

In energiezuinige woningen

Potentie van natuurlijke ventilatie voor vrije koeling

Door nieuwe wet- en regelgeving is het reduceren van het energiegebruik in Nederlandse gebouwen in een stroomversnelling geraakt. Energiezuinige woningen lijken echter overgevoeliger te zijn voor oververhitting dan reguliere woningen. Door dikke isolatielagen en een zeer luchtdichte gebouwschil kan in de zomer de binnentemperatuur hoger oplopen dan in verhouding tot minder energiezuinige woningen [1]. Deels kan hierop worden geanticipeerd door in het ontwerp van energiezuinige concepten de mogelijkheid tot koeling met natuurlijke ventilatie, hier verder aangeduid als 'vrije koeling', op te nemen. Het werk in IEA¹ Taak 62 [2] heeft als doel het concept van vrije koeling (Eng: Ventilative cooling) verder onder de aandacht te brengen omdat dit concept goed aansluit bij laag-energie ontwerpconcepten.

E.P.M. (Erik) Bouwens, M.G.L.C. (Marcel) Loomans, J.L.M. (Jan) Hensen, J.J.N. (Jos) Lichtenberg; TU/e, Department of the Built Environment, Unit BPS

Door nieuwe wet- en regelgeving is het reduceren van het energieverbruik in Nederlandse gebouwen in een stroomversnelling geraakt. Energiezuinige woningen lijken echter overgevoeliger te zijn voor oververhitting dan reguliere woningen. Door dikke isolatielagen en een zeer luchtdichte gebouwschil kan in de zomer de binnentemperatuur hoger oplopen dan in verhouding tot minder energiezuinige woningen [1]. Deels kan hierop worden geanticipeerd door in het ontwerp van energiezuinige concepten de mogelijkheid tot koeling met natuurlijke ventilatie, hier verder aangeduid als "vrije koeling", op te nemen. Het werk in IEA Taak 62 [2] heeft als doel het concept van vrije koeling (Eng: Ventilative cooling) verder onder de aandacht te brengen omdat dit concept goed aansluit bij laag-energie ontwerpconcepten.

De potentie van vrije koeling is derhalve in dit onderzoek onderzocht voor het "House of Tomorrow Today" (HoTT), gebaseerd op het 'Active House' concept. HoTT wordt hierbij even als representatief verondersteld voor een huidige energiezuinige woning in het algemeen. HoTT betreft een vrijstaande

familiewoning in Sterksel [3]. De oriëntatie van het huis en de locaties van de ramen zijn ontworpen om zo veel mogelijk daglicht te vangen, maar ook om overmatig zonlicht te weren. In de huidige situatie wordt oververhitting voorkomen door middel van (actieve) vloerkoeling en het gebruik van zonwering.



-Figuur 1- Impressie van House of Tomorrow Today (HoTT) – zuidgevel

Vrije koeling zou kunnen resulteren in een verdere energiebesparing. Dit onderzoek beschouwt hoe oververhitting voorkomen kan worden in HoTT en welke bijdrage vrije koeling hierin kan leveren.

Als prestatie indicator voor de beoordeling van het thermisch comfort en oververhitting zijn de comfortbanden voor woningbouw zoals gedefinieerd door Peeters et al. [4] gebruikt. Zij beschouwden de bestaande benaderingen, o.a. [5], voor thermisch comfort in de context van woongebouwen. Een comfortabele binnentemperatuur is in het onderzoek van Peeters et al. als de belangrijkste parameter in een woning verondersteld. Hierbij hebben zij onderscheid gemaakt tussen de badkamer, de slaapkamer en overige kamers (keuken, woonkamer, studeerkamer). Peeters et al. geven de comfortbanden van deze ruimtes weer als functie van een referentie buitentemperatuur.

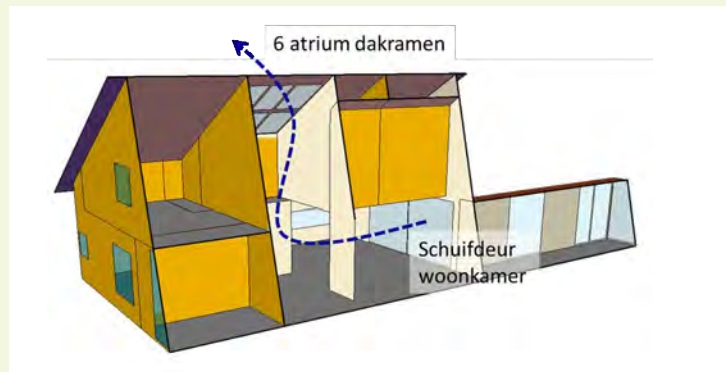
METHODE

Modelontwikkeling

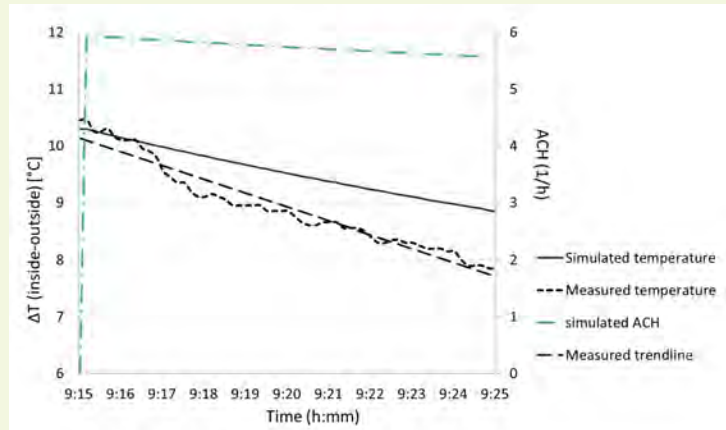
Informatie over het thermische gedrag van HoTT is verkregen door het modelleren van de woning met behulp van de simulatie software TRNSYS [6] (Figuur 2). In het model kunnen vervolgens preventiestrategieën voor oververhitting geïmplementeerd worden waaronder vrije koeling. Voor de modellering van de luchtstromingen is een koppeling gemaakt met de externe software CONTAM [7].

Modelkalibratie

Om betrouwbare resultaten te simuleren met het TRNSYS model is het initiële model gekalibreerd. Hiervoor zijn drie meetsessies uitgevoerd in de woning om informatie over het werkelijke bouwfysische gedrag van de woning te verkrijgen. Het doel van deze kalibratie was om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de simulatieresultaten te verhogen. Dit is bereikt door het model dusdanig aan te passen dat de simulatieresultaten beter overeen kwamen met de meetresultaten. Vervolgens is het gekalibreerde model gebruikt in specifieke cases met ontwerpaanpassingen voor het voorkomen van oververhitting en de mogelijkheid tot koelen met natuurlijke ventilatie. In de *eerste meet sessie* zijn binnentemperaturen gemeten bij zogenoemde 'free floating conditions' (geen actieve verwarming, koeling of variabele mechanische of natuurlijke ventilatie). Gesimuleerde temperaturen uit het model zijn vergeleken met de gemeten waarden gedurende deze periode. Hiervoor werd gekeken naar de waarden voor de infiltratie en warmtecapaciteit. Deze waarden zijn zo nodig aangepast, uitgaande van realistische gegevens, om tot een betere overeenkomst te komen. In de *tweede meet sessie* werd de



-Figuur 2- Gemodelleerde woning met schematische weergave van het driedimensionale stromingspatroon ten gevolge van vrije koeling



-Figuur 3- Gemeten verschil tussen binnen- en buitentemperatuur, het overeenkomstige gesimuleerde temperatuurverschil en ventilatievoud (ACH) bij een situatie met 6 geopende ramen als functie van de tijd

luchttemperatuur gemeten als gevolg van de toepassing van het hybride ventilatiesysteem in de woning. Lucht wordt hierbij natuurlijk aangevoerd via roosters boven de ramen en mechanisch afgevoerd. Het betreft een automatisch CO₂ gestuurd systeem dat overruled kan worden en zodoende kan resulteren in specifieke (bekende) ventilatiedebieten. Dezelfde ventilatiedebieten in het model zouden dezelfde temperatuurschommelingen moeten veroorzaken. Wederom werden de infiltratiewaarde en de warmtecapaciteit van het model enigszins aangepast om een betere overeenkomst met de gesimuleerde temperaturen te verkrijgen. In de *derde meet sessie* is de luchttemperatuur gemeten als gevolg van geopende ramen en dus vrije koeling (er was geen sprake van actieve koeling). Overeenkomstige raamoppervlakken en locaties zijn toegepast in het model om te proberen dezelfde temperatuurschommelingen te simuleren als de gemeten waarden. De metingen zijn uitgevoerd met verschillende configuraties van geopende atriumramen (zie Figuur 2). Elke meetperiode werden de ramen 10 minuten geopend. Hierbij werd ook gekeken naar de invloed van de wind (snelheid en richting).

Figuur 3 toont het temperatuurverschil tussen binnen en buiten gedurende de eerste 10

minuten van de meting met open ramen (alle 6 atriumramen). Ook het gesimuleerde temperatuurverschil en het gesimuleerde ventilatievoud (ACH) zijn weergegeven in deze figuur. Figuur 3 lijkt aan te geven dat in de werkelijke situatie de woning sneller afkoelt door vrije koeling dan volgens het model. Dit kan echter verklaard worden door het feit dat luchttemperaturen in/bij de hoofdstroom gemeten zijn (zie de gestreepte pijl in Figuur 2). Deze waarde is daarmee niet helemaal representatief voor de gemiddelde luchttemperatuur van de gehele ruimte (zoals in het model). Deze gemiddelde temperatuur moet in beschouwing genomen worden voor de kalibratie van het model.

De blauwe (streep-punt) lijn in Figuur 3 toont de gesimuleerde 'air change rate per hour' (ACH), oftewel het ventilatievoud. De grafiek toont aan dat er een luchtstroom, en dus ventilatie optreedt zodra de ramen geopend worden. Omdat het temperatuurverschil afneemt gedurende de onderzochte periode, neemt ook het ventilatiedebiet af. Om een indicatie te krijgen van het werkelijke ventilatiedebiet in de woning in de periode met geopende ramen, is de 'Tracer gas decay method' [8] toegepast. Hiervoor werd gekeken naar de gemeten afname van de CO₂ concentratie. Dit resulteert in een geschat ventila-

tiedebiet van $ACH = 4,8 \text{ h}^{-1}$ in de bemeten situatie. Het gesimuleerde ventilatie-debiet impliceert waarden van 5-6 h^{-1} . Deze basisberekening, gebaseerd op de gemeten afname van de CO_2 concentratie, komt derhalve in orde grootte overeen met de gesimuleerde waarde.

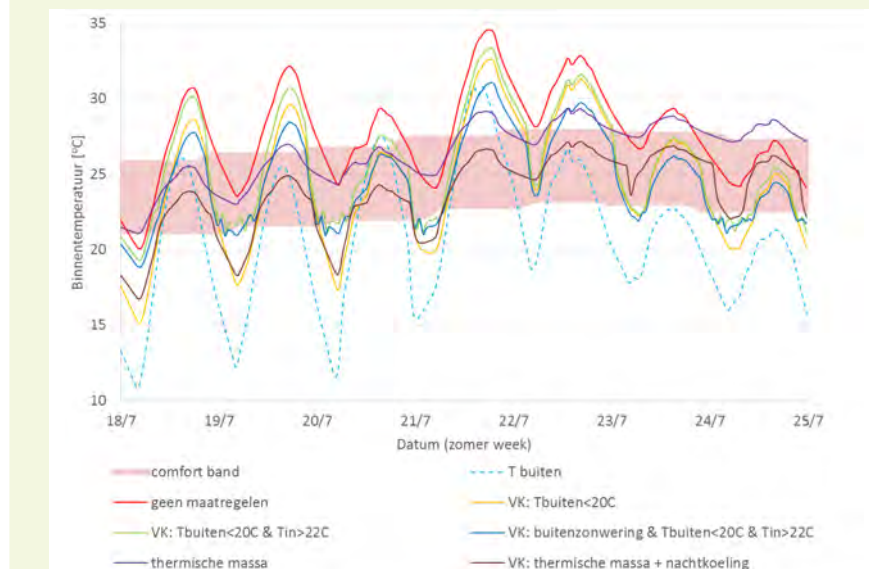
Cases en uitgangspunten

Na dit kalibratieproces is aangenomen dat het simulatiemodel geschikt is voor de analyse van de specifieke cases. Twee uitgangspunten zijn onderzocht. Gekeken is naar hoe oververhitting voorkomen kon worden in HoTT. Naast verschillende strategieën van vrije koeling, waaronder nachtventilatie, is gekeken naar de invloed van een aangepaste thermische massa en toepassing van zonwering. De onderzochte cases zijn in Tabel 1 samengevat. Daarnaast is een ander vertrekpunt gekozen waarbij is gekeken naar de situatie van oververhitting en hoe snel de woning teruggekoeld kan worden met behulp van vrije koeling. In dit geval is het effect van een vergrote opening van de atriumramen en een aanpassing van de thermische massa onderzocht.

RESULTATEN EN DISCUSSIE

Figuur 4 toont een voorbeeld van het resultaat van het verloop van de binnentemperatuur voor de periode van een week in de zomer en het effect van o.a. vrije koeling op de binnentemperatuur, ook in combinatie met buitenzonwering en extra thermische massa. De comfort band geeft hierbij de acceptabele binnentemperatuur range weer voor de betreffende buitencondities.

Figuur 4 laat zien dat oververhitting in HoTT zal optreden wanneer geen corrigerende maatregelen worden genomen (actief danwel passief). Figuur 4 laat ondermeer ook zien dat vrije koeling de binnentemperatuur positief beïnvloedt (alle varianten met 'VK'). Alle onderzochte ontwerp- en controle aanpassingen hebben een positief effect op de binnentemperatuur, zeker op die momenten waar de nachttemperatuur voldoende lage waarden bereikt. Het beperken van de vrije koeling door een setpoint voor de binnentemperatuur vermindert de potentie van de thermische massa die in HoTT aanwezig is ('VK: T_{buiten}<20°C & T_{in}>22°C'), zeker bij koudere nachten. Zonwering (70% van het raamoppervlak) geeft een zelfde orde grootte effect als vrije koeling in het geval van koudere nachten en is effectiever in het geval de nachttemperaturen hoger blijven ('VK: buitenzonwering & T_{buiten}<20°C & T_{in}>22°C'). HoTT kent een relatief lichte bouwconstructie (staalconstructie met isolatie en gipsplaten). Wanneer deze wordt vervangen door beton dan is het extra



-Figuur 4- Gesimuleerde binnentemperaturen voor een zomerweek bij toepassing van verschillende controle en ontwerpstrategieën (VK: strategie die gebruik maakt van vrije koeling). 'comfort band' geeft de comfort bandbreedte aan voor de bijbehorende buitencondities. 'T buiten' is de buitentemperatuur.

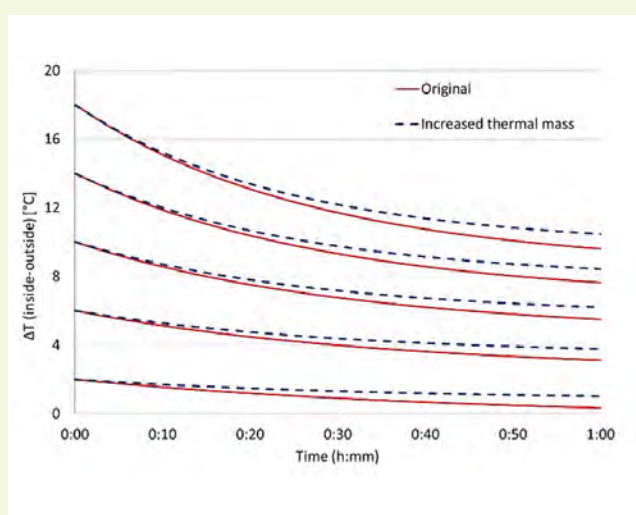
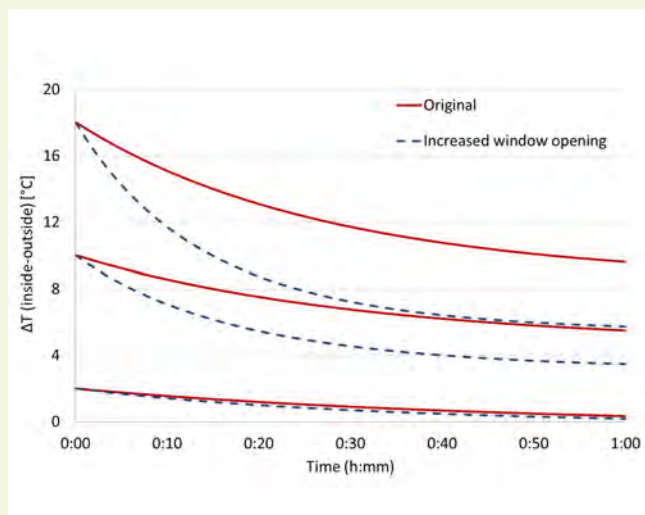
Omschrijving	Afkorting Figuur 4
1. Huidige situatie waarbij geen maatregelen tegen oververhitting worden genomen.	Geen maatregelen
2. Vrije koeling bij een buitentemperatuur < 20°C	VK: T _{buiten} <20°C
3. Vrije koeling bij een buitentemperatuur < 20°C en een binnentemperatuur > 22°C	VK: T _{buiten} <20°C & T _{in} >22°C
4. Vrije koeling (in combinatie met gebruik van buitenzonwering voor 70% van het raamoppervlak [bijv. screens]) bij een buitentemperatuur < 20°C en een binnentemperatuur > 22°C	VK: Buiten zonwering (70%) & T _{buiten} <20°C & T _{in} >22°C
5. Gebruik van additionele thermische massa (lichte constructie wordt vervangen door 200 mm beton)	Thermische massa
6. Gebruik van additionele thermische massa in combinatie met vrije koeling gedurende de nacht	VK: Thermische massa + nachtcooling

Tabel 1. Overzicht onderzochte cases beperking oververhitting voor warme zomerweek.

dempende effect daarvan duidelijk zichtbaar ('thermische massa'). De combinatie met nachtcooling vergroot de effectiviteit overdag nog meer ('thermische massa + nachtcooling'). De toepassing van alle getoonde maatregelen tegelijk maakt het mogelijk dat de temperatuurcondities in de woning binnen de comfort band blijven zoals die berekend kan worden voor de betreffende warme week.

In het huidige HoTT project is er niet direct sprake van oververhitting zoals verondersteld in Figuur 4 ('geen maatregelen'). Zonwering is aanwezig en daarnaast is er een actief koelsysteem (warmtepomp) dat functioneert in combinatie met elektriciteit gegenereerd door de in ruime mate aanwezige PV-panelen. Figuur 5 toont een tweetal voorbeelden van verkregen resultaten van het koelingseffect in HoTT door middel van vrije koeling en het effect van ontwerp-aanpassingen in de woning daarop. De grafieken geven de afname van

de temperatuurverschillen tussen binnen en buiten weer als functie van de tijd wanneer de ramen gedurende een uur geopend zijn. In Figuur 5 (links) is de ontwerp-aanpassing van een vergroot schoorsteeneffect te zien. Dit wordt veroorzaakt door een grotere opening van de individuele atriumramen, 0,5 m² in plaats van 0,1 m². Deze ramen zijn in HoTT op dit moment gefixeerd op een beperkte maximum opening van 0,1 m² per raam. In de huidige situatie wordt, als gevolg van de geopende ramen, bij een initieel temperatuurverschil van 10°C (bijvoorbeeld binnen 25°C en buiten 15°C) een temperatuurverschil berekend van ±5.5°C na een uur (dus de binnentemperatuur is dan 15°C + 5,5°C = 20,5°C geworden). Het vergrote schoorsteeneffect resulteert in een afname van het temperatuurverschil na een uur tussen binnen en buiten van ±3.5°C. Dit betekent dat het koelingseffect is toegenomen (de binnentemperatuur is dan



-Figuur 5- Koelingseffect van natuurlijke ventilatie voor de huidige situatie en met vergrote raamopening voor de atrium ramen (links); Koelingseffect van natuurlijk ventilatie voor de huidige situatie en een grotere thermische massa (rechts)

immers nog maar $15^{\circ}\text{C} + 3,5^{\circ}\text{C} = 18,5^{\circ}\text{C}$ na een uur). Toename van het ventilatievoud door middel van een grotere opening van de ramen resulteert dus in een snellere afkoeling. In Figuur 5 (rechts) toont de gestippelde lijn de ontwikkeling van het temperatuurverschil als gevolg van geopende ramen in de woning (originele situatie) wanneer aan de oorspronkelijk relatief lichte constructie een significant grotere thermische massa wordt toegevoegd. In het model zijn daartoe de wanden aangepast met een extra betonnen laag van 200mm. Het is te zien in de grafiek dat deze grotere thermische massa resulteert in een verminderd koelingseffect op de luchttemperatuur na een periode van een uur. Het verschil is echter veel kleiner voor het onderzochte tijdsinterval dan het effect voor het vergrote raamoppervlak.

Wanneer geen actieve koeling wordt gebruikt dan is HoTT gevoelig voor oververhitting. Dit komt overeen met eerdere resultaten zoals verkregen voor laag energie woningen. Het gebruik van ontwerp en controle maatregelen zoals vrije koeling, zonwering en thermisch massa kunnen de kans op oververhitting duidelijk beperken. Vrije koeling is een van de maatregelen, maar op zichzelf staand niet voldoende. Zonwering is een belangrijke minimumeis. Het voorkoelen ('s nachts) van de woning naar condities die onder de comfort band liggen maakt beter gebruik van de aanwezige koelpotentie, zeker wanneer deze ook nog eens gecombineerd wordt met extra thermische massa. Echter, in het geval van warme nachten zal de vrije koeling moeten worden verhoogd. Voor HoTT lijkt een eenvoudige maatregel daarvoor aanwezig, eenvoudigweg de opening van de ramen vergroten. In dit voorbeeld, maar ook bij andere voorbeelden, zullen aspecten als inbraakbeveiliging natuurlijk ook moeten

worden meegenomen in het ontwerpproces om vrije koeling mogelijk te maken. Het is wel duidelijk dat laag-energie woningen vragen om een zorgvuldige aandacht voor de oververhittingsproblematiek en ontwerp- en controleoplossing die daarbij ingezet kunnen worden. De resultaten laten zien dat er (ook) in dit geval sprake is van een integrale ontwerpuitdaging.

CONCLUSIE

Het beperken van oververhitting in het "House of Tomorrow Today" kan bereikt worden, naast het gebruik van de zonwering, met behulp van vrije koeling. Wanneer in het kader van het beperken van de energievraag natuurlijke ventilatie als enige koelingssysteem in de woning geambieerd wordt, wordt aangeraden om de thermische massa te vergroten in combinatie met een groter oppervlak van de openingen voor vrije koeling. In dat geval kan enerzijds de oververhitting overdag verder beperkt worden en anderzijds het effect van de nachtventilatie vergroot door de grotere afvoer van warmte. Het ontwikkelde model biedt de mogelijkheid om dergelijke ontwerpaspecten beter te bestuderen. Daarnaast zou het op termijn ingezet kunnen worden bij het regelen van de vrije koeling op basis van bijvoorbeeld actuele weer- en gebruikgegevens.

Voor energiezuinige woningen, en dit geval specifiek voor HoTT, lijkt op basis van deze studie de potentie van vrije koeling groot. Dit maakt daarmee de woning meer robuust voor toekomstige ontwikkelingen. Ook wordt duidelijk dat vrije koeling, evenzo als de andere onderzochte opties, onderdeel van een integrale ontwerpoplossing moeten zijn om zomercomfort mogelijk te kunnen maken. Naast de besproken opties moet daarbij natuurlijk ook rekening worden gehouden met andere ontwerpaspecten zoals bijvoorbeeld

inbraakveiligheid.

REFERENTIES

1. M. Hamdy and J.L.M. Hensen. Assessment of overheating risk in dwellings. Paper ID367 in: M.G.L.C. Loomans and M. te Kulve, eds. Proceedings Healthy Buildings Europe 2015, Eindhoven, The Netherlands, pp.9, 18-20 May 2015.
2. IEA. IEA Annex 62 – Ventilative Cooling (<http://venticool.eu/annex-62-home/>. International Energy Agency (last accessed 2015/11/26)
3. J.J.N. Lichtenberg, J.J.P. Mak and H. den Dekker. House of Tomorrow Today, Sustainability Analysis. Paper ID479 in: M.G.L.C. Loomans and M. te Kulve, eds. Proceedings Healthy Buildings Europe 2015, Eindhoven, The Netherlands, pp.8, 18-20 May 2015.
4. L. Peeters, R. de Dear, J. Hensen and W. D'haeseleer. Thermal comfort in residential buildings: comfort values and scales for buildings energy simulation. Applied Energy 86 (2009) 772-780.
5. A.C. van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers and R.J. de Dear. Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands. Energy and Buildings 38 (2006) 8-17.
6. Duffy, M.J. TRNSYS 17 Homepage (2015) <http://sel.me.wisc.edu/trnsys> (last accessed 2015/11/26)
7. NIST. NIST Multizone Modeling Website (2015) <http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis> (last accessed 2015/11/26)
8. Liddament, M.W. A guide to energy efficient ventilation. International Energy Agency AIVC (1996).