbruik cijfers van Eurostat gebruikt (gemiddelde elektriciteitsverbruik van 3 500 kWh per huishouden bestaande uit twee ouders en een kind). Dit scenario gaat uit van een gebouw verwarmd met een gascondensatie-boiler. Er werd gemiddeld een 30% lager verbruik tegenover dit scenario verwacht. Het werkelijk gemonitorde energieverbruik was echter hoger dan voorspeld maar dit werd verwacht nog te verbeteren na de finale afstelling van de systemen.

Van onderzoekopzetten die de link met gezondheid willen identificeren vinden we voorbeelden in het WHO-rapport (WHO, 2018, verwijzingen p. 36 en p. 37). Hier wordt de link tussen temperatuur en gezondheid onderzocht waar de methode van gerandomiseerde experimenten wordt gebruikt in Japan, en voor andere studies wordt cohorte-analyse gebruikt (in Japan, Schotland en VK). De link tussen isolatie en gezondheid wordt onderzocht via een cluster-gerandomiseerd experiment in Nieuw-Zeeland, een gecontroleerd experiment in de VS en via quasi-experimentele studies (in VK en Nieuw-Zeeland). Voor België of Vlaanderen vinden we tot hiertoe geen veldexperimenten die de link tussen (energetische) renovatie van de woning en gezondheid of welbevinden van de bewoners nagaan.

In Nederland onderzoeken Eichholtz, Kok en Palacios (2019) de impact van omgevingsvoorwaarden op de werkplaats (gezonde omgeving) op de gezondheid en jobtevredenheid van de werknemers van de stad Venlo in Nederland (ongeveer 500 werknemers). Ze zetten een longitudinale monitoring op van zowel de werknemers die naar een nieuw 'gezond' gebouw verhuisden als van de werknemers die in het oude 'ongezonde' gebouw zijn blijven werken. De gezondheid en tevredenheid worden voor de verhuis van een deel van de werknemers naar het nieuwe gebouw gemeten en ook enkele malen nadien. De analyse gebeurt via de methode van difference-in-difference. Gezondheid wordt gemeten aan de hand van symptomen van het sick-building-syndroom: oog-, neus- en keelirritatie, mentale moeheid, hoofdpijn, misselijkheid, duizeligheid en huidirritaties. De respondent antwoordt zelf op de vraag of deze symptomen aanwezig zijn. De jobtevredenheid wordt gemeten aan de hand van een reeks Likert-schalen.

⁵ <https://www.ugent.be/ea/architectuur/en/research/research-projects/all-research-projects/eco-life/overzicht.htm>

4. BESLUIT

Onderzoeken naar energieverbruikseffecten wijzen bijna steeds op een lager dan voorspeld rendement van de investering. Hoeveel lager dit rendement varieert zeer sterk van onderzoek tot onderzoek of van energiebesparende maatregel tot maatregel. Een deel van het lagere rendement wordt toegewezen aan het gedrag van de bewoners waarbij onder andere de temperature take back factor een rol kan spelen (de temperatuur wordt hoger ingesteld na de investering dan tevoren omdat de prijs van verwarmen lager is geworden). Dit element kan zeker verwacht worden waar voordien aan comfort ingeboet werd door het instellen van temperaturen die eigenlijk te laag liggen, vooral dus bij huishoudens met lage inkomens of energiearmoede.

Het gedrag van de bewoners naar energieverbruik toe kan ook beïnvloed worden door het geven van energiefeedback via bijvoorbeeld een inhome-display, waarbij het belangrijk is dat de feedback op maat van, en vooral verstaanbaar voor de gebruiker is. Het effect van begeleiding in het gebruik van de nieuwe systemen of de feedback via de IHD bij sociale huurders werd nog niet zo intensief onderzocht.

Waar er veel onderzoeken naar de effecten van energetische renovaties op het energieverbruik bestaan, is het onderzoek naar de effecten ervan op de gezondheid van de bewoners eerder beperkt. Wel wordt door het WHO de link gemaakt tussen binnentemperaturen, vochtigheid, gezond binnenklimaat en gezondheid. We kunnen dus wel vermoeden dat wanneer er door renovatie een verbetering van deze factoren optreedt, dit ook een verbetering voor (bepaalde aspecten van) de gezondheid van de bewoners teweegbrengt, en dit in sterkere mate voor meer kwetsbare bewoners zoals ouderen en kinderen.

Het is duidelijk uit dit overzicht van onderzoeken dat het niet eenvoudig is om de causaliteit tussen de renovaties en de geobserveerde effecten daadwerkelijk vast te kunnen stellen. Om dit te voorkomen, wordt wanneer mogelijk een experimenteel design gebruikt. In de realiteit zal dit een quasi-experimenteel design zijn omdat toevallige toewijzing bij renovaties niet evident is. Er komt best zowel een voor- als nameting aan te pas alsook een controlegroep die ook een voor- en nameting ontvangt. Verder zullen de deelnemers aan de interventiegroep en de controlegroep zo gelijk mogelijk moeten zijn en moet er verondersteld kunnen worden dat allen eenzelfde trend volgen, dus ook niet doorheen de periode van de behandeling anders zullen evolueren.

Best is om de gebruikte indicatoren objectief te meten via meetapparatuur en niet via zelf gerapporteerde waarden (bv. van ingestelde binnentemperaturen). Smart meters kunnen het energieverbruik registreren, alsook temperatuur, vochtigheid, CO₂ of andere op te volgen indicatoren, maar het objectief meten van indicatoren is minder evident aangaande de gezondheid of het welbevinden.

REFERENTIES

- Allcott, H., & Greenstone, M.** (2012). Is there an energy efficiency gap? *Journal of Economic Perspectives, American Economic Association*, 26(1), 3-28.
- Allcott, H., & Greenstone, M.** (2017). *Measuring the welfare effects of residential energy efficiency programs* (NBER Working Paper No. 23386).
- Aydin, E., Brounen, D., & Kok, N.** (2018). Information provision and energy consumption: evidence from a field experiment, *Energy Economics*, 71, 403-410.
- Aydin, E., Kok, N., & Brounen, D.** (2017). Energy efficiency and household behaviour: the rebound effect in the residential sector, *The RAND Journal of Economics*, 48(3), 749-782.
- Aranda, J., Zabalza, I., Conserva, A., & Millán, G.** (2017). Analysis of Energy Efficiency Measures and Retrofitting Solutions for Social Housing Buildings in Spain as a Way to Mitigate Energy Poverty, *Sustainability*, 9(1862), 2-22. (doi: 10.3390/su9101869).
- Bonell, C.P., Hargreaves, J., Cousens, S., Ross, D., Hayes, R., Petticrew, M., & Kirkwood, B.R.** (2011). Alternatives to randomisation in the evaluation of public health interventions: design challenges and solutions. *Journal of Epidemiol Community Health*, 65(7), 582-587.
- Cali, D., Osterhage, T., Streblow, R., & Müller, D.** (2016). Energy performance gap in refurbished German dwellings: lesson learned from a field test, *Energy and Buildings*, 127, 1146-1158.
- Chitnis, M., Sorrell, S., Druckman, A., Firth, S., & Jackson, T.** (2013). Turning lights into flights: estimating direct and indirect rebound effects for UK households. *Energy Policy*, 55, 234-250.
- Delbeke, B., Verbeeck, G., & Oosterlynck, S.** (2013). *De aanpak van energie-armoede via energie-efficiëntie: mogelijkheden en beperkingen*. Callens M., Noppe J. & Vanderleyden L., De sociale staat van Vlaanderen 2013. Brussel: Studiedienst van de Vlaamse Regering, 177-226.
- Delghust, M., De Weerd, Y., & Janssens, A.** (2015). Zoning and intermittency simplifications in quasi-steady state models, *Energy Procedia*, 78, 2995-3000.
- Delghust, M., Roelens, W., Tanghe, T., De Weerd, Y., & Janssens, A.** (2015). Regulatory energy calculations versus real energy use in high-performance houses, *Building Research & Information*, 43(6), 675-690.
- Deschênes, O., & Greenstone, M.** (2011). Climate change, mortality and adaptation: evidence from annual fluctuations in weather in the US, *American Economic Journal: Applied Economics*, 3(4), 152-185.
- Eichholtz, P., Kok, N., & Palacios, J.** (2019). Moving to productivity: the benefits of healthy buildings, preliminary working paper, September 2019, <https://nilskok.typepad.com/nils-kok/2019/11/moving-to-productivity-the-benefits-of-healthy-buildings.html>.
- European Environment Agency** (2013). *Achieving energy efficiency through behaviour change: what does it take?* EEA Technical Report No.5/2013, p. 56. (<https://www.eea.europa.eu/publications/achieving-energy-efficiency-through-behaviour/file>).
- Fanger, P.O.** (1982). Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering, Malabar, Fla & Robert E. Krieger, 1982.
- Faruqui, A., Sergici, S., & Sharif, A.** (2010). The impact of informational feedback on energy consumption - A survey of the experimental evidence, *Energy*, 35(4), 1598-1608.

- Fowlie, M., Greenstone, M., & Wolfram, C.** (2018). Do energy efficiency investments deliver? Evidence from the Weatherization Assistance Program, *The Quarterly Journal of Economics*, 133(3), 1597-1644.
- Galiani, S., Gertler, P.J., & Undurraga, R.** (2018). The half-life of happiness: hedonic adaptation in the subjective well-being of poor slum dwellers to the satisfaction of basic housing needs, *Journal of the Economic Association*, 16, 1189-1233.
- Gertler, P.J., Martineze, S., Premand, P., Rawlings, L.B., & Vermeersch, C.M.J.** (2011). *Impact evaluation in practice*. Washington D.C: The World Bank, p. 266.
(https://siteresources.worldbank.org/EXTHDOFFICE/Resources/5485726-1295455628620/Impact_Evaluation_in_Practice.pdf)
- Hamilton, I.G., Davies, M., Ridley, I., Oreszczyn, T., Barrett, M., Lowe, R., Hong, S., Wilkinson, P., & Chalabi, Z.** (2011). The impact of housing energy efficiency improvements on reduced exposure to cold – the ‘temperature take back factor’, *Building Services Engineering Research and Technology*, 32(1), 85-98.
- Hens, H., Parijs, W., & Deurinck, M.** (2010). Energy consumption for heating and rebound effects, *Energy and Buildings*, 42, 105-110.
- Hong, S.H., Oreszczyn, T., Ridley, I., & the Warm Front Study Group** (2006). The impact of energy efficient refurbishment on the space heating fuel consumption of English dwellings, *Energy and Buildings*, 38(10), 1171-1181.
- Hong, S.H., Gilbertson, J., Oreszczyn, T., Green, G., & Ridley, I.** (2009). A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment, *Building and Environment*, 44(6), 1228-1236.
- Huebner, G.M., Cooper, J., & Jones, K.** (2013). Domestic energy consumption – What role do comfort, habit, and knowledge about the heating system play? *Energy and Buildings*, 66, 626-636.
- Jain, R.K., Taylor, J.E., & Culligan, P.** (2013). Investigating the impact eco-feedback representation has on building occupant energy consumption behavior and savings, *Energy and Buildings*, 64, 408-414.
- Janssens, A., Vaillant Rebollar, J., Himpe, E., & Delghust, M.** (2017). Transforming Social Housing Neighbourhoods into Sustainable Carbon Neutral Districts, *Energy Procedia*, 132, 549–554.
- Karlin, B., Zinger, J.F., & Ford, R.** (2015). The effects of feedback on energy conservation: a meta-analysis, *Psychological Bulletin*, 141(6), 1205-1227.
- Koning Boudewijnstichting** (2018). *Verbeteren van de energieprestaties van sociale woningen in België: kosten-batenanalyse en aanbevelingen*. Brussel: Koning Boudewijnstichting.
- Majcen, D., Itard, L.C.M., & Visscher, H.** (2013). Theoretical versus actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications, *Energy Policy*, 54, 125-136.
- Marshall, E., Steinberger, J.K., Dupont, V., & Foxon, T.J.** (2016). Combining energy efficiency measure approaches and occupancy patterns in building modelling in the UK residential context, *Energy and Buildings*, 111, 98-108.
- McCabe, A., Pojani, D., & Broese van Groenou, A.** (2018). The application of renewable energy to social housing: A systematic review, *Energy Policy*, 114, 549-557.
- Metcalfe, G.E., & Hassett, K.A.** (1999). Measuring the energy saving from home improvement investments: evidence from monthly billing data, *Review of Economics and Statistics*, 81, 516-528.

- Meyer B.D.**, (1995). Natural and quasi-experiments in economics, *The Journal of Business and Economic Statistics*, 13(2), 151-160.
- Milne G. & Boardman B.** (2000). Making cold homes warmer: the effect of energy efficiency improvements in low-income homes. A report to the Energy Action Grants Agency Charitable Trust, *Energy Policy*, 28(6-7), 411-424.
- Murray, C.J.L., Lopez, A.D., World Health Organization, World Bank, & Harvard School of Public Health** (1996). *The Global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020: summary/edited by Christopher J. L. Murray, Alan D. Lopez.* World Health Organization.
- Näyhä, S.** (2002). Cold and the risk of cardiovascular diseases. A review, *International Journal of Circumpolar Health*, 61(4), 373-380.
- Neidell, M., Uchida, S., & Veronesi, M.** (2019). *Be cautious with the precautionary principle: evidence from Fukushima Daiichi Nuclear Accident* (IZA Discussion Paper Series DP No.12687), IZA Institute of Labor Economics
- Oreszczyn, T., Hong, S.H., Ridley, I., Wilkinson, P., & The Warm Front Study Group** (2006). Determinants of winter indoor temperatures in low-income households in England, *Energy and Buildings*, 38, 245-252.
- Orr, G., Lelyveld, T., & Burton, S.** (2009). *Final Report: Insitu monitoring of efficiencies of condensing boilers and use of secondary heating.* Gloucestershire: Department of Energy and Climate Change, Energy Saving Trust, Gloucestershire.
- Paone, A., & Bacher, J.P.**, (2018). The impact of building occupant behavior on energy efficiency and methods to influence it: a review of the state of the art, *Energies*, 11, 953, doi: 10.3390/en11040953.
- Pettersen, T.D.** (1994). Variation of energy consumption in dwellings due to climate, building and inhabitants, *Energy and Buildings*, 21(3), 209-218.
- Sanders, C., & Phillipson, M.** (2006). *Review of differences between measured and theoretical energy savings for insulation measures.* Centre for Research on Indoor Climate and Health. Glasgow Caledonian University.
- Santangelo, A., & Tondelli, S.** (2017). Occupant behaviour and building renovation of the social housing stock: current and future challenges, *Energy and Buildings*, 145, 276-283.
- Schipper** (1998). Linking lifestyles and energy use a matter of time? *Annual Review of Energy*, 14(1), 273-320.
- Sorrell, S.** (2007). *The rebound effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency. A report produced by the Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre.* London: UK Energy Research Centre London.
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J., & Sommerville, M.** (2009). Empirical estimates of the direct rebound effect: a review, *Energy Policy*, 37, 1356-1371.
- Sunikka-Blank, M., & Galvin, R.** (2012). Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, *Building Research and Information*, 40(3), 260-273.
- Teli, D., Dimitriou, T., James, P., Bahaj, A., Ellison, L., & Waggott, A.** (2016). Fuel poverty-induced 'prebound effect' in achieving the anticipated carbon savings from social housing retrofit, *Building Services Engineering Research and Technology*, 37(2), 176-193.
<https://doi.org/10.1177/0143624415621028>

Van den Broeck, K. (2019). *Drempels voor renovatie aan de vraagzijde*, Leuven: Steunpunt Wonen.

Van den Broeck, K. (2020). *Energetische staat SHM-woningen*, nog te verschijnen

Vlaamse Woonraad (2018). *Advies wijzigingsbesluit huurprijsberekening sociale huurwoningen*. Advies 2018-16/30.08.2018.

Vlaamse Woonraad (2018). *Advies wonen en gezondheid*. Advies 2018-27/18.12.2018.

Webber P., Gouldson A. & Kerr N. (2015). The impacts of household retrofit and domestic energy efficiency schemes: A large scale, ex post evaluation, *Energy Policy*, 84, 35-43.

White H. & Sabarwal S. (2014). Quasi-experimental Design and Methods, *Methodological Briefs: Impact Evaluation 8*, UNICEF Office of Research, Florence.
(https://www.unicef-irc.org/KM/IE/img/downloads/Quasi-Experimental_Design_and_Methods_ENG.pdf)

World Health Organisation (2018). *Housing and health guideline*. Geneva: World Health Organization.
Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

KU LEUVEN



Het Steunpunt Wonen is een samenwerkingsverband van de KU Leuven, de VUB, de Universiteit Antwerpen en de TUDelft (Nederland).

Binnen het Steunpunt verzamelen onderzoekers van verschillende wetenschappelijke disciplines objectieve gegevens over de woningmarkt en het woonbeleid. Via gedegen wetenschappelijke analyses wensen de onderzoekers bij te dragen tot een langetermijnvisie op het Vlaamse woonbeleid.

Het Steunpunt Wonen wordt gefinancierd door het Vlaamse Gewest.