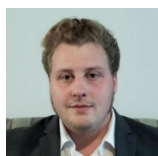


IN-SITU PRESTATIEBEPALING VAN DE GEBOUWSCHIL

DE CO-HEATING TEST METHODE

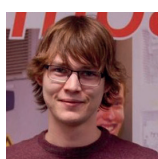
De thermische prestatie van de gebouwschil bepaalt in grote mate het warmteverlies, en daarmee de energiebehoefte van (woon)gebouwen. Veel renovatiemaatregelen hebben als doel de gebouwschil te verbeteren, echter wordt de (verbeterde) kwaliteit van de gebouwschil als gevolg van deze maatregelen nauwelijks getoetst. Dit artikel beschrijft de bepaling van de feitelijke thermische prestatie van een energetisch gerenoveerde tussenwoning in Enschede, gebruikmakend van een co-heating test. Het energiegebruik voor verwarming, evenals de binnen- en buitenomstandigheden werden tijdens de meetperiode gemonitord. Uit deze gegevens werden vervolgens de zonnewarmte-winst, alsmede de warmteverliezen als gevolg van infiltratie en transmissie bepaald. Tot slot werd de warmteverliescoëfficiënt (HLC) bepaald. Vergeleken met data uit de internationale literatuur, is het gebouw van goede thermische kwaliteit.



ir. T.J.H. (Twan) Rovers
PDEng



dr. ir. C. (Christian) Struck



ing. J.A.N. (Jeroen) van 't Ende, Saxion Hogeschool, Academie Business, Building & Technology, Lectoraat Sustainable Building Technology & Material



ing. P.V. (Pascal) ten Berge, Woningcorporatie Domijn, Enschede

De introductie van (bijna) energieneutrale gebouwen (BENG) vereist energieprestatiegaranties tijdens de exploitatiefase van (woon)gebouwen; is het netto energiegebruik uiteindelijk echt (bijna) nul? Het succes van energetische renovaties wordt echter nauwelijks getoetst, terwijl deze het fundament vormen voor het bereiken van een (bijna) energieneutraal gebouw.

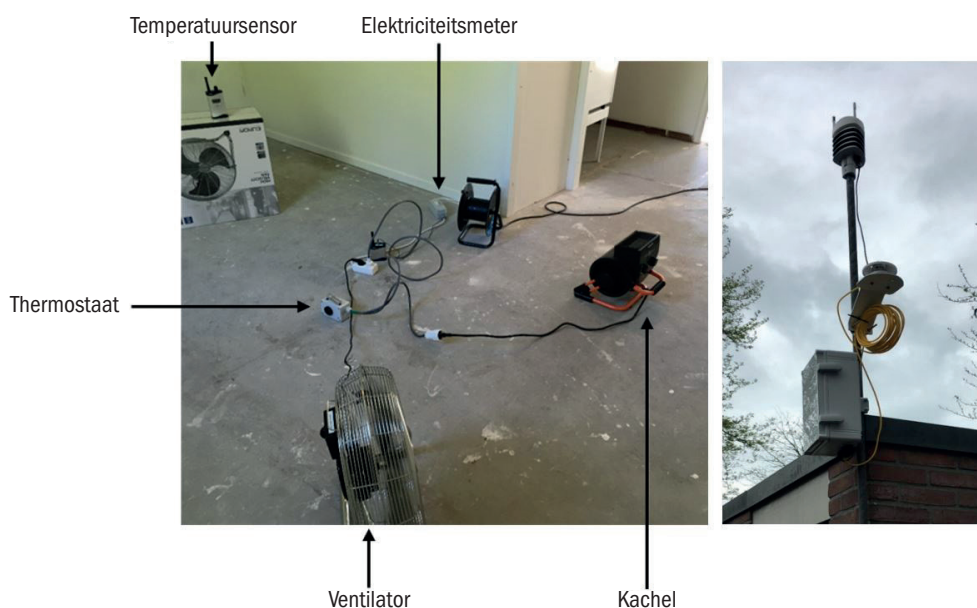
Diverse methoden en modellen zijn beschikbaar om het theoretische energiegebruik van een gebouw te bepalen. Diverse auteurs [1, 2, 3] merken echter op dat het theoretische energiegebruik aanzienlijk kan afwijken, tot een factor drie [3], van het werkelijk gemeten energiegebruik. Internationaal staat dit bekend als de *performance gap*.

De werkelijke thermische prestatie van een gebouw wordt grofweg bepaald door drie zaken [4]:

- (1) de thermische kwaliteit van de gebouwschil,
- (2) de prestatie van de installaties en
- (3) het gebouwgebruik.

Beschouwende dat, in Nederland, ruimteverwarming ongeveer twee derde van de energievraag van woongebouwen beslaat [5], is de werkelijke prestatie van de gebouwschil van groot belang.

In deze studie wordt de werkelijke energetische prestatie van de gebouwschil van een energetisch gerenoveerde tussenwoning (127 m² GO, bouwjaar 1982) in Enschede bepaald. Daartoe wordt gebruik gemaakt van een co-heating test.



1

Gebruikte (meet)apparatuur

Tabel 1: Samenvatting van de resultaten van de luchtdoorlatendheidsmetingen

	Ex ante meting (04-04-2018)			Ex post meting (09-05-2018)		
	Onderdruk	Overdruk	Gecombineerd	Onderdruk	Overdruk	Gecombineerd
Correlatie (R)	99,891	99,871		99,742	99,987	
Gradiënt (-)	0,734	0,692		0,736	0,669	
q_{v10} (l/s/m ²)	0,3608	0,3510	0,356	0,3409	0,3830	0,362

METHODE

Bij een co-heating test wordt een leegstaand gebouw verwarmd tot een continue verhoogde temperatuur (in dit geval 26°C), zodat het temperatuurverschil met de buitenlucht 10 tot 15 K bedraagt. Daarbij wordt gebruik gemaakt van elektrische kachels. Om een homogene temperatuurverdeling te bewerkstelligen, worden binnendeuren geopend en wordt er gebruik gemaakt van ventilatoren. Ventilatiekanalen worden dichtgezet, en de installaties van de woning (inclusief het mechanische ventilatiesysteem) worden uitgezet.

Naast elektrische kachels, thermostaten en ventilatoren, wordt er gebruik gemaakt van temperatuursensoren, elektriciteitsmeters en een weerstation (zie figuur 1). Daarmee wordt het energiegebruik voor verwarming (Q_h) gemonitord, alsmede binnen- en buitentemperaturen. Verder wordt de globale straling gemeten, waaruit de zonnewarmtewinst (Q_s) kan worden bepaald. Door metingen van de windsnelheid en -richting in combinatie met luchtdoorlatendheidsmetingen van de woning voor én na de co-heating test, kan het ventilatieverlies (Q_v) worden bepaald. De laatste onbekende in de energiebalans is dan het transmissieverlies (Q_t). Zie hiervoor figuur 2.

Uiteindelijk wordt daaruit een algehele warmteverliescoëfficiënt (Heat Loss Coefficient, HLC) van het gebouw berekend (in W K⁻¹). Zie hiervoor vergelijking (1). Desgewenst kan deze verder worden ontleed in een transmissieverlies (Heat Transfer Coefficient, HTC) en een infiltratieverlies.

$$Q_s + Q_h = HLC \times \Delta T \quad (1)$$

De metingen werden geregistreerd op een interval van vijf minuten. De metingen zijn uitgevoerd in de periode 25 april 2018 – 7 mei 2018. Vanwege missende meetpunten en hoge buitentemperaturen na 1 mei 2018, waardoor $\Delta T < 10$ K, wordt de periode 26 april 2018 – 1 mei 2018 (vijf dagen, 120 uur) geselecteerd voor verdere analyse.

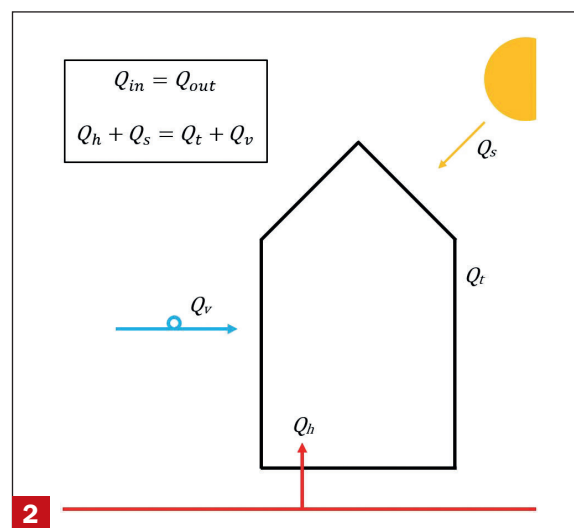
RESULTATEN

Luchtdichtheid

Zoals vermeld onder de methode, is de luchtdoorlatendheid van de woning gemeten voor én na het uitvoeren van de co-heating test. De resultaten van deze metingen zijn opgenomen in tabel 1. Hiermee wordt bevestigd dat de luchtdoorlatendheid van de woning constant is geweest gedurende de co-heating test.

Tabel 2: ΔT gedurende meetperiode

ΔT	≥ 10 K	≥ 8 K	$\geq 6,4$ K	$\geq 6,1$ K
% metingen	91,7%	96,7%	99,0%	100,0%



Warmtebilans voor co-heating test

TEMPERATUREN

De binnentemperaturen zijn gemeten in acht ruimtes. De gemiddelde binnentemperatuur tijdens de meetperiode was 26,2°C, de gemiddelde buitentemperatuur was 11,9°C. In figuren 3 en 4 zijn boxplots opgenomen van de binnen- en buitentemperatuur. De boxes omvatten het tweede en derde kwartiel, de whiskers geven het minimum en maximum aan.

Uit figuren 3 en 4 kan worden geconcludeerd dat de temperatuur in elke ruimte op elk moment hoger was dan de buitentemperatuur. Uit tabel 2 is op te maken dat ΔT (gemiddelde binnentemperatuur minus buitentemperatuur) op elk moment ten minste 6,1 K bedroeg.

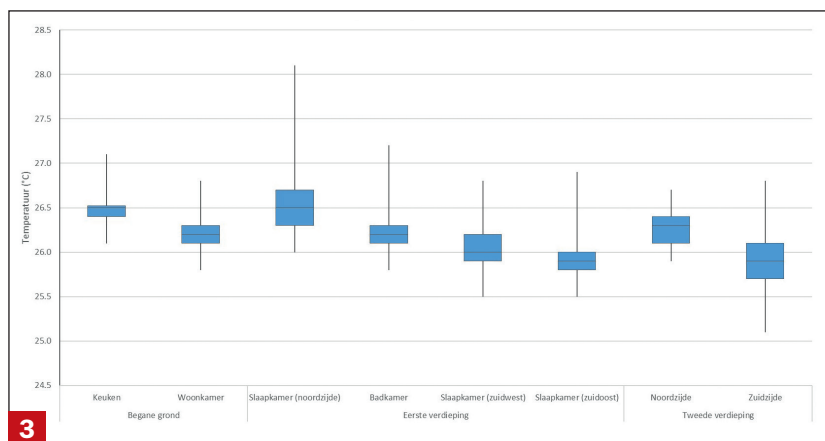
ANALYSE

Energiegebruik voor verwarming

Het energiegebruik voor verwarming (Q_h), hetgeen het energiegebruik van de elektrische kachels en ventilatoren beslaat, werd gemeten met elektriciteitsmeters. Het energiegebruik voor verwarming bedraagt 309,1 kWh (1112,7 MJ).

Zonnewarmtewinst

De globale straling op het horizontale vlak werd gemeten met een pyranometer in de achtertuin van de tussen-



3 Boxplot van de gemeten binnentemperaturen

woning. Middels de procedures beschreven in [6] wordt de horizontale globale straling geconverteerd naar directe en diffuse straling op de twee gevels die grenzen aan de buitenlucht. Tot slot wordt de zonnewarmtewinst van de woning bepaald door deze straling te vermenigvuldigen met het glasoppervlak ($14,5 \text{ m}^2$) en de g-waarde van het glas. De totale zonnewarmtewinst bedraagt $45,3 \text{ kWh}$ ($163,0 \text{ MJ}$).

Infiltratieverlies

Het in- en exfiltratieverlies (Q_v) wordt bepaald overeenkomstig vergelijking (2).

$$Q_v = c_a \times \rho_a \times N \times V \times \Delta T \quad (2)$$

Waarin:

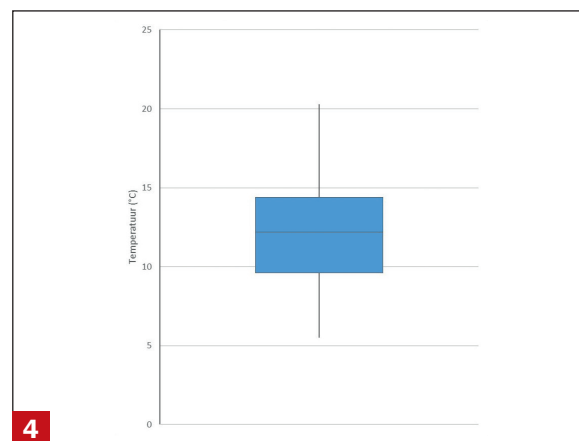
- c_p : De soortelijke warmte van lucht ($1,006 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
- ρ_a : De dichtheid van lucht ($1,1809 \text{ kg m}^{-3}$)
- N : Luchtverversing (h^{-1})
- V : Het gebouwvolume ($336,4 \text{ m}^3$)
- ΔT : Het verschil tussen de binnen- en buiten temperatuur (K)

De luchtverversing (N) hangt af van de winddruk en de luchtdoorlatendheid van de woning. De winddruk is een functie van de windsnelheid en -richting, zoals te zien in vergelijking (3).

$$F_w = \frac{1}{2} \times \rho_a \times v^2 \times \cos \gamma \quad (3)$$

Waarin:

- F_w : De winddruk (Pa)
- v : De windsnelheid (m s^{-1})
- γ : De windrichting (ten opzichte van de gebouworientatie, $^\circ$)



4 Boxplot buitentemperatuur

De luchtdoorlatendheid van de woning wordt gekwantificeerd in termen van de volumestroomsnelheid. Zie vergelijking (4).

$$q_v = C \times \Delta F_w \quad (4)$$

Waarin:

- q_v : De volumestroomsnelheid ($\text{dm}^3 \text{ s}^{-1}$)
- C : De luchtdoorlatendheidscoëfficiënt ($\text{dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1/n}$)
- n : De stroom exponent

Tot slot wordt de luchtverversing berekend overeenkomstig vergelijking (5).

$$N = \frac{q_v \times 3600}{V} \quad (5)$$

Het warmteverlies ten gevolge van in- en exfiltratie bedraagt $14,6 \text{ kWh}$ ($52,5 \text{ MJ}$).

Transmissieverlies

Nu kan het transmissieverlies (Q_t) worden berekend (6):

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_h + Q_s - Q_v \\ Q_t &= 1112,7 + 163,0 - 52,5 \\ Q_t &= 1223,2 \text{ MJ} \end{aligned} \quad (6)$$

HLC en HTC

Tot slot kan de warmteverliescoëfficiënt (Heat Loss Coefficient, HLC) van het gebouw worden berekend, overeenkomstig vergelijking (1).

$$\text{HLC} = \frac{Q_h + Q_s}{\Delta T} = \frac{(309,1 + 45,3 \text{ kWh}) / 120 \text{ h}}{14,3} = 206,2 \text{ W K}^{-1}$$

Tabel 3: HLC en HTC van de woning

'Gemiddelde methode'			Lineaire regressie		
	HLC	HTC		HLC	HTC
W K^{-1}	206,2	197,7	W K^{-1}	193,8	184,8
$\text{W K}^{-1} \text{ m}^{-2}$	1,62	1,56	$\text{W K}^{-1} \text{ m}^{-2}$	1,52	1,45
			SD (W)	936	963
			R^2	0,90	0,89

Op vergelijkbare wijze kan ook de Heat Transfer Coefficient (HTC) worden bepaald:

$$TC = \frac{Q_h + Q_s - Q_v}{\Delta T} = \frac{(309,1 + 45,3 - 14,6 \text{ kWh}) / 120 \text{ h}}{14,3} = 197,7 \text{ W K}^{-1}$$

Bovenstaande coëfficiënten zijn bepaald door de relevante data te sommeren over de 120 uur durende periode (de 'gemiddelde methode'). Deze kunnen echter ook worden bepaald door gebruik te maken van lineaire regressie [4]. Daartoe worden uurgemiddelde waarden van $Q_h + Q_s$ (HLC), en $Q_h + Q_s - Q_v$ (HTC) gebruikt als afhankelijke variabelen, en ΔT als de onafhankelijke variabele. Zie hiervoor tabel 3.

DISCUSSIE EN CONCLUSIE

De warmteverliescoëfficiënt (HLC) van de tussenwoning hangt af van welke methode wordt gebruikt om deze te berekenen (zie tabel 3). Wel kan gesteld worden dat de bepaalde HLC van dezelfde orde grootte is als wat Zweedse auteurs [7] vonden voor woningen in Stockholm. Voor drie meer recent opgeleverde woningen in het Verenigd Koninkrijk [8], werden lagere HLCs gevonden. Zie tabel 4. Vergeleken met data uit de internationale literatuur, lijkt de gerenoveerde tussenwoning (bouwjaar 1982) van betrekkelijk goede thermische kwaliteit.

Tot slot wordt opgemerkt dat het transmissieverlies door de woningscheidende wanden gedurende de co-heating test betrekkelijk groot moet zijn geweest. Onder normale omstandigheden zal het transmissieverlies door de woningscheidende wanden veel kleiner zijn, omdat het temperatuurverschil tussen de woningen kleiner zal zijn. ■

BRONNEN

- [1] Entrop, A. G., Brouwers, H. J. H., & Reinders, A. H. M. E. (2010). Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate., *Energy & Buildings*, 42(5), 618–629, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.032>
- [2] Majcen, D., Itard, L. C. M., & Visscher, H. (2013). Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications, *Energy Policy*, 54, 125–136, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.008>
- [3] Struck, C., Benz, M., Dorer, V., Frei, B., Hall, M., Ménard, M., & Sagerschnig, C. (2014). Performance Gap in der Schweiz - Brisanz, Ursachen und Einflüsse auf die Differenz von geplantem Energiebedarf und dem gemessenen Verbrauch von Gebäuden. In *Status-Seminar: Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt* (pp. 1–10)
- [4] Bauwens, G., & Roels, S. (2014). Co-heating test: A state-of-the-art. *Energy and Buildings*, 82, 163–172, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.039>
- [5] Eurostat. (2016). Household energy consumption per dwelling by end-use, Retrieved April 17, 2018, from https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/energy-consumption-by-end-uses-2#tab-chart_1
- [6] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.), John Wiley & Sons

Tabel 4: HLC waarden uit de literatuur

Bron	Locatie	Woningtype	Bouwjaar	HLC (W K ⁻¹ m ²)
[7]	Zweden	Appartementen	1998 - 2003	0,95 - 1,58
[8]	Verenigd Koninkrijk	Vrijstaand	2009	0,86
		Twee-onder-een-kap	2012	1,17 - 1,27

In navolging van de co-heating test op deze gerenoveerde tussenwoning, heeft het lectoraat Sustainable Building Technology & Material van Saxion Hogeschool inmiddels ook een co-heating test uitgevoerd in een vrijstaand tiny house (House2Start, Deventer). Verder worden in het TKI Urban Energy project 'Thermisch compartimenteren', diverse co-heating testen uitgevoerd om het effect van verschillende renovatieconcepten op de thermische kwaliteit van de gebouwschil te kwantificeren.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - ANNEX 71

Het uitvoeren van een co-heating test is betrekkelijk arbeids- en materieelintensief. Binnen de Annex 71 van het International Energy Agency (IEA), wordt onderzocht hoe de thermische prestatie van de gebouwschil kan worden bepaald met betaalbare Smart Meter data. Het lectoraat Sustainable Building Technology & Material van Saxion Hogeschool neemt deel aan dit project.

- [7] Sjögren, J. U., Andersson, S., & Olofsson, T. (2009). Sensitivity of the total heat loss coefficient determined by the energy signature approach to different time periods and gained energy, *Energy and Buildings*, 41(7), 801–808, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.001>
- [8] Farmer, D., Johnston, D., & Miles-Shenton, D. (2016). Obtaining the heat loss coefficient of a dwelling using its heating system (integrated coheating). *Energy and Buildings*, 117, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.013>

UW ADVERTENTIE
OOK OP DEZE PAGINA?

Meld u aan als sponsor bij de NVBV

