

Een slimme stedelijke omgeving: focus op het individu

Smart cities, oftewel slimme steden, hebben als belangrijkste doel de kwaliteit van leven van inwoners te verbeteren. Door het aanbrengen en beheren van een digitale infrastructuur op stedelijk niveau wordt beoogd de leefkwaliteit te verhogen. Een dergelijke infrastructuur biedt nieuwe mogelijkheden ten aanzien van het monitoren en regelen van onder andere gebouwbeheersystemen (GBS). Hierdoor wordt het bijvoorbeeld mogelijk om verschillende gebouwen aan elkaar te koppelen en op afstand de binnenklimaatcondities aan te sturen. Door te focussen op het individu, zijn er veel mogelijkheden om daadwerkelijk het comfort, welzijn en gezondheid van bewoners te vergroten. In dit artikel gaan wij in op mogelijke effecten van binnenklimaatcondities op het comfort en de gezondheid van gebouwgebruikers, en de mogelijkheden die smart cities bieden om de leefkwaliteit van ieder individu te verhogen.

Lisje Schellen, Boris Kingma, Marije te Kulve, Hannah Pallubinsky en Wouter van Marken Lichtenbelt

Bij het ontwerpen van het binnenklimaat, worden comfort en gezondheid vaak als synoniem beschouwd. Traditioneel wordt vanuit het oogpunt van thermisch comfort en algemeen welbevinden de binnentemperatuur geregeld op een 'optimaal' constant niveau. Tot op de dag van vandaag wordt voor het ontwerpen van het thermische binnenklimaat en het dimensioneren van de klimaatinstallatie dikwijls gebruik gemaakt van normen en praktijkrichtlijnen die uitgaan van een constante binnentemperatuur [1, 2]. Deze ontwerpstandaarden maken gebruik van het PMV (predicted mean vote) model van Fanger uit de jaren '70 [3], of het adaptief comfort

model van De Dear en Brager [4] uit eind jaren '90. Het PMV model gaat uit van warmtebalans tussen mens en omgeving en kan worden gebruikt om de benodigde binnenklimaatparameters (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtsnelheid) te bepalen gegeven de activiteit en kleding van de gebruikers. Aan de hand van het adaptieve model wordt de binnentemperatuur afgestemd op de heersende buitentemperatuur. Onderliggend concept/idee is dat mensen zich naar gelang de seizoenen anders gaan kleden en gewend raken aan andere temperaturen. Het adaptieve comfort model maakt onderscheid tussen natuurlijk geventileerde en volledig geklimati-

seerde (HVAC) gebouwen. In tegenstelling tot het PMV model, dat gebaseerd is op een fysische theoretische benadering, is het adaptieve model puur empirisch. Hierbij is er gemeten wat mensen tolereren en wordt onderscheid gemaakt tussen natuurlijk geventileerde en volledig geklimatiseerde (HVAC) gebouwen. In de praktijk worden de meeste klimaatinstallaties geregeld op vaste setpoints. Afhankelijk van de keuze voor adaptief of niet, wordt een onderscheid gemaakt tussen de seizoenen, bijvoorbeeld een winter- en zomerconditie. Uit recente studies van onze onderzoeksgroep blijkt dat, naast seizoensvariatie, dagelijkse variaties in de binnentemperatuur en uitstap-

jes naar temperaturen buiten de thermische neutrale zone (temperaturen waarbij het lichaam energie moet leveren om op temperatuur te blijven) een positief effect kunnen hebben op gezondheidsparameters zoals het energiegebruik van het lichaam. Naast potentiële gezondheidsvoordelen kan dit ook gebouw gerelateerde energiebesparende mogelijkheden en verbeteringen met betrekking tot het thermisch comfort opleveren. Ons uitgangspunt is dat we het lichaam weer zelf moeten laten werken om het interne milieu te waarborgen, en niet alleen laten rusten in thermisch optimale omgevingen. Een dynamische omgeving die continu verandert kan hierbij helpen zodat iedereen episodes van thermische rust ervaart, gevolgd met episodes waarin het lichaam weer aan de slag moet om de kerntemperatuur te handhaven. Hierbij traint het lichaam zowel het metabole (energiegebruik) als het cardiovasculaire apparaat (huiddoorbloeding, bloeddruk), en draagt dus bij aan het behoudt van het algeheel welzijn. Net als bij sporten is het zaak om niet overtraind te raken, en zijn thermische rustmomentjes (thermisch neutrale balans) noodzakelijk. Bovendien kan de range waarin mensen de binnentemperatuur als acceptabel ervaren worden vergroot. In het navolgende zullen enkele resultaten beschreven worden.

Regelmatige koudeblootstelling (koude-acclimatisatie) vs gezondheid en comfort

Het geregeld blootstellen aan milde kou kan bijdragen aan een goede gezondheid, blijkt uit studies van Hanssen et al. [5] en van der Lans et al. [6]. In de studie uitgevoerd door van der Lans et al. werden 17 proefpersonen (8 mannen, 9 vrouwen) 10 achtereenvolgende dagen blootgesteld aan milde kou (15-16 °C, ~0,4 clo) gedurende 6 uur per dag. De resultaten laten zien dat het verlagen van de omgevingstemperatuur het energiegebruik van het lichaam verhoogt. Hierbij spelen meerdere weefsels een rol, zoals de spieren en bruin vetweefsel. Daarnaast lieten de resultaten zien dat als gevolg van de acclimatisatie er gewinning optreedt en de mate van discomfort afneemt. Op lange termijn kan het verlagen van de omgevingstemperatuur een positief effect hebben op het energiemetabolisme en mogelijk de gewichtscontrole zonder vermindering van het thermisch comfort. In de studie van Hanssen et al. [5] werden proefpersonen met diabetes Type 2 tien achtereenvolgende dagen blootgesteld aan hetzelfde koude-gewinnings-protocol. De baanbrekende resultaten laten zien dat de insulinegevoeligheid met ~43% toeneemt na acclimatisatie. Regelmatige blootstelling aan kou kan dus een nieuwe manier zijn om



de gezondheid van patiënten met diabetes Type 2 significant te verbeteren. Deze studies laten zien dat een koele omgeving niet alleen het energiegebruik van de mens kan verhogen, maar ook kan leiden tot een meer algemene verhoogd metabolisme, inclusief suiker- en vet-metabolisme. Dit kan mogelijk leiden tot een betere gezondheid.

Regelmatige warmteblootstelling (warmte-acclimatisatie) vs gezondheid en comfort

Ook een regelmatige blootstelling aan een mild warme omgeving heeft een significante invloed op fysiologische responsies, blijkt uit een studie van Pallubinsky et al. (publicatie in voorbereiding). In deze studie werden 12 proefpersonen gedurende 7 dagen, 6 uur per dag blootgesteld aan een mild warme omgeving (~34 °C, ~0,4 clo). De eerste analyses laten zien dat gewinning optreedt (significante toename thermisch comfort) en dat de acclimatisatie een effect heeft op de huiddoorbloeding, kerntemperatuur en huidtemperaturen. Andere studies tonen aan dat, net als milde kou, ook warmteblootstelling het insuline- en glucosemetabolisme positief kan beïnvloeden. Wij starten binnenkort een onderzoek naar deze effecten.

Regelmatige blootstelling aan zowel een verlaagde of verhoogde omgevingstemperatuur kan dus de gezondheid op korte termijn beïnvloeden. Wat de effecten er op lange termijn zijn moet nog onderzocht worden. Wellicht dat kortdurende 'uitstapjes' naar temperaturen buiten de neutrale temperatuurzone al voldoende zijn. Als ontwerpoplossing kan in de winter bijvoorbeeld gedacht worden aan een koel kantoor waarin op lokaal en individueel niveau verwarmd kan worden, (in de zomer kan dit omgekeerd). Naast een potentiële energiebesparing kan dit ook een bijdrage leveren aan een verhoogd comfortniveau en 'thermisch plezier' [7].

Dynamisch temperatuurverloop vs comfort

In een experiment van Schellen et al. [8, 9] werden 8 jongeren (22-25 jaar) en 8 ouderen

(67-73 jaar) blootgesteld aan twee verschillende condities: een controle conditie waarbij de temperatuur constant op 21,5°C (PMV=0) gehouden werd, en een dynamische conditie waarbij de temperatuur in de ruimte varieerde met ± 2 K/h gedurende 8 uur in een temperatuurbereik van 17–25°C. De resultaten lieten zien dat de dynamische conditie vanuit het oogpunt van comfort als acceptabel beoordeeld werd, en dat het niet leidt tot onacceptabele condities in vergelijking met een constante temperatuur. Wel bleek dat de ouderen het in vergelijking tot de jongeren kouder hadden onder dezelfde thermische omstandigheden, en als gevolg hiervan een hogere temperatuur prefereerden. Het toestaan van variaties in de binnentemperatuur levert, naast mogelijke comfortverbeteringen, ook mogelijkheden voor energiebesparing op [10]. Echter, uit een onderzoek van Kingma et al. [11] blijkt dat 1 uur milde koude blootstelling (20°C met alleen korte broek aan –0.04 clo) kan leiden tot een verhoogde systolische bloeddruk bij ouderen. De korte koude blootstelling had een langdurig effect, want zelfs na twee uur heropwarmen was de bloeddruk nog steeds significant hoger dan bij aanvang. Daarom is het verstandig zijn om bij ouderen het variëren van omgevingstemperaturen met de nodige omzichtigheid toe te passen. Dit laatste benadrukt het belang van een individuele benadering bij het ontwerpen van het binnenmilieu; hier wordt verderop in het artikel nader op ingegaan.

Lichtintensiteit en kleurtemperatuur vs comfort en alertheid

Naast de temperatuur heeft ook de verlichting in een vertrek invloed op het comfort gebruiker. Een literatuuroverzicht van te Kulve et al. [12] laat zien dat mogelijk ook de verlichtingssterkte en de kleurtemperatuur van invloed kunnen zijn op het thermisch comfort en fysiologische responsies. Een recent onderzoek toont aan dat de mate van thermisch comfort en visueel comfort aan elkaar gerelateerd zijn, en dat wellicht een verminderd thermisch comfort gecompenseerd kan worden door een



Ook de verlichting in een vertrek heeft invloed op het comfort van de gebruiker

verhoogd visueel comfort door middel van een juiste kleurtemperatuur en verlichtingssterkte [13, 14]. Daarnaast heeft verlichtingssterkte invloed op de lichaamstemperatuur, welke een rol speelt in alertheid en slaperigheid. Zowel licht en temperatuur zijn dus van invloed op productiviteit van gebouwgebruikers hun comfort en gezondheid. De interactie tussen deze twee factoren kan dan ook een belangrijke rol spelen bij het ontwerp van een dynamisch binnenklimaat.

BELANG INDIVIDU

Zoals in het voorgaande geschetst, heeft het binnenklimaat een grote invloed op het algemeen welbevinden, het comfort en de productiviteit. Daarnaast kan het binnenklimaat de gezondheid op de korte termijn beïnvloeden. De keuze van de optimale regelingsstrategie voor de binnentemperatuur of de verlichting hangt af van het individu. In de dagelijkse installatiepraktijk wordt nog altijd uitgegaan van een gemiddelde gebruiker waarvoor het binnenklimaat geregeld wordt. Kingma et al. [15-17] hebben recent laten zien dat individuele karakteristieken die de warmtebalans beïnvloeden (zoals lichaamsbouw en metabolisme) van grote invloed zijn op de neutrale thermische omgeving. Voor het ene lichaam kan 21°C precies goed zijn zodat het niets hoeft te doen om de kerntemperatuur te waarborgen (een thermisch rustmoment), maar voor een ander, met een andere lichaamsbouw, kan 21°C het lichaam al op de proef stellen (een thermische training). De biofysische analyses uit voorgaande studie hebben laten zien dat voor 'steady state' condities (zoals nu opgenomen in de huidige stan-

daarden) de temperatuur range voor thermisch comfortabel kleiner is dan voor fysiologisch thermisch neutraal [18]. Dat betekent dat de bandbreedte waarin het binnenklimaat veelal geregeld wordt onnodig strak is. Een continu dynamisch binnenklimaat zorgt immers dat alle gebruikers thermische training en "rust" momenten ondergaan. Een dynamisch binnenklimaat maakt het makkelijker om meer mensen tevreden te stellen met hetzelfde binnenklimaat. Dit is een interessant gegeven om mee te nemen bij het ontwerpen van nieuwe gebouwen en bijbehorende klimaatinstallaties.

POTENTIES VOOR SMART CITIES

Smart cities en hun digitale infrastructuur bieden uitgelezen mogelijkheden om gebouwen op afstand 'slim' te regelen door te monitoren en bij te sturen op basis van deze monitoring. Dit biedt grote kansen voor het optimaliseren van het leefmilieu en het verhogen van de kwaliteit van leven, zoals beoogd door smart cities. Om dit te bereiken zijn zowel integratie en het centraal stellen van de individuele gebruiker als het integreren van een dynamische regelstrategie met individuele controle voor de binnentemperatuur en de verlichting essentieel.

DANKBETUIGING

De resultaten uit de verschillende onderzoeken werden gefinancierd door AgentschapNL (EOS LT10033, TKI Energo, TKI Solar Energy), STW (LEDTHER).

REFERENTIES

1. EN-ISO. 7730: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Standards Organization; 2005.
2. Ashrae. Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2010.
3. Fanger O. Thermal Comfort. Copenhagen: Danish Technical University; 1970.
4. de Dear RJ, Brager GS. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. Ashrae Transactions. 1998;104:145-67.
5. Hanssen MJ, Hoeks J, Brans B, van der Lans AA, Schaart G, van den Driessche JJ, et al. Short-term cold acclimation improves insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes mellitus. Nat Med. 2015;21:863-5.
6. van der Lans AA, Hoeks J, Brans B, Vijgen GH, Visser MG, Vosselman MJ, et al. Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis. J

Clin Invest. 2013;123:3395-403.

7. Parkinson T, de Dear R, Candido C. Thermal pleasure in built environments: allies-thesis in different thermoregulatory zones. Building Research & Information. 2016;44:20-33.
8. Schellen L, van Marken Lichtenbelt WD, Loomans MGLC, Toftum J, de Wit MH. Differences between young adults and elderly in thermal comfort, productivity, and thermal physiology in response to a moderate temperature drift and a steady-state condition. Indoor Air. 2010;20:273-83.
9. Schellen L, Loomans MGLC, de Wit MH, van Marken Lichtenbelt WD. Optimaal thermisch comfort - het effect van niet-uniformiteit. TVVL Magazine. 2013;06:18-22.
10. Kolarik J, Toftum J, Olesen BW, Jensen KL. Simulation of energy use, human thermal comfort and office work performance in buildings with moderately drifting operative temperatures. Energy Buildings. 2011;43:2988-97.
11. Kingma BR, Frijns AJ, Saris WH, van Steenhoven AA, van Marken Lichtenbelt WD. Increased systolic blood pressure after mild cold and rewarming: relation to cold-induced thermogenesis and age. Acta Physiol (Oxf). 2011;203:419-27.
12. Kulve M, Schellen L, Schlangen L, Marken Lichtenbelt W. The influence of light on thermal responses. Acta Physiologica. 2015.
13. te Kulve M, Schellen L, Frijns A, Schlangen L, van Marken Lichtenbelt W. Het effect van lichtintensiteit - thermisch comfort en alertheid. TVVL Magazine. 2015;04:10-1.
14. te Kulve M, Schellen L, Schlangen L, Frijns A, van Marken Lichtenbelt W. Light intensity and thermal responses. Proceedings of 9th Windsor Conference: Making Comfort Relevant. Windsor, UK, 7-10 April 20162016.
15. Kingma B, van Marken Lichtenbelt W. Energy consumption in buildings and female thermal demand. Nature Climate Change. 2015.
16. Kingma BRM, van Marken Lichtenbelt WD. Fysiologie beïnvloedt de comfortabele omgeving. TVVL Magazine. 2015;04:18-9.
17. Kingma BRM, Frijns AJH, Schellen L, van Marken Lichtenbelt WD. Beyond the Classic Thermoneutral Zone: Including Thermal Comfort. Temperature. 2014;1:10-7.
18. Jacquot CMC, Schellen L, Kingma BRM, Baak M, van Marken Lichtenbelt WD. Influence of thermophysiology on thermal behavior: the essentials of categorization. Physiol Behav. 2014;128:180-7.