

Auteurs

D. (Don) Bremmers¹, BA. Sc; R. (Ruben) Hetebrij¹, B.Eng; M. (Meghana) Kulhalli¹, B. Arch; M. (Marc) Scholman¹, BA. Sc.; dr. H. (Hamid) Montazeri²

1. Study Association Building Physics and Services Mollier, Eindhoven University of Technology, Eindhoven

2. Eindhoven University of Technology, Department of the Built Environment, Eindhoven.

Urban Heat Island Effect: Chicago's way

Voor de jaarlijkse studiereis van de studievereniging Mollier, reisde een groep van 20 Master studenten 2 weken naar Chicago, waar ze, naast het verkennen van de stad van de Cubs, ook verschillende onderwerpen verkenden die relevant zijn voor de Master Building Physics and Services (Eindhoven University of Technology). Een groep van 4 personen bekeek het effect van het stedelijk hitte-eiland (ofwel Urban Heat Island, UHI) en hoe dit Chicago en zijn stedelijk microklimaat kan beïnvloeden. Dit artikel gaat vooral in op de maatregelen die Chicago treft om de effecten van het UHI tegen te gaan en parallellen te trekken met gerelateerd lopend onderzoek en de implementaties ervan in Nederland.

Een Urban Heat Island (UHI) is een gebied waar de temperatuur aanzienlijk hoger is dan in de directe omgeving, wat veroorzaakt kan worden door verstedelijking en invloeden van andere menselijke activiteiten. Door de veranderingen in het klimaat, verstedelijking en de toenemende dichtheden is het UHI een steeds belangrijker onderwerp geworden. Hoe pakken ze dit aan in een stad als Chicago en in hoeverre blijven deze problemen bestaan in Nederland? Dit zijn enkele vragen die we tijdens onze reis naar Chicago probeerden te onderzoeken. Er wordt een vergelijking gemaakt om een inzicht te krijgen in de verschillen tussen Chicago en Nederland. Een aantal maatregelen op een nationale, gebouw en menselijke schaal worden getoond, samen met onze persoonlijke ervaringen van Chicago, afsluitend met trends en toekomstig onderzoek.

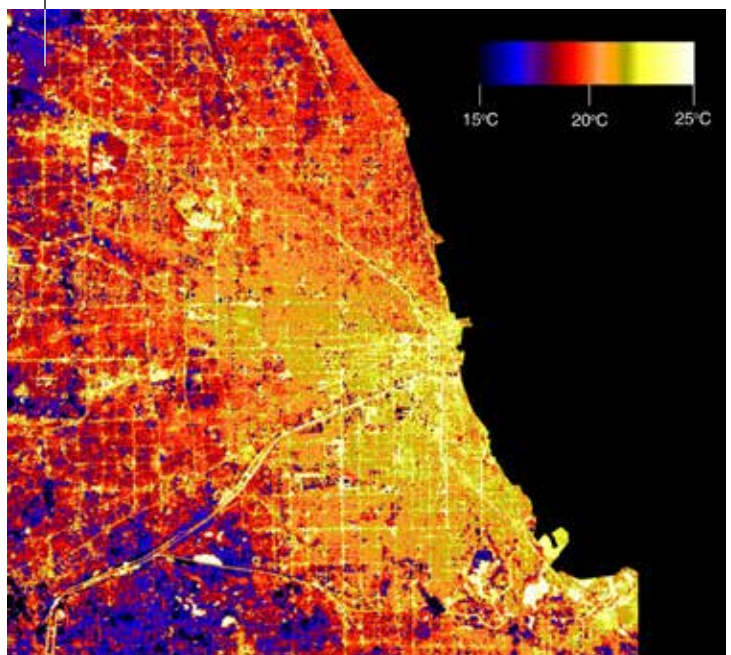
Vergelijking tussen Chicago en Eindhoven

Om Chicago te vergelijken met Nederland gebruiken we de stad Eindhoven. Zo is Chicago een

dichtbevolkte stad, ongeveer 4926 inw./km², met veel hoogbouw in de binnenstad, waarbij het stadspatroon een rastersysteem volgt zoals vele steden in de VS. Het is een zeer gestructureerde lay-out, waarbij veel van de gebouwen gebouwd zijn op vierkante voetafdrukken. Dit leidt tot een hogere verhouding van perfect uitgelijnde gevels. In een warmtekaart van Chicago, zie figuur 1, is een temperatuurverschil van ongeveer 10°C zichtbaar tussen het stadscentrum en de buitenwijken. De bouwdichtheid en de structuur kan een rol spelen met het opsluiten van de warmte binnen de stad Chicago.

De stad Eindhoven heeft een lay-out met een onregelmatigere structuur. Dit is normaal voor Europese steden. De stad heeft een lagere bevolkingsdichtheid, ongeveer 2564 inw./km². Voor zover bekend, is er geen UHI gerelateerde kaart gemaakt voor de stad Eindhoven. Tijdens een grote Europese hittegolf in 2006 documenteerde TNO wel de oppervlaktetemperaturen door middel

Figuur 1: Hite kaart van Chicago gedurende de nacht 13-08-2007 [1]



van satellietbeelden [2]. Voor Eindhoven werd overdag een temperatuurverschil van 4.4°C gevonden in vergelijking met de landelijke gebieden rond Eindhoven. 's Nachts was dit ongeveer 3.8°C. Voor sommige Nederlandse steden kunnen de temperaturen overdag oplopen tot 9°C, maar gemiddeld is dit voor de 73 grootste steden 2.9°C.

In Chicago lijkt de gestructureerde lay-out het UHI te versterken, omdat er 's nachts warmte in de vorm van infraroodstraling wordt afgegeven. Deze wordt vervolgens weer opgenomen door gebouwen aan de overkant van de straat. Dit kan leiden tot een langzamere afkoeling van de stad [3]. Niettemin is de lay-out van het raster geen strikt negatieve factor, omdat het in koude seizoenen gunstig kan zijn om warmte te behouden. Het kan echter tijdens de zomers tot ongewenste temperatuurstijgingen leiden.

Hitte-eilandeffecten

De effecten van het UHI hebben gevolgen op verschillende schaalniveaus, op stedelijk-, gebouw- en menselijk niveau. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op een aantal van deze effecten. Het UHI veroorzaakt een temperatuurstijging binnen een stedelijk gebied, zeker bij windstille situaties. Dit is meestal ongewenst en kan zorgen voor verminderde nachtelijke koeling, verder gaat deze stijging meestal gepaard met hogere luchtverontreinigingsniveaus die zorgt voor de absorptie en reflectie van de uitgaande infrarode straling [4]. Dit alles heeft een impact op de gezondheid van de mens. De hogere temperaturen en vervuilde lucht dragen bij aan algemeen ongemak, ademhalingsmoeilijkheden, hittekramp en uitputting, niet-fatale hitteberoerte en hitte gerelateerde sterfte [5].

Naast de effecten op mensen is ook aangetoond dat een verhoogde temperatuur in het stedelijk microklimaat ook impact heeft op de prestaties van het gehele gebouw. Zo wordt het energieverbruik bij actieve koeling en het binnenklimaat van het gebouw beïnvloedt. Het UHI kan bijvoorbeeld invloed hebben op de COP van airconditioners of warmtepompen. Onderzoek door Meggers et al. [6] toont een potentieel verhoogd energieverbruik van ongeveer 7% tot 47% als gevolg van de stijging van de omgevingstemperatuur rond airconditioners in New York. Vergelijkbare resultaten komen uit het onderzoek van Gracik et al. [7] welke aantoont dat airconditioners op het dak in stedelijke gebieden kunnen leiden tot een COP-daling van maximaal 17% door de beschikbare luchttemperatu-

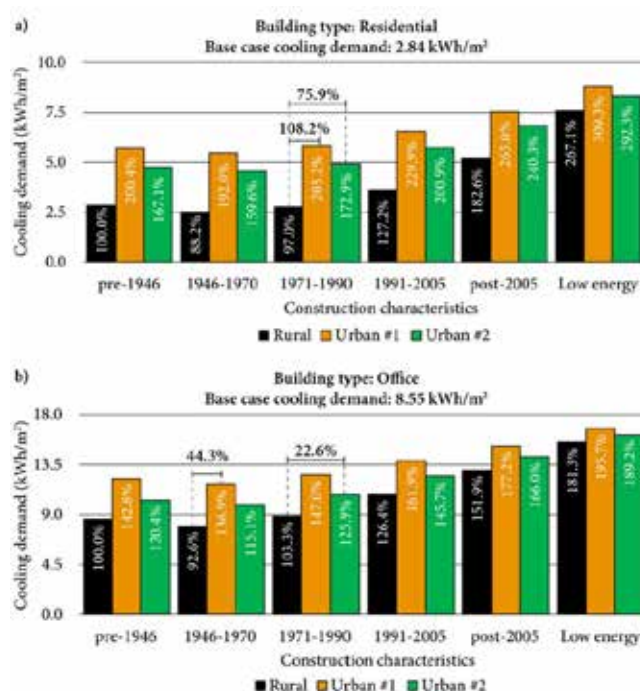
ren. En dat voor raam unit airconditioners op de bovenwindse wanden dit een afname van meer dan 16% is, voor koelsystemen op de windluwe zijde zijn de invloeden niet significant.

De vraag naar zomerkoeling is hoger door het UHI. Dat betekent dat voor elke 0,6 °C verhoging van de luchttemperatuur buiten, de energieconsumptie van de gebouwinstallaties in middelgrote en grote steden stijgen met naar schatting 1.5-2% [5]. Het is echter afhankelijk van verschillende factoren, zoals wordt aangetoond in het onderzoek van Toparlar [8], daar is te zien dat er verschillen zijn op basis van het bouwtype, de locatie en het bouwjaar, zoals te zien in figuur 2.

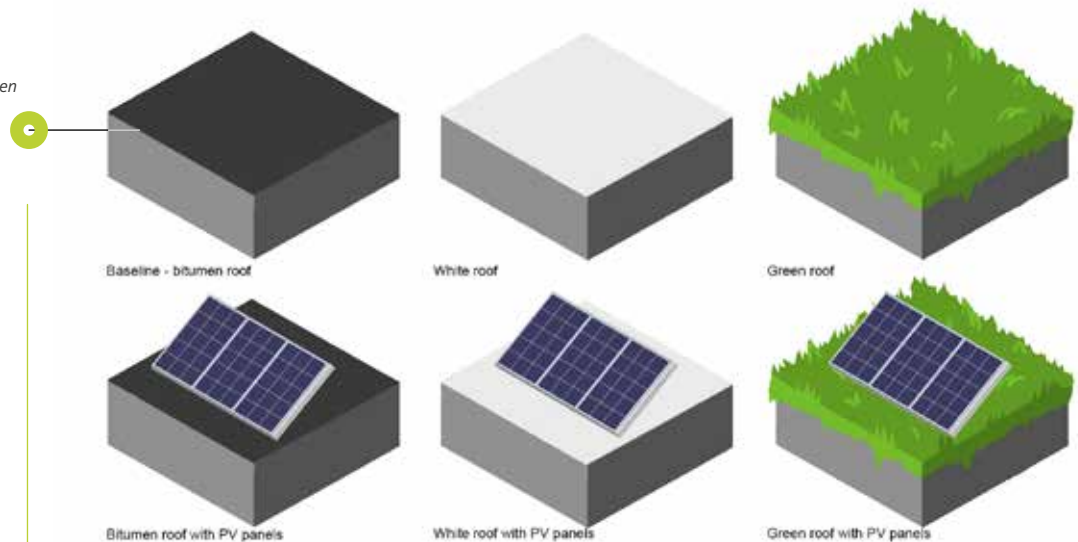
Door het UHI is een van de positieve effecten dat er tijdens de koelere periodes minder verwarming nodig is. Echter, met de aankomende energietransitie zullen veel van de gebouwen worden omgezet in energiezuinige gebouwen. Dankzij passieve verwarmingsstrategieën, zoals verbeterde thermische isolatie en een luchtdichte schil, zal de warmtebehoefte afnemen, waardoor de koelvraag kan stijgen. Momenteel gebruiken er nog niet veel gebouwen in Nederland actieve koeling, maar dat zal dus in de toekomst kunnen veranderen.

De energievraag en comforttemperatuur is gebaseerd op weergegevens die meestal worden verkregen van meteorologische stations buiten de stadsgrenzen. De kans dat er een verkeerde

Figuur 2: BES resultaten voor de koelvraag van een woon en kantoorgebouw met verschillende karakteristieken. In Antwerpen [8]



Figuur 3: Verschillende dak maatregelen



aanname wordt gedaan in deze berekening, is dus groot. Onderzoek door Burleyson et al. [9] heeft aangegeven dat het gebruik van weergegevens van stations die het lokale klimaat niet nauwkeurig weergeven. Dit kan leiden tot een verkeerde inschatting van de koellast tot maximaal 13,5% tijdens de zomer. Als er juiste lokale weer- en klimaatbestanden - die ook rekening houden met het microklimaat - worden gebruikt moet de veiligheidsfactor, die gewoonlijk bij de dimensionering van installaties wordt overwogen, wellicht aangepast worden. Deze nauwkeurigheid kan over-dimensionering van installaties voorkomen, wat op zijn beurt kosten kan besparen. Het wordt daarom aanbevolen om rekening te houden met het stedelijke microklimaat voor het ontwerp van installaties.

Op een stedelijk niveau kan hittestress door het UHI een impact hebben op de levendigheid van het openbare leven binnen een stad. Door de verhoogde temperaturen gaan mensen minder snel naar buiten. Daarnaast kunnen de verhoogde temperaturen de hoeveelheid regen binnen de regio beïnvloeden [10].

Het UHI heeft dus invloed op de gezondheid en het welzijn van de bewoners van de stad, energieconsumptie, uitgestoten broeikasgassen, algemene leefbaarheid en levendigheid van de stad. Dit zijn belangrijke redenen om het UHI in kaart te brengen waar dit nog niet is gebeurd en eventuele maatregelen te nemen.

Maatregelen

Om het effect van het UHI te beperken, kunnen maatregelen op verschillende schaalniveaus worden geïmplementeerd, variërend van een gebouw tot een stedelijke schaal.

Maatregelen voor gebouwen

Een van de meest voorgestelde maatregelen voor gebouwen is het gebruik van koele, hoog reflecterende (zoals PV) of groene daken. Hoewel het mogelijk is om dit in Nederland te implementeren, moet er een compromis worden gesloten over het dakoppervlak dat kan worden gebruikt voor het installeren van PV-panelen, aangezien de afhankelijkheid van zonne-energie om gebouwen energieneutraal te maken hoog is. Er zijn verschillende onderzoeken gedaan waarbij men de effecten van verschillende daktypes met of zonder PV-panelen heeft onderzocht [11], [12], [13], [14]. Uit de meeste van deze onderzoeken kwam naar voren dat de grootste vermindering van warmteafgifte vanaf het dak is door witte daken te implementeren. Daarna groene daken, waarna bitumen of betonnen daken met PV-panelen de meeste vermindering hebben. Bij deze vergelijkingen worden elektriciteitsopbrengsten van de PV-panelen niet meegerekend.

Stedelijke maatregelen en studies

Om het UHI in de hele stad te verminderen, kunnen verschillende maatregelen worden geïmplementeerd. Een voorbeeld in de stad kan zijn in de vorm van verdamping, die wordt veroorzaakt door een grote hoeveelheid stedelijk groen, zoals stadsparken [15]. Ook het verminderen van de absorptie van zonnestraling door oppervlakken, [15]. Dit wordt voornamelijk gedaan door wegen lichter te schilderen om daarmee het albedo te vergroten, maar dit is geen algemeen geïmplementeerde oplossing. Verder kunnen ook grote waterlichamen worden onderzocht. Hoewel deze lichamen als een koelplaat fungeren, wordt de nachtkoeling in de nazomer verlaagd als gevolg van hogere wateroppervlaktetemperaturen [16]. Een potentieel kan nog steeds worden gevonden in stromend water zoals kunstmatige

rivieren of het transport van de warmte door de wind terwijl windtunnels worden vermeden [17].

De stad Chicago staat bekend als een zeer groene en leefbare stad. De stad heeft geprobeerd weerstand te bieden aan de gevolgen van klimaatverandering. Er werd een "Chicago Climate Action Plan" gevormd met de hulp van meerdere belanghebbenden, waarin ze een systematisch plan opmaakten. Dit initiatief hielp hen om te analyseren hoe het klimaat in Chicago naar verwachting zal veranderen en nader in te gaan op de oorzaken en maatregelen die moeten worden genomen om de situatie te verminderen. In dit actieplan leggen ze 5 verschillende strategieën uit om de effecten van het UHI tegen te gaan. Hierin zijn de belangrijkste onderwerpen, energie-efficiënte gebouwen, schone en hernieuwbare energiebronnen, verbeterd transport, vermindering van afval en industriële vervuiling en aanpassingsstrategieën.

Door het "Chicago Climate Action Plan" zijn er regels opgesteld om het UHI tegen te gaan. Hierdoor werd er meer groen geplant en de belangrijkste aanpassing was de regelgeving rondom daken. Sinds 2001 moeten alle dakoppervlakken in Chicago voldoen aan de reflecterende dak normen volgens de Chicago Energy Conservation Code [18]. De enige daken die niet hoeven te voldoen aan deze reflectienormen zijn daken met een dakterras, of vegetatiedak. Dit in verband met een uitgebreid of intensief groen dak, zoals gedefinieerd door het agentschap voor volksgezondheid van de VS (USEPA), of door fotovoltaïsche en zonne-energie-apparatuur. Verder mag het dakterras maar 1/3 van het totale dakoppervlak zijn. De reflectiefactor verschilt op basis van de helling van het dak.

Na 15 jaar implementatie van de verordening zijn de volgende conclusies getrokken [19]: het grootste deel van de toegenomen dak reflectiviteit in Chicago heeft mogelijk de stedelijke temperaturen verlaagd als gevolg van de nieuwe voorschriften voor reflecterend dak en door nieuwe energie-efficiënte bestemmingsplannen. Tijdens de testperiode bleek deze methode het meest succesvol te zijn geweest qua temperatuurverlaging. Groene daken en reflecterende trottoirs lijken de minst effectieve methoden te zijn geweest voor het verlagen van stedelijke temperaturen, althans op de manier waarop de overheid ze heeft geïmplementeerd. In bepaalde stadsblokken zijn bomen in de

straten en tuinen geplant. Dit is een veelbelovende aanpak, maar groot-schalige inspanningen zullen nodig zijn om hele buurten te koelen. Het koelen van de stad met groene ruimte is mogelijk, maar vereist meer dan het plaatsen van gras of een paar bomen. Door simpelweg kleine hoeveelheden vegetatie toe te voegen, zoals in Chicago is gedaan, koelt het gebied niet significant af. Er is een omvangrijkere aanpak nodig om de gewenste effecten te produceren.

In Nederland zijn er verschillende studies en metingen geweest in verschillende steden die de toenemende temperatuur in de stedelijke omgeving bewijzen. Hierin is onderzocht welke maatregelen nodig zijn om het UHI-effect te verminderen. Een uitvoerig onderzoek in Nederland werd uitgevoerd door het consortium Climate Proof Cities (CPC) [20]. Het CPC had tot doel het aanpassingsvermogen te vergroten en de kwetsbaarheid van het systeem van stedelijke klimaatverandering te verminderen.

De CPC-publicaties tonen een lijst met maatregelen op verschillende schalen die het best kunnen worden toegepast tegen hittestress veroorzaakt door het UHI. Op gebouwniveau zijn zonwering en ventilatie de meest effectieve maatregelen, maar ook de juiste oriëntatie en meer tuinen hebben effect. Vervolgens wordt als laatste optie actieve koeling toegepast. Kleinere effectieve maatregelen zijn het verbeteren van de albedo, een groene façade of thermische massa toevoegen met behulp van een groen dak.

Op straatniveau zijn bomen, door schaduw en lokale evapotranspiratie, en verneveling de meest effectieve maatregelen. Waarna groene gevels, daken en tuinen, lichte daken en het veranderen van de hoogte-, breedteverhouding van de straten als de meest effectieve maatregelen worden aangemerkt.

Het CPC-onderzoek heeft zich gericht op maatregelen ter voorkoming of beperking van hittestress en overstromingen als gevolg van extreme regenval. De resultaten wijzen op de kwetsbaarheid van kleine en grote Nederlandse steden voor de effecten van klimaatverandering. Dit varieert binnen de stedelijke gebieden. Dat betekent dat het vergroten van de klimaatbestendigheid van steden het meest efficiënt kan worden gedaan door relatief kleine en lokale maatregelen te nemen.

Eigen ervaringen

Een van de ervaringen met betrekking tot hoe het is om in een stad te leven met UHI beperkende voorschriften, is dat het best verblindend is. Als je op een van de hogere verdiepingen woont, kunnen de schitteringen van de reflecterende daken in de buurt redelijk ongemakkelijk zijn. Verder is de hele stad een stuk helderder tijdens zonnige dagen. Dit is niet alleen beperkt tot de horizontale dakoppervlakken, de verticale glazen gevels die de straten in glasplaten bedekken, vooral in het centrum, veroorzaken ook ongemak door de reflecties van de zon in oneven hoeken op verschillende uren van de dag.



Figuur 4: Zicht op het centrum van Chicago vanaf de Hancock-toren

waren ook meteen merkbaar; het was een stuk koeler zoals ook te zien is bovenin figuur 1. De voorschriften voor groendaken zijn ook bindend voor nieuwe gebouwen in deze buitenwijk, waarvan het theater een van de nieuwste aanwinsten is. We merkten dat de beschikbare dakoppervlakken bedekt waren met terrastuinen of een dakterras, en het bovenste dak de luchtbehandelingsinstallaties had. We vroegen ons wel de noodzaak van de dakverordeningen in buitengebieden met lage dichtheid af, aangezien er al veel groen op grondniveau is.

Vanuit een van de hogere gebouwen, de Hancock-toren, konden we de verschillende soorten daken zien; sommige hadden groene daken, terwijl de meeste installaties hadden gekoppeld aan een reflecterend dak. Verder was er te zien dat in het centrum van Chicago, door de hoogbouw, het totale dakoppervlak van de gebouwen vrij klein is in vergelijking met het totale bouwvolume. De ware impact van de dak-reflectie regelgeving of het groene dak is twijfelachtig, aangezien de helft van de daken ook nog installaties heeft. Voor steden als Chicago kan dit betekenen dat er misschien regelgeving voor de gevels zou moeten komen.

In Eindhoven of andere Nederlandse steden zal dit soort regelgeving waarschijnlijk meer potentie hebben, aangezien er meer laagbouw is. Vanwege de verhouding tussen hoogte en breedte zal de impact van het dak groter zijn in Nederlandse steden dan die in Chicago.

Een andere ervaring was ons bezoek aan een noordelijke buitenwijk van Chicago, namelijk Glencoe. Hier bezochten we het "Writer's Theatre". Het overduidelijke gebrek aan hoogbouw en dicht opeengepakte buurten betekende automatisch meer open ruimtes en de daaropvolgende toename van de hoeveelheid groen. De temperatuurverschillen tussen de stad en de buitenwijken

Trends en ontwikkelingen op de markt

In een gesprek met verschillende adviseurs kwam naar voren dat in de Verenigde Staten "commissioning" een groeiende trend is. Adviseurs of bedrijven worden ingehuurd door bouwers en ontwikkelaars om het ontwerp, de constructie, de installatie en de overdracht van de projecten te overzien. Als er gevraagd wordt naar de bereidheid van ontwikkelaars om duurzame technologische systemen voor HVAC, verlichting enz. toe te passen kwam er naar voren dat dit sterk afhankelijk is van het vermogen van de adviseurs om de ontwikkelaars te overtuigen van de voordelen, en ze echt in vertrouwen nemen en vervolgens dergelijke technieken voorstellen. Er wordt weinig initiatief getoond aan de kant van de ontwikkelaars bij de implementatie van duurzaamheidsmaatregelen. Verder als

Figuur 5: Bezoek aan de Writer's Theater in de buitenwijken van Chicago



het financieel niet verantwoord is, wordt het bijna nooit overwogen. Ook staan geld en winst centraal in veel van de beslissingen die in de sector worden genomen. Als het systeem werkt zoals het nu is, is er nauwelijks behoefte om het te veranderen.

De voorschriften die in Illinois worden gevolgd, verschillen van die in een naburige staat zoals Indiana of Wisconsin waar bijvoorbeeld oudere bouwbesluiten gelden. Vanwege deze variaties zijn de adviseurs vaak gedwongen om te voldoen aan het verouderde bouwbesluit, omdat 'dat is het enige dat wordt gevraagd, waarom meer doen' en dus gebouwen achterblijven in verbeterde technologische toepassingen. Vooruitstrevende duurzaamheidsmaatregelen komen zelden voor. De onroerendgoedmarkt wordt grotendeels gedreven door geld, vooral in grote grootstedelijke steden als Chicago.

Voor het UHI geldt dat particuliere partijen weinig interesse tonen om iets te doen. Naast regelgeving die een initiatief van de overheid zelf is, zijn er wel lokale organisaties die zich bezighouden met het verzamelen van gegevens, het verspreiden van bewustzijn over de klimaatverandering en actief bezig zijn, met bijvoorbeeld het planten van meer groen, in de hoop op een betere toekomst.

In Nederland is de bouwpraktijk niet heel veel anders, behalve dan dat met de gehele energietransitie er al veel gedaan wordt aan het verduurzamen van de bebouwde omgeving en opdrachtgevers zelf soms ook al met vooruitstrevende eisen komen. Daarentegen als er wat gedaan zal moeten worden aan het UHI in Nederland zal dit ook door een top down benadering moeten worden gedaan. Waar-

bij door middel van regelgeving of door implementatie van de overheid het probleem moet worden opgelost.

Conclusies

Bij het vergelijken van de resultaten tussen Chicago en Nederland kan men zeggen dat, omdat de effecten van het UHI een grotere impact heeft in Amerikaanse steden, er ook meer directe maatregelen zijn genomen. De lagere gebouwen en het groen binnen de Nederlandse steden zorgen ervoor dat de impact van het UHI lager is. Indirect heeft Nederland wel regelgeving tegen het UHI, en dat uit zich in de vorm van energiebesparende maatregelen en maatregelen tegen luchtvervuiling, waardoor ook de effecten van het UHI lager worden.

Na 15 jaar implementatie van de maatregelen in Chicago is te concluderen dat het dakbeleid en vergroeningsmaatregelen inderdaad voor een kleine vermindering van het UHI-effect heeft. Er zijn wel nog verbeterpunten, zoals meer groen of façadegroen toepassen in de stad. Men zou dezelfde maatregelen ook kunnen toepassen in Nederland alleen verschillen het klimaat en de stedelijke structuur enorm.

Verder is het belangrijk voor installatieontwerpers om klimaatdata van binnen de stad te gebruiken of tenminste rekening te houden met de verhoogde temperaturen. Op deze manier kan men een gezond en energiezuinig binnenklimaat te creëren.

Hoewel in Nederland het probleem van UHI minder dringend is, moet ervoor gezorgd worden dat de situatie ook onder controle blijft. Hierin zal de overheid waarschijnlijk het initiatief moeten nemen, maar ook het bedrijfsleven, burgers en u als lezer kunnen een rol hierin spelen. Dit kan gebeuren onder andere door maatregelen die zijn beschreven in de CPC-publicaties, toe te passen op de verschillende schaalniveaus.

Referenties

1. C. Mackey, R. Smith en X. Lee, „Evaluating Chicago's Urban Heat Island Policy with Remote Sensing,” Yale, 30 September 2010. [Online]. Available: <https://surfaceheat.sites.yale.edu/evaluating-chicagos-urban-heat-island-policy-remote-sensing>. [Geopend 28 May 2018].
2. E. J. Klok, S. Schaminée, J. Duyzer en G. J. Steeneveld, „De stedelijke hitte-eilanden van Nederland in kaart gebracht met satellietbeelden,” TNO, Utrecht, 2012.
3. J. Sobstyl, T. Emig, M. Qomi, F. Ulm en R. Pelling, „Role of City Texture in Urban Heat Islands at Nighttime,” *Physical Review Letters*, vol. 108701, nr. 120, pp. 1-6, 2018.
4. KNMI, „Warmte-eilandeffect van de stad Utrecht,” KNMI, November 2010. [Online]. Available: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/warmte-eilandeffect-van-de-stad-utrecht>.
5. EPA, „Heat Island Impacts,” 20 06 2017. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-impacts>.
6. F. Meggers, G. Aschwanden, E. Teitelbaum, H. Guo, L. Salazar en M. Bruehlisauer, „Urban cooling primary energy reduction potential: System losses caused by microclimates,” vol. 27, pp. 315-323, 2015.
7. S. Gracik, M. Heidarinejad, J. Liu en J. Srebic, „Effect of urban neighborhoods on the performance of building cooling systems,” vol. 90, nr. August 2015, 2014.
8. Y. Toparlak, „A multiscale analysis of the urban heat island effect from a city,” Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2018.
9. C. Burleyson, N. Voisin, T. Taylor, Y. Xie en I. Kraucunas, „Simulated building energy demand biases resulting from the use of representative weather stations,” *Applied Energy*, vol. 209, pp. 516-528, 2018.
10. J. Han, J. Baik en H. Lee, „Urban impacts on precipitation,” *Asia-Pacific Journal of the Atmospheric Sciences*, 2013.
11. S. Keetels, „PV-panelen reduceren het Urban Heat Island,” TU Delft, 2017.
12. F. Salamanca, M. Georgescu, A. Mahalov, M. Moustauoui en A. Martilli, „Citywide Impacts of Cool Roof and Rooftop Solar Photovoltaic Deployment on Near-Surface Air Temperature and Cooling Energy Demand,” vol. 161, nr. 1, 2016.
13. A. Scherba, D. Sailor, T. Rosenstiel en C. Warner, „Modeling the Impact of Roof Reflectivity, Integrated Photovoltaic Panels and Green Roof Systems on the Summertime Heat Island,” vol. 46, nr. 12, 2011.
14. H. Takebayashi en M. Moriyama, „Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island,” vol. 42, nr. 8, 2007.
15. H. Akbari en D. Kolokotsa, „Three Decades of Urban Heat Islands and Mitigation Technologies Research,” vol. 133, 2016.
16. G. Steeneveld, S. Koopmans, B. Heusinkveld en N. Theeuwes, „Refreshing the Role of Open Water Surfaces on Mitigating the Maximum Urban Heat Effect,” vol. 121, 2014.
17. M. Santamouris, N. Papanikolaou, I. Livada, I. Koronakis, C. Georgakis, A. Arigirou en D. Assimakopoulos, „On the Impact of the Urban Climate on the Energy Consumption of Buildings,” vol. 70, nr. 3, 2001.
18. American Legal Publishing Corporation, „Chapter 18-13, Energy Conservation,” American Legal Publishing, 14 9 16. [Online]. Available: [http://library.amlegal.com/nxt/gateway.dll/illinois/chicago_il/municipalcodeofchicago?f=templates\\$fn=default.htm\\$3.05vid=amlegal:chicago_il](http://library.amlegal.com/nxt/gateway.dll/illinois/chicago_il/municipalcodeofchicago?f=templates$fn=default.htm$3.05vid=amlegal:chicago_il).
19. C. Mackey, X. Lee en R. Smith, „Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island,” vol. 49, pp. 348-358, 2012.
20. V. Rovers, P. Bosch en R. Albers, „Eindrapport Climate Proof Cities 2010-2014,” Climate Proof Cities, 2016.