

# Gebouwprestatiesimulaties voor passieve klimaatadaptatiemaatregelen: studie voor een rijwoning

*Twan van Hooff<sup>(a,b)</sup>, Bert Blocken<sup>(a,b)</sup>, Jan Hensen<sup>(a)</sup>, Harry Timmermans<sup>(c)</sup>*

*(a) Building Physics and Services, Technische Universiteit Eindhoven, Nederland*

*(b) Afdeling Bouwfysica, Katholieke Universiteit Leuven, België*

*(c) Urban Science and Systems, Technische Universiteit Eindhoven, Nederland*

Het KNMI voorspelt dat de temperaturen in Nederland in de toekomst zullen stijgen ten gevolge van de klimaatverandering. Milde winters en hete zomers met hittegolven zullen steeds frequenter optreden (Klein Tank en Lenderink, 2009). Door de klimaatverandering zal de luchttemperatuur in de gebouwde omgeving in de toekomst eveneens gaan stijgen. Deze verwachte stijging zal consequenties hebben voor het binnenklimaat in gebouwen. Terwijl het optreden van milde winters kan leiden tot een lager energieverbruik voor verwarming, kunnen de hete zomers juist leiden tot problemen met respect tot het thermisch comfort en de gezondheid van de gebruikers, en indien actieve koelsystemen aanwezig zijn tot een toename van het energieverbruik voor koeling. Passieve adaptatiemaatregelen kunnen worden toegepast op gebouwniveau om het binnenklimaat op peil te houden en het gebruik van actieve koeling zoveel mogelijk te beperken en/of te verminderen.

In dit onderzoek is met behulp van gebouwprestatiesimulaties een casestudie uitgevoerd naar het effect van verschillende passieve klimaatadaptatiemaatregelen op het binnenklimaat van rijwoningen zonder actieve koelsystemen. Het gepresenteerde onderzoek maakt deel uit van het Climate Proof Cities onderzoeksprogramma (Albers et al. 2015), waarin de kwetsbaarheid van steden en gebouwen voor klimaatverandering en mogelijke adaptatiemaatregelen zijn onderzocht.

## 1. Uitgangspunten casestudie

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van het dynamische gebouwprestatiesimulatieprogramma EnergyPlus (US Department of Energy, 2012). Er zijn simulaties uitgevoerd voor vier verschillende oriëntaties (0°, 90°, 180°, 270°) om te onderzoeken wat de invloed is van de oriëntatie van de woning op de opwarming.

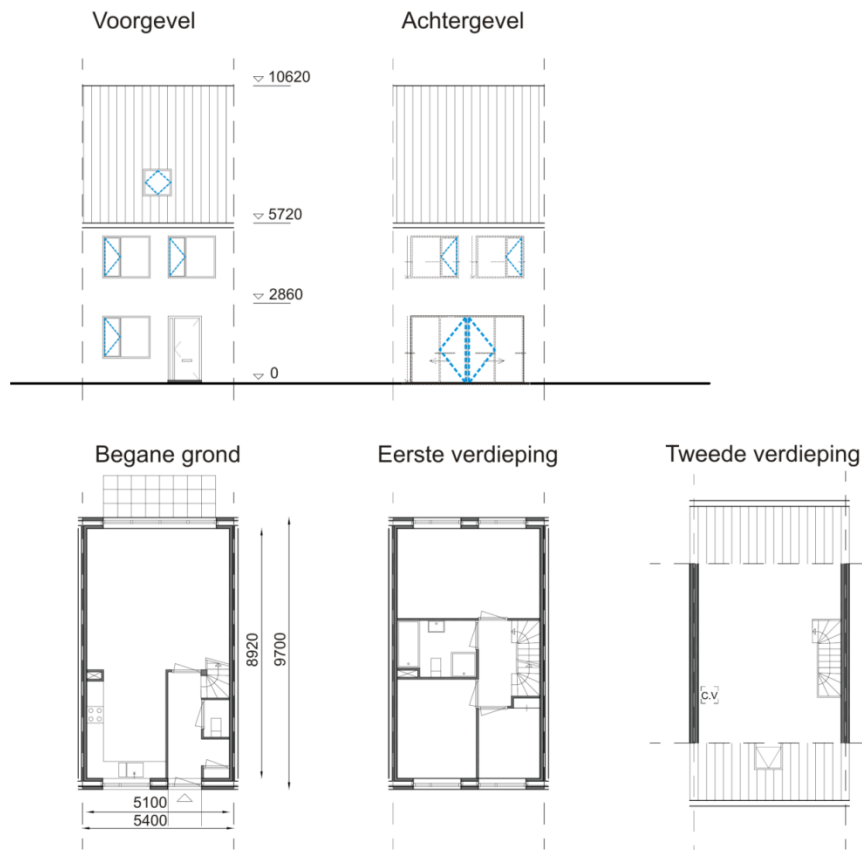
### Gebouweigenschappen

In deze casestudie is het effect van passieve klimaatadaptatiemaatregelen op het thermisch comfort in een rijwoning onderzocht (van Hooff et al. 2014). De woning is gebaseerd op de referentiewoningen nieuwbouw, zoals gepubliceerd door Agentschap NL (2013). De woning beschikt over één zone voor de woonkamer en één zone voor de slaapkamers.

De woning heeft een vloeroppervlak van 45,5 m<sup>2</sup> voor elk van de drie verdiepingen. Het totale netto volume (zonder scheidingsconstructies) is ongeveer 348 m<sup>3</sup>. De begane grondvloer bestaat uit de woonkamer en keuken, de eerste verdieping bevat de slaapkamers. Aangezien het hier gaat om een rijwoning zijn slechts twee van de vier gevels blootgesteld aan de omgevingscondities. Voor de overige twee gevels wordt verondersteld dat er geen warmtetransport plaatsvindt van en naar de aanliggende woningen (= adiabatisch). De plattegronden en aanzichten zijn weergegeven in Figuur 1.

De woningen zijn zware gebouwen (veel thermische massa): de vloeren zijn gemaakt van beton en de spouwmuur en binnenwanden zijn gemaakt van steenachtige materialen. Er zijn berekeningen uitgevoerd voor woningen gebouwd in twee verschillende bouwperiodes: woningen gebouwd volgens de richtlijnen en bouwpraktijk in de jaren '70 van de vorige eeuw (= lage thermische weerstand:  $R_C < 0.8 \text{ m}^2\text{K/W}$ ), en woningen gebouwd volgens de eisen uit het Bouwbesluit van 2012 (= hoge thermische weerstand:  $R_C > 3.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ).

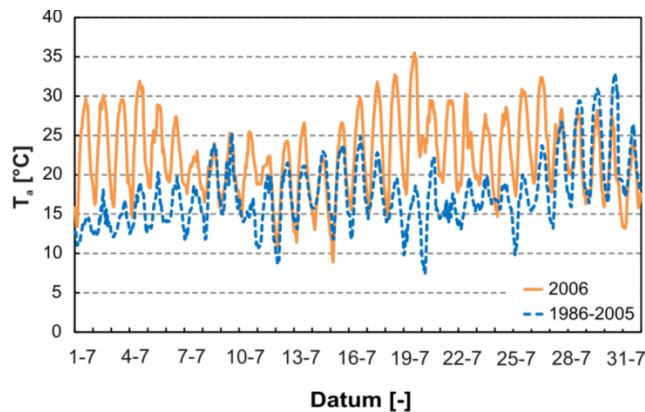
Verwarming van de woningen vindt plaats met een volledig luchtsysteem, en er is geen actieve koeling aanwezig (wat overeenkomt met het merendeel van de woningen in Nederland). Verder is er geen zonwering aanwezig in de basiswoningen. De ventilatiedebieten zijn gebaseerd op het Bouwbesluit (2012). Er is een infiltratiedebiet aanwezig van 0,2 ACH (ISSO 32, 2011). De gewenste temperaturen gedurende het stookseizoen zijn 19°C tussen 06:00-18:00 uur, 20°C tussen 18:00-23:00 uur, en 16°C tussen 23:00-06:00 uur. De interne warmtebronnen zijn gebaseerd op ISSO 32 (2011) en ASHRAE (2009). In de woningen zijn vier personen woonachtig, twee volwassenen en twee kinderen.



*Figuur 1: Gevels, plattegronden en gebouwafmetingen van de rijwoning (aangepast van Agentschap NL (2013)). De blauwe driehoeken geven aan welke ramen en deuren geopend kunnen worden voor de analyse van additionele natuurlijke ventilatie als maatregel. Dimensies in mm (van Hooff et al., 2014).*

### Klimaatjaar

Klimaatadaptatiemaatregelen op gebouwniveau richten zich op het aanpassen van de gebouwen voor het veranderende klimaat. Aangezien er nog geen meetdata beschikbaar zijn voor het toekomstige klimaat, is in deze studie gebruik gemaakt van een klimaatjaar uit het verleden, dat representatief kan zijn voor toekomstige jaren, en dan vooral met betrekking tot de zomers. Het klimaatjaar dat is gebruikt is 2006, zoals gemeten in de Bilt (KNMI 2014). Het jaar 2006 was een jaar waarin meerdere hittegolven geregistreerd werden (Fig. 2) (25 dagen > 25°C; 8 dagen > 30°C), juli 2006 kan dan ook worden gezien als een klimaatjaar met zomertemperaturen zoals die in de toekomst steeds vaker zullen gaan optreden.



Figuur 2: Vergelijking van de buitenluchttemperaturen in juli voor een gemiddeld klimaatjaar (NEN 5060, 2008) en klimaatjaar 2006 (KNMI, 2014), beiden voor De Bilt (van Hooff et al., 2014).

### Prestatie-indicator

De prestatie-indicator in deze casestudie is het aantal overschrijdingsuren, berekend aan de hand van de aangepaste adaptieve temperatuurgrenswaardenmethode van Peeters et al. (2009). Deze methode is ontwikkeld om het thermisch comfort in woningen te beoordelen. In deze studie wordt er vanuit gegaan dat de woonkamer in gebruik is van 07:00-23:00 uur, en de slaapkamers van 23:00-07:00 uur. In deze perioden worden dan ook enkel de overschrijdingsuren bepaald voor de op dat moment in gebruik zijnde zones.

## 2. Onderzochte adaptatiemaatregelen

### Thermische weerstand

In deze studie is de thermische weerstand verhoogd tot  $R_C = 5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$  (RC50) en  $R_C = 6,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  (RC65) door de dikte van de isolatielaag te verhogen, of eventueel toe te voegen aan de scheidingsconstructies waarvoor deze nog niet aanwezig was. De warmtedoorgangscoefficiënt voor de ramen is niet veranderd.

### Thermische massa

De basiswoning is, zoals gebruikelijk in Nederland, een “zware” woning. De variant (TM\_laag) die is doorgerekend heeft juist minder thermische massa. Het binnenblad van kalkzandsteen is vervangen door een binnenblad van houten beplating op stijl- en regelwerk, en de betonnen plafonds zijn vervangen door plafonds van houten beplating op houten liggers.

### Albedowaarden

De albedowaarden in de gebouwde omgeving liggen over het algemeen rond de 0,3 voor steenachtige gevelmaterialen en dakpannen. Als adaptatiemaatregel zijn de albedowaarden voor de gevels en daken verhoogd tot respectievelijk 0,6 (ALB06) en 0,8 (ALB08) (Bretz et al. 1992).

### Groene daken

In deze studie is ervoor gekozen om enkel het effect van extensieve groene daken (GD) te onderzoeken. Naast de gewichtsproblemen is het praktisch niet haalbaar om intensieve groene daken toe te passen bij de in Nederland vaak voorkomen hellingshoeken. De hoogte van de vegetatie is vastgesteld op 0,1 m, en de Leaf Area Index (LAI) is gelijkgesteld aan 5. Scurlock et al. (2001) definiëren de LAI als het functionele bladoppervlak per oppervlakte grond. Een waarde voor de LAI van 5 is relatief gezien hoog, maar laat de effecten van een ‘ideaal’ extensief groen dak zien.

## Zonwering

In de basiswoningen is geen zonwering aanwezig. In de variant met zonwering (ZW) is beweegbare buitenzonwering aanwezig voor alle ramen op de oost-, west- en zuidgevel. De activering van de zonwering is geautomatiseerd. De zonwering zal worden geactiveerd als de zonnestraling op het raam groter is dan  $150 \text{ W/m}^2$ .

## Additionele natuurlijke ventilatie

In de basiswoningen worden de ramen niet geopend gedurende de nacht om additionele koeling te bewerkstelligen. Het openen van de ramen wordt in deze studie dan ook gezien als een klimaatadaptatiemaatregel. De ramen zullen worden geopend als de binnentemperatuur boven de  $24^\circ\text{C}$  ligt én wanneer de binnentemperaturen hoger zijn dan de buitentemperaturen. Deze tweede eis dient ervoor om te zorgen dat de ramen op zeer warme dagen gesloten blijven om warmtetoetreding te voorkomen.

In deze studie is het gebruikersgedrag buiten beschouwing gelaten; er wordt vanuit gegaan dat de ramen geopend zullen worden als (1) de thermische criteria worden bereikt, ongeacht het tijdstip waarop dit plaats zal vinden (NV), en (2) de thermische criteria overdag worden bereikt (tussen 08:00-20:00 uur) (NV\_dag).

## 3. Resultaten

Figuur 3 toont de overschrijdingsuren voor een rijwoning uit de jaren '70 en Figuur 4 voor een rijwoning uit 2012. Het eerste dat opvalt is de veel grotere spreiding tussen de verschillende oriëntaties. Deze grotere spreiding is het gevolg van het feit dat slechts twee van de vier scheidingswanden bloot zijn gesteld aan de omgevingscondities, en dan met name aan zoninstraling. De oriëntatie is dan ook van grote invloed: een oriëntatie op oost-west levert voor een rijwoning zonder zonwering een veel hoger aantal overschrijdingsuren op dan een oriëntatie op noord-zuid.

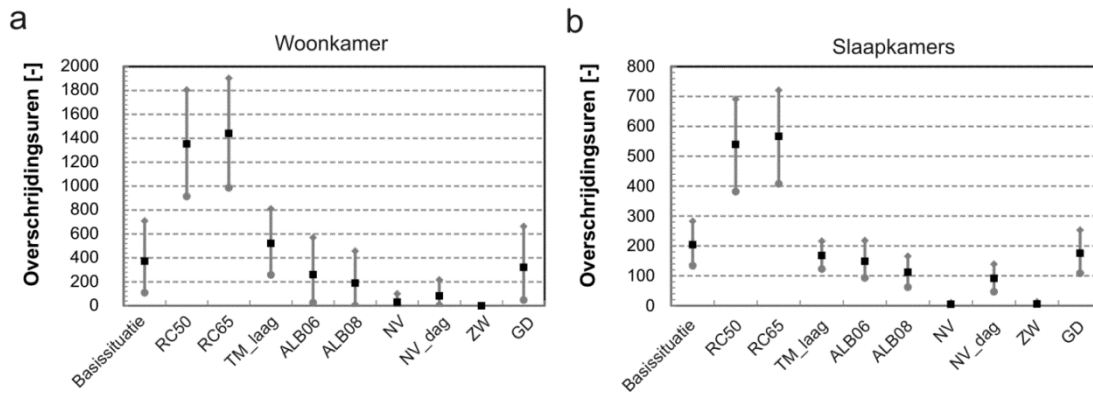
### Woning uit de jaren '70

In Figuur 3 is het duidelijk zichtbaar dat het verhogen van de thermische weerstand van de gesloten delen van de gebouwschil tot  $R_C = 5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$  en  $R_C = 6,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  (RC50, RC65) leidt tot een sterke verhoging van het aantal overschrijdingsuren. De luchttemperatuur in de woningen kan als gevolg van zoninstraling aanzienlijk toenemen gedurende de dag en door de hogere thermische weerstand zal deze warme lucht minder gemakkelijk door transmissie de woning kunnen verlaten. Hierdoor blijft het langer warm in woningen met een hogere thermische weerstand van de gebouwgevel. Deze constatering is niet nieuw: in bijvoorbeeld passiefhuizen is al veel aandacht voor het voorkomen van overmatige opwarming op zonnige dagen door de hoge thermische weerstand en de luchtdichte manier van bouwen.

Het gemiddelde aantal overschrijdingsuren op de begane grond neemt toe als de thermische massa wordt verminderd (TM\_laag), terwijl het aantal overschrijdingsuren juist afneemt voor de eerste verdieping. Door de kleinere hoeveelheid aanwezige thermische massa zal de ruimte gedurende de nacht sneller kunnen afkoelen dan in de situatie met veel thermische massa. De thermische massa dempt en vertraagt niet alleen de opwarming gedurende de dag, maar ook de afkoeling gedurende de nacht, waardoor er meer overschrijdingsuren zijn in de slaapkamers als er meer thermische massa aanwezig is.

Het effect van een vegetatiedak is relatief beperkt. Deze beperkte reductie kan mede worden verklaard door het feit dat de thermische weerstand van de gebouwschil toeneemt, waardoor de warmte langer wordt vastgehouden. Dit negatieve effect beperkt een eventuele positieve bijdrage door evapotranspiratie. Hiernaast wordt het thermisch comfort niet bepaald in de ruimte direct onder het dak, en is enkel een extensief groen dak onderzocht.

Zonwering (ZW) en natuurlijke ventilatie gedurende de dag zijn de meest effectieve maatregelen. Het aantal overschrijdingsuren kan tot onder de 100 worden gereduceerd.

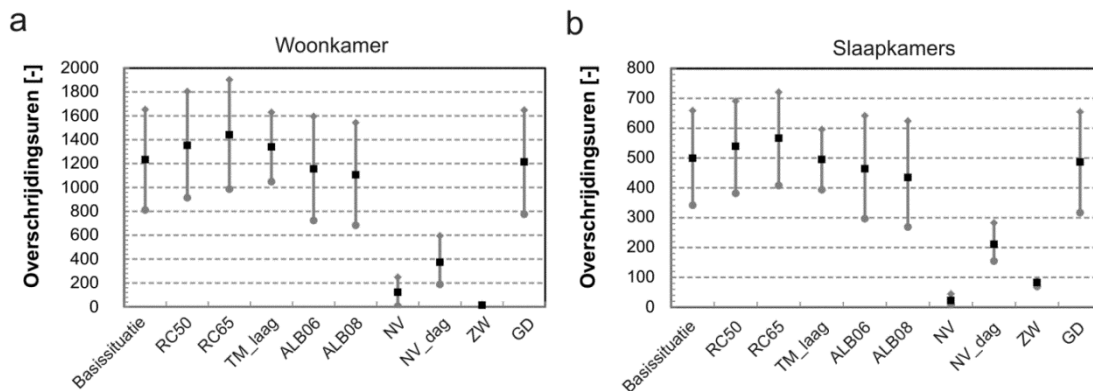


Figuur 3: Totaal aantal jaarlijkse overschrijdingsuren in de rijwoning uit de jaren '70 voor de basissituatie en voor de verschillende adaptatiemaatregelen. (a) Woonkamer. (b) Slaapkamers. ■ = gemiddelde over de vier oriëntaties, ● = minimum waarde, ◆ = maximale waarde (van Hooff et al., 2014).

#### Woning volgens Bouwbesluit 2012

Uit Figuur 4 blijkt dat het aantal overschrijdingsuren voor de basiswoning volgens het bouwbesluit uit 2012 significant hoger is dan voor de woning uit de jaren '70, wat kan worden verklaard door de hogere thermische weerstand, die ervoor zorgt dat de warmte langer wordt vastgehouden nadat deze door zoninstraling de woning is binnengekomen. Ondanks het hogere aantal overschrijdingsuren voor de basiswoning kan het toepassen van additionele natuurlijke ventilatie gedurende de gehele dag en het toepassen van buitenzonwering het aantal overschrijdingsuren nog altijd tot bijna nul beperken.

Een tweede interessante uitkomst is het feit dat het verhogen van de albedowaarden voor een rijwoning uit 2012 veel minder effect sorteert dan voor dezelfde woning uit de jaren '70. Dit gereduceerde effect is het gevolg van de hogere thermische weerstand van de gebouwschil, waardoor het warmtetransport door transmissie sterk door de scheidingsconstructies wordt beperkt.



Figuur 4: Totaal aantal jaarlijkse overschrijdingsuren in de rijwoning uit 2012 voor de basissituatie en voor de verschillende adaptatiemaatregelen. (a) Woonkamer. (b) Slaapkamers. ■ = gemiddelde over de vier oriëntaties, ● = minimum waarde, ◆ = maximale waarde (van Hooff et al., 2014).

#### 4. Conclusies

Deze casestudie omvat een numerieke analyse van zes klimaatadaptatiemaatregelen voor een rijwoning, zowel voor woningen gebouwd volgens de richtlijnen/bouwpraktijk uit de jaren '70, als woningen gebouwd volgens het bouwbesluit van 2012. De meest interessante conclusies uit deze studie zijn:

- Het aantal overschrijdingsuren in woningen gebouwd volgens de richtlijnen uit 2012 is hoger dan voor woningen gebouwd in de jaren '70. Deze op het eerste gezicht tegenstrijdige conclusie kan worden verklaard door het feit dat een beter geïsoleerde woning de warmte langer vasthoudt zodra deze eenmaal is binnen gekomen ten gevolge van zoninstraling.
- Het toepassen van een extensief groen dak heeft in deze studie slechts een zeer beperkt effect op het aantal overschrijdingsuren.
- Het effect van het verhogen van de albedowaarden is veel groter naarmate de thermische weerstand van de gebouwschil lager is.
- Het toepassen van additionele natuurlijke ventilatie door het openen van de ramen boven een bepaalde temperatuur, en enkel wanneer de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur, vermindert het aantal overschrijdingsuren significant (tot 0-100).
- De ramen voorzien van beweegbare buitenzonwering en deze laten zakken zodra de zonnestraling op het raam groter is dan  $150 \text{ W/m}^2$ , heeft een zeer groot effect op het aantal overschrijdingsuren in de woningen. Het aantal overschrijdingsuren kan tot 0-100 worden gereduceerd.

## 5. Referenties

- Agentschap NL. Referentiewoningen nieuwbouw 2013. Agentschap NL, Sittard, the Netherlands, 2013.
- Albers RAW, Bosch PR, Blocken B, van den Dobbelsteen AAJF, van Hove LWA, Spit TJM, van de Ven F, van Hooff T, Rovers V. Overview of challenges and achievements in the Climate Adaptation of Cities and in the Climate Proof Cities program. *Build Environ* 2015;83, 1-10
- ASHRAE. Handbook - Fundamentals (SI) (Vol. 18). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2009.
- Bouwbesluit online. Bouwbesluit Nederland. Available from: <http://www.bouwbesluitonline.nl/> (accessed 12-03-2012)
- Bretz S, Akbari H, Rosenfeld A, Taha H. Implementation of solar-reflective surfaces: materials and utility programs. Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, CA, USA, 1992.
- ISSO 32. Publicatie 32: Uitgangspunten temperatuursimulatieberekeningen. Stichting ISSO, Rotterdam, the Netherlands, 2011.
- Klein Tank A, Lenderink G. Climate change in the Netherlands; Supplements to the KNMI '06 scenarios. KNMI, De Bilt, the Netherlands, 2009.
- KNMI. KNMI weather data. Available from: [http://www.knmi.nl/climatology/daily\\_data/download.html](http://www.knmi.nl/climatology/daily_data/download.html) (accessed 28-01-2014).
- NEN 5060. Hygrothermische Eigenschappen Van Gebouwen – Referentieklimaatgegevens. Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI), Delft, the Netherlands, 2008.
- Peeters L, De Dear R, Hensen J, D'haeseleer W. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. *Appl Energy* 2009;86:772-80.
- Scurlock JMO, Asner GP, Gower ST. Worldwide historical estimates of Leaf Area Index, 1932-2000. ORNL/TM-2001/268, Oak Ridge National Laboratory, Environmental Sciences Division 2001.
- US Department of Energy. EnergyPlus simulation software. Available from: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> (accessed 27-01-2012).
- van Hooff T, Blocken B, Hensen JLM, Timmermans HJP, 2014. On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. *Build Environ* 82, 300-316.