

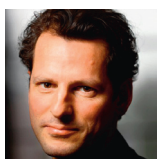
THERMISCH COMFORT IN DE STAD

HOE KLEUR, MATERIAAL EN GEBOUWVORM HET THERMISCH COMFORT IN DE STAD BEÏNVLOEDEN

Comfort in de buitenruimte is nauwelijks een aandachtspunt bij het ontwerpen van stedelijke gebieden. Dit in tegenstelling tot het comfort binnen gebouwen. Bij meer aandacht voor het microklimaat in stedelijke gebieden kan de leefkwaliteit worden verbeterd in binnen- en buitenruimten. Er is nog veel onbekend over hoe een stedelijk gebied het best kan worden ingericht om een comfortabel microklimaat te creëren. In dit artikel wordt ingegaan op het effect van verschillende adaptatiemaatregelen in een wijk in Amsterdam. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een simulatieprogramma, waarbij wordt gekeken naar het effect van de maatregelen op de luchttemperatuur en een comfortindex voor buiten.



ir. L. (Laura) Kleerekoper,
promovenda, TU Delft,
Faculteit Bouwkunde



prof. dr. ir. A.A.J.F. (Andy)
van den Dobbelsteen, TU
Delft, Faculteit Bouwkunde



dr. G.J. (Truus) de Bruin-
Hordijk, TU Delft, Faculteit
Bouwkunde



dr. ir. M.W. (Machiel) van
Dorst, TU Delft, Faculteit
Bouwkunde

INLEIDING

De Nederlandse stad zal in de toekomst meer te maken krijgen met weersextremen: hitte, droogte en ook overvloedige neerslag en overstromingsgevaar [1, 2]. Hoe houden we onze Nederlandse steden gezond en comfortabel met het voorspelde klimaatscenario? Hoe kunnen we ontwikkelingen zoals verdichting en uitbreiding van steden laten bijdragen aan een prettig stedelijk microklimaat? In het promotieonderzoek *Urban Climate Design Engineering* wordt onderzocht welke middelen er in de gebouwde omgeving kunnen worden ingezet om het stedelijk microklimaat te controleren en te verbeteren. De focus is gericht op maatregelen op buurtniveau, maar ook gebouw- en stadsniveau spelen een rol. Het promotieonderzoek is onderdeel van het onderzoeksproject *Climate Proof Cities*, een samenwerkingsverband tussen verschillende universiteiten, kennisinstituten en belanghebbenden uit de praktijk.

In het onderzoek worden simulatie- en ontwerpstudies met elkaar gecombineerd en aan meetresultaten gekoppeld. Het doel is om voor diverse wijktypologieën richtlijnen te ontwikkelen die aangeven welke maatregelen het meest geschikt en effectief zijn voor een specifieke typologie. Bekende maatregelen om hitte tegen te gaan zijn bijvoorbeeld bomen en andere vegetatie, fontein, grachten, grote rivieren, maar ook de kleur van daken, gevels en straten [3]. Voor een aantal wijktypologieën wordt een wijk als casestudie genomen, waarin metingen, simulaties en ontwerpstudies elkaar aanvullen.

In dit artikel wordt dieper ingegaan op één casestudie. Dit is de Couperusbuurt in Amsterdam Nieuw-West, gebouwd in de jaren '60. Deze wijk betreft niet direct een problematische wijk bij de voorspelde klimaatverandering, maar wel kunnen de plannen van de stadsdeelgemeente bij verkeerde keuzes leiden tot negatieve effecten op het microklimaat. De gemeente wil in het gebied meer woningdiversiteit aanbrengen en denkt daarbij voor de Couperusbuurt aan grotere woningen en meer parkeergelegenheid. De huidige open bouwblokstructuur heeft een binnengebied van gras omzoomd met struiken en enkele bomen, zie figuur 1. De binnengebieden zouden moeten transformeren in een parkeerplaats om de parkeernorm te verhogen. Het andere aspect betreft de verhoging van de woningen van twee

naar drie of vier bouwlagen. Deze aanpassingen zijn met het microschaalmodel *Envi-met* gesimuleerd [4, 5].

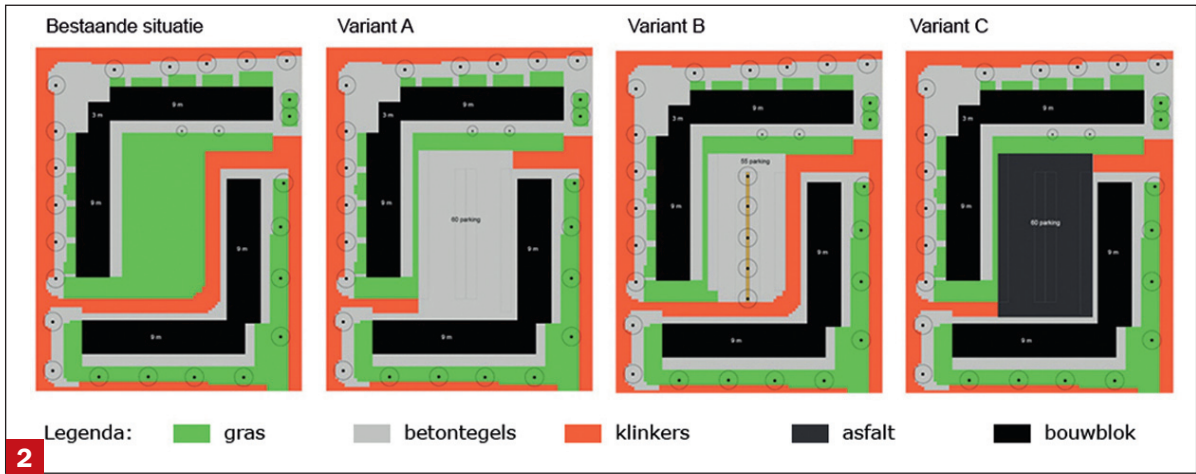
SIMULATIEMETHODE

Het microschaalmodel *Envi-met* is een driedimensionaal numeriek programma dat is ontworpen om de interactie tussen oppervlakten van bodem, bestrating, daken en gevels, planten en lucht te simuleren [4]. Het programma is vooral geschikt voor een resolutie van 0,5 tot 10 m en voor het doorrekenen van een periode van 24 tot 48 uur met een tijdsinterval van maximaal 10 seconden. Het programma is gebaseerd op een vereenvoudigd CFD simulatieprogramma waarin luchtstroming om gebouwen en vegetatie wordt berekend. Hierbij wordt ook turbulentie en invloed van temperatuur en luchtvochtigheid op de luchtstroming meegenomen. Het programma rekent met korte- en langgolvlige stralingsfluxen voor beschaduwing, reflectie en multireflecties van bebouwing en vegetatie. Het programma neemt de transpiratie, evaporatie en warmteoverdracht tussen vegetatie en de lucht door conductie mee en rekent met de oppervlaktetemperatuur van elke afzonderlijke gridcel. De water- en warmte-uitwisseling met de bodem wordt meegenomen en het is mogelijk een aantal comfortindicatoren uit te rekenen zoals de stralingstemperatuur (T_{str}) en de Predicted Mean Vote (PMV).

Alle varianten worden onder dezelfde aannames voor een hete zomerdag doorgerekend. Op een gemiddelde hete zomerdag is de windsnelheid overdag gemiddeld 2,2 m/s en komt de wind uit het noord-oosten. De temperatuur is op zo'n dag gemiddeld 23°C. De klimaatcondities voor



1 Groen binnen een bouwblok van de Couperusbuurt



Gesimuleerde parkeervarianten

een gemiddelde hete zomerdag zijn gebaseerd op de hitte-golfperiodes tussen 1950 en 2011 gemeten in De Bilt [6]. Er is eerst doorgerekend hoe de lucht en materialen in de bestaande situatie gedurende de dag opwarmen; daarna is een extreme variant zonder bomen, gras en struiken bekeken om een indicatie te krijgen van hoe groot de effecten op de temperatuur kunnen zijn. Bij de extreme variant warmt ruim 60% van het gesimuleerde oppervlak op met meer dan 0,5°C; op verschillende plaatsen treedt opwarming op tot 1,5°C. Om het effect van het realiseren van parkeerplaatsen in het binnengebied van de bouw-blokken te bestuderen, zijn drie varianten naast de bestaande situatie gesimuleerd (zie figuur 2):

- A: een parkeerplaats met bestrating van betontegels
- B: met bestrating van betontegels én bomen
- C: een bestrating van donker asfalt

De huidige woningen hebben twee woonlagen en een kap. Om de invloed van één of twee extra bouwlagen te bestuderen, zijn de volgende varianten gesimuleerd:

- drie woonlagen met kap
- vier woonlagen met plat dak
- vijf woonlagen met plat dak

Omdat de kleur van de gevel en het dak invloed hebben op de temperatuur op straatniveau zijn er vier verschillende albedowaarden (reflectiecoëfficiënten) voor de gevels en drie verschillende albedowaarden voor het dak gesimu-leerd. Voor de gevel is gekeken naar een albedo van 0,1, 0,2, 0,4 en 0,6. Zoals in tabel 1 is af te lezen staat dit voor respectievelijk een donkere bakstenen gevel, een rode bak-stenen gevel (bestaande situatie), een lichte bakstenen gevel en een aluminium of roestvrijstalen gevel. Naast de bestaande rode pannendaken met een albedo van 0,3 is er gekeken naar een zwart bitumen dak met een zeer lage albedo van 0,05 en een wit reflecterend dak van 0,85.

EFFECT OP DE LUCHTTEMPERatuur

In eerste instantie is gekeken naar de veranderingen in luchttemperatuur op twee meter hoogte om 13:00 uur. Dit is als het ware een horizontale doorsnede waarin de lucht-temperatuur op deze hoogte wordt weergegeven. In figuur 3 zijn de simulatieresultaten van Envi-met te zien voor de bestaande situatie. In figuur 4 is te zien hoeveel procent van het totale oppervlak van het gesimuleerde gebied met een halve graad of meer in temperatuur is gestegen of gedaald. De stijging van de luchttemperatuur was nooit

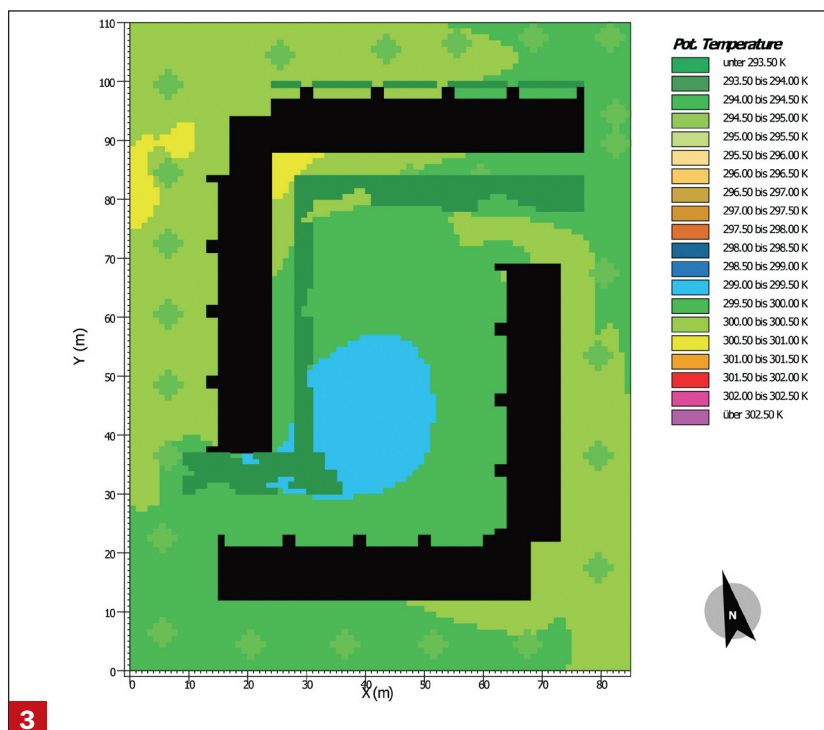
Tabel 1: De albedowaarden van gevel-, dak- en bestratings-materiaal [7-10]

materiaal	type/kleur	albedo
beton stoeptegels		0,40
asfalt		0,20
zandgrond		0,30
bitumen	zwart	0,05
dakbedekking	wit Ecoseal	0,85
keramische dakpannen	rood	0,30
aluminium/roestvrijstaal	blank	0,60
baksteen	wit/lichte kleur	0,40
baksteen	rood	0,20
baksteen	donker	0,10

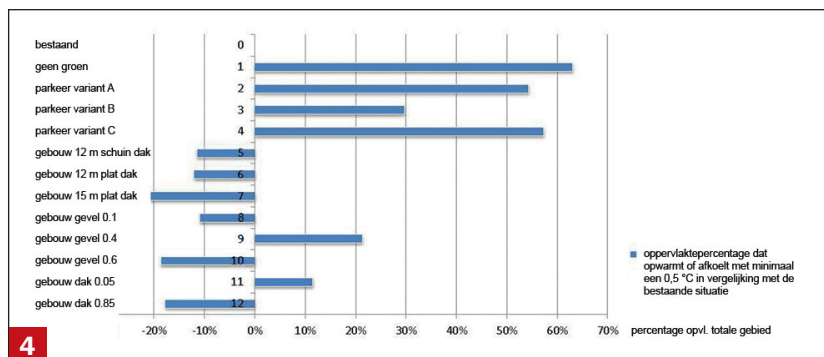
meer dan 1,5°C. Van de parkeervarianten zorgt asfalt voor de grootste opwarming van het gebied, maar de bestrating van betontegels wijkt daar niet veel van af. Verharding in plaats van gras zorgt voor opwarming doordat het steen-achtige materiaal meer directe en gereflecteerde zonne-straling opneemt. De geaccumuleerde warmte wordt ver-volgens als langgolvlige straling (warmte) aan de lucht afgegeven. Daarnaast is er minder verkoeling doordat er minder water verdampt bij verharding, uitgezonderd van permeabele verharding. Een extra verkoelende factor van gras en vegetatie overdag is het actief koelen van de lucht door evapotranspiratie (verdamping via de bladeren).

De bomen zijn goed voor de compensatie van de opwar-ming door betontegels. Bij parkeervariant B reduceren vijf bomen op de parkeerplaats het opgewarmde oppervlak van 54 tot 29% (zie figuur 4). Bomen hebben overdag een verkoelend effect door actieve evapotranspiratie en passieve koeling door schaduwwerking op onder andere verharding en gevels. Het effect van bomen zal toenemen naarmate er meer bomen worden geplant.

De invloed van de verhoging van een gebouw heeft bij de hoogte/breedte-verhouding van deze bouwblokken ($H/B = 0,23$) een verkoelend effect vanwege de extra schaduw die wordt gecreëerd. Bij smallere straten kan het effect tegengesteld zijn vanwege verminderde luchtmenging en



3 Simulatie van de luchttemperatuur voor de bestaande situatie op 2 meter hoogte om 13:00 uur met Envi-met



4 Effect van verschillende varianten op luchttemperatuur op twee meter hoogte

multireflecties die optreden. Een hogere reflectiecoëfficiënt van daken geeft duidelijk een verkoelend effect op straatniveau en een lagere reflectiecoëfficiënt geeft een opwarmend effect. De temperatuureffecten hebben invloed op de directe omgeving rond een gebouw en liggen tussen 0,5°C en 1°C. Het is belangrijk te beseffen dat deze albedoveranderingen hier betrekking hebben op een schuin dak met een nok op negen meter hoogte. Voor platte daken en hogere gebouwen zullen de effecten op de temperatuur anders zijn. Het gebied dat wordt beïnvloed door de albedowaarde van de daken ligt in de simulaties rond de 30%. Dit betekent dat wanneer een zwart dak in deze situatie wordt vervangen door een wit dak, dit de temperatuur op twee meter hoogte met minimaal een halve graad verlaagt in 30% van de directe omgeving van het open bouwblok.

De albedoverandering van de gevels geeft een verrassend resultaat. Een hogere reflectiecoëfficiënt leidt hier niet altijd tot een koelere omgeving rond het gebouw. Een reflectiewaarde van 0,4 geeft opwarming van het gebied, terwijl een lage reflectiewaarde van 0,1 juist verkoeling oplevert. Wel geeft de hoogste reflectiewaarde van 0,6 de meeste verkoeling. Opwarming bij een hogere reflectiewaarde kan verklaard worden doordat de lucht (of per-



5 Witte gevels in Spanje worden een groot deel van de dag beschaduwed, hierboven een smalle straat in Malaga

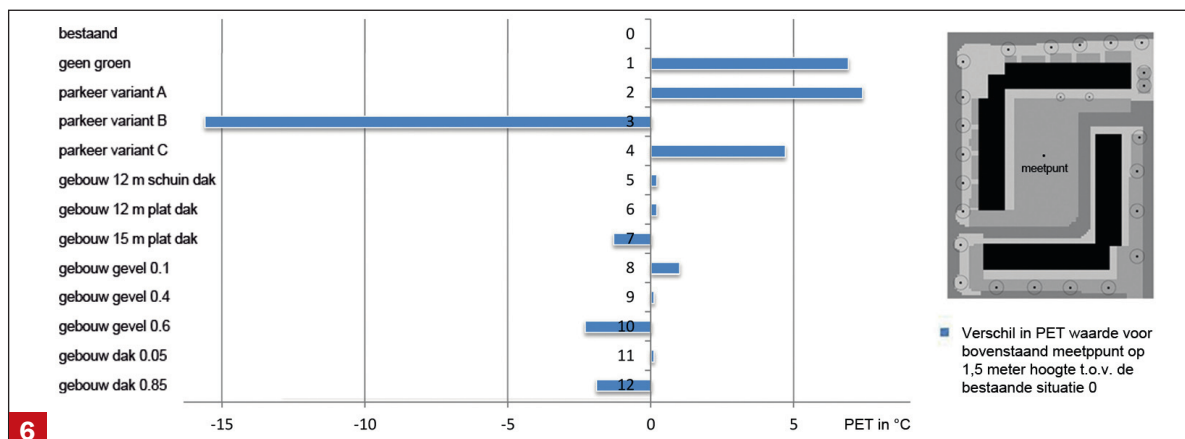
soon/object) op twee meter hoogte dan meer straling ontvangt en daardoor meer opwarmt. Er blijkt een kantelpunt te zijn waarbij meer reflectie juist wel leidt tot afkoeling; waar dit punt ligt is nog onduidelijk.

De opwarming van de lucht is afhankelijk van de afstand tot de gevel. Hoe dicht het meetpunt bij de gevel ligt, hoe meer invloed de temperatuur van de gevel zal hebben op de luchttemperatuur in het meetpunt. De gevel zelf warmt wel meer op naarmate de reflectiefactor lager is, doordat er meer warmte wordt geabsorbeerd. Er wordt momenteel verder onderzoek gedaan naar de invloed van hogere reflectiewaarden en omslagpunten in verschillende situaties. Het gaat hierbij om studies naar meerdere albedowaarden in verschillende straatprofielen en met verschillende afstanden tot de gevel. Een voorlopige conclusie is dat voor gevels die gedurende een lange periode op de dag bloot staan aan zonnestraling, een hoge reflectiefactor kan leiden tot hogere temperaturen op straatniveau doordat materialen, personen en objecten op straatniveau dan meer straling ontvangen. In warme landen zoals Spanje worden lichte gevels veel toegepast, dit is met name van belang voor het behoud van een koel binnenklimaat. Ook zie je hier veel smalle straatjes waardoor de gevels een groot deel van de dag in de schaduw liggen, zie figuur 5.

EFFECT OP HET COMFORTNIVEAU

Omdat het comfort van mensen niet uitsluitend door de luchttemperatuur wordt bepaald, zijn er comfortindicatoren ontwikkeld om de beleving van het microklimaat beter te kunnen benaderen. Een geschikte indicator voor het buitenklimaat is de PET (Physiological Equivalent Temperature), een maat voor de gevoelstemperatuur die een mens ervaart in de buitenomgeving [11]. In deze indicator worden luchttemperatuur (T_a), stralingsintensiteit (T_{str}), luchtstroming (v) en luchtvochtigheid (RH) gewogen naar een menselijke perceptie van klimaatomstandigheden. De PET is gebaseerd op de vergelijking voor de energiebalans van het menselijk lichaam door Höppe [12].

Om de PET-waarde te kunnen berekenen is een 'meetpunt' gekozen op 1,5 meter hoogte in het midden van het bouwblok. In figuur 6 zijn de berekende PET-waarden weergegeven. Deze laten grotere verschillen tussen de verschillende varianten zien dan de luchttemperatuur alleen. Omdat de gevoelstemperatuur (PET-waarde) sterk wordt beïnvloed door stralingswarmte zijn grote verschillen tussen schaduw en zon te zien. Zo is variant 3 duide-



Effect van verschillende varianten op de Physiological Equivalent Temperature (PET) ten opzichte van de bestaande situatie

lijk het koelst omdat hier het meetpunt wordt beschaduwd door bomen op de parkeerplaats.

Een opmerkelijk resultaat is het verschil in variant 1 (zonder groen) en variant 2 (parkeervariant met betontegels in plaats van het groene grasveld). De luchttemperatuur en de PET geven hier een tegengesteld resultaat. De variant zonder groen komt op een koelere PET-waarde dan de parkeervariant (waar nog wel rondom heggen en bomen staan). Dit terwijl de variant zonder groen in totaal een warmere *lucht*temperatuur laat zien. Een verklaring hiervoor is mogelijk de verminderde luchtstroming doordat het omliggende groen wind afremt en afbuigt.

Er is ook een tegengesteld effect tussen de PET en de luchttemperatuur tussen variant 2 (parkeervariant met betontegels) en variant 4 (parkeervariant met asfaltbestrating). Dit verschil kan verklaard worden doordat de 'meting' op 1,5 meter hoogte wordt gedaan en hier het warme asfalt minder effect heeft op de luchttemperatuur. Voor de gevoelstemperatuur overheerst de extra gereflecteerde straling van de lichte betontegels. Eenzelfde effect wordt bijvoorbeeld ervaren op een sneeuwvlakte waar het gereflecteerde licht snel tot verbranding kan leiden en skiën met korte mouwen mogelijk maakt, ondanks de lage luchttemperatuur. De koelere ervaring van asfalt boven betontegels op 1,5 meter hoogte zegt overigens niets over de ervaring van iemand die zich hier op blote voeten begeeft. Het asfaltmateriaal zelf zal sterker opwarmen dan de betonnen tegels, waardoor je het asfalt bij je voeten als warmer ervaart.

CONCLUSIE

Dit artikel beschrijft slechts een casestudie binnen een groter onderzoek. Het laat echter duidelijk het effect zien van ontwerpkeuzes die een stedenbouwkundige, architect of beleidsmaker moet maken. Door bij nieuwbouw en herontwikkeling naar de gevolgen van ontwerpkeuzes op het microklimaat te kijken zal de wijk comfortabeler zijn en blijven. Deze studie zal worden vervolgd door het effect te bestuderen van albedowaarden in verschillende stedelijke situaties. Ook zullen andere adaptatiemaatregelen worden bestudeerd op hun effect binnen verschillende wijktypologieën. Zo wordt er momenteel onderzoek gedaan in de Rotterdamse wijk Bergpolder-Zuid. Een wijk ontstaan in 1915-1930 met een gesloten bouwblok waar de gemeente Rotterdam en de woningbouwcorporatie Vestia een masterplan hebben ontwikkeld waarbij beide partijen ook klimaatadaptatiemaat-

regelen willen toepassen. Daarna zal onder andere worden gekeken naar historische binnensteden, jaren '30 wijken met eengezinswoningen en hoogbouw. ■

Dit promotieproject binnen het onderzoeksprogramma Climate Proof Cities is mogelijk gemaakt door het nationale programma Kennis voor Klimaat.

BRONNEN

- [1] KNMI, Klimaatschetsboek Nederland, het huidige en toekomstige klimaat, 2009, De Bilt
- [2] Döpp, S., et al, Kennismontage Hitte en Klimaat in de Stad, 2011, Climate Proof Cities Consortium
- [3] Kleerekoper, L., van Esch, M., Salcedo, T.B., How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. Resources, Conservation and Recycling, 2012, 64(0): p. 30-38
- [4] Bruse, M., Fleer, H., Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, Environmental Modelling and Software, 1998, 13(3-4): p. 373-384
- [5] Huttner, S., Bruse, M., Dostal, P., Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities, 2008
- [6] KNMI, Lijsten en extremen, 2011. Via: <http://www.knmi.nl/klimatologie/lijsten/index.html>
- [7] Taha, H., Akbari, H., Rosenfeld, A., Huang, J., Residential cooling loads and the urban heat island - the effects of albedo, Building and Environment, 1988, 23(4): p. 271-283
- [8] Prado, R.T.A., Ferreira, F.L., Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials, Energy and Buildings, 2005, 37(4): p. 295-300
- [9] Oke, T., et al, The Micrometeorology of the Urban Forest [and Discussion], Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences, 1989, 324(1223): p. 335-349
- [10] Peutz, Energetische aspecten bij toepassing Eco-seal EP White dakbedekking, 2009
- [11] Matzarakis, A., Amelung, B., Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans, Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health, 2008: p. 161-172
- [12] Höppe, P., The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, International Journal of Biometeorology, 1999, 43(2): p. 71-75