

UDK: 551.584.5:551.583.1(492.613)  
DOI: 10.5379/urbani-izziv-2018-29-01-001

Prejeto: 31. 12. 2017  
Sprejeto: 16. 2. 2018

Frank VAN DER HOEVEN  
Alexander WANDL

## »Hotterdam«: kartiranje družbenih, morfoloških in prostorskih vidikov rotterdamskega mestnega toplotnega otoka

Klimatologi napovedujejo, da bodo v prihodnjih desetletjih vročinski valovi na Nizozemskem pogostejši. Ob upoštevanju tega dejstva sta avtorja v raziskavi merila mestno toploto in oblikovala model energijske bilance površja v Rotterdamu. Na podlagi geografskega informacijskega sistema (GIS), 3D-modelov in satelitskih posnetkov sta podrobno določila družbene, morfološke in prostorske vidike mesta ter z uporabo hierarhične in multivariatne regresijske analize opredelila povezave med temperaturami in energijsko bilanco površja ter družbenimi, morfološkimi in prostorskimi vidiki. Izsledki raziskave so pokazali povezavo med učinkom mestnega toplotnega otoka in zdravjem ljudi v Rotterdamu, poleg tega sta avtorja statistično pojasnila tudi izjemno visoko umrlji-

vost ljudi, starih 75 let ali več, poleti 2006. Pomembno vlogo pri tem so imeli prostorska zgoščenost starejših prebivalcev, povprečna starost stavb, v katerih so živeli, ter skupni senzibilni in shranjeni toplotni tok. Vidiki, ki najbolj pojasnjujejo rotterdamski toplotni otok, so neprepustnost površja, indeks listne površine, stavbni ovoj, vodne površine in osenčenost. Avtorja sta jih predstavila na dveh t. i. temperaturnih kartah, na podlagi katerih se lahko določijo prednostne naloge pri izvajanju ukrepov prilagajanja podnebnim spremembam.

**Ključne besede:** mestni toplotni otok, morfologija, raba prostora, starejši, prilagajanje podnebnim spremembam, Rotterdam

## 1 Uvod

### 1.1 Okoliščine

Vročinski val v Evropi leta 2003 je bil prvo opozorilo. Vročina je avgusta še zlasti prizadela Francijo, kjer se je v pičlih dveh tednih nacionalni zdravstveni sistem popolnoma porušil, umrlo pa je več kot 14.000 ljudi. Samo v Parizu je zaradi vročine umrlo približno 5.000 ljudi, med katerimi so prevladovali starejši občani. Raziskave mest, kot sta Pariz in London, ki so bile opravljene v naslednjih letih, so pokazale, da mestni toplotni otoki pomembno vplivajo na udobje, aktivnost in zdravje prebivalcev (Mavrogianni idr., 2011). Študija Pariza je dala dragocen vpogled v to, kako lahko javno zdravstvo, družbeni dejavniki, stanovanjske razmere, okoljski dejavniki in mestni toplotni otoki vplivajo na večjo umrljivost v primeru hudega vročinskega vala (Vandentorren idr., 2006). Komisija londonske univerze in medicinske revije *Lancet* (ang. *UCL-Lancet Commission*) je mestne toplotne otoke označila za enega izmed glavnih izzivov pri oblikovanju zdravju prijaznih mest. V tem okviru je navedla, da so mesta kompleksni sistemi, v katerih imajo ključni pomen morfologija, raba prostora in prostorska lokacija (Rydin idr., 2012).

Zaradi mestnega toplotnega otoka je lahko mesto občasno toplejše kot njegova okolica, še zlasti ponoči. Pozimi ima to pozitiven vpliv, saj je v mestu manj hladno, tj. temperature niso tako ekstremno nizke, poleti pa se lahko zaradi toplotnega otoka poslabša zdravje mestnih prebivalcev, predvsem starejših. Pri tem je treba poudariti, da so vročinski valovi in mestni toplotni otoki omejeni na posamezna območja. Gre za regionalne pojave, ki prizadenejo lokalna območja. Vročinski val leta 2003 je imel uničujoče posledice za francoska mesta, nizozemska mesta Amsterdam, Rotterdam in Haag pa so se tej naravni nesreči izognila. Statistični podatki niso pokazali izrazitejšega povečanja umrljivosti v teh mestih, kar pa ne moremo trditi za vročinski val, ki je isto območje prizadel leta 2006. Julija 2006 so bile namreč evidentirane najvišje temperature v nizozemski zgodovini, za posledicami vročine pa je umrlo 1.000 ljudi. Ker so vročinski valovi regionalni pojavi, mesta pa kompleksni lokalni urbani sistemi, se raziskave vplivov mestnih toplotnih otokov običajno osredotočajo na samo eno mesto, zaradi česar jih lahko kvečjemu opišemo kot študije primera. Raziskava, ki sta jo avtorja pomenljivo poimenovala *Hotterdam* in je predstavljena v tem članku, je študija primera vpliva mestnega toplotnega otoka v Rotterdamu. Njen glavni poudarek je na družbenih, morfoloških in prostorskih vidikih mesta, ki prispevajo k vplivu mestnega toplotnega otoka, ta pa se med drugim kaže tudi v povečani umrljivosti starejših prebivalcev med vročinskimi valovi.

### 1.2 Pomen in nujnost raziskave

Predstavljena raziskava je pomembna in nujna zaradi treh vzporednih procesov: spreminjajočega se podnebja, starajočega se prebivalstva in stalne urbane rasti somestja Randstad Holland. Pričakuje se, da bodo omenjeni procesi v prihodnje okrepili morebitne vplive mestnih toplotnih otokov na družbo.

Leta 2014 je nizozemski kraljevi meteorološki inštitut (niz. *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*, v nadaljevanju: KNMI) objavil štiri scenarije prihodnjih podnebnih sprememb na Nizozemskem, ki vključujejo napovedi za leti 2050 in 2085. V skladu s temi scenariji inštitut napoveduje, da se bosta število vročih poletnih dni in verjetnost vročinskih valov povečala. Kakovost zraka naj bi se med vročimi poletji poslabšala in pojavijo se lahko daljša sušna obdobja. Zaradi višjih temperatur bo poleti umrlo več ljudi, vroča in problematična poletja pa bodo pogostejša kot zdaj (KNMI, 2014).

Nizozemski centralni statistični urad (niz. *Centraal Bureau voor de Statistiek*, v nadaljevanju: CBS) je izdal napoved glede rasti nizozemskega prebivalstva med letoma 2014 in 2060 (van Duin in Stoeldraijer, 2014). Do leta 2040 naj bi število ljudi, starih 65 let ali več, hitro naraslo z 2,9 na 4,8 milijona, nato pa naj bi se ustalilo pri dobrih 25 % celotnega prebivalstva. Po podatkih nizozemske okoljske agencije (niz. *Planbureau voor de Leefomgeving*, v nadaljevanju: PBL) in nizozemskega urada za gospodarske analize (niz. *Central Planning Bureau*, v nadaljevanju: CPB) se bo delež ljudi, starih 75 let ali več, še povečal (de Jong in Daalhuizen, 2014). Leta 2012 je delež prebivalcev v tej starostni skupini znašal 7,1 %, do leta 2040 pa naj bi se povečal na 14,5 %. Število ljudi, ki jih mestna vročina najbolj ogroža, se bo v naslednjih desetletjih podvojilo. Na razpolago je dovolj dokazov, na podlagi katerih lahko čezmerno umrljivost starejših prebivalcev pripišemo mestnim toplotnim otokom (Vandentorren idr., 2006; Heaviside idr., 2016).

Tudi skupno število prebivalstva v somestju Randstad Holland bo še naprej raslo. Po napovedih CBS in PBL (2011) naj bi se do leta 2025 povečalo za 700.000, med letoma 2025 in 2040 pa še za dodatnih 400.000 ljudi. Mesta na tem območju bodo najverjetneje imela manj zelenih površin in bodo postala manj prepustna, kar bi lahko okrepilo pojav mestnih toplotnih otokov (ozračja in površja) v mestih, kot so Amsterdam, Rotterdam in Haag.

### 1.3 Mestni toplotni otoki ozračja in površja

V okviru raziskave, predstavljene v tem članku, se mestni toplotni otoki ozračja nanašajo na razlike v temperaturi zraka med mesti in okoliškimi (zelenimi) območji. Te razlike lahko znašajo tudi do 10 °C, pojavijo pa se predvsem po sončnem zahodu. Podnevi so te razlike pogosto manjše. Čez dan se v mestu toplota kopiči v stavbah, pločnikih, vodnih površinah in tleh. Ko sonce zaide, mestno območje zaradi toplotne kapacitete in prevodnosti gradbenega materiala, ki se uporablja v grajenem okolju (zlasti betona in asfalta), to toploto oddaja počasi. V mestih ni naravnega hlajenja, ki ga običajno zagotavlja rastje, saj so pločniki in stavbe zamenjali večino prvotnih zelenih površin.

Mestni toplotni otoki površja se nanašajo na temperaturne razlike med posameznimi mestnimi površinami (in ne na razlike v temperaturi zraka): med strehami, prekritimi z bitumensko lepenko, in drevesnimi krošnjami, med pločniki in vodnimi površinami ipd. Te razlike so pogosto večje in se pojavljajo podnevi. Čez dan se prostorski vzorci mestnih toplotnih otokov površja in ozračja močno razlikujejo, ponoči pa se izenačijo, če je mestna površina edini še preostali vir toplote. Podatki o toplotnih otokih omogočajo boljše razumevanje energijskih procesov na mestnih območjih, ki se imenujejo tudi energijska bilanca površja (ang. *surface energy balance*; Harman, 2003).

### 1.4 Raziskovalna vprašanja

V raziskavi Hotterdam sta avtorja proučila učinek mestnega toplotnega otoka v Rotterdamu z vidika prilagajanja podnebnim spremembam. Ugotavljala sta, kateri novi vpogledi bi lahko pripomogli k temu, da bi se spremenilo obnašanje prebivalcev, da bi se izboljšala kakovost stavb in da bi se uvedle spremembe v grajenem okolju. Raziskavo je naročila mestna občina Rotterdam, ki je želela pridobiti podatke o obsegu vpliva urbanega toplotnega otoka v Rotterdamu, njegovih posledicah za prebivalce ter vlogi morfologije, rabe prostora in prostorske lokacije. V raziskavi sta avtorja obravnavala naslednja štiri vprašanja:

- Ali mestni toplotni otok vpliva na vse predele Rotterdamu enako ali na nekatere vpliva bolj kot na druge ter kateri so ti predeli?
- Ali obstaja povezava med mestnim toplotnim otokom v Rotterdamu in umrljivostjo starejših prebivalcev med vročinskimi valovi?
- Ali lahko razlike v vplivu mestnega toplotnega otoka med posameznimi mestnimi predeli pojasnimo z morfologijo mesta in rabo prostora?
- Ali družbeni, morfološki in prostorski vidiki mestnega toplotnega otoka oblikujejo jasne prostorske vzorce, na

podlagi katerih bi se lahko pri urbanističnem načrtovanju in upravljanju mesta uporabil pristop, ki se osredotoča na točno določeno območje?

## 2 Zgradba raziskave

Raziskava je bila razdeljena na tri glavne faze. V prvi fazi sta avtorja zbirala podatke o mestnem toplotnem otoku v Rotterdamu, o njegovih prebivalcih in stanovanjih ter o morfologiji mesta in tamkajšnji rabi prostora. V drugi fazi sta podatke obdelala in jih predstavila na kartah, ki sta jih oblikovala v programu ArcGIS, pri čemer sta za vse uporabila enako celično mrežo. V tretji fazi sta z multivariatno regresijsko analizo osnovnih številskih podatkov posamezne mrežne celice proučila povezave med mestno toploto, čezmerno umrljivostjo, morfologijo in rabo prostora. Na podlagi rezultatov regresijskih analiz sta nato izvedla klastersko analizo, s katero sta oblikovala t. i. družbeno in prostorsko temperaturno karto (ang. *heat map*). Posamezne faze so podrobneje predstavljene v nadaljevanju.

### 2.1 Zbiranje podatkov

V raziskavi so bili zbrani podatki o obsegu in jakosti mestnega toplotnega otoka, najbolj ogroženi skupini prebivalcev Rotterdamu (vključno z dejavniki, ki jih še dodatno ogrožajo), morfologiji mesta in rabi prostora.

Zgodovinskih podatkov o vremenu v raznih soseskah Rotterdamu ni. KNMI meritve tovrstnih podatkov izvaja na letališču Rotterdam-Haag, vendar samo na zahtevani razdalji od pozidanih območij. Čeprav ti podatki ne zadostujejo za opis temperaturnih razlik v mestu, sta avtorja na njihovi podlagi določila vročinski val, ki je julija 2006 močno vplival na zdravje starejših prebivalcev Rotterdamu.

Zaradi pomanjkanja natančnih temperaturnih meritev mnogi raziskovalci za natančnejše določanje mestnih toplotnih otokov uporabljajo metode daljinskega zaznavanja ali mobilnega zaznavanja množic (ang. *crowdsensing*). Dousset in Gourmelon (2003) sta kot prva začela uporabljati satelitske posnetke za ugotavljanje in prikaz mestnih toplotnih otokov. Dokumentirala sta pojav pariškega toplotnega otoka med vročinskim valom avgusta 2003 in te podatke primerjala s čezmerno umrljivostjo, na kar je močno vplival ta vremenski pojav (Dousset in Gourmelon, 2003; Dousset idr., 2011). Lee Chapman idr. (2017) so pred kratkim metodo mobilnega zaznavanja množic uporabili za proučevanje londonskega toplotnega otoka, pri čemer so uporabili podatke osebnih vremenskih postaj Netatmo (posebnih naprav, ki so povezane v internet stvari in jih uporabljajo posamezniki).



Slika 1: Vizualna predstavitev (zgodboris) raziskave (avtor: Frank van der Hoeven)

V raziskavi Hotterdam sta avtorja pridobila satelitske posnetke Landsat 5 in Landsat 8 iz spletne aplikacije EarthExplorer ameriške znanstvene agencije USGS ter vanje v postopku predobdelave vnesla geometrične in atmosferske popravke. Podobno kot satelitski posnetki Evropske vesoljske agencije so tudi posnetki Landsat prosto dostopni na spletu.

Julija 2014 sta avtorja z uporabo pristopa laične znanosti izmerila zunanjo in notranjo temperaturo v 1.000 domovih in na 300 javnih prostorih v Rotterdamu (van der Hoeven idr., 2014). Temperature so bile izmerjene s cenovno ugodnimi senzorji, ki se običajno uporabljajo v prevoznem sektorju: nalepkami PakSense UltraContact za spremljanje temperature. Senzorji prikazujejo temperaturo z natančnostjo  $\pm 0,5$  °C med delovanjem pri temperaturi od  $-10$  °C do  $30$  °C. Avtorja sta najela deset študentov, izmed katerih je vsak poiskal po sto posameznikov, ki so bili pripravljeni sodelovati pri merjenju. Vsak je obiskal pet izbranih ulic v dveh izbranih soseskah, pri čemer je moral na vsaki ulici najti deset udeležencev tako, da je spraševal od vrat do vrat. Študenti so vsakemu stanovalcu na kratko predstavili raziskavo in mu izročili senzor skupaj s preprostimi navodili. Stanovalci so morali senzorje namestiti v dnevno sobo, in sicer na mesto, ki ni bilo neposredno izpostavljeno soncu, in stran od naprav, ki oddajajo toploto (televizijskih sprejemnikov ali računalnikov). Po dveh mesecih so študenti znova obiskali stanovalce in pobrali senzorje. Če koga takrat ni bilo doma, so ga znova obiskali, če pa stanovalca tudi tretjič ni bilo doma, so mu pustili kuverto, v kateri je lahko

sam po pošti vrnil senzor. Senzorji so temperature merili od konca julija do sredine septembra 2014.

V istem obdobju sta avtorja na podlagi istovrstnih senzorjev merila tudi zunanjo temperaturo. Na vsako izmed stotih ulic sta namestila tri senzorje, torej sta pri merjenju uporabila skupno tristo senzorjev. Vsak senzor je bil opremljen z magnetkom, s katerim sta avtorja senzorje namestila na prometne znake dva metra nad tlemi, in sicer drugega za drugim na isti strani ulice. Senzorji so merili zunanjo temperaturo na istih ulicah, na katerih so stanovalci merili notranjo temperaturo. Tako sta lahko meritve med seboj primerjala.

Strokovnjaki za zbiranje in obdelavo podatkov mestne občine Rotterdam so avtorjema priskrbeli podatke iz različnih virov (uradov in organizacij):

- podatke o prebivalstvu iz rotterdamske občinske baze osebnih podatkov,
- podatke o rabi prostora iz rotterdamskega geografskega informacijskega sistema,
- podatke o prebivalstvu nizozemskega centralnega statističnega urada,
- dostop do digitalne karte nadmorskih višin za Nizozemsko (AHN),
- podatke o naslovih in stavbah iz posebne podatkovne baze, ki jo vodi občinski katastrski urad,
- dostop do digitalne topografske karte Nizozemske (TO-



Slika 2: Formula (a) in grafični prikaz energijske bilance površja (b) (avtor: Frank van der Hoeven)

Opombe:  $Q^*$ : neto sevanje,  $QE$ : latentni toplotni tok,  $QH$ : senzibilni toplotni tok,  $QS$ : shranjeni toplotni tok.

- P10NL) pri občinskem katastrskem uradu in podatke o energetski učinkovitosti stavb fundacije Bepaar Lokaal.

## 2.2 Obdelava in kartiranje podatkov

V programu ArcGIS sta avtorja izdelala geografsko podatkovno zbirko, v katero sta vključila vse pomembne informacije. Za vsak hektar v Rotterdamu oziroma za vsako mrežno celico, velikosti  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ , sta izdelala številske podatke za tretjo fazo raziskave (tj. multivariatne regresijske in klasterne analize). Uporabila sta najmanjšo prostorsko enoto, ki jo nizozemski centralni statistični urad uporablja za predstavitev demografskih podatkov, poleg tega je tudi ločljivost infrardečih podatkov, ki se uporablja na satelitskih posnetkih Landsat, dokaj podobna ( $120\text{ m} \times 120\text{ m}$ ). Manjša enota ne bi prinesla natančnejših rezultatov.

Avtorja sta v raziskavo vključila tudi geolocirane zdravstvene podatke, ki sta jih pridobila od občinskega statističnega urada. Uporaba zdravstvenih podatkov je pogosto otežena zaradi pomislekov glede kršitev zasebnosti, ker pa sta avtorja uporabljala

visoko prostorsko ločljivost z velikostjo celice  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ , jima ni bilo treba pridobiti ali prikazati zasebnih podatkov o posameznih prebivalcih. Ker nista razkrila zasebnih podatkov, sta lahko podatkovne nize shranila v obliki odprtih podatkov. Na koncu sta podatke prikazala v zbirki kart ali atlasu, pri katerem je bila ločljivost  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ .

### 2.2.1 Toplota

Na podlagi podatkov KNMI sta avtorja proučila najvišje povprečne junijske, julijske in avgustovske temperature med letoma 2000 in 2013, nato pa sta jih primerjala s številom smrti med prebivalci Rotterdama, starimi 75 let ali več (podatke sta pridobila od CBS), da bi ugotovila, med katerimi vročinskimi valovi je umrlo največ ljudi v tej starostni skupini.

Sredi septembra 2014 sta ob pomoči študentov pobrala 800 od 1.000 razdeljenih senzorjev. Dvesto prebivalcev, ki so sodelovali v raziskavi, ni bilo doma ali se niso odzvali na prošnjo, naj vrnejo senzorje po pošti. Poleg tega sta pobrala 200 od 300 senzorjev, ki sta jih namestila na javnih mestih. Preostalih sto senzorjev je izginilo. Ker sta avtorja pričakovala, da bo nekaj

senzorjev izginilo, sta na vsako ulico namestila po tri in tako je na koncu na vsaki ulici ostal vsaj eden. Podatke s senzorjev sta nato ročno vnesla v podatkovno zbirko, oblikovano v ArcGIS.

Za določitev temperature površja v mestu sta uporabila metodo daljinskega zaznavanja. V ta namen sta pridobila satelitski posnetek Landsat 5, ki ga je NASA naredila med hudim vročinskim valom leta 2006. Posnetek je bil narejen 16. julija in prikazuje stanje v Rotterdamu po izjemno močni akumulaciji toplote v tleh, vodnih površinah, pločnikih in stavbah. Na podlagi infrardečega pasu na posnetku (pas 6) sta avtorja določila temperaturo površja. Atmosferski popravek tega pasu sta naredila z Nasinim spletnim orodjem Atmospheric Correction Parameter Calculator (Barsi idr., 2005), nato pa sta vse skupaj pretvorila v obliko, ki prikazuje temperaturo površja (Yale Center for Earth Observation, 2010), pri čemer sta uporabila prosto dostopno spletno aplikacijo Evropske vesoljske agencije BEAM-VISAT (zdaj jo je nadomestilo orodje SNAP). Karto temperatur površja sta vključila v podatkovno zbirko ArcGIS.

Isti satelitski posnetek sta avtorja uporabila tudi za izdelavo modela energijske bilance površja. To bilanco sta določila z aplikacijo ATCOR2, ki so jo razvili v nemškem letalskem in vesoljskem centru, uporablja pa se za izdelavo posnetkov neto sevanja ter senzibilnih, latentnih in shranjenih toplotnih tokov. Neto sevanje je enako vsoti absorbiranega kratkovalovnega sončnega sevanja in dolgovalovnega sevanja ozračja minus dolgovalovno sevanje površja. Senzibilni toplotni tok se nanaša na sevanje, ki segreva zrak, latentni toplotni tok na energijo, ki omogoča evapotranspiracijo in izparevanje vodnih površin, shranjeni toplotni tok pa na sevanje, ki ogreva stavbe, vodne površine in tla. Karte vseh štirih opisanih dejavnikov sta avtorja vključila v podatkovno zbirko, izdelano v programu ArcGIS.

### 2.2.2 Družbeno-prostorski vidiki

Med vročinskimi valovi se umrljivost med starejšimi prebivalci, zlasti starejšimi od 75 let, poveča. Prostorska razpršenost starejših prebivalcev in mestne razmere, ki vplivajo na njihovo umrljivost, so v Rotterdamu zelo različne. Avtorja sta znova uporabila mrežo, sestavljeno iz celic, velikosti 1 ha, s katero sta oblikovala karte za prikaz:

- koncentracije prebivalcev Rotterdamu, starih 75 let,
- števila umrlih julija 2006 v starostni skupini 75 let ali več,
- povprečnega števila umrlih v isti starostni skupini julija v letih od 2000 do 2013,
- razlike med številom umrlih na hektar julija 2006 in povprečnim številom umrlih na hektar julija v letih od 2000

do 2013, kar je razkrilo, koliko ljudi več kot običajno je zaradi (mestne) vročine umrlo leta 2006.

Starost stanovanj in stopnja njihove toplotne izolacije deloma določata verjetnost prezgodnje smrti starostnikov (Vandentorren idr., 2006). Ker stanovanja dejansko delujejo kot filtri med notranjimi bivanjskimi razmerami in zunanji temperaturami, sta avtorja uporabila dva niza podatkov, ki bi lahko razkrila, kakšna je (energetska) kakovost stavb, v katerih ti ljudje živijo: podatke o energetske učinkovitosti in starosti stavb. Pri tem sta izračunala povprečje za vsak hektar.

### 2.2.3 Prostorski vidiki

Karti morfologije mesta in prostorske rabe sta temeljili na treh vrstah podatkov: podatkih tridimenzionalnega modela Rotterdamu, satelitskih posnetkih in podatkih iz občinskega geografskega informacijskega sistema.

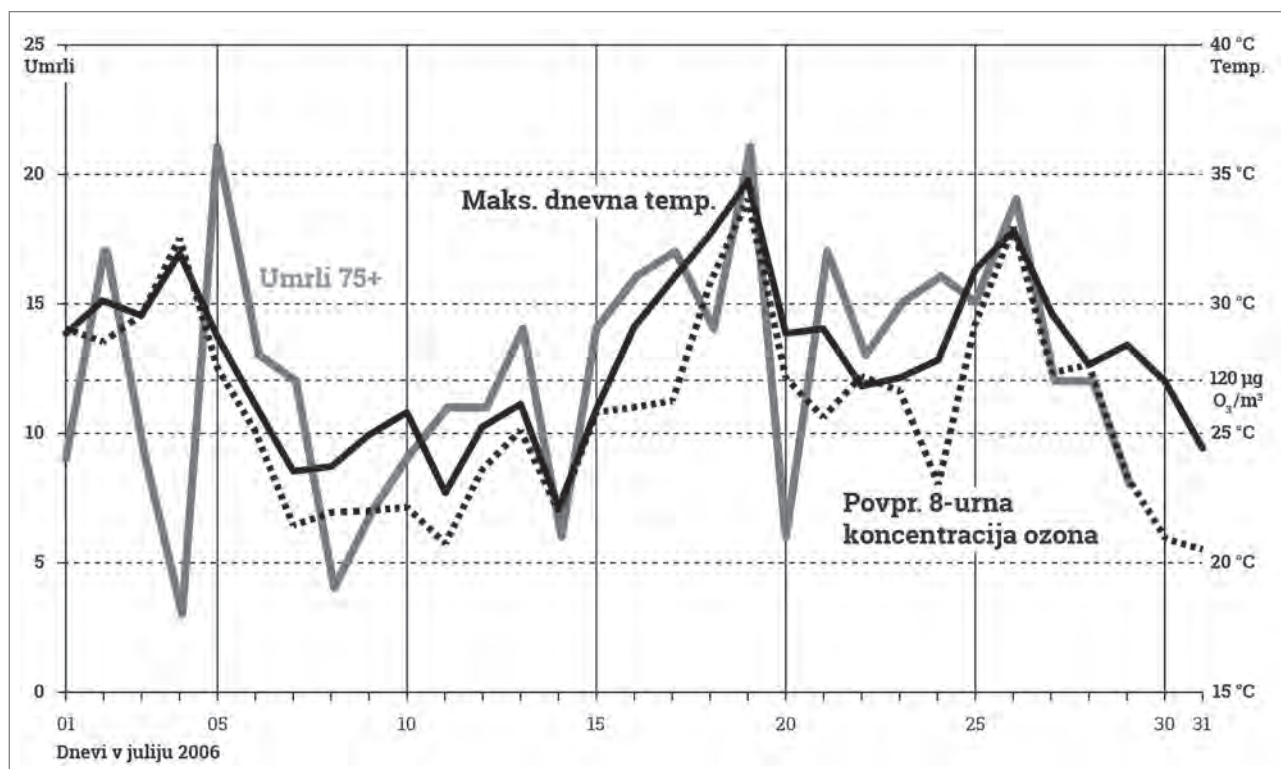
Stopnjo neprepustnosti površja kot vodilnega vzroka mestnega toplotnega otoka sta avtorja določila s posebno obdelavo satelitskih posnetkov: ločevanjem spektrov (ang. *spectral unmixing*). Pri analizi Rotterdamu sta uporabila satelitski posnetek Landsat 5 (TM), ki ga je Nasa naredila 16. julija 2006, in posnetek Landsat 8 (OLI), narejen 22. julija 2014. Koeficient odbojnosti (albedo) površja, normalizirani diferencialni vegetacijski indeks NDVI in indeks listne površine sta izračunala z aplikacijo ATCOR2. NDVI in indeks listne površine sta stranska proizvoda atmosferskih popravkov v tej aplikaciji. Delež vodnih površin pa sta izračunala na podlagi karte TOP10NL.

Indeks stavbnega ovoja, stavbni volumen, delež vidnega neba in osenčenost so bili izračunani na podlagi tridimenzionalnega modela, ki je temeljil na podatkih o nadmorskih višinah AHN-2. Avtorja sta stavbni volumen obravnavala kot kazalnik zmoglosti shranjevanja toplote, za indeks stavbnega ovoja (tj. skupne površine streh in fasad na hektar) pa sta domnevala, da lahko pojasni izmenjavo toplote med stavbami in njihovo okolico. Delež vidnega neba sta izračunala s posebno kodo, ki so jo razvili raziskovalci pri ZRC SAZU (Zakšek idr., 2011).

Na podlagi zgoraj opisanega sta avtorja izdelala karte neprepustnih površin, vodnih površin, albeda površja, rastlinstva (NDVI in indeksa listne površine), osenčenosti, deleža vidnega neba, stavbnega volumna in stavbnega ovoja. Vse karte sta vključila v podatkovno zbirko ArcGIS, na njih prikazane podatke pa sta pretvorila v koeficiente, deleže (v odstotkih) in številske vrednosti na hektar.

**Preglednica 1:** Povprečne najvišje temperature in število umrlih, starih 75 let ali več, med poletjem 2006 in povprečne poletne vrednosti za obdobje 2000 – 2013

Leto	Junij		Julij		Avgust	
	Povprečna najvišja temperatura	Št. umrlih, starih 75 let ali več	Povprečna najvišja temperatura	Št. umrlih, starih 75 let ali več	Povprečna najvišja temperatura	Št. umrlih, starih 75 let ali več
2006	21,3 °C	308	27,8 °C	385	20,5 °C	293
povprečje za celotno obdobje 2000 – 2013	20,7 °C	298	22,4 °C	310	22,3 °C	292

**Slika 3:** Vročni val leta 2006 v Rotterdamu, število umrlih, starih 75 let ali več, najvišje dnevne temperature (v °C) in koncentracija ozona (vir: van der Hoeven in Wandl, 2015c)

### 2.3 Multivariatna regresijska analiza in klasterška analiza

Vettorato (2010) je kot prvi proučil povezavo med morfologijo in prostorsko rabo ter temperaturo površja na podlagi metode daljinskega zaznavanja, multivariatne regresijske analize in geografskega informacijskega sistema. Avtorja sta se pri zasnovi raziskave Hotterdam zgledovala po njegovi študiji italijanskega mesta Trento.

Z multivariatno in hierarhično regresijsko analizo sta določila povezave med toploto (energijsko bilanco površja in temperaturami) in družbeno-prostorskimi vidiki. V prvi fazi sta analizirala, kateri kazalnik temperatur in energijske bilance površja bi lahko najboljše pojasnil čezmerno umrljivost ljudi, starih 75 let ali več, v Rotterdamu julija 2006. V drugi fazi sta

ta kazalnik povezala z morfologijo mesta in njegovo prostorsko rabo. Statistično značilne družbene ter morfološke in prostorske vidike sta združila v skupine in jih prikazala na družbeni in prostorski temperaturni karti. Na podlagi teh dveh kart in podatkov, na katerih temeljita, lahko bolje razumemo ogroženost starejših prebivalcev Rotterdama zaradi vpliva mestnega toplotnega otoka med vročinskimi valovi.

Avtorja sta najprej izvedla hierarhično večkratno regresijsko analizo na vseh hektarjih (mrežnih celicah) proučevanega območja, da bi ugotovila, kateri vidiki bolje napovedo umrljivost prebivalcev, starih 75 let in več. V regresijski model sta vključila zunanjo in notranjo temperaturo zraka, temperaturo površja, neto sevanje, senzibilni, latentni in shranjeni toplotni tok ter energetske učinkovitost in starost stavb. Nato sta večkratno regresijsko analizo izvedla še za to, da bi napovedala pojav me-



Slika 4: Skupni senzibilni in shranjeni toplotni tok 16. julija 2006 (avtor: Frank van der Hoeven)

stnega toplotnega otoka na podlagi prostorskih in morfoloških vidikov mesta. V regresijski model sta vključila neprepustne površine, vodne površine, albedo površja, rastlinstvo (NDVI in indeks listne površine), osenčenost, delež vidnega neba, stavbni volumen in stavbni ovoj. Pri tem so bile izpolnjene predpostavke o linearnosti odnosa, neodvisnosti napak, homoskedastičnosti, nepričakovanih točkah in normalni porazdelitvi ostankov. Na koncu sta na podlagi rezultatov regresijske analize izvedla še klastersko analizo v dveh korakih za vse naseljene mrežne celice v mestu. Pri tem sta oblikovala različne skupine (ali tipologije), ki so bile podlaga za oblikovanje družbene in prostorske temperaturne karte.

### 3 Rezultati

#### 3.1 Kakšna bi bila lahko prihodnja poletja v Rotterdamu: julij 2006

Avtorja sta na podlagi podatkov KNMI in CBS ugotovila, da so bile v poletnih mesecih od junija do avgusta v letih od 2000 do 2013 najvišje povprečne temperature (27,8 °C) in najvišja stopnja umrljivosti med prebivalci, starimi 75 let ali več, v Rotterdamu evidentirane julija 2006. To je bil najbolj vroč mesec v tristoletni zgodovini dokumentiranja vremenskih podatkov na Nizozemskem. Po podatkih CBS (2006)





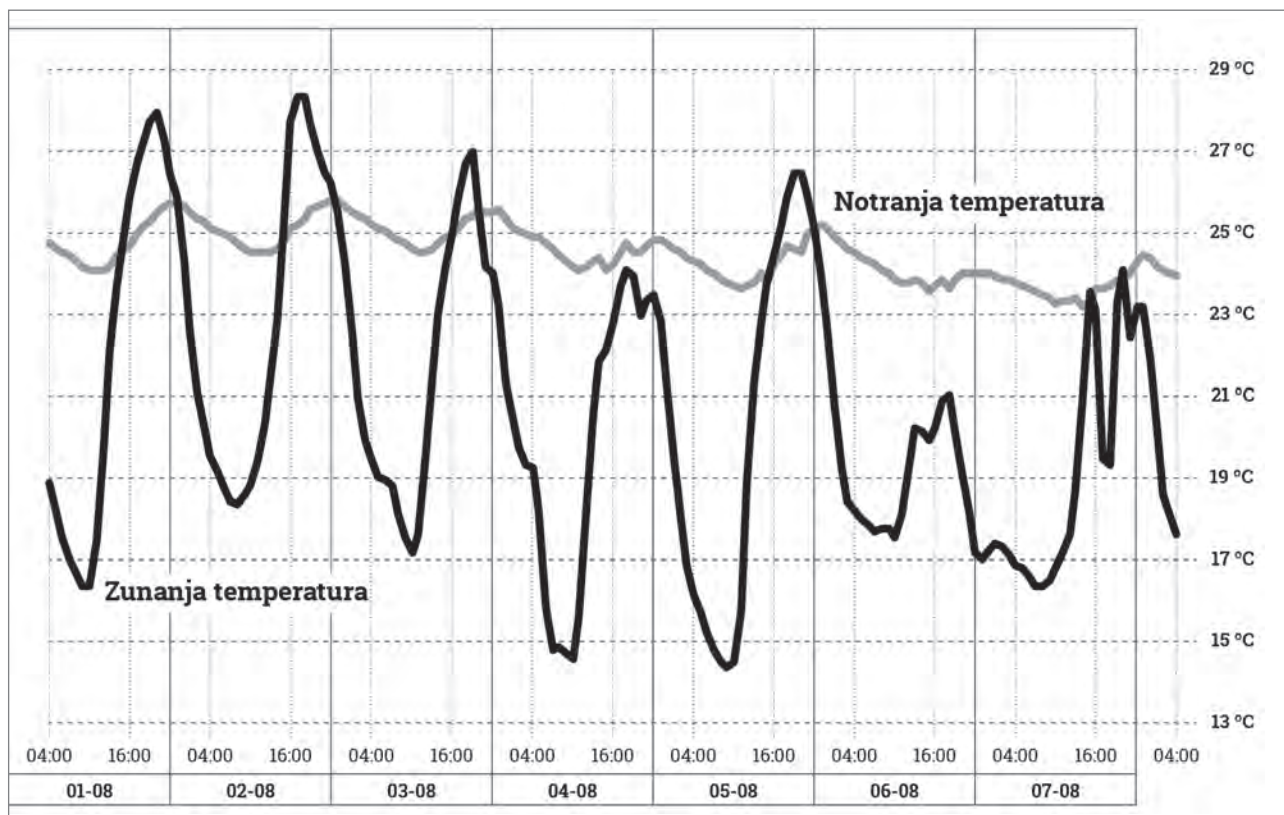
Slika 5: Čezmerna umrljivost prebivalcev, starih 75 let ali več, julija 2006, izražena v absolutnih številkah (avtor: Frank van der Hoeven)

je julija 2006 umrlo 1.000 nizozemskih državljanov več kot običajno. S 1.000 umrlimi zaradi rekordne vročine je bila leta 2006 Nizozemska na tretjem mestu svetovne lestvice meteoroloških nesreč (CRED, 2016). Zaradi teh dejstev sta se avtorja odločila, da bosta julij 2006 vzela kot model, na podlagi katerega bi lahko napovedala, kakšna bodo prihodnja poletja v Rotterdamu. Mestna občina Rotterdam je julija 2006 evidentirala 75 smrtnih primerov več, kot je povprečje za ta mesec (izračunano za obdobje 2000 – 2013). V primerjavi s povprečjem, ugotovljenim za celotno obdobje 2007 – 2013, pa je ta številka še večja (tj. 90 smrtnih primerov več).

Pregled dnevnih podatkov za julij 2006 je pokazal, da je bila stopnja umrljivosti starejših prebivalcev Rotterdama najvišja

dva do tri dni po najvišji izmerjeni temperaturi, podobno kot je to leta 2006 ugotovil že CBS. Koncentracije ozona so bile najvišje ob dnevih, ko so bile izmerjene tudi najvišje zunanje temperature. Ti podatki niso dovolj natančni, da bi jih lahko povezali s povečano umrljivostjo, saj se koncentracija ozona meri samo na treh lokacijah v mestu. Obstaja pa velika možnost, da je imel vročinski val leta 2006 tako močne posledice za zdravje ljudi tudi zaradi povečane koncentracije ozona.

Na sliki 3 črna črta označuje najvišje dnevne temperature, prekinjena črta pa koncentracije ozona. Na desni je označena najvišja dovoljena koncentracija ozona v Evropski uniji (120  $\mu\text{g}$  na kubični meter zraka). Siva črta označuje stopnjo umrljivosti med ljudmi, starih 75 let ali več. Avtorja sta pri stopnji umrlji-



**Slika 6:** Temperature zraka, izmerjene v izbranih stanovanjih in ulicah Rotterdama. Diagram prikazuje povprečja vseh 800 meritev notranjih temperatur (siva črta) in vseh 200 meritev zunanjih temperatur (črna črta), opravljenih v prvem tednu avgusta 2014 (vir: van der Hoeven in Wandl, 2015c).

vosti upoštevala vrednosti z dvodnevним zamikom, tako da sta lahko skupaj prikazala najvišje temperature, stopnjo umrljivosti in koncentracije ozona.

### 3.2 Atlas

Druga faza raziskave je obsegala obdelavo in kartiranje podatkov o toploti, družbenih ter morfoloških in prostorskih vidikih Rotterdama. Rezultat te faze je bila podatkovna zbirka, izdelana v programu ArcGIS in objavljena v obliki atlasa (glej van der Hoeven in Wandl, 2015c). Pri tem sta podrobneje predstavljeni dve karti: karta, ki prikazuje skupni senzibilni in shranjeni toplotni tok (slika 4), in karta, ki prikazuje čezmerno umrljivost prebivalcev, starih 75 let ali več (slika 5). Najboljši primer kartiranja podnebnih vidikov in prikaza njihovih posledic za urbanistično in prostorsko načrtovanje je bil uporabljen v nemški publikaciji *Städtebauliche Klimafibel* (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2004), ki sta jo avtorja tega članka vzela za zgled.

#### 3.2.1 Kazalniki toplote

Avtorja sta rotterdamski toplotni otok proučevala tako, da sta kartirala štiri možne kazalnike: zunanjo in notranjo tempera-

turo zraka (pridobljeno z uporabo metode mobilnega zaznavanja množic), temperaturo površja (pridobljeno z daljinskim zaznavanjem) in energijsko bilanco površja (določeno z analizami, opravljenimi z orodjem ATCOR2, ki so temeljile na daljinskem zaznavanju). Podatki o energijski bilanci površja ter temperaturi površja in zraka kažejo na očiten vpliv toplotnega otoka v Rotterdamu. Vpliv mestnega toplotnega otoka površja je najmočnejši v pristanišču ter industrijskih in poslovnih predelih mesta, vplivu mestnega toplotnega otoka ozračja pa so najbolj izpostavljeni mestno središče in gosto pozidane stanovanjske soseske v severnem, južnem in zahodnem Rotterdamu.

Meritve na podlagi metode mobilnega zaznavanja množic so pokazale mešane rezultate. Ljudje so bili pripravljeni sodelovati v raziskavi, zato sta avtorja zlahka našla 1.000 posameznikov, ki so pomagali pri meritvah. Težava je bila v tem, da so bili senzori razdeljeni konec julija 2014 in da se je nato avgust 2014 izkazal za najhladnejšega v 90 letih. Zbrani podatki so lahko temelj za nadaljnje raziskave, niso pa ponazorili značilnosti omenjenega vročinskega vala, kot sta avtorja upala. Pravzaprav ne izražajo niti povprečnega nizozemskega poletja.

Na sliki 6 so prikazani povprečni rezultati meritev senzorjev v prvem tednu avgusta (ko so bile temperature nad 25 °C).



Slika 7: Družbena temperaturna karta: prostorski vzorec ogroženosti starejših zaradi vpliva mestnega toplotnega otoka v Rotterdamu (vir: van der Hoeven in Wandl, 2015c)

Preglednica 2: Podrobnejša predstavitev posameznega regresijskega modela

Spremenljivka	Število umrlih, starih 75 let ali več					
	Model 1		Model 2		Model 3	
	B	$\beta$	B	$\beta$	B	$\beta$
konstanta	0,048**		-0,043**		-0,58**	
št. umrlih, starih 75 let ali več (2006)	0,002**	0,095	0,002**	0,775	0,001**	0,652
starost stavb			0,000066**	0,213	0,000034**	0,108
mestni toplotni tok (2006)					0,000011**	0,232
$R^2$	0,819		0,847		0,859	
$F$	320,6		193,6		140,2	
$\Delta R^2$	0,816		0,843		0,853	
$\Delta F$	320,6		12		5,9	

\*\*  $p < 0,005$

Preglednica 3: Regresijski koeficienti in standardne napake

Spremenljivka	B	$SN_B$	$\beta$
konstanta	281,3	2,6	
voda	-0,011	0,0002	-0,313**
neprepustnost	217,8	2,708	0,680**
indeks listne površine	-0,13	0,001	-0,077**
stavbni ovoj	-0,0002	0,0001	-0,005**
osenčenost	$-1,034 \times 10^{-6}$	$4,2475 \times 10^{-8}$	-0,086**

Opombe: \*\*  $p < 0,005$ , B: nestandardizirani regresijski koeficient,  $SN_B$ : standardna napaka koeficienta,  $\beta$ : standardizirani koeficient, odvisna spremenljivka: tok mestne toplote.



Slika 8: Prostorska temperaturna karta: prostorski vzorec rabe tal in urbane oblike, ki bolj ali manj prispevajo k nastanku mestnega toplotnega otoka v Rotterdamu (vir: van der Hoeven in Wandl, 2015c)

Razen najvišjih popoldanskih zunanjih temperatur so bile na proučevanih ulicah notranje temperature zraka v povprečju višje od zunanjih. Podnevi so bile razlike v notranjih temperaturah manjše kot pri zunanjih. Zunanje okolje ima očitno zadosten ohlajevalni učinek, da večji del dneva ustrezno znižuje temperaturo v stanovanjih. Primerjava meritev na ravni celotnega mesta kaže, da so notranje temperature prostorsko manj koherentne od zunanjih. Končni rezultati analize toplote so karte, na katerih sta avtorja prikazala zunanjo in notranjo temperaturo zraka, temperaturo površja podnevi, neto sevanje ter latentni, senzibilni in shranjeni toplotni tok.

### 3.2.2 Družbeno-prostorski vidiki

Na podlagi obdelave in kartiranja družbenih vidikov mestne toplote sta avtorja izdelala pet kart, ki se nanašajo na stanje julija 2006:

- karto, ki prikazuje prostorsko porazdelitev ljudi, starih 75 let ali več;
- karto, ki prikazuje stopnjo umrljivosti ljudi, starih 75 let ali več;
- karto nadpovprečne stopnje umrljivosti;
- karto starosti stavb;
- karto povprečne energetske učinkovitosti stavb na hektar.

Ranljiva skupina prebivalcev, starih 75 let ali več, je večinoma zgoščena v mestnih soseskah, zgrajenih po drugi svetovni vojni (Schiebroek, Ommoord, IJsselmonde, Zuidwijk, Pendrecht in Hoogvliet), kjer so tudi številni domovi za ostarele. Nadpovprečna stopnja umrljivosti med vročinskim valom julija 2006 pa kaže bolj razpotegnjen prostorski vzorec (slika 5), kar pomeni, da za razlago umrljivosti starejših potrebujemo več kazalnikov kot samo prostorsko koncentracijo prebivalcev, starih 75 let ali več.

Avtorja sta za proučitev tega, kje v Rotterdamu ogroženost zaradi vročine povzroča težave starejšim, izvedla multivariatno regresijsko analizo. Julija 2006 je umrlo 385 starejših prebivalcev, od katerih lahko samo 75 – 90 smrti obravnavamo kot presežne. Avtorja sta hierarhično večkratno regresijsko analizo izvedla za vse hektarje proučevanega območja, da bi ugotovila, kateri družbeni vidiki bi lahko bolj napovedali število umrlih prebivalcev, starih 75 let ali več. V regresijski model sta vključila zunanjo in notranjo temperaturo zraka, temperaturo površja, neto sevanje, senzibilni, latentni in shranjeni toplotni tok ter energetske učinkovitost in starost stavb.

Regresijski model, ki je vključeval število prebivalcev, starih 75 let ali več, skupni senzibilni in shranjeni toplotni tok ter povprečno starost stavb, je bil statistično najznačilnejši za napoved števila umrlih, starih 75 let ali več. Vključitev skupnega senzibilnega in shranjenega toplotnega toka v napoved števila umrlih v tej starostni skupini je povzročil statistično

značilno povečanje vrednosti koeficienta determinacije  $R^2$  za 0,050 pri  $F(2, 71) = 4,2147$  in  $p < 0,05$ . Tudi vključitev starosti stavb v napoved (model 3) je povzročila statistično značilno povečanje vrednosti koeficienta determinacije  $R^2$  za 0,093 pri  $F(1, 95) = 8,699$  in  $p < 0,005$ . Uporabljeni regresijski modeli so podrobneje predstavljeni v preglednici 2.

Na podlagi rezultatov regresijske analize (tj. števila prebivalcev, starih 75 let in več, povprečne starosti stavb in skupnega senzibilnega in shranjenega toplotnega toka) sta avtorja izvedla klastersko analizo v dveh korakih za vse naseljene mrežne celice v mestu. Pri tem sta oblikovala šest skupin (tipologij), ki so prikazane na karti na sliki 7 in spremljajoči legendi, v kateri so pojasnjene posamezne vrednosti. Prostorska razpršenost starejših v Rotterdamu je še vedno posledica navade Nizozemcev, da starejše sorodnike nameščajo v domove za ostarele (črna območja na karti). Tem lokacijam je treba nameniti posebno pozornost, ustrezen odziv politike pa bi bil potreben tudi za soseske okoli središča mesta (tj. v severnem, južnem in zahodnem Rotterdamu). Čeprav v teh soseskah živi manj starejših na hektar, so izpostavljene večji mestni toploti, stanovanja so tam razmeroma stara, površina teh območij pa je kar velika.

### 3.2.3 Prostorski vidiki

Kazalnik skupnega senzibilnega in shranjenega toplotnega toka (tj. skupne toplote, ki segreva zrak in stavbe) je najbolje pojasnil vpliv mestnega toplotnega otoka na omenjeno ogroženo skupino rotterdamskega prebivalstva. V naslednjem koraku sta avtorja ugotavljala, katere prvine morfologije in prostorske rabe vplivajo na nastanek senzibilnega in shranjenega toplotnega toka v mestu.

V tem koraku klasterske analize sta uporabila karte, ki se nanašajo na neprepustne površine, vodne površine, albedo, rastlinstvo, osenčenost, delež vidnega neba, stavbni volumen in stavbni ovoj. Tovrstno združevanje v skupine daje vpogled v to, katerim kombinacijam morfologije in prostorske rabe bi se moralo mesto izogibati in katere bi morale pogosteje uporabljati.

Avtorja sta za napoved skupnega senzibilnega in shranjenega toplotnega toka opravila večkratno regresijsko analizo. Neprepustnost, indeks listne površine, indeks stavbnega ovoja, vodne površine in osenčenost so bile spremenljivke, ki so najbolje napovedale učinek mestnega toplotnega otoka:  $F(5, 1.5951) = 19.167,694$ ,  $p < 0,0005$ , prilagajeni  $R^2 = 0,857$ . Vseh pet spremenljivk je statistično značilno napovedalo opisani pojav pri  $p < 0,0005$ . Regresijski koeficienti in standardne napake so predstavljeni v preglednici 3.

Na podlagi rezultatov regresijske analize, ki so se nanašali na neprepustnost, indeks listne površine, stavbni ovoj, vodne površine in osenčenost, sta avtorja izvedla klastersko analizo v

dveh korakih za vse mrežne celice (100 m × 100 m) v mestu. Rezultat klastrske analize je bilo osem kombinacij morfoloških in prostorskih značilnosti, ki so prikazane na karti na sliki 8 skupaj z legendo, v kateri so razložene posamezne vrednosti. Pri nastanku mestnega toplotnega otoka imajo pomembno vlogo pristanišče ter industrijska in poslovna območja v Rotterdamu. Ta območja na družbeni temperaturni karti niso prikazana, saj tam nihče ne živi. Mestno središče ter okoliške goste pozidane soseske severnega, južnega in zahodnega Rotterdama imajo več morfoloških in prostorskih značilnosti, ki povzročajo problem mestnega toplotnega otoka, kot pa drugi predeli mesta.

## 4 Sklep

V raziskavi Hotterdam sta avtorja proučevala vpliv mestnega toplotnega otoka v Rotterdamu, pri čemer sta se osredotočila na štiri raziskovalna vprašanja:

1. Ali mestni toplotni otok vpliva na vse predele Rotterdama enako ali na nekatere vpliva bolj kot na druge; kateri so ti predeli?

Avtorja sta ugotovila, da mestni toplotni otok ne vpliva na vse dele Rotterdama enako. Industrijska območja in pristanišče najmočneje občutijo njegov vpliv, poleg tega ta pojav močneje vpliva na območja severno, južno in zahodno od središča mesta kot na druga območja v mestu.

2. Ali obstaja povezava med mestnim toplotnim otokom v Rotterdamu in umrljivostjo starejših prebivalcev med vročinskimi valovi?

Avtorja sta ugotovila povezavo med čezmerno umrljivostjo starejših prebivalcev in statistično pojasnila nadpovprečno umrljivost prebivalcev, starih 75 let in več, v Rotterdamu julija 2006 na podlagi:

- prostorske razporeditve ljudi v tej starostni skupini,
- leta gradnje njihovih domov,
- kupnega senzibilnega in shranjenega toplotnega toka.

3. Ali lahko razlike v vplivu mestnega toplotnega otoka med posameznimi mestnimi predeli pojasnimo z morfologijo mesta in rabo prostora?

Da. Med posameznimi območji obstajajo razlike v akumulirani mestni toploti (in povezanih zdravstvenih težavah) zaradi kombinacije morfoloških in prostorskih značilnosti, kot so:

- neprepustne površine,
- vodne površine,
- listnate (zelene) površine,
- stavbni ovoji in
- osenčenost.

Ti vidiki vplivajo na to, ali se na posameznem območju kopiči več ali manj mestne toplote in ali imajo na njem ljudje več ali manj s tem povezanih zdravstvenih težav.

4. Ali družbeni, morfološki in prostorski vidiki mestnega toplotnega otoka oblikujejo koherentne prostorske vzorce, na podlagi katerih bi se lahko pri urbanističnem načrtovanju in upravljanju mesta uporabil pristop, ki se osredotoča na točno določeno območje?

Klastrska analiza podatkov je pokazala koherentne prostorske vzorce. Industrijska območja in pristanišče v Rotterdamu so močno povezani s pojavom mestnega toplotnega otoka. Ker na teh območjih nihče ne živi, avtorja priporočata, da se pristojna politika raje osredotoči na območja severno, južno in zahodno od mestnega središča, zgrajena pred drugo svetovno vojno, za katere so značilne razmeroma visoke temperature površja, razmeroma močan skupni senzibilni in shranjeni toplotni tok ter višje zunanje temperature. Delež starejših ljudi, ki živijo na teh območjih, pa je še vedno precej velik.

Frank van der Hoeven

TU Delft, Faculty of Architecture and the Built Environment, Delft, Nizozemska

E-naslov: f.d.vanderhoeven@tudelft.nl

Alexander Wandl

TU Delft, Faculty of Architecture and the Built Environment, Delft, Nizozemska

E-naslov: a.wandl@tudelft.nl

## Zahvala

Raziskava Hotterdam je potekala v okviru projekta Climate Proof Cities, ki je del nacionalnega nizozemskega klimatološkega raziskovalnega programa (Albers idr., 2015). Avtorja se zahvalujeta, da sta v raziskavi lahko uporabila rezultate projekta Sensing Hotterdam, ki je bil eden izmed projektov v sklopu 4TU.Bouw Lighthouse Projects, ki potekajo pod okriljem zveze štirih nizozemskih tehnoloških univerz 4TU.Federation. Sensing Hotterdam je bil skupen projekt tehnoloških univerz v Delftu in Eindhovnu.

Začetni izsledki raziskave Hotterdam so bili v nizozemščini in angleščini objavljeni v publikaciji, ki je prosto dostopna na svetovnem spletu in namenjena širši lokalni javnosti (van der Hoeven in Wandl, 2015b, 2015c). Za podrobnejši vpogled v izsledke sta avtorja vse podatke shranila v prosto dostopno podatkovno zbirko 4TU.Centre for Research Data (Wandl in van der Hoeven, 2015).

## Viri in literatura

Albers, R. A. W., Bosch, P. R., Blocken, B., van den Dobbelaer, A. A. J. F., Van Hove, L. W. A., Spit, T. J. M., idr. (2015): Overview of challenges and achievements in the Climate Adaptation of Cities and in the Climate Proof Cities program. *Building and Environment*, 83, str. 1–10. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.09.006

Barsi, J. A., Schott, J. R., Palluconi, F. D., in Hook, S. J. (2005): Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. V: Butler, J. J. (ur.): *Proceedings of SPIE, Earth Observing Systems X*, 58820E, str. 1–7. Bellingham, WA, SPIE. DOI: 10.1117/12.619990

CBS (2006): *July heat causes one thousand extra deaths*. Dostopno na: <https://www.cbs.nl/en-gb/news/2006/35/july-heat-causes-one-thousand-extra-deaths> (sneto 16. 2. 2018).

- CBS in PBL (2011): *Forse bevolkingsgroei in de Randstad tot 2025*. Dostopno na: <http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/FE3DD1BE-D1FF-46C6-BB49-092F4B2E4DEC/0/pb11n064.pdf> (sneto 14. 2. 2018).
- Chapman, L., Bell, C., in Bell, S. (2017): Can the crowdsourcing data paradigm take atmospheric science to a new level? A case study of the urban heat island of London quantified using Netatmo weather stations. *International Journal of Climatology*, 37(9), str. 3597–3605. DOI: 10.1002/joc.4940
- CRED (2016): EM-DAT: *The International Disaster Database*. Dostopno na: [http://www.emdat.be/disaster\\_list/index.html](http://www.emdat.be/disaster_list/index.html) (sneto 14. 2. 2018).
- de Jong, A., in Daalhuizen, F. (2014): *De Nederlandse bevolking in beeld: verleden heden toekomst*. Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Dousset, B., in Gourmelon, F. (2003): Surface temperatures of the Paris Basin during summertime, using satellite remote sensing data. V: Klysiak, K. (ur.): *Proceedings of the 5th International Conference on Urban Climate*, Lodž, Poljska, University of Łódź. Dostopno na: <https://pdfs.semanticscholar.org/a11e/9ac6e77d27b0f2e0212d8f40b656149cce54.pdf> (sneto 16. 2. 2018).
- Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., idr. (2011): Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31(2), str. 313–323. DOI: 10.1002/joc.2222.
- Harman, I. N. (2003): *The energy balance of urban areas*. Doctoral thesis. Reading, VB, The University of Reading. Dostopno na: <http://www.met.rdg.ac.uk/phdtheses/The%20energy%20balance%20of%20urban%20areas.pdf> (sneto 14. 2. 2018).
- Heavyside, C., Vardoulakis, S., in Cai, X. M. (2016): Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK. *Environmental Health*, 15(1), str. 49–59. DOI: 10.1186/s12940-016-0100-9
- KNMI (2014): *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland*. De Bilt, Nizozemska.
- Mavrogianni, A., Davies, M., Batty, M., Belcher, S. E., Bohnenstengel, S. I., Carruthers, D., idr. (2011): The comfort, energy and health implications of London's urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32(1), str. 35–52. DOI: 10.1177/0143624410394530
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (2004): *Städtebauliche Klimafibel: Hinweise für die Bauleitplanung, Folge, 1*. Stuttgart.
- Rydin, Y., Bleahu, A., Davies, M., Dávila, J. D., Friel, S., De Grandis, G., idr. (2012): Shaping cities for health: complexity and the planning of urban environments in the 21st century. *Lancet*, 379(9831), str. 2079–2108. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60435-8
- Vandentorren, S., Bretin, P., Zeghnoun, A., Mandereau-Bruno, L., Croisier, A., Cochet, C., idr. (2006): August 2003 heat wave in France: Risk factors for death of elderly people living at home. *European Journal of Public Health*, 16(6), str. 583–591. DOI: 10.1093/eurpub/ckl063
- van der Hoeven, F., in Wandl, A. (2015a): Amsterwarm: Mapping the landuse, health and energy-efficiency implications of the Amsterdam urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 36(1), str. 67–88. DOI: 10.1177/0143624414541451
- van der Hoeven, F. D., in Wandl, A. (2015b): *Hotterdam. Hoe ruimte Rotterdam warmer maakt, hoe dat van invloed is op de gezondheid van inwoners, en wat er aan te doen is*. Delft, TU Delft. DOI: 10.7480/bkbooks/hotterdam/nl
- van der Hoeven, F. D., in Wandl, A. (2015c): Hotterdam: How space is making Rotterdam warmer, how this affects the health of its inhabitants, and what can be done about it. Delft, TU Delft. DOI: 10.7480/bkbooks/hotterdam/en
- van der Hoeven, F., Wandl, A., Demir, B., Dikmans, S., Hagoort, J., Moretto, M., idr. (2014): Sensing Hotterdam: Crowd sensing the Rotterdam urban heat island. *SPOOL*, 1(2), str. 43–58. DOI: 10.7480/spool.2014.2.935
- van Duin, C., in Stoeldraijer, L. (2014): *Bevolkingsprognose 2014–2060: groei door migratie*. Haag, CBS.
- Vettorato, D. (2010): *Urban planning and design for local climate mitigation. A methodology based on remote sensing and GIS*. Paper presented at the 46th ISOCARP Congress 2010, Nairobi, Kenija. Dostopno na: [http://www.isocarp.net/Data/case\\_studies/1815.pdf](http://www.isocarp.net/Data/case_studies/1815.pdf) (sneto 14. 2. 2018).
- Wandl, A., in van der Hoeven, F. (2015): *Hotterdam: Urban heat in Rotterdam and health effect. Dataset*. Delft, TU Delft. Dostopno na: <http://dx.doi.org/10.4121/uuid:be41b523-1f1a-4f46-82d1-09c2c24f357b> (sneto 14. 2. 2018). DOI: 10.7480/spool.2014.2.935
- Yale Center for Earth Observation (2010): *Converting Landsat TM and ETM+ thermal bands to temperature*. Dostopno na: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.187.6113> (sneto 16. 2. 2018).
- Zakšek, K., Oštir, K., in Kokalj, Ž. (2011): Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing*, 3(2), str. 398–415. DOI: 10.3390/rs3020398