

Ventilatie in nieuwbouwwoningen met balansventilatie

Dit artikel geeft de resultaten weer van een monitoringsonderzoek in 64 nieuwbouwwoningen. Uit dit onderzoek blijkt dat het raamgebruik sterk is gecorreleerd met de buitentemperatuur. De resultaten suggereren dat zelfs in het stookseizoen de temperatuur van de slaapkamers te hoog wordt ervaren. Met de huidige woning- en installatieconcepten moeten bewoners hun ramen dan wel openzetten. Ze hebben geen andere mogelijkheid om te koelen. Simulaties geven aan dat een betere thermische zonering tussen woon- en slaapkamers mogelijk is en energie bespaart. Om dit te stimuleren zou de energieprestatienormering voor koeling moeten worden aangepast.

Ir. P. (Piet) Jacobs, TNO afdeling Energy & Comfort Systems

In Nederland heeft de EPC in belangrijke mate bijgedragen aan een verlaging van het energiegebruik van nieuwbouwwoningen. Ook in goed geïsoleerde woningen heeft de bewoner een groot effect op het binnenklimaat en het energiegebruik. Onderzoek door Santin [1] liet zien dat slechts 18 tot 22% van de variatie in recent gebouwde woningen verklaard kan worden door de gebouwkarakteristieken die in de EPC-berekeningen worden gebruikt. Volgens Santin bepalen twee factoren het overblijvende deel in de variatie van het energiegebruik: de werkelijke kwaliteit van de constructie en installatie, en het werkelijke gebruikersgedrag. Tussen het energiegebruik en het gebruik van het mechanische ventilatiesysteem vond Santin een lage correlatie. Raam- en roosterstanden blijken een groter effect te hebben op het energiegebruik dan de mechanische ventilatie. Anderson [2] heeft het gedrag van bewoners met betrekking tot ramen bestudeerd en concludeerde dat de buitentemperatuur, de binnentemperatuur en de CO₂-concentratie binnen de belangrijkste variabelen zijn die de kans beschrijven

dat een raam wordt geopend of gesloten. Ook tradities en opvoeding zullen een belangrijke invloed uitoefenen op bewoners of zij ramen open zetten of dicht doen (zie figuur 1). Andere bewoners prefereren juist om met de ramen dicht te slapen en zetten ze 's ochtends na het opstaan open om 'te luchten'. Met name in goed geïsoleerde woningen heeft het raamgebruik een relatief groot effect. In figuur 2 is getracht om dit schematisch weer te geven. In niet of nauwelijks geïsoleerde woningen ontstaat in het stookseizoen, zelfs met de ramen dicht, een temperatuur in de slaapkamers waarbij het voor veel mensen prettig slapen is. In recente woningen met EPC = 0,8 zorgt de isolatie ervoor dat de warmte zich over de woning verdeelt en dat de temperatuur in de slaapkamers toeneemt. Het helpt niet om de verwarming uit te zetten want die staat al uit in de slaapkamers. Verhoging van het ventilatiedebiet bij balansventilatie zorgt niet of nauwelijks voor een lagere temperatuur. De bewoners moeten in de huidige woningen wel het raam open zetten. Mogelijk

dat in de toekomst ook interne zonering of andere technieken toegepast gaan worden om comfortabele energienul-woningen te bereiken.

■ BESCHRIJVING WONINGEN

In een nieuwbouwwijk in Delft zijn de raamstanden en het gasverbruik van 64 woningen geregistreerd. De woningen zijn in drie blokken opgeleverd tussen juni 2006 en augustus 2007. De huizen zijn in acht groepen van acht woningen gegroepeerd. In elk blok bevinden zich twee woningen met vier verdiepingen (ongeveer 185 m²); de andere zes woningen hebben drie verdiepingen (ongeveer 140 m²). Alhoewel de woningen bijna dezelfde afmetingen hebben zijn de even en oneven nummers door verschillende bouwers gebouwd. De uit drie lagen bestaande eengezinswoningen zijn ontworpen op een EPC-waarde van 0,74. Voor een typisch huishouden komt dit overeen met een gasverbruik van ongeveer 1.100 m³ per jaar. Dit is dan onder te verdelen in 555 m³ voor warm tapwater, 508 m³ voor verwarming

28. SLAAP MET OPEN RAMEN!

Mevr. Wis. GULDENMIT.
Krachtig. HUIER.

1 = C. Krachtig.

Slaap met o-pen ra-men. Want de fris-sche lucht

Jaagt dan al-ler-han-de kwa-len op de vlucht.

In je fris-sche bed-je, Lek-ker toe-ge-dekt,

Zal je heer-lijk droo-men tot de

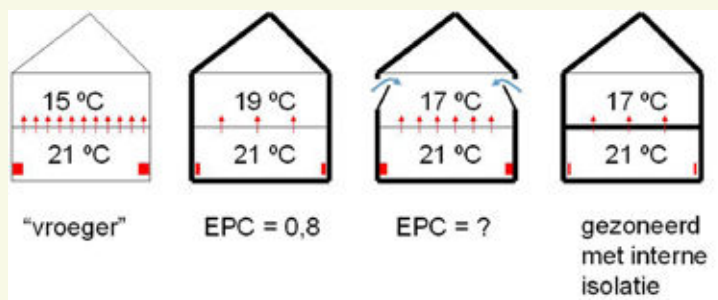
zon je wekt. Zal je heer-lijk droo-men

tot de zon je wekt.

'Slaap met open ramen': een lied uit de editie van 1918 van Kun je nog zingen, zing dan mee' uitg. 1918

-Figuur 1- Uit de bundel 'Kun je nog zingen, zing dan mee', uitg. 1918

en 50 m³ voor koken. De huizen zijn voorzien van een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning. De ventilatie kan worden geregeld met een driestandenknop in de keuken. Eerder onderzoek [3] in één van de woningen liet zien dat in stand 3, de hoogstand, in de meeste verblijfsruimten nipt wordt voldaan aan de Bouwbesluit ventilatie-eisen. Echter, in deze stand is het geluidniveau in de verblijfsruimten 40 dB(A) en hoger, wat hinder voor de bewoners oplevert. Het is hierdoor mogelijk dat bewoners op andere manieren gaan ventileren. Tabel 1 geeft het aantal te openen ramen en deuren per woning weer. Na oplevering zijn in een aantal woningen op zolder een dakkapel en dakramen geplaatst. Alle 64 woningen hebben dezelfde draaikiepramen zoals in figuur 3: breedte 87,5 cm en 134 cm hoog. In kiepstand bedraagt de opening aan de bovenzijde 12 cm. De overstek is 1 m diep en biedt goede bescherming tegen inregenen. In de zomer zorgt de overstek voor beschaduwing en voorkomt het oververhitting



-Figuur 2- Schematische weergave van temperatuurzonering afhankelijk van het isolatieniveau

	Deuren	Ramen	Dakramen
Begane grond	2	1	
Eerste verdieping		4	
Tweede verdieping*		4	
Zolder		2 - 4	0 - 1

-Tabel 1- Typisch aantal te openen ramen per woning (*bij 4 laagswoningen)



-Figuur 3- Raam in kiepstand goed beschermd onder de overstek

op de slaapverdieping. Ramen waar inbraak mogelijk is, zijn voorzien van een slot op de hendels (niet te zien op de foto).

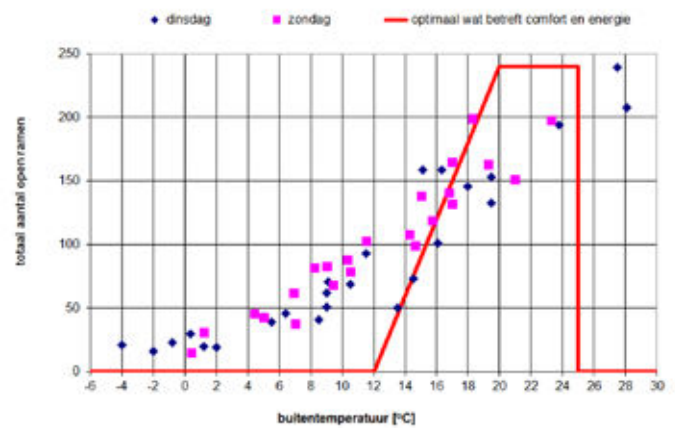
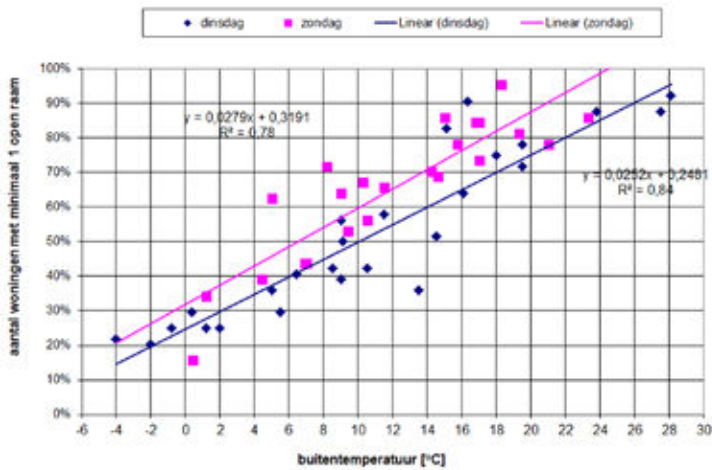
OBSERVATIEMETHODE

Gedurende een jaar, in de periode van 3 februari 2009 tot en met 7 februari 2010, is het raamgebruik bepaald door visuele observatie vanaf straatniveau. Dit gebeurde elke week op dinsdag tussen 16.40 en 18.15 en op zondag tussen 12.45 en 16.00 uur. Een typische inspectieronde, zowel aan de voor- als aan de achterzijde, kostte ongeveer 15 minuten. Gedurende schoolvakanties zijn geen inspecties uitgevoerd, omdat dan veel gezinnen niet thuis zijn. In totaal zijn 49 inspecties uitgevoerd. De mate van openen van de ramen is niet vastgelegd. Echter, in het algemeen kan worden gesteld dat in de winter de meeste open ramen in de kiepstand staan. Voor en na iedere inspectieronde is de buitentemperatuur genoteerd.

De in dit artikel gebruikte temperaturen zijn het gemiddelde van deze twee temperaturen. Vanwege de dagelijkse temperatuurcyclus kan deze temperatuur afwijken van de maximum, minimum en gemiddelde dagtemperatuur. Om het raamgebruik te kunnen koppelen aan het gasverbruik is in september 2010 aan alle bewoners een vragenlijst gestuurd. Hierop konden zij de meterstand invullen en de datum waarop ze de woning in gebruik hadden genomen. Omdat slechts 26 van de 64 huishoudens de vragenlijst hadden teruggestuurd is besloten om korte interviews met alle bewoners te houden. Deze werden tussen september en december 2010 gehouden. Hierdoor steeg de respons tot 61 huishoudens.

RAAMSTANDEN

Figuur 4 toont de resultaten van de observaties. Het percentage woningen met tenminste één open raam en ook het totale aantal



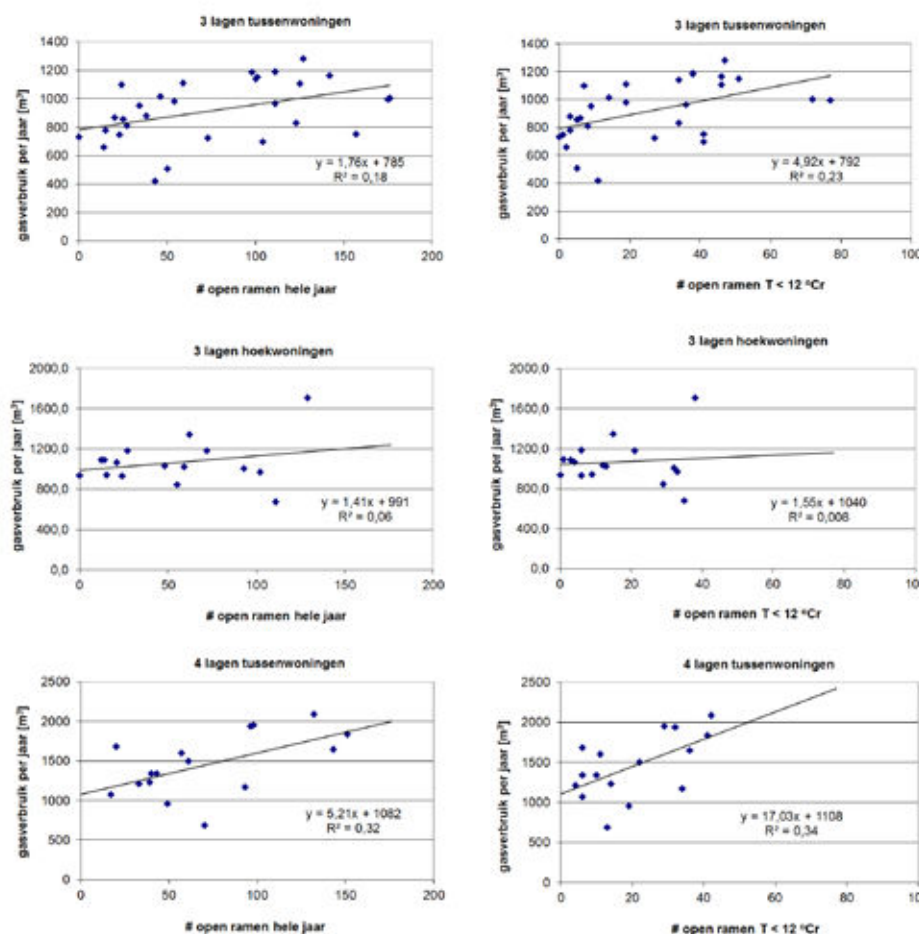
-Figuur 4- Links: percentage woningen met minimaal één open raam; rechts: totaal aantal open ramen

Dit zou een reden kunnen zijn om de ramen te sluiten. Het lijkt erop alsof beneden 2°C het aantal open ramen gelijk blijft; dit zijn vooral op een kier staande dakramen. Wat verder opvalt is dat er op zondag 5 tot 10% meer woningen met open ramen zijn in vergelijking met dinsdag. Mogelijk komt dit omdat dan meer mensen thuis zijn.

GASVERBRUIK

Van 61 van de 64 woningen is het gasverbruik verkregen. Omdat het nieuwbouwwoningen betreft stond de gasmeter bij ingebruikname van de woning op nul. De jaarlijkse gasconsumptie is verkregen door de opgenomen meterstand te middelen over de bewoonde periode. Deze varieerde tussen de woningen tussen 3,1 en 4,5 jaar. Figuur 5 is opgesplitst in de drie verschillende woningtypen en toont dit gemiddelde jaarlijkse gasverbruik afgezet tegen het raamgebruik. De linker grafieken tonen het getelde aantal open ramen over het gehele jaar. De rechter grafieken geven alleen de situaties weer waar bij de opname de momentane buitentemperatuur lager was dan 12°C. Deze temperatuur is gekozen omdat daaronder de centrale verwarming wordt gebruikt.

Uit figuur 5 blijkt dat het gasverbruik sterk verschilt per huishouden. Het hoogste gasverbruik is drie maal hoger dan het laagste. In de Energieprestatieberekening (EPC) is het gasverbruik in drie groepen opgesplitst: koken (50 m³), warm tapwater (555 m³) en verwarming (508 m³). Koken gebruikt slechts een klein aandeel van het gas en is zelfs nul in geval van elektrisch koken. Dit is in 6% van de huishoudens het geval. Daarom heeft koken geen groot, en in de meeste gevallen een vergelijkbaar, effect op het gasgebruik. Volgens de EPC neemt bereiding van warm tapwater in deze woningen de helft van het gasverbruik voor zijn rekening. Het ligt voor de hand dat er een sterke relatie zou zijn met het aantal personen per huishouden. Echter, aan de hand van deze studie kan dat niet worden beves-



-Figuur 5- Gasconsumptie voor drie woningtypen en twee temperatuurregimes. Het aantal open ramen gedurende het gehele jaar is gebaseerd op 49 waarnemingen, onder 12°C op 27 waarnemingen.

open ramen lopen vrijwel lineair op met de momentane buitentemperatuur. De correlatiecoëfficiënt bedraagt 0,78 tot 0,84. Het is voorstelbaar dat de binnentemperatuur een 'trigger' is om ramen te openen. Omdat de binnentemperatuur sterk is gecorreleerd met de buitentemperatuur zien we hier deze relatie. Volgens Andersen [2] speelt naast de binnen- en de buitentemperatuur ook de CO₂-concentratie een belangrijke rol als trigger voor het openen van ramen. Omdat het ventilatiesysteem in de woningen hoge geluidsniveaus in

de verblijfsvertrekken veroorzaakt tot 40 – 47 dB en 54 dB op zolder, is het ventilatiesysteem in een aantal gevallen uitgezet en in de meeste woningen wordt de laagstand gebruikt, zie tabel 3. Dit zou naast het spuien om te koelen een aanvullende reden kunnen zijn waarom de bewoners voor een groot deel met de ramen ventileren. Naarmate de buitentemperatuur daalt, neemt met de verwarming uit de binnentemperatuur in de slaapkamer verder af. Bij een bepaalde buitentemperatuur komt de binnentemperatuur in de gewenste comfortzone.

tigd, zie figuur 6. Mogelijk is dit een gevolg van het grote aantal kleine kinderen in deze nieuwbouwwijk die mogelijk minder tapwater verbruiken dan volwassenen. Daarnaast heeft ruimteverwarming een belangrijke invloed op het gasverbruik. Belangrijke parameters die het gebruik bepalen zijn de thermostaatstand, het aantal uur dat bewoners aanwezig zijn en de hoeveelheid interne warmtelast ten gevolge van elektriciteitsgebruik. Echter, deze parameters zijn niet geregistreerd in deze studie. Een bekende factor is de mate van zoninstraling van de woning in het stookseizoen. Voor iedere woning is hiervoor een schatting gemaakt. De analyse laat een zeer kleine correlatiecoëfficiënt zien van 0,0004 in combinatie met een gasbesparing van 25 m³ voor een optimale expositie. Een belangrijkere factor is of de deur tussen de woonkamer en het trappenhuis in het stookseizoen open staat. Bij mensen die aangaven dat ze de tussendeur lieten open staan of waarbij door de indeling de deur ontbrak was het gasverbruik 173 m³ hoger. De correlatiecoëfficiënt bedraagt echter slechts 0,05. Van de geregistreerde parameters heeft raamgebruik het grootste effect op het gasverbruik. De tussenwoningen vertonen een matige correlatie met het aantal open ramen gedurende het jaar. De correlatiecoëfficiënten (R²) zijn in de range 0,18 – 0,32 voor het aantal open ramen gedurende het hele jaar en 0,25 – 0,35 voor het aantal open ramen bij temperaturen lager dan 12°C. Dit suggereert dat indien bewoners gewend zijn om de ramen te openen bij hogere buitentemperaturen, ze dit ook nog steeds blijven doen indien de buitentemperatuur onder de stookgrens komt. Bij de hoekhuizen is het effect van een open raam veel kleiner en is ook de correlatiecoëfficiënt relatief laag. Mogelijk treedt hier door extra geveloppervlak meer afkoeling op en is de noodzaak kleiner om ramen op te zetten.

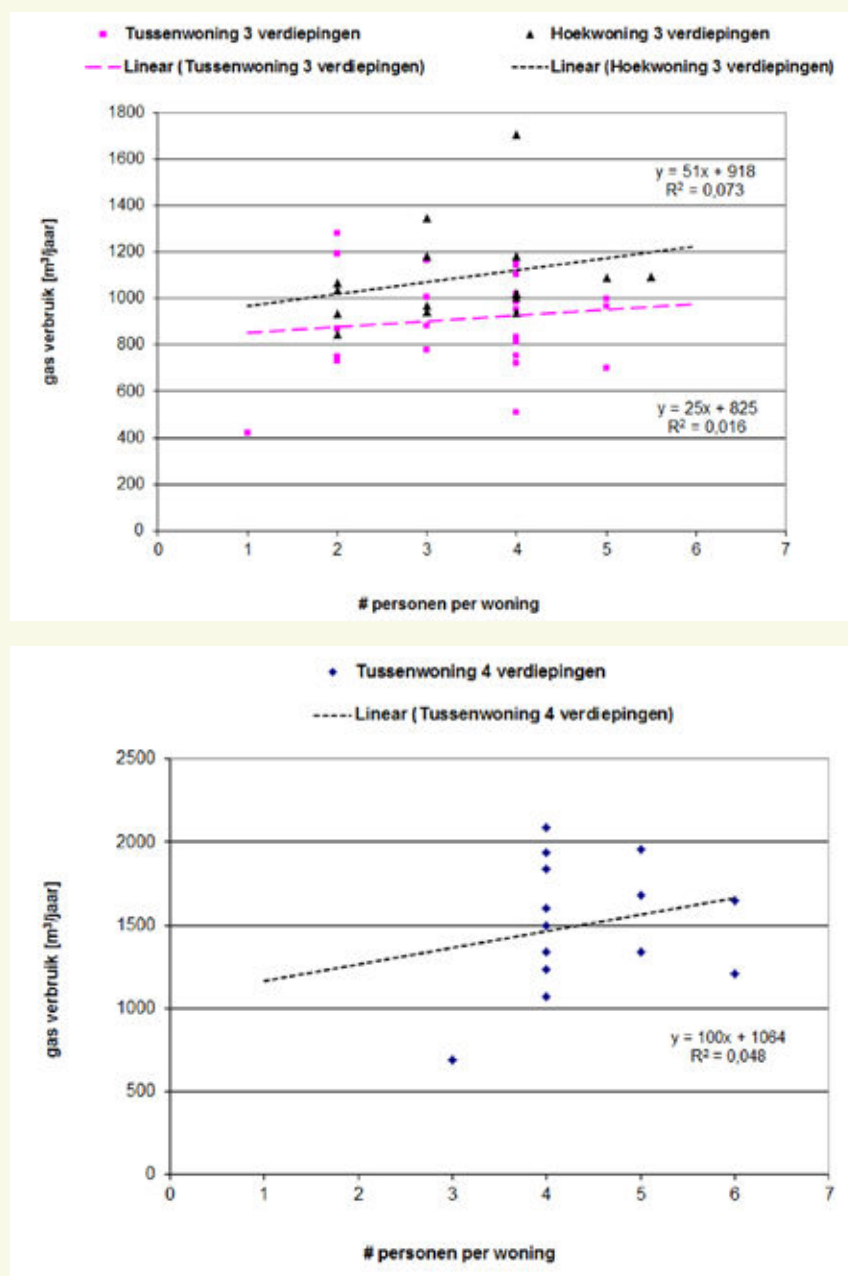
Uit de helling in figuur 5 voor de drie lagen tussenwoning kan worden afgeleid dat ieder extra geteld open raam het gasverbruik met 5 m³ vergroot. Gemiddeld zijn er 26 open ramen geteld, dit impliceert een extra gasverbruik per geopend raam van ongeveer 100 m³. In het geval van de vier verdiepingen tellende tussenwoning is de helling 17 m³ per geteld open raam. Gemiddeld zijn in het stookseizoen 16 open ramen geteld; dit impliceert een additioneel gasverbruik van ongeveer 300 m³.

SIMULATIES

Om het effect van bewonersgedrag op het gasverbruik te onderzoeken en om voorspellingen te kunnen doen zijn simulaties verricht met het dynamische simulatieprogramma Trnsys. In deze simulaties is voor het klimaatjaar '64 – '65 de verwarmingsenergie in een tiental

# Observaties		Resultaat
29	Gemiddeld gasverbruik:	918 m ³ /jaar
16	- Tussenwoning 3 verdiepingen	1065 m ³ /jaar
16	- Hoekwoning 3 verdiepingen	1454 m ³ /jaar
35	Percentage koken op gas	94%
45	Deur tussen woonkamer en hal open open	27%
25	Gemiddeld aantal personen per woning:	3,44
15	- Tussenwoning 3 verdiepingen	3,37
14	- Hoekwoning 3 verdiepingen	4,33
30 (totaal)	Ventilatie systeem uitgeschakeld	13%
	Altijd in stand 1	27%
	Stand 1 en soms in stand 2	20%
	Stand 1 en soms in stand 3	30%
	Bijna altijd in stand 2	10%
	Bijna altijd in stand 3	0%

-Tabel 2- Resultaten van de interviews

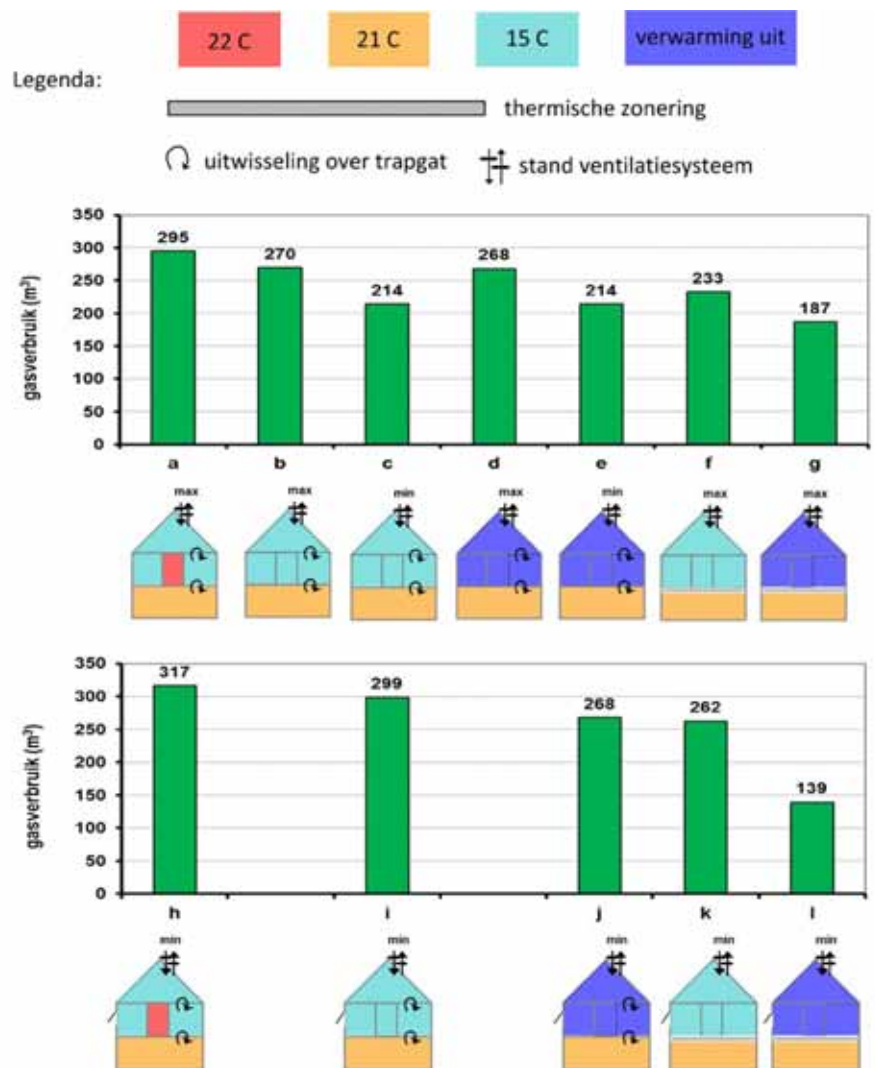


-Figuur 6- Jaarlijks gasverbruik versus het aantal personen per woning

varianten bepaald, zie figuur 7. Het woningmodel wat bij de simulaties is gebruikt, is gebaseerd op de SenterNovem referentiewoning nieuwbouw [4]. Deze referentiewoning heeft een vergelijkbare indeling als de 64 woningen in dit artikel. Echter het vloeroppervlak is met 124 m² lager. Hierdoor zijn de resultaten niet één op één vergelijkbaar met de gasmeterstanden uit de observatiestudie. In de simulaties komt de laagstand van het ventilatiesysteem overeen met continu 28 dm³/s (100 m³/h) en de hoogstand met continu 76 dm³/s (275 m³/h). Er is gerekend met een warmteterugwinningscoëfficiënt van 80%. De interne warmtelast ten gevolge van elektriciteitsgebruik is 2.750 kWh per jaar.

Vergelijking van situatie i in figuur 7 waarbij wordt geventileerd met een open raam in de hoofdslaapkamer en het ventilatiesysteem in laagstand met situatie b waarbij het raam dicht is en het ventilatiesysteem in hoogstand staat, geeft aan dat het gasverbruik met circa 10% toeneemt. Als het ventilatiesysteem in laagstand staat, wat bij het merendeel van de beschouwde woningen het geval was, dan volgt uit de simulaties c en i dat een open raam 85 m³ extra gasverbruik oplevert. Bij vergelijking van c met h, waarbij de badkamer tot 22°C wordt verwarmd, levert een open raam 103 m³ extra gasverbruik op. Beide waarden komen goed overeen met de bij de observaties gevonden waarde van 100 m³ gas. Voorgaande simulaties gelden bij verwarming van de eerste etage en de zolder op minimaal 15°C. Het uitschakelen van de verwarming op de bovenste etages levert volgens vergelijking van simulatie e met c een miniem verschil op wat na afronden zelfs verdwijnt. Dit wordt veroorzaakt door de relatief goede isolatie van de buitenschil waardoor er binnen de woning voldoende temperatuurvereffening optreedt om de temperatuur op de eerste en tweede etage boven de 15°C te houden. Indien een raam open staat, vergelijking van i en j, dan heeft het uitzetten van de verwarming wel een effect van circa 30 m³ gas. Interessant is overigens om te zien dat simulatie d en j hetzelfde energiegebruik opleveren. Bewoners die mogelijk vanwege te hoge temperatuur in de slaapkamer het raam open zetten en het ventilatiesysteem in laagstand houden, verbruiken even veel aardgas als bewoners die het ventilatiesysteem in de hoogstand zetten.

Het laagste gasverbruik voor verwarming wordt gerealiseerd door temperatuurzonering toe te passen. Situatie f, g, k en l in figuur 7 geven het gasverbruik weer bij een interne zonering bestaande uit 10 cm isolatiemateriaal in de vloer van de eerste etage. De in de simulatie gebruikte warmteweerstand neemt door de isolatie toe van 0,3 tot is 2,8 (m².K)/W.



-Figuur 7- Energiegebruik met ramen dicht (bovenste figuur) en ramen open (onder)

Bij de zonering wordt ook aangenomen dat de luchtuitwisseling over het trapgat kan worden uitgeschakeld. Vergelijking van het gasverbruik in simulatie g met l levert een in eerste instantie onverwacht resultaat op. Het lijkt erop dat het gasverbruik door het openzetten van een raam wordt verlaagd. Echter, het opmengen van de koude afvoerstromen van de eerste etage met de afvoerstromen van de begane grond zorgt voor een lagere inblaasttemperatuur en daardoor voor extra ruimteverwarming op de begane grond. Dit mengend effect van het ventilatiesysteem heeft een groter effect op het gasgebruik dan het openzetten van het raam.

Zonering heeft ook effect op het thermisch comfort in de slaapkamers. Figuur 8 laat zien dat zonder zonering (situatie d in figuur 7) gedurende 70% van de tijd met de verwarming uit in de slaapkamer de temperatuur hoger is dan 17°C. Met een open raam (situatie j) neemt deze overschrijding af tot 56% van de tijd. Door de thermische zonering is bij gesloten raam (situatie g) de overschrijding 60% en met open raam 52% van de tijd. Dit betreft dan

vooral situaties waarbij de buitentemperatuur hoger is dan 17°C. Door de zonering en het open raam wordt bij strenge vorst als laagste temperatuur een temperatuur van circa 8°C bereikt. Sluiten van het raam en het verhogen van het ventilatiedebiet naar stand 3 zorgt er dan voor dat de temperatuur weer oploopt tot 12°C.

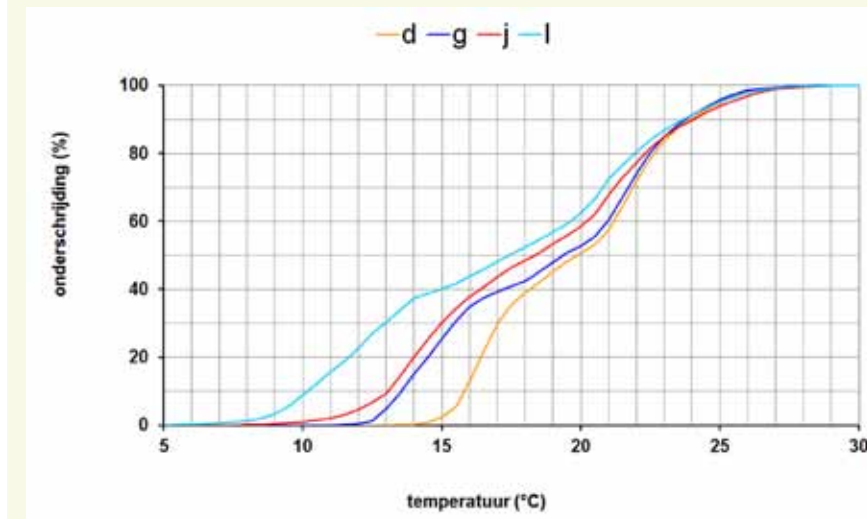
DISCUSSIE

De monitoring en de simulatieresultaten in dit onderzoek suggereren dat in goed geïsoleerde nieuwbouwwoningen niet alleen in het zomerseizoen maar ook in het stookseizoen oververhitting optreedt. Bewoners hebben de verwarming in de slaapkamers al uitstaan en zelfs dan is de temperatuur gedurende 70% van de tijd hoger dan 17°C. Om te koelen rest ze geen andere mogelijkheid dan het raam te openen. Het energieprestatiesysteem gaat er momenteel vanuit dat pas boven 24°C koeling noodzakelijk is. Alleen oververhitting boven deze temperatuur wordt bestraft met een energiepenalty. Ook wordt er vanuit gegaan dat de temperatuur in de woning uniform

is. Deze studie suggereert dat bewoners temperatuurzonering waarderen en bij veel lagere temperaturen dan 24°C gaan koelen. Omdat dit in de huidige energieprestatienormering niet wordt gewaardeerd, houdt dit de ontwikkeling tegen van innovatieve bouw- en installatieconcepten die wel zonering en een laag energiegebruik bieden. Dit pleit ervoor om de normen aan te passen.

CONCLUSIE

Te hoge binnentemperaturen zijn mogelijk een 'trigger' voor bewoners van moderne nieuwbouwwoningen om de ramen in slaapkamers te openen. Uit deze beperkte monitorings- en simulatiestudie volgt dat een open raam in de hoofdslaapkamer het gasverbruik voor verwarming met circa 50 tot 100 m³/jaar verhoogt. Iedereen weet dat je in de winter niet de verwarming moet open zetten en in dezelfde ruimte het raam moet openen. In goed geïsoleerde nieuwbouwwoningen treedt feitelijk hetzelfde effect op. Als je in de slaapkamer op de eerste etage het raam open zet en tegelijkertijd in de woonkamer de verwarming aanhebt dan zorgt dit voor een verhoging van de stookenergie. Echter, in de huidige woning- en installatieconcepten moeten bewoners de ramen wel open zetten; ze hebben geen



-Figuur 8- Temperatuurhistogram voor de hoofdslaapkamer voor simulatie d, g, j en l. In alle vier de simulaties staat de verwarming in de betreffende kamer uit.

andere mogelijkheid om te koelen. Interne temperatuurzonering lijkt een goede oplossing te bieden voor zowel het comfortprobleem als de beperking van het energiegebruik. De regelgeving zou moeten worden aangepast om bouw- en installatieconcepten die dit realiseren te belonen.

REFERENTIES

1. Santin O.G, Actual energy consumption in dwellings, the effect of energy performance

regulations and occupant behaviour, thesis Technical University Delft, October 2010.

2. Andersen R.V., Modelling window opening behaviour in Danish dwellings, Proceedings Indoor Air 2011 (Austin), 2011.
3. Jacobs P., Praktijkvoorbeeld van balansventilatie met WTW, Intech K&S, Maart 2008.
4. SenterNovem referentiewoning nieuwbouw, december 2006.

ECO KETELSERVICE VERHUUR

Tijdelijk of semi permanent behoefte aan extra warmte en/of energie?
Uw bron van informatie bij het kopen of huren van ketelinstallaties voor stoom, warm en heet water.

Verhuur

- warmwaterketels tot 8 MW
- heetwaterketels tot 12 MW
- automatische expansie-inrichtingen
- stoomketelunits tot 28 barg van 400 kg/hr tot 16.000 kg/st
- ontgassers, voedingswatertanks, ontharders
- olietanks 3, 5, 10 en 20m³
- in container, buitenopstelling of romneyloodsen

Services

- 24 uren storingsdienst
- leidingwerkmontage
- onderhoud
- engineering

Milieuwzorg

- Low-NOx installaties
- geluidsbesparende omhuizingen
- CE normering

www.ecotilburg.com

Postbus 899, 5000 AW Tilburg - Hectorstraat 23, 5047 RE Tilburg - Tel: 013 5839440 - Fax: 013 5358315 - E-mail: info@ecotilburg.com