

Primljen / Received: 16.7.2022.

Ispravljen / Corrected: 4.9.2022.

Prihvaćen / Accepted: 10.11.2022.

Dostupno online / Available online: 10.12.2022.

Utjecaj urbanih oblika na varijacije urbanih toplinskih otoka u mediteranskom gradu

Autori:



Imane Mebarki, dipl.ing.građ.

Sveučilište Abdelhamid Ibn Badis, Alžir
Prirodoslovno-tehnološki fakultet
Laboratorij za konstrukcije, promet i zaštitu
okoliša (LCTPE)
imane.mebarki@univ-mosta.dz



Dr.sc. **Mustapha Maliki**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Abdelhamid Ibn Badis, Alžir
Prirodoslovno-tehnološki fakultet
Laboratorij za konstrukcije, promet i zaštitu
okoliša (LCTPE)
mustafa.maliki@univ-mosta.dz

Autor za korespondenciju

Prof.dr.sc. **Soofia Tahira Elias Ozkan**, dipl.ing.građ.
Bliskoistočno tehničko sveučilište, Ankara, Turska
Odjel za arhitekturu



Prof.dr.sc. **Sid El Mahi Lamine Kadi**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Abdelhamid Ibn Badis, Alžir
Prirodoslovno-tehnološki fakultet
lamine.kadi@imt-institute.com

Prethodno priopćenje

Imane Mebarki, Mustapha Maliki, Soofia Tahira Elias Ozkan, Sid El Mahi Lamine Kadi

Utjecaj urbanih oblika na varijacije urbanih toplinskih otoka u mediteranskom gradu

Učinak urbanih toplinskih otoka (UTO) povećao se s urbanizacijom i klimatskim promjenama, što je dovelo do još veće izraženosti nepovoljnih učinaka toga problema, osobito u gradovima sa sušnom klimom. Cilj ove studije jest razumjeti utjecaj urbanih oblika na stvaranje urbanih toplinskih otoka istraživanjem sedam lokacija u sklopu studije slučaja u sjevernome Alžiru, odnosno u gradu Mostaganemu koji se nalazi na obali Mediterana. Za prikupljanje toplinskih podataka s odabranih lokacija (od S1 do S7) korištena je meteorološka postaja uz infracrveni termometar. Situacija S1 modelirana je i simulirana softverom ENVI-MET za procjenu učinka UTO-a na otvorenom prostoru omeđenom građevinama. Zatim su simulacijski podaci potvrđeni podacima prikupljenima u stvarnom vremenu na konkretnoj lokaciji. Nakon toga evidentirano je i modelirano ukupno sedam konfiguracija urbanih oblika na istome mjestu (S1) te je potom kreirana simulacija koja odražava njihove pojedinačne utjecaje. Rezultati simulacije uspoređeni su s obzirom na temperaturu zraka, brzinu vjetra i temperaturu površine tla te je utjecaj različitih urbanih oblika pridonio učinku UTO-a na tome omeđenom području. Uočeno je to da su poluzatvorene konfiguracije urbanih oblika koje su bile zaštićene od izravnoga Sunčeva zračenja zabilježile najniže temperature zraka i tla, dok je temperaturna razlika na lokaciji u najtoplijim satima dana bila veća za 2 °C.

Ključne riječi:

urbani toplinski otok, urbani oblici, numerička simulacija, terenska mjerenja, mediteranski grad

Research Paper

Imane Mebarki, Mustapha Maliki, Soofia Tahira Elias Ozkan, Sid El Mahi Lamine Kadi

The impact of urban form on urban heat island variation in a Mediterranean city

The Urban Heat Island (UHI) effect has increased with the increase in urbanisation and climate change, especially in cities with arid climates. This study aims to understand the influence of urban forms on creating UHIs by assessing seven sites in a case study in Mostaganem city, which is located on the Mediterranean coast in northern Algeria. A weather station and an infrared thermometer were used to collect the thermal data from the selected sites (S1 to S7). Site S1 was modelled and simulated using ENVI-met software to evaluate the UHI effect on the open area bounded by the surrounding buildings. The simulation data was then validated by the real time data collected from the actual site. Thereafter, seven common urban form configurations were identified and modelled around the same site (S1), and simulated for their individual impacts, one by one. The simulation results were compared in terms of air temperature, wind speed, and ground surface temperature, not to mention that the influence of the different urban forms contributed to the UHI effect in the bounded area. Semi-enclosed configurations of the urban forms that were protected from direct solar radiation recorded the lowest air and ground temperatures, while the difference between temperatures on the site rose to 2 °C in the hottest hours of the day.

Key words:

urban heat island, urban forms, numerical simulation, field measurements, Mediterranean city

1. Uvod

Učinak urbanoga toplinskog otoka prvi je put u ranom 19. stoljeću uočio Luke Howard, koji je tijekom toplinskih mjerenja na raznim lokacijama u Londonu primijetio da postoji temperaturna razlika između urbanih i ruralnih područja [1]. Navedena povišena urbana toplina opisana je kao bazen toplog zraka ili otok topline u urbanim područjima, iz čega proizlazi i taj izraz "činak urbanoga toplinskog otoka (UTO)" [2]. Akbari objašnjava da "urbana područja obično imaju više temperature zraka od ruralnoga okruženja, što je rezultat postupnih modifikacija površina koje uključuju zamjenu prirodne vegetacije građevinama i cestama". Takva razlika u temperaturi može iznositi čak od 5 do 15 °C [3] i samim time nosi određene rizike za urbana područja, od toplinske nelagodnosti do povećane stope smrtnosti [4, 5]. Osim toga navedene povišene temperature dovode do povećanja potrošnje rashladne energije u urbanim područjima [6], a sama rashladna oprema generira antropogenu toplinu, što je jedan od uzroka nastanka urbanih toplinskih otoka [7], odnosno na taj se način pokreće začarani krug koji treba zaustaviti. Strategije ublažavanja gradske topline mogu se rasporediti u tri kategorije [8]:

- a) Vegetacija: Istraživanja su pokazala to da stabla u urbanim područjima imaju znatan pozitivan učinak na smanjenje temperature zraka zbog evapotranspiracije [6, 7].
- b) Površinski materijali: Materijali koji se koriste za izgradnju urbanih sredina također igraju važnu ulogu u toplinskoj ravnoteži grada. Oni apsorbiraju upadno Sunčevo zračenje i raspršuju dio apsorbirane topline u atmosferu konvektivnim i radijacijskim procesima, podižući na taj način temperaturu okoline [9, 10]. Promjena boje površina, apsorpcija ili refleksivnost materijala također mogu zaustaviti akumulaciju topline. Na primjer, provedena su mnoga istraživanja reflektirajućih krovova i znanstvenici su zaključili to da hladni krovovi mogu smanjiti temperaturu zraka na razini visine pješaka [11, 12].
- c) Urbanistički utjecajni faktori: Oke [13] i Olgyay [14] prvi su istražili interakciju između izgrađenog oblika i mikroklimе. Stewart [15] je koristio morfološke parametre kao što su gustoća gradova, faktor otvorenosti pogleda prema nebu (eng. *Sky view factor* – SVF) i apsorpcijska sposobnost površine kako bi identificirao lokalne klimatske zone (eng. *Local climate zones* – LCZ).

Istraživanja su provedena i na temu geometrije ulica. Ali-Toudert i Mayer [16] simulirali su toplinsku udobnost različite orijentacije urbanoga "kanjona" u vrućoj i sušnoj klimi Ghardaie u Alžiru i otkrili da se temperatura zraka smanjuje kada se poveća omjer visine i širine (eng. *H/W height-to-width*). Bourbia i Awbi procijenili su utjecaj omjera visine i širine te faktora otvorenosti pogleda na nebo (SVF) pripadajućih blokova građevina na temperaturu zraka i površine u vrućoj i sušnoj klimi grada El-Oueda u Alžiru i zaključili da se visoka temperatura u urbanim "kanjonima" može spriječiti kontrolom SVF-a i konfiguracije ulica

[17]. U Fezu, u Maroku, Johansson je proveo nekoliko mjerenja i pokazao da je gusto urbano područje s dubokim "kanjonima" povoljno za ljetne sezone, međutim u hladnoj su sezoni šire ulice prikladnije [18]. Na temelju navedenog može se zaključiti da su za sušne i polusušne klimatske kanjone visoki omjeri visine i širine koje proizvode osjenčane zone pogodniji za ublažavanje gradske topline.

Druge studije procjenjivale su utjecaj oblika i orijentacije urbanih blokova na učinak UTO-a. Za London predloženo je šest arhitektonskih generičkih urbanih oblika [19] te su oni analizirani i uspoređivani s obzirom na dnevnu količinu svjetlosti i karakteristike građenja. Zaključak te studije jest taj da je doprinos dvorišta učinku UTO-a najveći u hladnijoj klimi. Slično tome Taleghani je ocijenio utjecaj triju vrsta urbanih blokova (pojedinačni, linearni i dvorišni oblik) na toplinsku udobnost na otvorenom prostoru u umjerenj klimi Nizozemske [20]. Ta studija pokazala je to da dvorišni oblici ograničavaju količinu Sunčeva zračenja, što predstavlja najbolje uvjete toplinske udobnosti za razliku od linearnih blokova, koji su više izloženi Sunčevu zračenju i tako ljeti uzrokuju neugodne uvjete. U drugoj studiji istih istraživača [21] o različitim vrstama dvorišnih oblika ocijenjene su tri urbane strategije za ublažavanje topline koje poboljšavaju mikroklimu dvorišnih oblika: promjene apsorpcijske sposobnosti površina te uključivanje urbane vegetacije i vodenih elemenata. Rezultati su pokazali to da su dvorišni oblici orijentacije sjever-jug povoljniji za vruću klimu, dok se dvorišni oblici orijentacije istok-zapad preporučuju za hladniju klimu.

Ukratko, istraživači diljem svijeta koristili su razne tehnike u raznim podnebljima kako bi istražili učinak urbane morfologije na stvaranje učinka urbanih toplinskih otoka kao i mjere za ublažavanje akumulirane topline u urbanim područjima. Provedena su istraživanja karakteristika okoliša postojećih urbanih oblika kako bi se otkrili urbani parametri koji utječu na formiranje i razvoj učinka urbanoga toplinskog otoka. U ovome radu prikazani su rezultati istraživanja utjecaja UTO-a na različite oblike urbanih blokova koji čine propisane konfiguracije za projektiranje novih gradskih proširenja prema politikama planiranja u Alžiru. Nakon kolonizacije stambene politike u Alžiru usredotočile su svoje napore na masovnu gradnju stambenih zgrada, dok je ekološka kvaliteta novih naselja zanemarena u korist uštede i brzine gradnje. Ova studija ocjenjuje jednu od najvažnijih urbanizacijskih politika postkolonijalnoga doba *Les zone d'habitat urbain nouvelles* (ZHUN), u prijevodu "Nova urbana životna područja", te analizira oblik i orijentaciju urbanih blokova u ZHUN-u te njihov utjecaj na učinak UTO-a.

2. Metodologija

Ova studija temelji se na četiri istraživačka pristupa, tj. na terenskim mjerenjima, numeričkim simulacijama, validaciji modela i uspoređivanju konfiguracija projektiranja. Zato su za ispitivanje učinka UTO-a poduzeti sljedeći koraci:

- Podaci o toplini i vjetru prikupljeni su s odabranih lokacija u urbanom području studije slučaja.

- Jedna od lokacija modelirana je i simulirana kako bi se mapirao učinak UTO-a.
- Podaci dobiveni simulacijom potvrđeni su podacima izmjerenima na stvarnoj lokaciji.
- Različite konfiguracije urbanih blokova oko virtualne lokacije modelirane su i simulirane kako bi se usporedili njihovi učinci UTO-a.

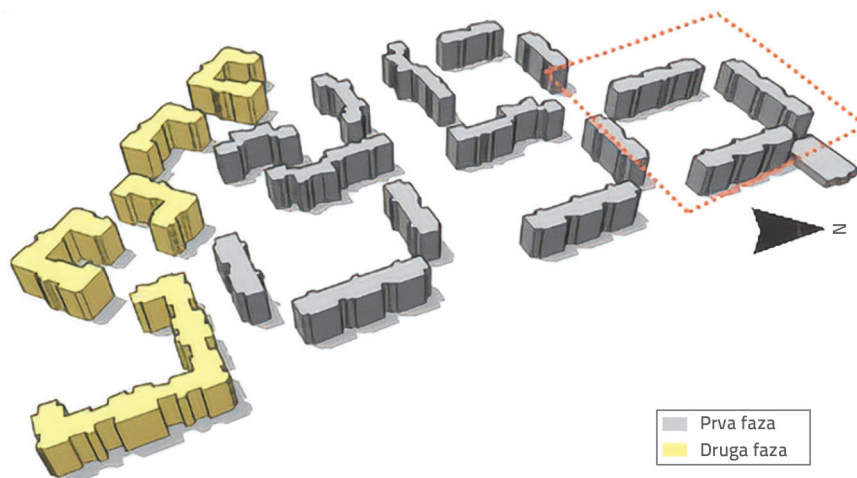
Detalji o istraživačkom materijalu i metodama navedeni su u sljedećim poglavljima.

2.1. Područje ispitivanja

Studija je provedena u Mostaganemu, malom gradu na sjeverozapadu Alžira (lociranom na 35.933 stupnja zemljopisne širine i 0,08 stupnjeva zemljopisne dužine), koji se nalazi 334 km zapadno od glavnoga grada Alžira (slika 1.).



Slika 1. a) Lokacija grada Mostaganema u Alžiru; b) lokacija općine Kharroube u Mostaganemu; c) lokacija područja studije slučaja unutar četvrti 348 u Kharroubi



Slika 2. 3D prikaz urbanoga stambenog prostora u četvrti 348, koji prikazuje blok iz predmetne studije slučaja označen crvenom granicom

Mostaganem ima polusušnu klimu ljeti, dok su zime blage, s prosječnom godišnjom količinom padalina od 350 do 400 mm [22]. Zimi se temperature kreću između 10 i 18 °C, a ljeti od 22 do 32 °C; iako u mjesecu kolovozu temperature mogu doseći i 35 °C.

Svrha ovog istraživanja jest procjena utjecaja urbane morfologije s obzirom na oblik i orijentaciju urbanih blokova na vanjske toplinske uvjete. U tu je svrhu kao područje proučavanja

slučaja iz nove urbane zone razvoja na sjeveroistoku grada Mostaganema odabran otvoreni stambeno-urbanistički dio okruga 348 u općini Kharroubi (slika 1.).

Prva faza okruga izgrađena je osamdesetih godina prošloga stoljeća za potrebe akademskog osoblja lokalnog sveučilišta. Ondje blokovi imaju isti linearni oblik, koji odražava politiku ZHUN-a. Međutim, druga faza izgrađena je kasnije, u sklopu programa socijalnog stanovanja za žurno rješavanje stambenog deficita kako bi se maksimalno iskoristili raspoloživi zemljišni blokovi različitih oblika i orijentacija, a koji su uklopljeni u lokaciju (slika 2.).

2.2. Terenska mjerenja

Za mjerenje temperature zraka, relativne vlažnosti, brzine i smjera vjeta te temperature površine tla korištena su dva uređaja (slika 3.). Meteorološka postaja Froggit bila je pričvršćena na stativ na visini od 1,75 m iznad tla (u razini visine čovjeka), a infracrveni termometar koji je korišten za mjerenje temperature površine tla pozicioniran je izravno ispod meteorološke postaje i ručno pridržavan. Taj postupak ponovljen je na svakoj pojedinoj lokaciji, u intervalima od dva sata, a instrumenti su između lokacija transportirani ručno. Specifikacije tih dvaju mjernih instrumenata navedene su u tablici 1.



Slika 3. Meteorološka postaja Froggit (model WH4000SE) za mjerenje temperature, relativne vlažnosti i podataka o vjetru postavljena na mjestu S1 (dolje) i infracrveni termometar UNI-T UT301A za mjerenje temperature površine tla (gore)

Tablica 1. Specifikacije dvaju mjernih instrumenata (meteorološka postaja i infracrveni termometar)

Parametar	Uređaj	Raspon	Preciznost
Temperatura zraka na visini od 1,7 m [°C]	Meteorološka postaja Froggit model WH4000SE WI-FI	od -40 do +60 °C	±1 °C
Relativna vlažnost zraka [%]	Meteorološka postaja Froggit model WH4000SE WI-FI	od 10 do 99 %	±5 %
Srednja brzina vjetra [m/s] i smjer vjetra	Meteorološka postaja Froggit model WH4000SE WI-FI	0 – 50 m/s	±1 m/s (za brzinu vjetra < 5 m/s) ±10 % (za brzinu vjetra > 5 m/s)
Temperatura površine tla [°C]	Digitalni infracrveni termometar model UNI-T UT301A	od -18 do +350 °C	±1,8 °C

Vremenski podaci prikupljeni su 6. kolovoza 2019. od 7.00 do 19.00 sati (GMT+1), uz sunčano nebo bez oblaka ujutro i naoblaku poslijepodne. Temperature su se kretale između 24 i 34 °C, s relativnom vlažnošću (eng. *relative humidity* - RH) između 56 i 85 % i brzinom vjetra od 4,4 m/s. Mobilna meteorološka postaja korištena je za bilježenje podataka o temperaturi, vlažnosti i vjetru na sedam unaprijed određenih lokacija na kojima su se nalazi blokovi različitih konfiguracija kako bi odražavale uzorke urbanih oblika u području. Lokacije S1, S3, S5 i S6 nalazile su se u poluzatvorenim blokovima, lokacija S2 na raskrižju triju linearnih blokova, a lokacije S4 i S7 u blizini paralelnih linearnih blokova kao što je to prikazano na slici 4.

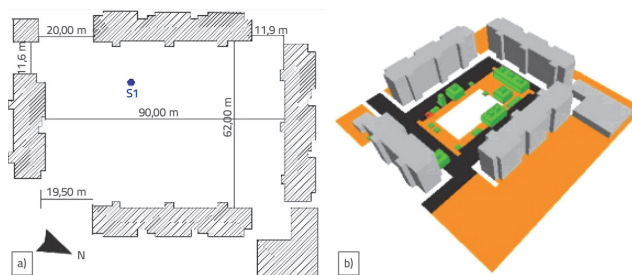


Slika 4. Sedam odabranih lokacija (od S1 do S7) koje imaju različite urbane konfiguracije unutar područja četvrti 348, gdje su meteorološka postaja i infracrveni termometar korišteni za prikupljanje podataka o temperaturi zraka i površine tla, relativnoj vlažnosti i vjetru

Temperatura zraka i tla, relativna vlažnost te brzina i smjer vjetra mjereni su svaka dva sata tijekom 10 minuta na svakoj pojedinoj lokaciji, a zabilježene su i prosječne vrijednosti. Zato je na svakoj lokaciji (slika 4.) u razdoblju od 12 sati prikupljeno šest skupova podataka.

2.3. Numeričke simulacije

ENVI-MET, softver za urbanu simulaciju, korišten je za simulaciju urbane mikroklimatike tako što je prvo izrađen trodimenzionalni urbani model područja koje se proučava unutar studije kako bi se simulirali kombinirani utjecaji površina zgrada i tla, vegetacije te protoka vjetra. Taj softver omogućuje korektnu kontrolu određenih varijabli i fleksibilnost za druge, a može dati vremensku točnost od 10 s i prostornu točnost od 0,5 do 10 m za model urbane mreže (<https://www.envi-met.com>). Istraživači koriste taj softver za simulaciju urbanih okruženja i uređenja okoliša, a potvrđen je i za evaluaciju različitih klima [20, 23, 24]. Prostorna razlučivost korištena u prikazanim simulacijama iznosi 2,5 m vodoravno i okomito, uz pretpostavku da su neke varijable poput vegetacije i faktora apsorpcije, a koje mogu utjecati na mikroklimu, nepromjenjive u svim simulacijama.



Slika 5. a) Plan lokacije odabranog dijela urbanog područja oko S1 u četvrti 348 preuzet iz katastarskog arhiva; b) 3D simulacijski model odabranih stambenih blokova

Za izgradnju 3D modela u ENVI-MET-u unesena je geometrija zgrade prema katastarskim planovima i *in situ* elaboratu, dok su meteorološki podaci preuzeti s mrežne stranice *Infoclimat*. Za modeliranje studija slučaja stambenih blokova korištena je mreža 50 x 50 x 40, kao što je to prikazano na slici 5., a

simulacije su se izvodile kroz razdoblje od 12 sati, od 7.00 do 19.00 sati. Ulazni podaci potrebni za simulacije navedeni su u tablici 2.

Tablica 2. Ulazni podaci za ENVI-MET simulacije

Ulazna varijabla	Ulazni podaci
Dan simulacije	6. kolovoza 2019.
Simulacijsko razdoblje	od 7.00 do 19.00
Rezolucija prostorne mreže	2,5 m vodoravno, 2,5 m okomito
Početna temperatura zraka	maksimum 34 °C, minimum 24 °C
Brzina vjetra	4,4 m/s
Smjer vjetra	310°
Relativna vlažnost zraka	maksimum 85 %, minimum 56 %

U prethodnim istraživanjima, u kojima su ispitani urbani blokovi, ispitane su i određene varijable kao što su omjer površine poda (engl. *Floor area ratio*) i omjer pokrivenosti zgrade (engl. *Building coverage ratio*). U ovoj studiji zgrade studije slučaja imaju istovjetnu visinu (17 m) i zato je provedeno ispitivanje forme i orijentacije bloka te su ocijenjeni razni tipovi urbane morfologije stvarnog slučaja.

Stvarni urbanistički blok, koji je simuliran kao referentni primjer, ima otvoren pravokutni prostor dimenzija 90 x 62 m, okružen četirima linearnim stambenim blokovima. Scenariji za sedam konfiguracija blokova oko tog prostora osmišljeni su na sljedeći način: prva varijacija urbanog bloka ima zatvoren dvorišni oblik, druga se sastoji od paralelnih linearnih blokova orijentacije sjever-jug, treća se sastoji od paralelnih linearnih blokova

orijentacije istok-zapad, četvrta se sastoji od blokova u obliku slova "L", orijentacije istok-zapad oko poluotvorenog dvorišta, peta se sastoji od blokova u obliku slova "L", orijentacije sjever-jug oko poluotvorenog dvorišta, a šesta i sedma sastoje se od blokova u obliku slova "U" s otvorenim dvorištima orijentiranim na zapad-istok (slika 6.).

Dvorišta i linearni blokovi izrađeni su prema prethodnim studijama [19, 20, 25], dok su blokovi oblika slova "U" i "L" uobičajeni u postojećim alžirskim stambenim projektima.

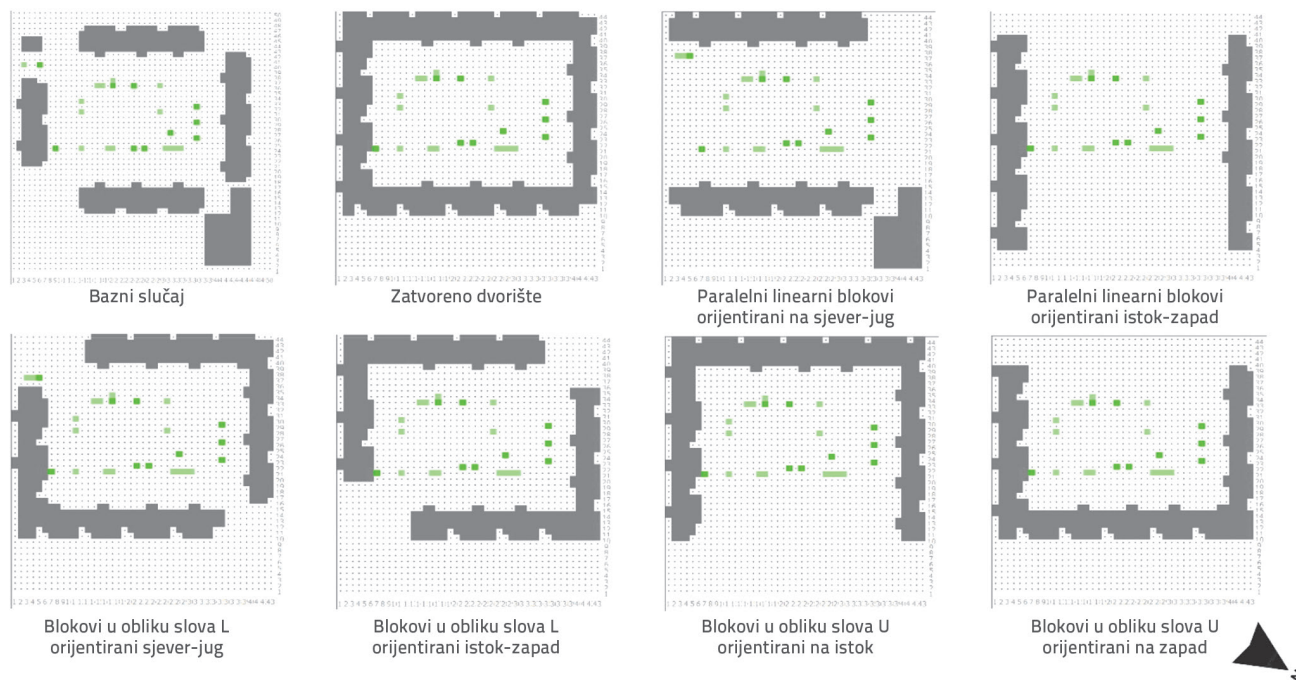
3. Rezultat i rasprava

Rezultati dobiveni terenskim mjerjenjima i numeričkim simulacijama prikazani su, uspoređeni i razmatrani u sljedećim poglavljima.

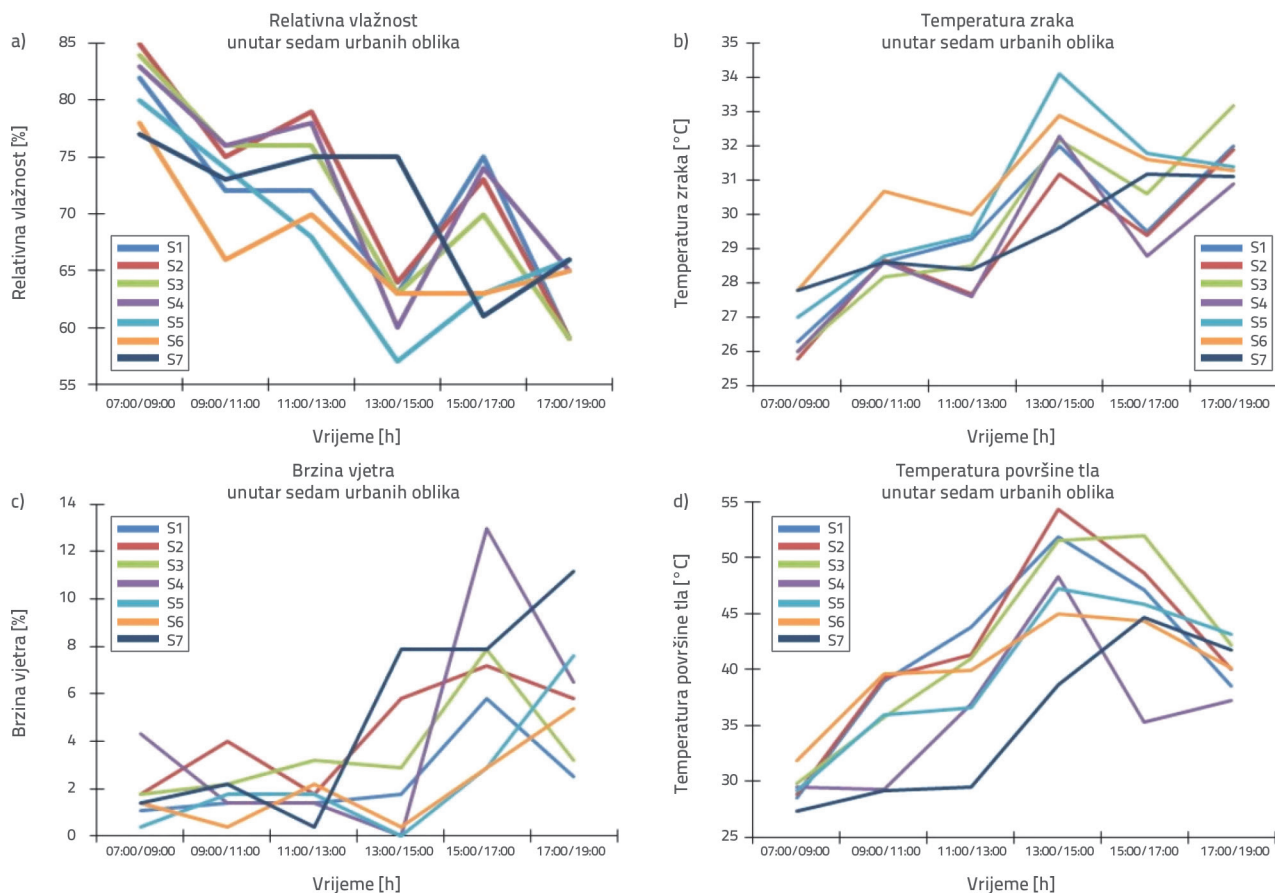
3.1. Terenska mjerjenja

Podaci o temperaturi zraka, relativnoj vlažnosti, brzini i smjeru vjetra te temperaturama površine tla prikupljeni su sa sedam lokacija u blizini različitih urbanih oblika zgrada u četvrti Kharroubi, u gradu Mostaganemu. Podaci prikazani na slici 7. pokazuju to da se razlike u temperaturama zraka na sedam lokacija, zbog utjecaja urbane geometrije i dolaznoga Sunčeva zračenja na temperaturne varijacije, kreću između 2 i 4,5 °C.

Između 7.00 i 13.00 sati na lokaciji S6 meteorološka postaja zabilježila je najvišu temperaturu zraka ($T_{\text{zrak}} = 27,8$ °C od 7.00 do 9.00, 30,7 °C od 9.00 do 11.00 i 30 °C od 11.00 do 13.00), dok su na lokacijama S1, S2, S3 i S4 zabilježene najniže temperature zraka (T_{zrak}).



Slika 6. Varijacije obrazaca urbanog bloka koji se upotrebljavaju u scenarijima ENVI-MET simulacije



Slika 7. Usporedba izmjerenih klimatskih podataka na sedam lokacija: a) temperatura zraka; b) relativna vlažnost; c) brzina vjetra; d) temperatura površine tla

S druge strane na lokacijama S5 i S6 zabilježene su visoke temperature zraka i niska brzina vjetra između 13.00 i 17.00 sati, a na lokaciji S4 niska temperatura zraka i visoka brzina vjetra između 15.00 i 17.00 sati, dok su na lokaciji S7 od 13.00 do 15.00 sati prevladavali jedinstveni uvjeti.

Vrijednosti temperature površine tla (T_{gs}) bile su više od temperature zraka, pri čemu je "gs" skraćena od ground surface, tj. površina tla. Temperatura T_{gs} na lokaciji S3 povećavala se od 15.00 na 17.00 sati do 52 °C, a zatim smanjivala. Temperature na lokaciji S2 pokazale su isto kretanje vrijednosti kao i na lokaciji S3, gdje se temperatura T_{gs} povećala do 54,3 °C između 13.00 i 15.00. Niska temperatura tla T_{gs} zabilježena je između 7.00 i 15.00 sati na lokaciji S7 jer je meteorološka postaja u tom razdoblju bila u sjeni.

3.2. Numeričke simulacije

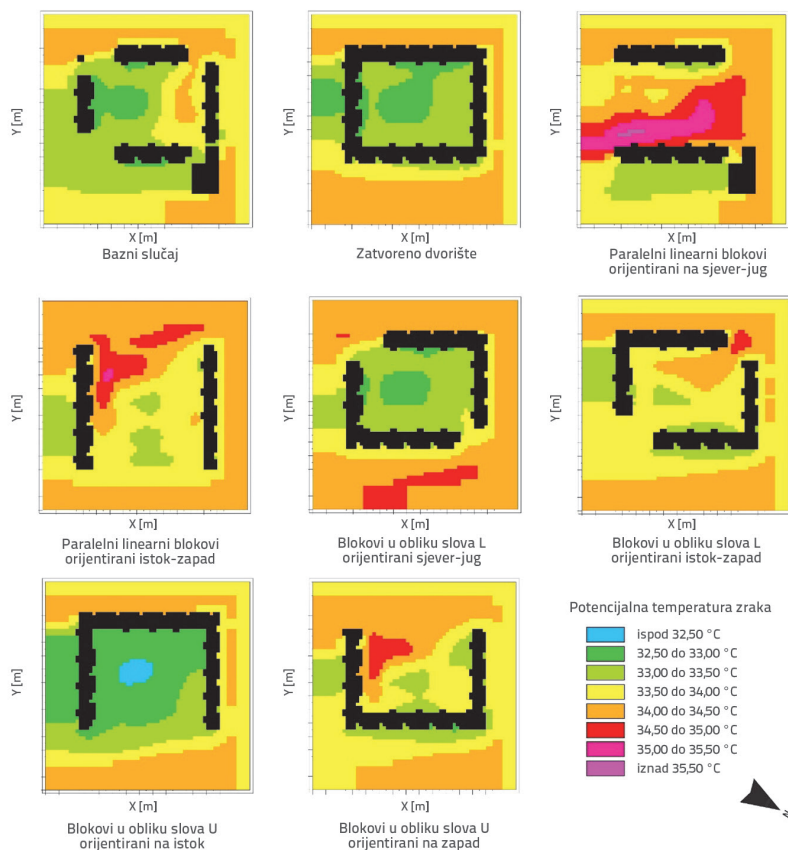
Simulacije 3D modela referentnog primjera i njegovih sedam varijacijskih scenarija u ENVI-metu trajale su 12 sati, od 7.00 do 19.00 sati. Preuzeti su rezultati za varijable temperature zraka, brzine vjetra i temperature površine tla kako bi se usporedili simulacijski podaci za razne scenarije.

Rezultati scenarija složeni su jer postoje brojni rezultati za svaki sat simulacijskog razdoblja na različitim razinama, od dna mreže

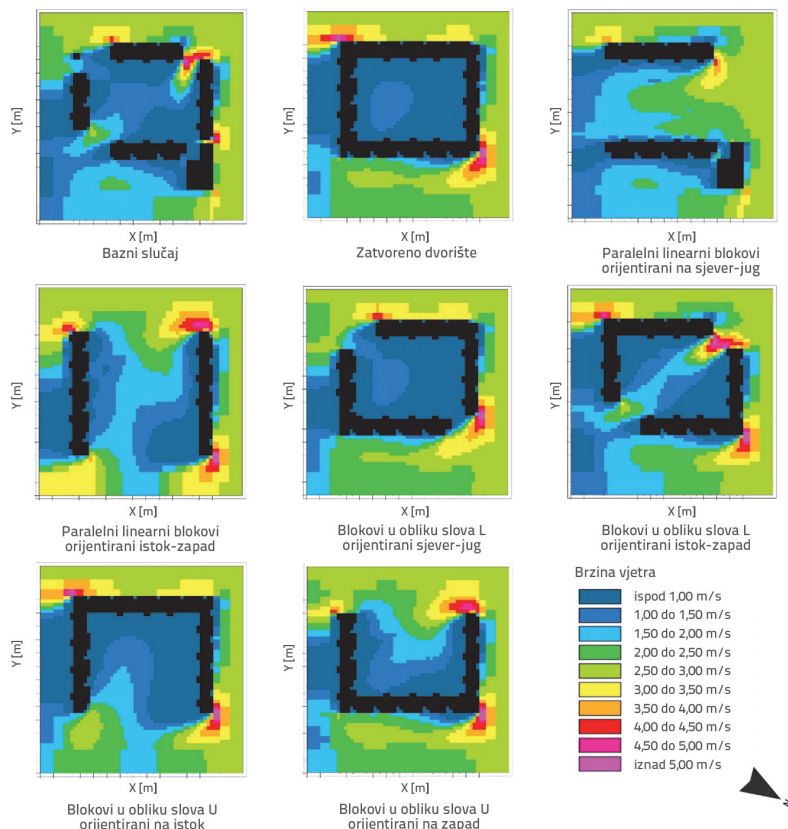
modela do vrha. Na slikama u nastavku prikazana je prostorna i vremenska raspodjela T_{zrak} (temperatura zraka) i T_{gs} (temperatura površine tla) te njihov odnos prema brzini vjetra i urbanom obliku. Na slici 8. prikazana je prostorna raspodjela temperature zraka, a na slici 9. prostorna raspodjela brzine vjetra za stvarni slučaj i sedam scenarija u najtoplijem satu referentnog dana, odnosno u 14 sati. Na dvije slike prikazani su vizualno ucrtani podaci na visini od 1,75 m od tla.

Kao što je vidljivo na slici 8., dva linearna bloka, i to blok zgrada u obliku slova "U" orijentiran prema zapadu i blok zgrada L2, zabilježili su najvišu temperaturu zraka T_{zrak} (između 34,5 i 35,5 °C), dok su najniže vrijednosti temperature zamijećene na primjeru bloka zgrada u obliku slova "U" orijentiranom prema istoku, bloku zgrada sa zatvorenim dvorištem i bloku zgrada L1 (između 33 i 33,5 °C).

Kao što je prikazano na slici 9., na otvorenom području između linearnih blokova zabilježene su najveće brzine vjetra W_s (između 2 i 3 m/s) zbog "kanjona" koji tvore dva paralelna bloka koji funkcioniraju kao "kanal" za vjetar. U zatvorenim i poluzatvorenim dvorišnim blokovima (zgrade u obliku slova "U" orijentirane prema istoku i u obliku slova "L") najveća brzina vjetra izmjerena je u središnjem dijelu bloka zbog turbulencije zraka.



Slika 8. Simulirana temperatura zraka (T_{zrak}) za odabrana mjesta s raznim urbanim oblicima u 14.00 sati; podaci mapirani na visini od 1,75 m od tla



Slika 9. Simulirana brzina vjetra (W_s) za sedam lokacija s raznim urbanim oblicima u 14.00 sati; podaci mapirani na visini od 1,75 m od tla

Temperatura zraka varijabilna je veličina u urbanim oblicima (do 2 °C) koji imaju različite profile. Uzrok tomu jest blokiranje protoka zraka (vjetra) s istoka zbog zgrade na jugu linearnog bloka orijentiranog istok-zapad, zgrade na istoku zapadno orijentiranog bloka u obliku slova "U" i zgrade na istoku linearnog bloka orijentiranog sjever-jug. Zbog toga se oko građevina stvaraju vruće stagnirajuće zone jer je zapriječen protok zraka i nakupljena se toplina ne može raspršiti.

Međutim, u dvorišnom bloku i blokovima L1 toplina se ponaša drugačije. Sjeverozapadno područje prikazano na karti izloženo je Sunčevu zračenju, a s obzirom na to da je brzina vjetra niska, ta se toplina ne može raspršiti. Blok u obliku slova "U" orijentiran na istok, što omogućuje lako raspršivanje topline, dok kod bloka L2 topli zrak ulazi u područje ograđeno blokovima iz smjera zapada, a taj model stvara Venturijev učinak.

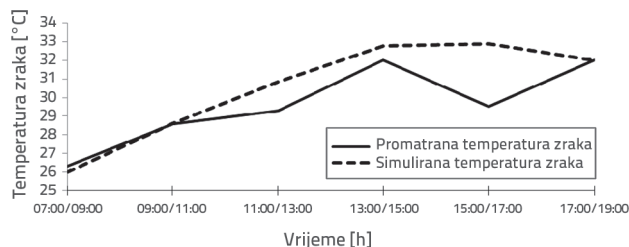
3.3. Provjera valjanosti modela

Za procjenu točnosti numeričkih simulacija provedena je validacija usporedbom podataka iz 3D simuliranog modela s podacima koji su prikupljeni pomoću meteorološke postaje tijekom mjerenja provedenih na lokaciji S1 u okrugu 348. Na slici 10. prikazani su slični trendovi u dnevnim varijacijama simulirane i promatrane temperature zraka, a na slici 11. prilično jaka pozitivna korelacija između dvaju skupova podataka ($R = 0,862$).

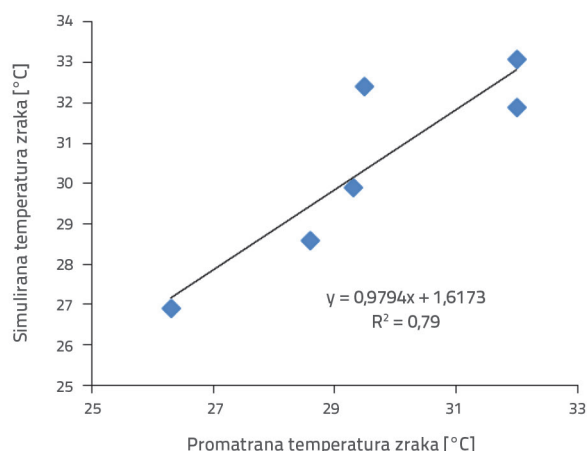
Pogreška kvadrata srednje vrijednosti (engl. *Root mean square error*) koristi se za mjerenje razlika između predviđenih vrijednosti (ovdje simuliranih) i promatranih vrijednosti (ovdje mjerenja na licu mjesta). Pogreška kvadrata srednje vrijednosti (RMSE) između simulirane i izmjerene temperature zraka iznosi oko 2,16 °C s Pearsonovim koeficijentom korelacije od 0,862. Te su vrijednosti bolje od onih prikazanih u drugim ispitivanjima u kojima su rezultati simulacije još uvijek bili prihvatljivi s RMSE vrijednosti od 3,7 °C [24].

S druge strane simulirani model precijenio je vrijednosti temperature zraka u poslijepodnevnom satima za 3,4 °C, dok je vrhunac najtoplijih sati bio u različito vrijeme od stvarnoga temperaturnog maksimuma izmjenjenog na lokaciji. To neslaganje može

se opravdati činjenicom da se računalni program ENVI-Met obično koristi za uvjete bez oblaka te je ta varijabla zanemarena, međutim u poslijepodnevnom vremenu na dan kada su mjerene temperature u realnome vremenu bilo je oblačno te su posljedično Sunčeve zrake bile blokirane.



Slika 10. Dnevne varijacije simuliranih i promatranih temperatura zraka koje pokazuju sličan trend

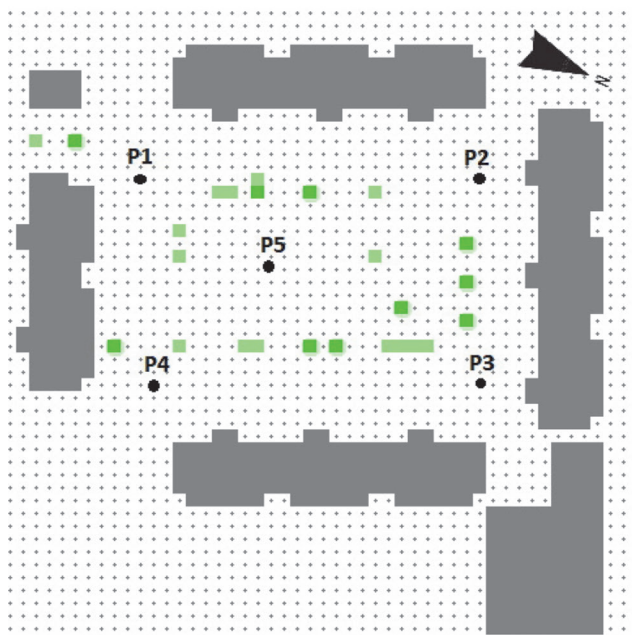


Slika 11. Korelacija između simulirane i promatrane temperature zraka za šest vremenskih razdoblja prilično je velika; R2 je gotovo 0,8

3.4. Usporedba podataka iz simulacija urbane morfologije

Podaci iz simulacija urbane morfologije uspoređeni su radi detaljnijeg razumijevanja metoda prema kojima računalni program ENVI-met kreira određena osjetljiva područja i zone udobnosti za pojedine scenarije te kako bi se saznalo koji scenarij predstavlja poboljšane toplinske uvjete i smanjuje temperaturu zraka u usporedbi sa stvarnim temperaturnim uvjetima. Budući da svih osam urbanih oblika sadržava pravokutni otvoreni prostor dimenzija 90 x 62 m koji je razgraničen stambenim blokovima, odabrane su mjerne točke u četiri kuta i u središtu otvorenog prostora kao što je to prikazano na slici 12. Pet mjernih točaka od P1 do P5 identificirano je u osam simuliranih modela ENVI-MET, odnosno u sedam urbanih oblika testiranih oko otvorenog prostora (od S1 do S7) i stvarne lokacije (slika 12.). Simulirani

mikroklimatski parametri, tj. temperatura zraka, brzina vjetera i temperatura površine tla u svakoj točki, prikazani su u usporednim dijagramima (slike od 13. do 15.) te pojašnjeni za svakih sat vremena u razdoblju od 8.00 do 19.00 sati.



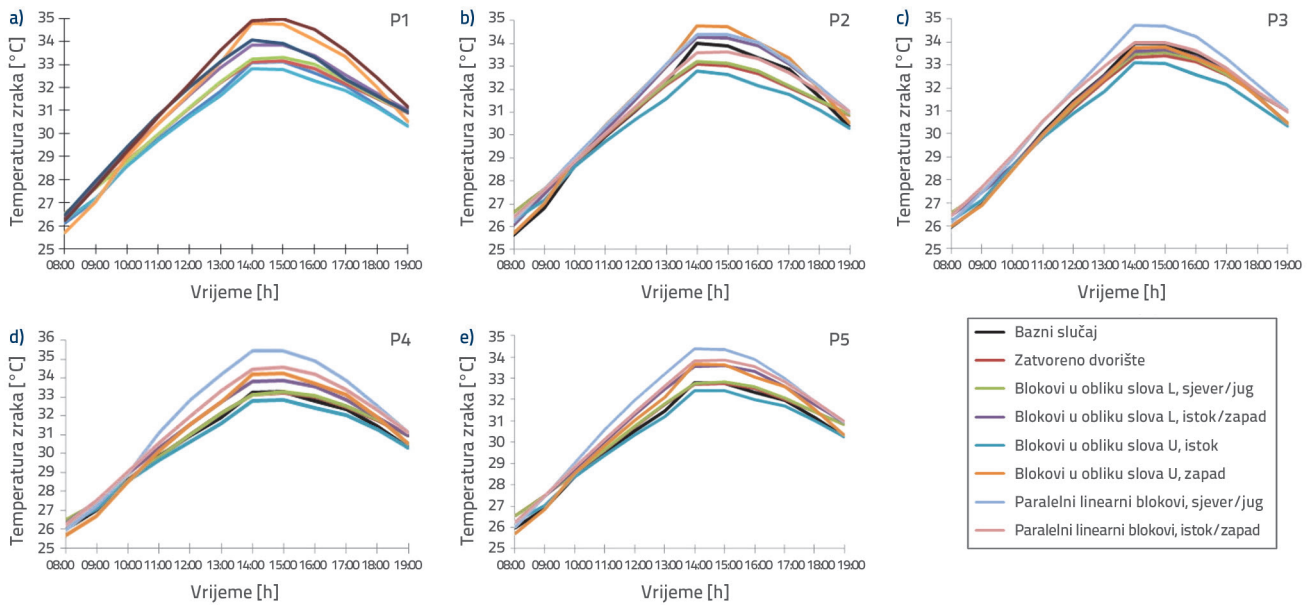
Slika 12. Mjerna mjesta u 3D simulacijskome modelu stvarne lokacije S1

3.4.1. Temperatura zraka

U jutarnjim satima od 8.00 do 10.00 (slika 13.) temperatura zraka T_{zrak} prikazuje male razlike između pojedinih scenarija. U bloku u obliku slova "U" orijentiranome prema zapadu zabilježene su općenito najniže vrijednosti na svim točkama (između 25,7 i 29 °C), dok su u bloku zgrada L1 zabilježene najviše vrijednosti temperature zraka T_{zrak} (između 26,5 i 29,5 °C).

Od 10.00 do 17.00 sati u linearnome bloku orijentiranome sjever-jug zabilježene su najviše temperature za mjerna mjesta P3, P4 i P5, dok su na mjernome mjestu P1 za blok u obliku slova "U" koji je zapadno orijentiran i linearni blok orijentiran istok-zapad zabilježene najviše vrijednosti temperature zraka T_{zrak} (35,45 °C). Najniže temperature bile su zabilježene na gotovo svim mjernim mjestima za blok zgrada "U" orijentiranom na istok, blok sa zatvorenim dvorištem i blok L2.

Od 17.00 do 19.00 sati temperatura se smanjila na svim mjernim mjestima za blok u obliku slova "U" koji je orijentiran prema zapadu te su to bile neke od najnižih vrijednosti za pojedine blokove. Nasuprot tome temperature izračunane za dvorišni blok i za blokove L1 povećale su se i dosegle više vrijednosti. Za linearne blokove zabilježene su najviše vrijednosti na svim točkama.

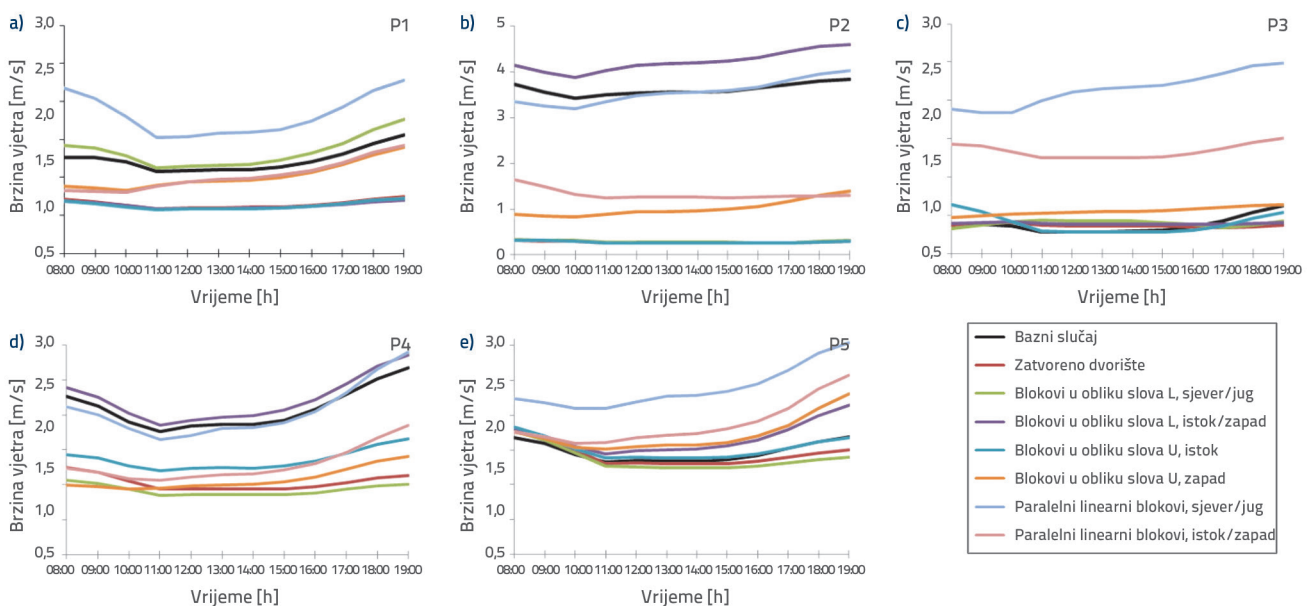


Slika 13. Dnevna varijacija temperature zraka (T_{zrak}) simulirana za svako mjesto na pet mjernih mjesta: a) P1; b) P2; c) P3; d) P4; e) P5

3.4.2. Brzina vjetra

Kao što je to prikazano na slici 14., podaci za linearni blok orijentiran sjever-jug prikazuju najveću brzinu vjetra na mjernim mjestima P1, P3 i P5 (između 1,5 i 2,3 m/s), dok su za blok L2 najveće vrijednosti zabilježene na mjernim mjestima P2 i P4. Najniža brzina vjetra zabilježena je na svim mjernim mjestima u dvorišnom bloku zgrada, kao što

je to bilo očekivano. Za blokove L1 i "U" oblika orijentiranog prema istoku brzina vjetra za svako mjerno mjesto je pod utjecajem nadolazećeg sjeverozapadnog vjetra i rasporeda blokova, što uzrokuje i Venturijev učinak i učinak kanjona. Krivulje svake točke imaju različite trendove, osim na mjernome mjestu P5 jer se u svim scenarijima nalazilo u središtu otvorenih prostora, a daleko od prepreka (slika 14).



Slika 14. Dnevna varijacija brzine vjetra (W_s) simulirana za svako mjesto na pet mjernih mjesta: a) P1; b) P2; c) P3; d) P4; e) P5

3.4.3. Temperatura površine tla

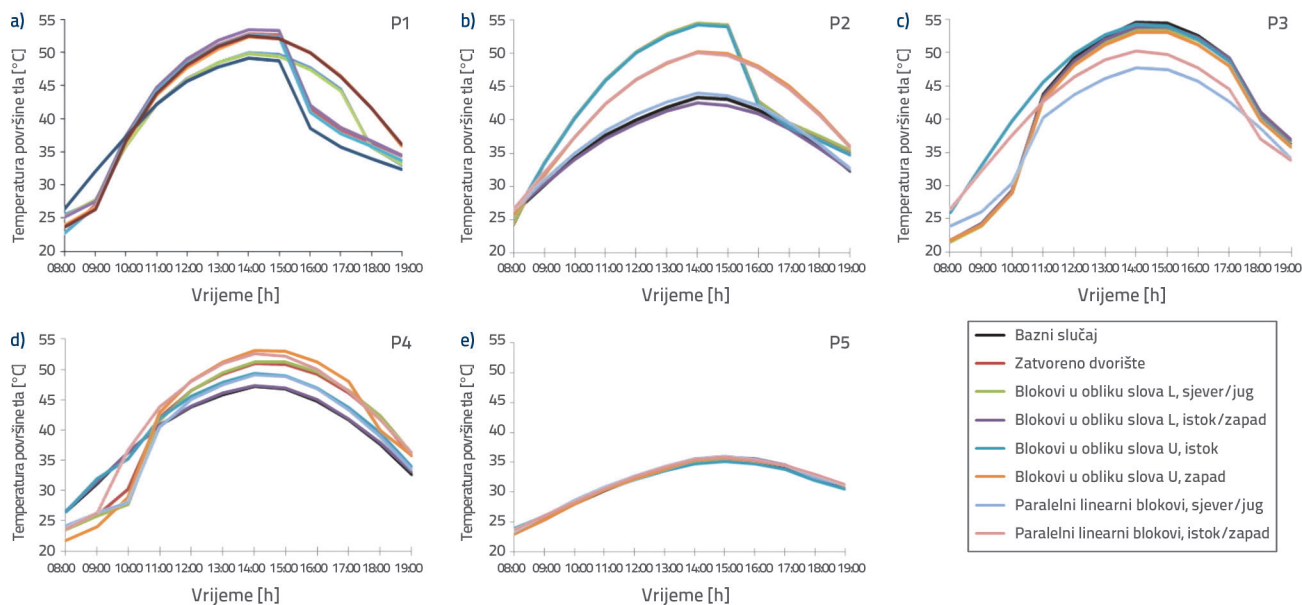
Mjerenja temperature površine tla na četiri kutna mjerna mjesta otvorenog prostora prikazala su nešto drugačije trendove (slika 15.), osim za mjerno mjesto P5 koje se nalazilo u središtu otvorenih prostora te je većinom bilo izloženo suncu tijekom cijelog dana u svim scenarijima. Zato su za mjerno mjesto P5 razlike u temperaturi za svih osam urbanih scenarija niske (između 0 i 1 °C).

Poklapanja temperatura tla za pojedina mjerna mjesta prikazana su kao glatke krivulje, a za mjerno mjesto P4 i blok L2 te mjerno mjesto P2 za linearne blokove, osnovni model, blok L2 i dvorišne blokove s različitim vrijednostima i nagibima. Vrijednosti za druga mjerna mjesta kreću se različito, na primjer, na mjernome mjestu P4 s dvorišnim blokovima, na mjernome mjestu P1 s blokom L2 i na mjernome mjestu P2 s blokom u obliku slova "U" orijentiranom na istok. Do toga dolazi zbog razlika u izloženosti Sunčevu zračenju i učinku sjenčanja. Mjerna mjesta

s dobrim poklapanjem temperatura (glatke krivulje) izložena su suncu cijeli dan, dok su ostala ponekad u sjeni, ovisno o smjeru insolacije i orijentaciji bloka.

Interakcija između meteoroloških parametara i urbanog oblika dovodi do promjene lokalne klime (mikroklime). U ovom istraživanju uočeno je to da je temperatura zraka uglavnom povezana s izlaganjem Sunčevu zračenju pa zatvoreni oblici zaštićeni od sunca mogu ublažiti toplinu urbanog otoka. S druge strane toplina se neće lako raspršiti zbog niske ventilacije uzrokovane smanjenim protokom zraka u zatvorenim oblicima. Zato strategije ublažavanja topline za grad Mostaganem predlažu prozračena urbana područja koja su zaštićena od izravnoga Sunčeva zračenja. Takve su preporuke u skladu s ostalim istraživanjima u tome području [16-18, 24, 26].

Sljedeći korak u budućim istraživanjima bit će uvođenje parametra razdoblja insolacije u analizi rezultata kao i uspoređivanja različitih parametara (temperatura zraka, temperatura tla, brzina vjetra) za različite urbane oblike.



Slika 15. Dnevna varijacija temperature površine tla (T_{gs}) simulirana za svako mjesto na pet mjernih mjestima: a) P1; b) P2; c) P3; d) P4; e) P5

4. Zaključak

U radu je proučavan učinak oblika urbanih blokova i njihove orijentacije u urbanom području u središtu grada Mostaganema na dnevne varijacije temperature zraka i temperature površine tla pomoću numeričke simulacije uz primjenu softvera ENVI-met te su vrijednosti temperatura potvrđene i *in situ* mjerenjima. U skladu s time primijećeno je kako oblik urbanog bloka i prostorna konfiguracija blokova mogu utjecati na urbani toplinski otok u prostorima unutar urbane strukture. Iz takvih saznanja proizlaze sljedeći zaključci:

- Izloženost suncu najviše utječe na temperaturu zraka i površine tla. Blokovi koji mogu zaštititi otvorene prostore

od Sunčeva zračenja imaju bolje klimatske performanse od drugih.

- Temperatura zraka također je povezana s brzinom i smjerom vjetra, međutim u ovoj studiji brzina vjetra nije uzeta u obzir kao glavni čimbenik utjecaja na smanjenje temperature zraka. U nekim situacijama, kao i u linearnom bloku orijentiranom sjever-jug, promatrani su istodobno najviša temperatura zraka i najveća brzina vjetra.
- Iako pomaže u provjetranju otvorenih područja između blokova, taj protok može imati učinak hlađenja ili grijanja, ovisno o temperaturama okoline.
- U kontekstu lokacije ispitivanja, kod zatvorenih oblika poželjno je provoditi ispitivanja u jutarnjim satima, a kod poluzatvorenih oblika tijekom ostatka dana.

- U ispitnom području moguće je smanjiti temperaturu zraka tijekom kritičnih sati dana (14.00 i 15.00 sati) korištenjem bloka u obliku slova "U" orijentiranog prema istoku, bloka dvorišnog oblika ili bloka L2.

U ovom radu korištena je jednostavna verzija programa ENVI-MET-a koja ima određena ograničenja u području ispitivanja. Za

buduća će istraživanja biti potrebna i simulacija cijele četvrti. Bit će zanimljivo usporediti i različite postojeće urbane forme u smislu toplinskih svojstava.

Daljnja istraživanja mogu se usredotočiti na uvođenje razdoblja insolacije u analizi rezultata kao i na usporedbu raznih ispitivanih parametara (temperatura zraka, temperatura tla, brzina vjetera) za različite urbane oblike.

LITERATURA

- [1] Mills, G.: Luke Howard And The Climate of London, *Weather*, 63 (2008) 6, pp. 153–157, doi: 10.1002/wea.195.
- [2] Akbari, H.: Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation, 19 (2001).
- [3] Wanphen, S., Katsunori, N.: Experimental Study of the Performance of Porous Materials to Moderate the Roof Surface Temperature by Its Evaporative Cooling Effect, *Building and Environment* 44 (2009) 2, pp. 338–351, doi:10.1016/j.buildenv.2008.03.012
- [4] Stone Jr, B.: *The City and the Coming Climate: Climate Change in the Places We Live*, New York: Cambridge University Press, 2012.
- [5] Corburn, J.: Cities, Climate Change and Urban Heat Island Mitigation: Localising Global Environmental Science, *Urban Studies*, 46 (2009) 2, pp. 413–427, doi: 10.1177/0042098008099361.
- [6] Akbari, H.: Shade Trees Reduce Building Energy Use and CO2 Emissions from Power Plants, *Environmental Pollution*, 116 (2002), pp. 119 –126, doi: 10.1016/S0269-7491(01)00264-0
- [7] Taha, H.: Urban Climates and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration, and Anthropogenic Heat, *Energy and Buildings*, 25 (1997) 2, pp. 99–103, doi: 10.1016/S0378-7788(96)00999-1
- [8] Heris, M.P., Middel, A., Muller, B.: Impacts of Form and Design Policies on Urban Microclimate: Assessment of Zoning and Design Guideline Choices in Urban Redevelopment Projects, *Landscape and Urban Planning*, 202 (2020), pp. 10387, doi: 10.1016/j.landurbplan.2020.103870
- [9] Nastasi, B.: Renewable Hydrogen Potential for Low-carbon Retrofit of the Building Stocks, *Energy Procedia*, 82 (2015), pp. 944–949, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.847
- [10] Santamouris, M.: On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings, *Energy and Buildings*, 82 (2014), pp. 100–113, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.07.022
- [11] Broadbent, A.M., Krayenhoff, E.S., Georgescu, M.: Efficacy of cool roofs at reducing pedestrian-level air temperature during projected 21st century heatwaves in Atlanta, Detroit, and Phoenix (USA), *Environmental Research Letters*, 15 (2020) 084007. doi: 10.1088/1748-9326/ab6a23
- [12] Sinsel, T., Simon, H., Broadbent, A.M., Bruse, M., Heusinger, J.: Modeling the outdoor cooling impact of highly radiative "super cool" materials applied on roofs, *Urban Climate*, 38 (2021), pp. 100898, doi: 10.1016/j.uclim.2021.100898
- [13] Oke, T.R.: *Boundary Layer Climates*, <https://login.lacollegelibrary.idm.oclc.org/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=74015>, 2009.
- [14] Olgyay, V., Lyndon, D., Reynolds, J., Yeang, K.: *Design with Climate - Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Revised edition, Princeton: Princeton University Press, 2015.
- [15] Stewart, I.D., Oke, T.R.: Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93 (2012) 12, pp. 1879–1900, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1
- [16] Ali-Toudert, F., Helmut, M.: Numerical Study on the Effects of Aspect Ratio and Orientation of an Urban Street Canyon on Outdoor Thermal Comfort in Hot and Dry Climate, *Building and Environment*, 41 (2006) 2, pp. 94–108, doi:10.1016/j.buildenv.2005.01.013
- [17] Bourbia, F., Awbi, H.B.: Building Cluster and Shading in Urban Canyon for Hot Dry Climate, *Renewable Energy*, 29 (2004) 2, pp. 249–262, doi: 10.1016/S0960-1481(03)00170-8
- [18] Johansson, E.: Influence of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort in a Hot Dry Climate: A Study in Fez, Morocco, *Building and Environment*, 41 (2006) 10, pp. 1326–1338, doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.022
- [19] Ratti, C., Raydan, D., Steemers, K.: Building Form and Environmental Performance: Archetypes, Analysis and an Arid Climate, *Energy and Buildings*, 35 (2003) 1, pp. 49–59, doi:10.1016/S0378-7788(02)00079-8
- [20] Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., van den Dobbels, A.: Outdoor Thermal Comfort within Five Different Urban Forms in the Netherlands, *Building and Environment* 83 (2015), pp. 65–78, doi:10.1016/j.buildenv.2014.03.014
- [21] Taleghani, M., Tenpierik, M., van den Dobbels, A., Sailor, D.J.: Heat in Courtyards: A Validated and Calibrated Parametric Study of Heat Mitigation Strategies for Urban Courtyards in the Netherlands, *Solar Energy*, 103 (2014), pp. 108–124, doi:10.1016/j.solener.2014.01.033
- [22] Kies, F., Kerfouf, A.: Impact of the Climate Change on the West Coast of Algeria: Gulf of Oran, Arzew and Mostaganem, *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 2 (2014) 3, doi:10.7770/safer-V2N3-art821
- [23] Crank, P.J., Sailor, D.J., Ban-Weiss, G., Taleghani, M.: Evaluating the ENVI-Met Microscale Model for Suitability in Analysis of Targeted Urban Heat Mitigation Strategies, *Urban Climate*, 26 (2018), pp. 188–97, doi:10.1016/j.uclim.2018.09.002
- [24] Galal, O.M., Sailor, D.J., Mahmoud, H.: The Impact of Urban Form on Outdoor Thermal Comfort in Hot Arid Environments during Daylight Hours, Case Study: New Aswan, *Building and Environment*, 184 (2020) 107222, doi:10.1016/j.buildenv.2020.107222
- [25] Yola, L.: Canyon Effects in Urban Configurations: Tropical Context Study, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 436 (2012) 012028, doi:10.1088/1755-1315/436/1/012028
- [26] Duplančić Leder, T., Leder, N., Hečimović, Ž.: Split Metropolitan area surface temperature assessment with remote sensing method, *GRAĐEVINAR*, 68 (2016) 11, pp. 895–905, <https://doi.org/10.14256/JCE.1661.2016>