

# Energie- en comfortprestaties van energiezuinige woningen

Dit artikel is een samenvatting van een afstudeeronderzoek inzake een project van gerealiseerde duurzame woningen waarin het gedrag van de bewoners bijdraagt aan een factor van onzekerheid over de prestaties van het ontwerp [1]. Als een gevolg hiervan bestaat de kans dat het op voorhand opgestelde duurzaamheidsconcept niet voor iedere individuele woning behaald wordt. Dit project is erop gericht om meer inzage te verkrijgen in het gedrag van de inwoners en de gevolgen hiervan op de woningprestaties. Deze inzage werd enerzijds verkregen door meetdata te analyseren van deze woningen en anderzijds via een energiesimulatiemodel om een schatting te maken over de invloed van gebruikersgedrag. De uitkomsten van dit onderzoek tonen aan dat gedrag kan leiden tot een verschil in energie- en comfortprestatie binnen een groep woningen. Ten tweede wordt ook besproken hoe dit verschil met behulp van een energieprestatieprogramma onderzocht kan worden.

R. (Randy) van Eck\*; MSc. I.I. (Isabella) Gaetani\*; dr.ir. P. (Pieter-Jan) Hoes\*; MSc. R. (Ronald) Hennekeij\*\*; prof.dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen\*.

\*Technische Universiteit Eindhoven

\*\*Homij Technische installaties B.V.

Gedurende het ontwerpproces van een gebouw wordt vaak een schatting gemaakt voor het energieverbruik (en binnenklimaat) van een gebouw. Hiervoor wordt een plan van eisen opgesteld wat vaak gericht is op een bepaalde doelgroep van gebruikers. Voor deze doelgroep is meestal een aanname gemaakt van wat zij gaan verbruiken (onder andere hoeveelheid warm water of stroomverbruik) en welk binnenklimaat eventueel het meest geschikt is. Echter, deze aannames zijn niet representatief voor iedere individuele

gebruiker. Op zijn beurt kan dit ertoe leiden dat een installatie afwijkend presteert omdat een gebruiker deze installatie anders hanteert dan aangenomen werd.

De redenen waarom een gebruiker zich anders gedraagt dan verwacht zijn talloos. Het kan een kwestie zijn van persoonlijk comfort maar er zijn ook talrijke andere redenen; levensstijl, inkomen en huishoudtype e.a. kunnen hierin een aanzienlijke rol spelen [2]–[4]. Aangezien al deze factoren moeilijk mee te nemen zijn binnen een plan van eisen, (laat staan een

schatting te maken over de actuele bijdragen aan het verbruik dan wel aan het binnenklimaat) brengt gebruikersgedrag vaak een onzekerheidsfactor met zich mee ten aanzien van de daadwerkelijke prestaties [5] – [6]. Op zich hoeft dit niet een probleem te vormen, vooral niet als de gebruiker zelf verantwoordelijk is voor zijn of haar verbruik. Echter, wanneer bepaalde (duurzame) eisen (zoals nota nul-, nul op de meter-, of energieneutrale gebouwen) gehaald moeten worden kan de invloed van de gebruiker van belang zijn. Zo



-Figuur 1- Woningen in Holten, Overijssel

	Energiebalans (kWh)	Uitgaven (€)	Inkomen (€)
Heffingskorting	n.v.t.		385,-
Vastrecht kosten elektriciteit	n.v.t.	270,-	
Variabel energieverbruik	- 2000	428,-	
Gebouwegebonden energieverbruik	- 2400	514,-	
Lokale energie opwekking	+ 4000		865,-
<b>Totaal som</b>	<b>- 400</b>	<b>1212,-</b>	<b>1250,-</b>
<b>Jaarnota</b>			<b>38,-</b>

-Tabel 1- Een simpel rekenvoorbeeld van een Nota nul duurzaamheidsconcept en energie- en kostenbalans [8]

toont onderzoek aan dat energie-efficiënte en duurzame gebouwen relatief gevoeliger zijn voor de invloed van gebruikersgedrag. Dit door de ongevoeligheid van deze gebouwen ten aanzien van buitenklimaat [7]. Binnen het gebied van duurzaam bouwen kan het daarom belangrijk zijn om mee te nemen dat niet iedere persoon de installaties (bijvoorbeeld verwarming) even efficiënt hanteert. Hierdoor kan het belangrijk zijn te weten tot welke hoogte gebruikers zelf kunnen bijdragen aan de energie- en kostenbalans van het gebouw. Oftewel, in duurzaamheidsconcepten kan het gewenst zijn om te weten in welke mate inefficiënt-, bovengemiddeld en verspillend verbruik kan meespelen in de energie- of kostenbalans. Deze kennis is noodzakelijk omdat de exploitant hieruit kan concluderen wat voor gebruikersgedrag funest of risicovol kan zijn voor het duurzaamheidsconcept. Een voorbeeld waarbij de bijdrage van de gebruiker zelf een belangrijke rol speelt zijn de energiezuinige woningen in Holten (figuur 1), die eind 2014 opgeleverd werden aan de hand van het duurzaamheidsconcept 'Nota nul' [9]. Op basis van een balans van energieverbruik, lokale energie opwekking en bijkomende kosten (zie tabel 1) richt dit concept zich erop om een jaarafrekening te leveren van nul euro of minder. Deze balans is opgesteld onder aanname van bewust energiegebruik door de bewoner(s). Na oplevering werd echter opgemerkt dat sommige woningen meer verbruiken dan andere waardoor er de mogelijkheid bestaat dat niet alle woningen voldoen aan het beoogde concept. Omdat deze woningen

identiek zijn in hun installatiesystemen en constructie en omdat deze woningen relatief nieuw zijn is de vraag hoe groot de bijdrage van de gebruiker kan zijn in de energiebalans. Het doel van dit onderzoek is om een beter beeld te vormen over de bijdrage van de gebruikers. Dit voor zowel het gebouwgebonden verbruik van warm water en verwarming en het thermisch binnenklimaat.

### METHODE

Voor het onderzoek naar de bijdrage van gebruikersgedrag binnen deze woningen werden binnen dit project twee methodes gebruikt. Ten eerste is er een data-analyse uitgevoerd waarin a) het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp en b) de binnentemperatuur is bekeken voor zes rijwoningen in Holten. Het doel hiervan is om te kijken hoe groot het verschil kan zijn als gevolg van gebruikersgedrag wanneer het zeker is dat andere factoren zoals installatietechnische fouten, lokaal weer, of het woningtype geen rol spelen. Ten tweede is er een TRNSYS rekenmodel opgezet. Dit om een schatting te maken over de potentiële bijdragegrootte van een grotere groep huishoudens.

### DATA-ANALYSEN

Binnen het onderzoek is eerst gekeken naar de huidige woningprestaties van de doelgroep woningen in Holten. Deze analyse werd uitgevoerd op basis van een meting over een halfjaar (januari 2015 tot en met juni 2015). Ook al focust het 'nota nul'-concept zich op een jaarlijks verbruik, het werd voor nu aange-

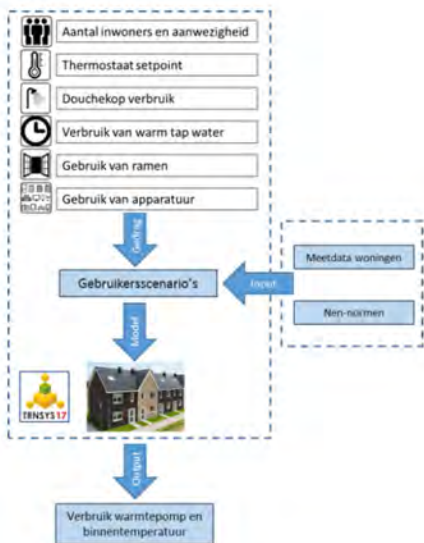
nomen dat de huidige trend in energieverbruik zich zal doorzetten doorheen het kalenderjaar. Binnen deze analyse worden twee aspecten meegenomen voor iedere woning. Ten eerste wordt het gemeten elektriciteitsgebruik van de warmtepomp voor zowel tapwater- en ruimteverwarming ( $E_{\text{warmtepomp}}$  in kWh/m<sup>2</sup>) bekeken als een indicatie voor het energieverbruik van de gebruikers. Ten tweede wordt de temperatuur over de afvoer van het ventilatiesysteem bekeken als parameter voor het binnenklimaat ( $T_{\text{binnen}}$  in °C). Vanuit deze laatste parameter werden ook het aantal uren waarbij temperatuuroverschrijding ( $T_{\text{binnen}} \geq 25^\circ\text{C}$ ) optreedt berekend. Voor iedere woning zijn vervolgens deze parameters uitgezet en met elkaar vergeleken gedurende dit halfjaar.

### SIMULATIESTRATEGIE

Binnen de tweede stap werd met behulp van TRNSYS 17 een model opgezet dat representatief is voor deze woningen. Binnen dit model wordt vervolgens gekeken in welke aspecten gebruikersgedrag invloed kan hebben op het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp. Hierbij wordt voornamelijk gekeken hoe boventallig en inefficiënt gebruik van warm water en ruimteverwarming bijdraagt aan een hoger elektriciteitsgebruik van warmtepomp. Om de invloed van gebruikersgedrag te simuleren werden gebruikersscenario's opgesteld op basis van NEN-normen en exacte gegevens waar beschikbaar (Figuur 2). Op basis van deze input parameters zijn vervolgens 64 verschillende combinaties gesimuleerd die ieder verschillende minimale en maximale gebruikersscenario's voorstellen. De resultaten van deze TRNSYS simulaties zijn vervolgens vergeleken met de gemeten elektriciteitsgebruik van de warmtepomp in deze woningen.

### RESULTATEN

Figuur 3 toont een vergelijking van het binnenklimaat en het verbruik van de warmtepomp voor de zes woningen in Holten. Aangezien het bekend is dat de randvoorwaarden hetzelfde zijn en er geen installatietechnische fouten optreden is het verschil in verbruik en temperatuur hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de bewoners zelf. Zoals bijvoorbeeld de verdeling in de binnentemperatuur aantoont kan de mediaantemperatuur met ongeveer twee graden verschillen gedurende de metingsperiode. Daarnaast is het zichtbaar dat het aantal uren waarbij temperatuuroverschrijding optreedt sterk verschilt per huishouden. Zo komen temperaturen ( $T_{\text{binnen}} \geq 25^\circ\text{C}$ ), die over het algemeen als oncomfortabel ervaren worden, bij woning N5 minder vaak voor dan bij andere huishoudens. Daarenboven toont de rechter figuur aan dat

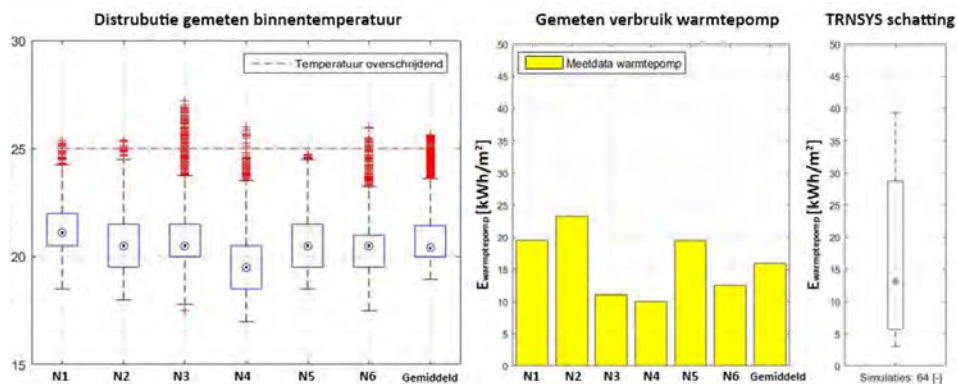


-Figuur 2- Schematische voorstelling van het model

het elektriciteitsverbruik voor de warmtepomp ( $E_{\text{warmtepomp}}$ ) ook kan verschillen per individuele woning. Dit verschil kan tot dubbel zo groot zijn wanneer er een vergelijking wordt gemaakt tussen de laagste en de hoogste verbruiker. Wanneer er vervolgens simulaties worden gemaakt voor de 64 gebruikersscenario's is het waarneembaar dat het verbruik naar schatting nog groter kan zijn. Dit verschil kan tot 36 kWh/m<sup>2</sup> in de meest extreme scenario's. Wanneer dergelijke verschillen in relatie worden gebracht met het duurzaamheidsconcept is het toonbaar dat er grote gebruiksverschillen mogelijk zijn. Dit gebruiksverschil kan leiden tot een grote onzekerheidsfactor binnen een energie- of kostenbalans. Op zijn beurt kan het hoger verbruik in sommige woningen ervoor zorgen dat niet iedere woning aan het duurzaamheidsconcept voldoet mede dankzij de bijdrage van de gebruikers.

## CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Zoals de resultaten aantonen kan de invloed van de gebruiker leiden tot verschillen in zowel energie- als de klimaatprestaties van deze woningen. In acht nemend dat deze woningen hetzelfde zijn in lay-out, installatiesysteem en constructie kan gesteld worden dat de huidige verschillen hoogstwaarschijnlijk voortkomen uit de gebruiker zelf. Indien de bijdrage van gebruikersgedrag significant gevonden wordt in het kader van een duurzaamheidsconcept kan het gedrag van de bewoners ertoe leiden dat het gebouw en de installaties niet functioneert naar beoogde verwachtingen. Als voor het gebruik van een duurzaamheidsconcept gekozen wordt is het daarom belangrijk om een beeld te hebben van de bijdrage van de gebruiker rondom het energieverbruik. Indien het van nut is om gebruikersgedrag in kaart te brengen is het mogelijk om deze verschillen zichtbaar te maken via een bench-



-Figuur 3- Verschil in het binnenklimaat (links) en het gebouwgebonden elektriciteitsverbruik van de warmtepomp zowel gemeten (midden) als gemodelleerd in TRNSYS 17 (rechts) voor zes rijwoningen in Holten gedurende de tijdsperiode van januari tot en met juli 2015

mark van de meetdata. Deze benchmark kan een inzicht geven over de gevolgen van de gebruiker indien het zeker is dat de andere randvoorwaarden niet van invloed zijn. Hieruit kan ook afgeleid worden welke woningen al dan niet aan het concept voldoen. Dit kan een aanleiding kan zijn voor verder onderzoek of onderhoudscontroles.

Tijdens de ontwerpfase kan een ontwerper de bijdrage van de gebruiker ook meenemen door te denken in verschillende gebruikersscenario's rondom het energieconcept of rondom de belangrijkste beoordelingscriteria. Op basis van de modeloutput van deze verschillende simulaties kan er vervolgens een schatting gemaakt worden voor de verschillende prestaties van het ontwerp. Deze verschillende scenario's kunnen het verschil in energieprestaties aantonen en vervolgens een beeld vormen over de bijdrage van gebruikersgedrag ten aanzien van de energie- en kostenbalans. Deze informatie kan vervolgens gebruikt worden om meer zekerheid te bieden in het behalen van de beoogde energieconcepten.

In een tweede stap kan de invloed van gebruikersgedrag ook verder onderzocht worden via een gevoeligheidsanalyse. In een dergelijke studie kan gekeken worden naar welk specifiek gedrag een negatieve bijdrage levert aan het concept. Hieruit kan vervolgens advies gegeven worden aan de gebruikers over hoe zij efficiënter of zuiniger kunnen omgaan met hun leefomgeving. Daarnaast kan een dergelijke studie de gedragsbijdragen met betrekking tot de gestelde criteria beter visualiseren. Op zijn beurt kan dit gebruikt worden om de bijdrage van de gebruikers beter te vertalen naar verschillende partijen.

## DANKWOORD

Bij dit afstudeerproject en artikel wil ik Homij technische installaties B.V. bedanken omdat ik hun meetdata en case study woningen mocht gebruiken voor dit onderzoek.

## LITERATUURLIJST

1. R. van Eck., (2016), Investigating the influence of occupants on the indoor climate and heating energy for the "Morgen Woningen", MSc thesis, Technische Universiteit Eindhoven
2. J. M. Cayla, N. Maizi, and C. Marchand, "The role of income in energy consumption behaviour: Evidence from French households data," Energy Policy, vol. 39, no. 12, pp. 7874–7883, 2011.
3. L. S. B. Lutzenhiser, "The 'Average American' Unmasked: Social Structure and Differences in Household Energy Use and Carbon Emissions Problem and Research Strategy," Portland 2008.
4. O. Guerra Santin, L. Itard, and H. Visscher, "The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock," Energy Build., vol. 41, no. 11, pp. 1223–1232, Nov. 2009.
5. V. Tabak and B. de Vries, "Methods for the prediction of intermediate activities by office occupants," Build. Environ., 2010.
6. Z. Yu, B. C. M. Fung, F. Haghigat, H. Yoshino, and E. Morofsky, "A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption," Energy Build., vol. 43, no. 6, pp. 1409–1417, Jun. 2011.
7. Z. M. Gill, M. J. Tierney, I. M. Pegg, and N. Allan, "Low-energy dwellings: the contribution of behaviours to actual performance," Build. Res. Inf., vol. 38, no. 5, pp. 491–508, 2010.
8. O. Dwars, "Alles over energienotanu." [Online]. Available: <http://www.duurzaamgebouwd.nl/visies/20130301-alles-over-energienotanul>. [Accessed: 01-Sep-2015].
9. Rik Hulsman, "Morgenwonen, Case study dwellings," 2015. [Online]. Available: <http://www.morgenwonen.nl/>. [Accessed: 24-Jun-2015].