

Primljen / Received: 27.12.2011.

Ispravljen / Corrected: 19.2.2012.

Prihvaćen / Accepted: 21.2.2012.

Dostupno online / Available online: 15.3.2012.

# Analiza zagrijavanja kolničkih površina urbanih područja

## Autori:



**Sergije Babić**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Rijeci  
Građevinski fakultet  
[sergije.babic@gradri.hr](mailto:sergije.babic@gradri.hr)



Prof.dr.sc. **Aleksandra Deluka-Tibljaš**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Rijeci  
Građevinski fakultet  
[aleksandra.deluka@gradri.hr](mailto:aleksandra.deluka@gradri.hr)



**Marijana Cuculić**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Rijeci  
Građevinski fakultet  
[marijana.cuculic@gradri.hr](mailto:marijana.cuculic@gradri.hr)



**Sanja Šurdonja**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Rijeci  
Građevinski fakultet  
[sanja.surdonja@gradri.hr](mailto:sanja.surdonja@gradri.hr)

Prethodno priopćenje

**Sergije Babić, Aleksandra Deluka-Tibljaš, Marijana Cuculić, Sanja Šurdonja**

## Analiza zagrijavanja kolničkih površina urbanih područja

Toplinski otoci su područja na kojima je temperatura viša od one u okolnom području. Nastaju uglavnom na izgrađenim površinama gradova, a doprinosi im i uporaba kolničkih konstrukcija koje imaju nepovoljnija toplinska svojstva. U radu su predstavljeni rezultati ispitivanja temperature različitih vrsta i svojstava kolničkih površina. Mjerenja su provedena tijekom ljetnih mjeseci 2011. u gradu Rijeci. Analizom rezultata je utvrđena osjetljivost pojedinog tipa kolničke površine na zagrijavanje kao i ponašanje različitih tipova površina u istim uvjetima zagrijavanja.

### Ključne riječi:

kolnička površina, toplinski otok, asfalt, beton, temperatura

Preliminary note

**Sergije Babić, Aleksandra Deluka-Tibljaš, Marijana Cuculić, Sanja Šurdonja**

## Analysis of pavement surface heating in urban areas

Heat islands are areas in which temperature is higher than that prevailing in surrounding areas. They are dominantly formed in developed urban zones, and are further intensified by the use of pavement structures with poor thermal properties. Results obtained during temperature testing conducted on pavements of various types and properties are presented in the paper. The measurements were made in summer months of 2011 in the town of Rijeka. The analysis of results has revealed new data about sensitivity to heating of individual types of pavement structures, and about behaviour of various types of surfacing when subjected to similar heating conditions.

### Key words:

pavement surface, heat island, asphalt, concrete, temperature

Vorherige Mitteilung

**Sergije Babić, Aleksandra Deluka-Tibljaš, Marijana Cuculić, Sanja Šurdonja**

## Analyse der Erwärmung von Fahrbahnoberflächen in Stadtgebieten

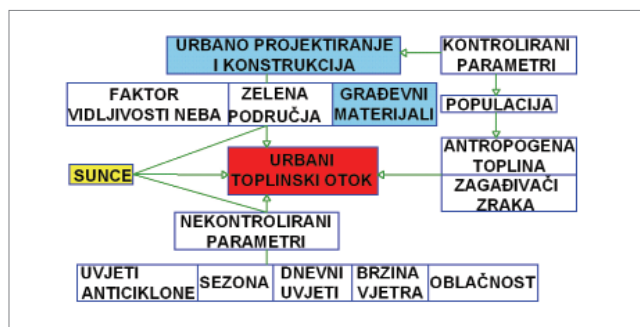
Wärmeinseln sind Gebiete, in welchen die Temperatur höher ist als in den umliegenden Gebieten. Sie entstehen hauptsächlich in ausgebauten Stadtflächen, wobei die Verwendung von Fahrbahnkonstruktionen mit ungünstigen Wärmeeigenschaften dazu beiträgt. In der Arbeit werden die Resultate von Temperaturprüfungen verschiedener Arten und Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen verglichen. Die Messungen erfolgten in der Stadt Rijeka in den Sommermonaten des Jahres 2011. Durch Analyse der Resultate wurde die Empfindlichkeit einzelner Typen von Fahrbahnoberflächen auf die Erwärmung und das Verhalten verschiedener Oberflächentypen unter denselben Erwärmungsbedingungen gemessen.

### Schlüsselwörter:

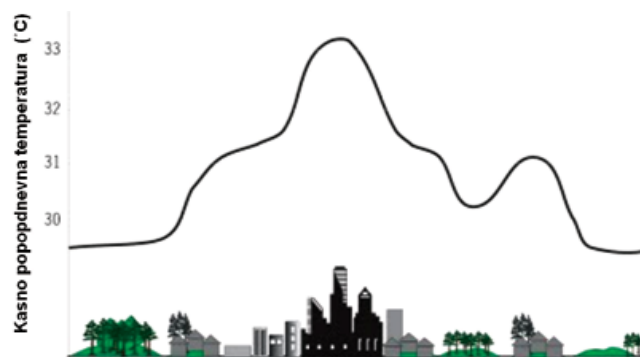
Fahrbahnoberfläche, Wärmeinsel, Asphalt, Beton, Temperatur

### 1. Uvod

Toplinski otoci predstavljaju područja unutar gradova na kojima je temperatura viša od one u okolnom području (1 do 3°C), a nastaju najčešće na izgrađenim površinama gradova kao posljedica urbanizacije kojom se onemogućavaju prirodni procesi upijanja vode u tlo i evaporacija [1]. Na pojavu toplinskih otoka utječu faktori koje možemo kontrolirati i na njih utjecati kroz planove i projektna rješenja te faktori povezani s okolišem i prirodom koje ne možemo kontrolirati (slika 1.) [2]. Efekt toplinskih otoka je najizraženiji u urbanom području gdje je prosječna temperatura zraka u središtu grada u najtoplijim mjesecima viša od one u rubnim gradskim ili prigradskim područjima (slika 2.).



Slika 1. Nastajanje urbanih toplinskih otoka [3]



Slika 2. Shematski prikaz promjene temperature [4]

Na važnosti ovoga problema upućuju rezultati studija provedenih posljednjih desetljeća u Europi [4], Sjedinjenim Američkim Državama [5], Australiji [6] i razvijenim azijskim zemljama [3]. Viša temperatura zraka ljeti u gradovima, osim što štetno djeluje na život i zdravlje ljudi, dovodi i do znatnog povećanja utroška energije za hlađenje. Zbog toga toplinski otoci postaju još jedan u nizu složenih ekoloških problema današnjice. Na razini prostornog planiranja s ciljem ublažavanja te negativne pojave predlaže se povećanje udjela zelenih površina i površina pod vodom unutar područja središta grada. Kako su krovovi i kolničke površine najizloženiji dijelovi urbanih područja sunčanoj toplinskoj energiji, istraživanja mogućih mjera za umanjivanje efekta toplinskih otoka usmjerena su na materijale i oblikovanje tih gradskih

površina. Strategija o tome kako umanjiti efekt toplinskih otoka u spomenutim studijama [3, 4, 5, 6] razmatra se u tri smjera:

- a) razvoj tzv. urbanih šumskih područja (eng. urban forestry),
- b) primjena reflektirajućih materijala za pokrivanje krovova i
- c) primjena hladnih kolnika te, u novije vrijeme, reflektirajućih kolnika [1, 7].

Povećanje udjela pošumljenog (ozelenjenog) područja u gradovima (eng. urban forestry) omogućuje veću evapotranspiraciju uz osnovni učinak zasjenjivanja gradskih površina. Pokazuje se da su europski gradovi vrlo različiti s obzirom na udio zelenih površina unutar urbanog područja, a europski je prosjek 30% zelenih površina u središtu grada [8]. Istraživanja su pokazala da bi strateškim ozelenjivanjem (uključujući pošumljavanje) gradova u sljedećih 10 do 15 godina moglo rezultirati smanjenjem troškova hlađenja ljeti za 10 do 20% [1]. Studija provedena za američke gradove (Chicago, Sacramento, Houston i Salt Lake City) pokazala je da kolničke površine u analiziranim gradovima zauzimaju od 30 do 45% njihove površine i da znatno utječu na povećanje temperature zraka u tim gradovima [3]. Istraživanja pokazuju da su posljedice urbanizacije i razvoja prometa u europskim gradovima na njihov ekosustav (što uključuje i temperaturu) zabrinjavajuće [4] te da se tek rijetki gradovi poput Stocholma mogu izuzeti iz općeg trenda [9]. Istraživanje koje su proveli autori Doulos, Santamouris i Livada, unutar kojega je u istim uvjetima osunčanja analizirano ponašanje 93 vrste uobičajeno korištenih materijala kolničkih konstrukcija, upućuju na one od ispitivanih materijala koji u navedenim mikroklimatskim uvjetima (Atena, Grčka) mogu doprinijeti smanjenju efekta toplinskog otoka, smanjiti utrošak električne energije i unaprijediti toplinske uvjete na otvorenim prostorima [10]. Ista grupa autora u daljnjim istraživanjima analizira posebne materijale koji mogu doprinijeti smanjenju zagrijavanja podloge pa samim time i okolnog zraka [7].

Uz navedene autore problematikom odabira materijala koji svojim optičkim i termičkim svojstvima mogu imati pozitivan utjecaj na okolinu bave se i drugi autori [11, 12]. Kao rješenje za smanjivanje efekta toplinskih otoka navodi se i izvedba kolničkih konstrukcija koje omogućavaju propuštanje vode u podlogu, takozvanih poroznih kolnika, te kolnika sa svjetlijom površinom – asfaltni ili betonski koji zbog povećane reflektivnosti imaju prosječno niže temperature [2, 11]. Navedene tipove kolnika uobičajeno nazivamo hladnim kolnicima (eng. cool pavements) [2].

U namjeri da se utvrdi ponašanje uobičajeno korištenih materijala kolničkih površina pri maksimalnim temperaturama zraka i najjačem sunčanom zračenju tijekom ljeta 2011., provedeno je sustavno mjerenje temperature kolničkih površina u gradu Rijeci. U razdoblju od lipnja do rujna prikupljeni su podaci na ukupno 40 mjernih točaka u središtu grada Rijeke na površinama od asfalta, raznih vrsta kamena,

betona i betona bojanog različitim bojama. Mjerne točke su smještene na pješačkim i kolničkim površinama te na parkiralištima. Mjerilo se cjelodnevno i u razdoblju za koje su utvrđene maksimalne temperature. Provedeno je ukupno 80 mjerenja temperature na svakoj mjernoj točki (više od 3000 mjerenja), od čega 35 unutar cjelodnevnih mjerenja temperature (12. srpnja i 15. rujna), a preostala mjerenja unutar utvrđenih dnevnih maksimalnih vrijednosti.

U ovome radu prikazana je analiza dijela rezultata mjerenja koji se odnose na mjerne točke na površinama za motorni promet na mikrolokaciji Riva u gradu Rijeci. Nastojala se utvrditi osjetljivost pojedine vrste materijala na sunčano zagrijavanje te razlike između temperatura zraka i kolničkih površina. Ta razlika izravno upozorava na negativan utjecaj ljetnih temperatura kolničkih površina na temperaturu okolnog zraka, a onda i određenih (izgrađenih) područja.

## 2. Toplinska svojstva materijala

Toplina se može prenositi na tri osnovna načina [13]:

- vođenjem (kondukcijom) - u čvrstim, tekućim i plinovitim materijalima,
- strujanjem (konvekcijom) - u tekućim i plinovitim materijalima, i
- zračenjem (radijacijom) - u plinovitim materijalima i u vakuumu.

Kod kolničkih konstrukcija toplina se prenosi zračenjem. Pri prijenosu topline zračenjem, toplinska energija tijela pretvara se u elektromagnetsko zračenje koje tijelo emitira u okolni prostor. Vrijedi i obrnuto, kada elektromagnetski valovi dopiju do površine nekog tijela, jedan njihov dio tijelo apsorbira i pretvara ga u kinetičku energiju svojih molekula, a to znači toplinu [14]. Svako tijelo s temperaturom većom od 0°K zrači toplinsku energiju u obliku elektromagnetskih valova, koji se pri dodiru s drugim tijelima ponovno djelomično ili potpuno pretvaraju u unutarnju energiju tijela.

Ako se na površinu nekog tijela dozrači energija  $\Phi$  (upadno zračenje), tada će se od površine tijela dio te energije reflektirati ( $r\Phi$ ), dio apsorbirati ( $a\Phi$ ), dok će se preostali dio ( $d\Phi$ ) propustiti kroz promatrano tijelo.

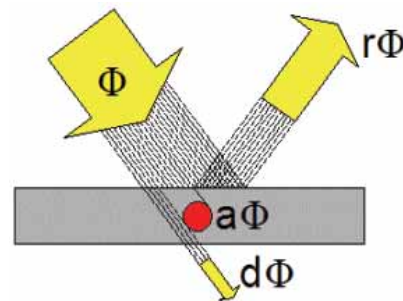
U tom slučaju vrijedi [15]:

$$a\Phi + r\Phi + d\Phi = \Phi, \quad (1)$$

gdje su:

- a - apsorpcijski faktor,
- r - refleksijski faktor,
- d - faktor propusnosti ili diatermije.

Omjer apsorbiranog i upadnog toka zove se faktor apsorpcije ( $a\Phi$ ), a omjer reflektiranog i upadnog toka faktor refleksije ( $r\Phi$ ) (slika 3.). Najviše energije emitiralo bi tijelo koje svu njemu



Slika 3. Apsorpcija, refleksija i propusnost zračenja [14]

dozračenu energiju apsorbira ( $a\Phi=1$ ), a ništa ne reflektira ( $r\Phi=0$ ), niti ne propušta ( $d\Phi=0$ ). Takvo idealno tijelo naziva se crno tijelo, a predstavlja samo teorijski model kakav ne postoji u prirodi. Sva realna tijela imaju  $a\Phi < 1$ , tj. ona će barem neki iznos dozračene energije reflektirati ( $r\Phi \neq 0$ ) ili čak i propustiti ( $d\Phi \neq 0$ ). Zračenje šupljine je vrlo blisko teorijskom modelu crnog tijela, jer se upadna zraka pri svakom sudaru s površinom šupljine postupno apsorbira, tako da kroz mali otvor šupljine izlazi zanemarivo malen iznos reflektirane energije. Takva šupljina praktički apsorbira svu dozračenu energiju, tj. ona ima  $a\Phi=1 = 100\%$ . Zbog toga će i sama šupljina emitirati maksimalnu energiju, kako bi emitiralo i teorijsko crno tijelo iste temperature, tj.  $e = 1$ .

Čvrsta tijela praktički su nepropusna za toplinsko zračenje ( $d\Phi=0$ ) pa za njih vrijedi jednadžba:

$$a\Phi + r\Phi = 1. \quad (2)$$

Faktori koji utječu na zagrijavanje kolničkih površina i zraka iznad nje su Sunčevo zračenje, sunčana refleksija (albedo) i infracrveno zračenje. Veličina sunčanoga zračenja utječe na temperaturu površine kolnika. Viša temperatura površine kolnika utječe na emitiranje topline što dovodi do povećanja temperature zraka. Za smanjenje temperature površine kolnika ističe se važnost reflektirajućih svojstava materijala (veličina albeda). Albedo se definira kao moć odbijanja svjetlosti koju ima neka površina ili tijelo. To je omjer odbijenog i primljenog elektromagnetskog zračenja. Vrijednost albeda klasičnih cestograđevnih materijala kao što su asfalt i beton u granicama je od 5 do 40%, što znači da apsorbiraju 95 do 60% energije Sunca. Albedo vrijednosti u granicama od nule za savršeno upijajuće površine do jedan za savršeno reflektirajuće površine [16]. Vrijednosti albeda standardnih materijala prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Vrijednosti albeda standardnih materijala [16]

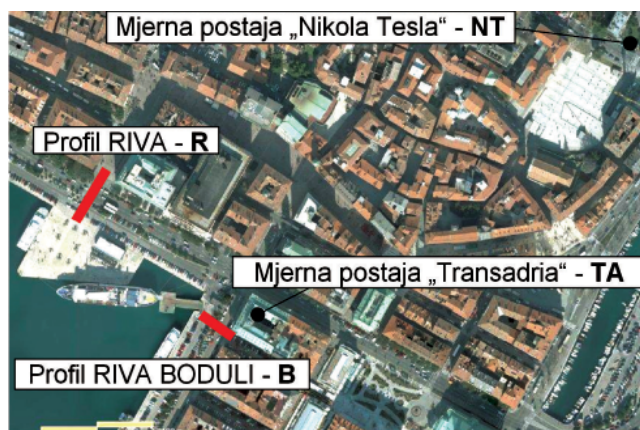
Materijal	Albedo
asfalt	0,05 – 0,20
beton	0,10 – 0,35
trava	0,25 – 0,30
drveće	0,15 – 0,18
opločnici	0,07 – 0,35

### 3. Analiza mjerenja temperature kolničkih površina

#### 3.1. Opis provedenog istraživanja

Mjerenje temperature površine kolnika provedeno je na dvije karakteristične ceste u središtu grada Rijeke. Ulica Riva je gradska magistralna cesta s intenzivnim prometom (PGDP oko 13.000 vozila), a ulica Riva Boduli sporedna gradska ulica, prilaz gradskoj tržnici. Mjerni profili postavljani su kao presjeci ulica na lokacijama koje obuhvaćaju pješačke, vozne, parkirališne i zelene površine s raznolikom završnom obradom. Položaj mjernih točaka je fiksiran oznakama na podlozi, uzimajući u obzir i različite karakteristike materijala prikazane u Tablici 2.

Mjerenje temperatura kolničke površine provedeno je od 16. lipnja do 15. rujna 2011. Ukupno je tijekom toga razdoblja provedeno 80 mjerenja temperature od kojih najveći dio (60 % pojedinačnih mjerenja) u prethodno utvrđenom terminu u kojem su zabilježene najviše temperature. Provedena su i dva cjelodnevna mjerenja od 7.00 sati do 21.00 sata, i to 12. srpnja i 15. rujna 2011. Za potrebe analize međudnosa temperatura izmjerenih na kolničkim površinama i temperatura zraka evidentirane su temperature na monitorima obližnjih mjernih postaja na lokacijama "Transadria" (u daljnjem tekstu TA) i "Nikola Tesla" (u daljnjem tekstu NT) prikazanim na slici 4., te podaci o dnevnoj promjeni temperature zraka na mjernim postajama "Pehlin" i "Vežica" smještenim u rubnom gradskom području na nadmorskoj visini većoj od one na kojoj se mjerila temperatura kolnika.



Slika 4. Ulice Riva i Riva Boduli s položajem mjernih profila

Temperatura je mjerena pomoću tri različita ručna mjeraca ("Veleman", non-contact infrared pocked termometer). Kako bi se mjerenja obavljala u podjednakim uvjetima, na mjerace su postavljeni priručni graničnici kojima je osigurana ista udaljenost (oko 5 mm) uređaja od podloge na kojoj se mjeri temperatura. Prije početka evidentiranja mjerenja temperature, izvršena su dva kontrolna mjerenja istom opremom s ciljem utvrđivanja pouzdanosti korištenja različitih mjernih uređaja. Srednja vrijednost odstupanja pojedinog uređaja iznosila je samo 0,1 do

0,3°C što je ocijenjeno kao dovoljno pouzdano. Osim temperature evidentirano je i stanje osunčanosti podatkom H - točka u hladu i S - osunčana kako bi se utvrdila važnost položaja samih točaka s obzirom na duljinu izloženosti sunčanom zračenju. Opažanja su se obavljala isključivo za vrijeme vedrih dana.

Planom mjerenja predviđeno je uključiti različite vrste materijala kolničke površine (asfalt, beton, granitne kocke, kamen), bojane površine (beton bojan različitim bojama) te površine različite namjene (pješačke površine, vozne trake, parkiralište), što je i provedeno. Cjelokupno je istraživanje obuhvaćalo ukupno 40 mjernih točaka. Međutim, u nastavku ovoga rada prikazuju se samo rezultati koji se odnose na mjerenja provedena na mikrolokaciji Riva u gradu Rijeci, i to isključivo na površinama namijenjenima motornom prometu, prometnim trakovima i parkiralištu. Kako su preliminarno izvršena mjerenja pokazala da boja materijala (primjerice asfalta) utječe na njegovo zagrijavanje, pri mjerenju je uzet u obzir i taj podatak. Prikaz položaja mjernih točaka dan je na slikama 5. i 6., a opis pojedinačnih točaka u tablici 2.



Slika 5. Mjerne točke u Ulici Riva (R)



Slika 6. Mjerne točke u Ulici Riva Boduli (B)

Tablica 2. Opis mjernih mjesta

Oznaka mjernog mjesta	Tip kolničke površine	Namjena prometne površine
Ulica Riva (R)	Točka 4. (R4)	granitne kocke
	Točka 5. (R5)	asfaltbeton
	Točka 7. (R7)	bojani asfaltbeton (bijela boja)
	Točka 8. (R8)	asfaltbeton
Ulica Riva Boduli (B)	Točka 5. (B5)	beton
	Točka 7. (B7)	asfaltbeton
	Točka 8. (B8)	asfaltbeton
	Točka 9. (B9)	bojani asfaltbeton (bijela boja)
	Točka 10. (B10)	asfaltbeton

### 3.2. Rezultati mjerenja temperature kolničkih površina

Kako je već navedeno, prikazani su rezultati koji se odnose na mjerna mjesta na površinama koje koriste motorna vozila kako bi se utvrdilo:

- razlike u ponašanju materijala završnih slojeva kolnika s obzirom na njihovo zagrijavanje,
- utjecaj temperature zraka i osunčanosti na kolničke površine različitih analiziranih materijala, tj. razlike između temperature zraka i različitih kolničkih površina, i
- drugi mogući utjecaji na zagrijavanje površine kolnika (položaj unutar prometne mreže, postojeće stanje primjerice asfaltne podloge i dr.).

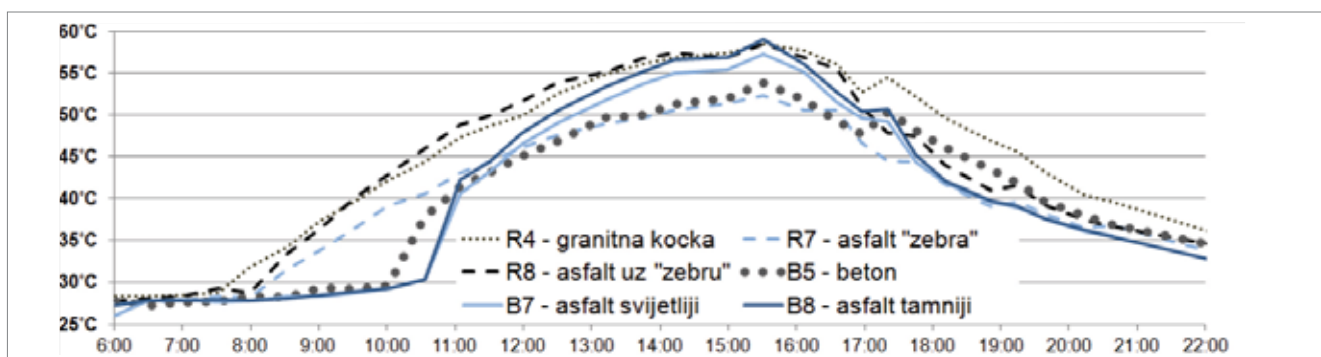
U nastavku su prikazani rezultati mjerenja provedeni tijekom cjelodnevnog mjerenja temperature 12. srpnja 2011. te rezultati višekratnih mjerenja provedenih u cijelom analiziranom ljetnom periodu.

Rezultati su pokazali da nema značajne razlike u temperaturi kolničkih površina različitih namjena (primjerice kolničkih trakova i parkirališta) u istim mikroklimatskim uvjetima, pa stoga i nisu u radu detaljnije analizirani.

#### 3.2.1. Utjecaj zagrijavanja na temperature kolničkih površina

Istraživanje je obuhvatilo analizu ponašanja kolničkih površina različitih materijala standardnih kolničkih konstrukcija asfalta i betona te danas manje zastupljenih granitnih kocaka (detaljan opis mjernih mjesta prikazan je u tablici 2.).

Temperature i stanje osunčanosti cjelodnevnog mjerenja 12. srpnja na odabranim točkama kolničkih površina prikazani su na slici 7. te u tablici 3. U toj je tablici ujedno, posebnim sjenčanjem vrijednosti, prikazana osunčanost pojedine lokacije te dinamika promjene temperature (grijanje/hlađenje) pojedinog mjernog mjesta.



Slika 7. Cjelodnevna promjena temperatura kolnika (12. srpnja) na odabranim lokacijama

Tablica 3. Rezultati cjelodnevnog mjerenja temperature kolnika i osunčanost prema mjernim točkama

točka	VRIJEME MJERENJA																														
	6:02	6:30	7:00	7:32	8:00	8:33	9:02	9:32	10:02	10:34	11:05	11:31	12:00	12:31	13:13	13:45	14:13	15:00	15:31	16:07	16:36	16:58	17:21	17:46	18:12	18:51	19:15	19:39	20:14	20:39	22:12
	<b>GRADUIRANI PRIKAZ PROMJENE TEMPERATURE PODLOGE</b>																														
	60 °C																														
	25 °C																														
R5.	28,4	28,6	28,9	29,5	31,8	34,9	37,7	40,5	43,7	45,6	48,6	49,3	51,1	53,6	55,8	57,1	57,7	58,4	58,9	57,9	56,4	53,4	54,3	52,6	50,2	47,2	45,6	43,1	40,8	39,4	36,5
R4.	28,3	28,3	28,5	28,7	31,8	34,2	37,3	39,7	42,2	44,3	47,3	48,6	49,9	52,6	54,8	56,0	56,9	57,4	58,5	57,7	56,0	52,7	54,4	52,1	49,6	46,9	45,6	43,1	40,4	39,7	35,8
R7.	27,7	27,6	27,8	28,3	28,2	31,6	33,9	36,4	39,2	40,6	43,0	44,4	46,1	47,6	48,9	49,6	50,6	51,3	52,3	50,6	50,6	46,7	44,5	44,4	41,6	39,1	39,6	38,1	36,5	36,8	33,4
R8.	27,8	28,1	28,4	29,3	28,8	33,4	36,4	40,1	42,9	45,9	48,8	49,8	51,6	53,9	55,1	56,7	57,4	56,9	58,5	56,8	55,5	50,9	47,8	47,4	44,0	41,0	41,5	39,3	37,5	36,7	34,4
B5.	27,7	27,2	27,6	27,7	28,2	28,3	29,3	29,2	29,6	37,8	41,4	43,1	45,1	46,9	49,6	49,9	51,3	51,9	53,8	51,8	49,3	47,6	50,3	48,1	46,0	43,5	41,9	39,7	38,0	36,9	34,3
B7.	26,1	27,8	27,9	27,7	27,8	28,3	28,4	28,7	29,3	30,4	40,6	43,1	46,5	49,1	51,8	53,6	55,0	55,4	57,3	55,1	51,5	49,6	49,2	44,4	41,8	39,7	38,9	37,6	36,2	35,6	33,0
B8.	27,3	27,8	27,8	27,9	27,8	28,1	28,5	28,9	29,3	30,3	42,2	44,3	47,8	50,6	53,3	55,1	56,6	56,9	59,0	56,1	52,7	50,4	50,7	45,1	42,1	39,8	39,1	37,6	36,3	35,5	32,5
B9.	27,9	28,2	28,2	28,5	28,5	28,3	28,4	29,8	32,8	39,4	40,5	43,0	46,3	46,4	48,5	50,6	51,6	52,3	54,0	52,2	49,8	47,6	50,1	48,1	46,0	43,0	41,3	39,6	37,9	37,1	34,8
B10.	27,4	28,4	28,4	28,9	28,4	28,1	28,7	29,6	31,5	40,1	40,8	44,1	48,6	48,2	49,7	52,1	53,3	53,5	55,9	53,9	51,4	49,1	51,3	49,2	47,0	44,0	42,1	40,1	38,0	37,4	34,3

Grafičkim prikazom cjelodnevnne promjene temperature uočljive su neke osobitosti vezane za vrste materijala kolničkih površina. Pokazuje se da vrlo značajan utjecaj na temperature kolničkih površina ima osunčanost pojedine mjerne lokacije, odnosno da pri istim uvjetima osunčanosti (vremena tijekom kojeg je površina izložena sunčanom zračenju) različiti materijali pokazuju slično ponašanje u smislu temperature koju postižu. Podloge svih analiziranih materijala najvišu su izmjerenu temperaturu dostigle u približno isto vrijeme kada je izmjerena i najviša temperatura zraka, između 15.00 i 16.00 sati.

Pokazuje se da u istim uvjetima osunčanosti (primjerice točke B5 i B8) betonska podloga postiže 5°C nižu temperaturu od asfaltne. Rezultati pokazuju da asfaltne podloge sličnih svojstava (prije svega se ovdje misli na boje) bez obzira na duljinu osunčavanja postižu vrlo bliske vrijednosti maksimalnih dnevnih temperatura. Tako je primjerice između mjernih mjesta na asfaltu R5 koje je osunčano od 8.00 sati i B8 koje je osunčano od 11.00 sati u razlika temperature trenutku maksimalne dnevne temperature samo 1°C.

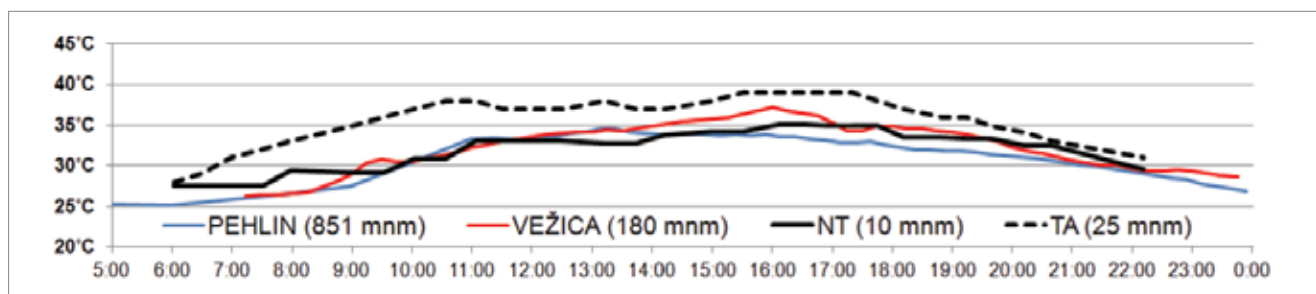
One točke na asfaltnoj površini koje su obojane (pješački prijelaz) u istim uvjetima osunčanosti imaju gotovo do 6°C manju maksimalnu dnevnu temperaturu. Utjecaj boje podloge vidljiv je i usporedbom točaka B7 (svjetliji asfalt) i B8 (tamniji asfalt) koje se nalaze u neposrednoj blizini na asfaltu različite recepture. Na tamnijem materijalu (u kojem je, pretpostavlja se, korišten agregat eruptivnog porijekla) izmjerene su temperature više od onih na svijetlom asfaltu za približno 1°C

do 1,5°C. Temperature podloge od granitne kocke (R4) vrlo su bliske onima od asfalta (R5) u istim uvjetima osunčanosti.

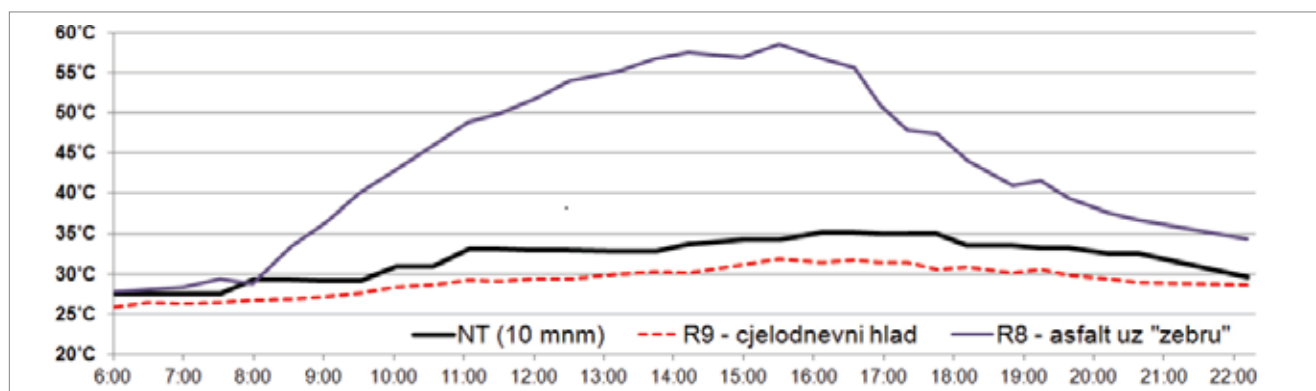
Na slici 8. usporedno su prikazane promjene temperature zraka na obližnjim mjernim postajama, na lokacijama "Transadria" (TA) i "Nikola Tesla" (NT), te promjene temperature zraka na mjernim postajama "Pehlin" i "Vežica" smještenim u rubnom gradskom području na većoj nadmorskoj visini. Temperatura zraka na mjernom mjestu Transadria mjeri se na lokaciji izrazito izloženoj suncu. Ta je lokacija ujedno i najbliža lokaciji mjerenih točaka na kolničkim površinama.

Na slici 9. prikazane su promjene temperature kolnika za dva mjerna mjesta (asfaltna površina u hladu (R9) i asfaltna točka izložena osunčanju (R8), slika 6.) usporedno s promjenom temperature zraka na mjernoj postaji NT. Pokazuje se da su temperature točke koja je u cjelodnevnoj sjeni (R9) niže od temperature zraka te da je razlika između temperature u toj točki i onoj koja je osunčana (R8) u uvjetima najviše dnevne temperature više od 25°C.

Bitno je naglasiti da je temperatura točke R8 koja je izložena direktnom osunčanju u vremenu od 8.30 do 19.15 sati (sa zanemarivim periodima u sjeni) viša od temperature zraka počevši otprilike od 9.00 sati prije podne do trenutka zadnjeg dnevnog mjerenja provedenog u 22.00 sata. U tom razdoblju razlika između temperature zraka na najbližjoj mjernoj postaji TA i mjernog mjesta R8 iznosi do maksimalnih 21°C u približno 15.30 sati i očito pokazuje da u navedenom razdoblju kolnik značajno doprinosi povećanju temperature okolnog zraka.



Slika 8. Promjena temperature zraka na mjernim postajama 12. srpnja 2011.



Slika 9. Promjena temperature kolnika i temperature zraka na mjernoj postaji NT (12. srpanj 2011.)

3.2.2. Analiza utjecaja temperature zraka na temperaturu kolničke površine

Nakon što su u lipnju i srpnju mjerenja bila nasumce ili kao cjelodnevno mjerenje (12.7.), tijekom kolovoza provedeno je niz mjerenja u približno isto doba dana (14:00 do 15:30 sati) kada su uočene najviše temperature i zraka i podloge (slika 10.).

Na slici 10. prikazane su, između ostaloga, i temperature izmjerene na karakterističnim podlogama (asfalt, bojani asfalt i beton) u periodu od 3. kolovoza do 2. rujna kada je obavljeno ukupno 16 mjerenja na navedenim mjernim mjestima. Temperatura zraka u tom je razdoblju varirala u rasponu od 26°C do maksimalnih 37°C ( $\Delta t=11^\circ\text{C}$ ), a temperatura kolnika s asfaltnom podlogom od 39°C do 55°C ( $\Delta t=16^\circ\text{C}$ ) te je prosječno iznosila 50°C, odnosno 45,6°C za bojani asfalt.

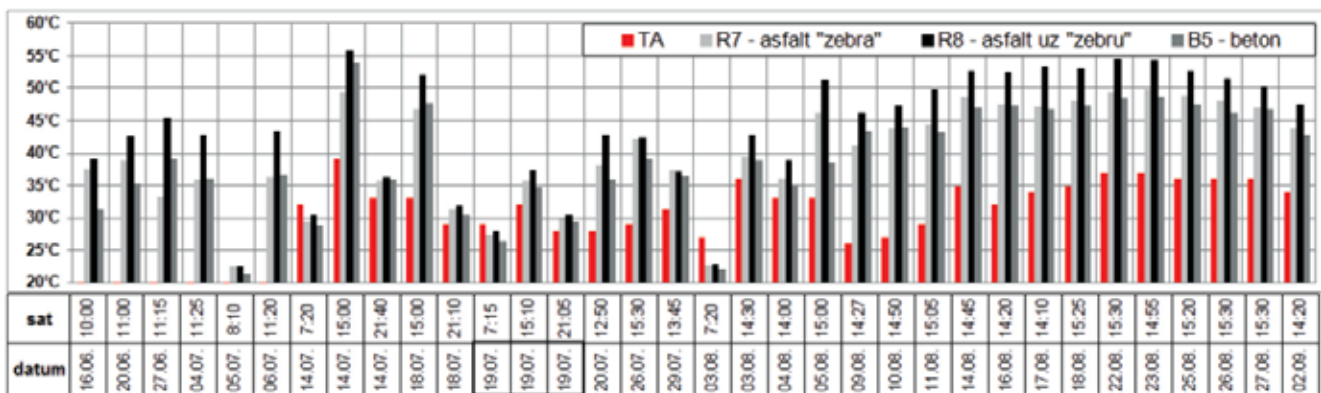
Prosječna razlika između temperature zraka i površine kolnika s najvišom temperaturom (asfalt) u istom je razdoblju bila 16,4°C. Temperatura betonskog kolnika u promatranom je razdoblju (16 mjerenja u najtoplijem dijelu dana) bila 5,4°C niža od one asfaltno površine, a uglavnom jednaka ili niža od temperature bijelo bojanog asfalta.

Tijekom dugotrajnog mjerenja temperature uočeno je i nekoliko atipičnih rezultata mjerenja. Analizirajući, primjerice,

izmjerene vrijednosti 18. i 19. srpnja u isto doba dana uočava se da je dnevni maksimum 19. srpnja niži za približno 5°C. Temperatura podloge u vrijeme najveće zagrijanosti međutim je niža za 12 do 15°C (ovisno o podlozi), dok je večernja temperatura gotovo identična. U tom istom danu (i jedino tada) izmjerena je jutarnja temperatura podloge bila viša od maksimalne dnevne temperature zraka. Detaljnijim uvidom u vremenske prilike uočava se da su tih dana nakon dužeg razdoblja zabilježene oborine u količini koja je mogla utjecati na vlažnost podloge pa onda i na njezino sporije zagrijavanje zbog efekta evaporacije.

3.3. Analiza infracrvenog snimka mjernih lokacija

Prikazani infracrveni (IC) snimci analiziranih mjernih lokacija na mikrolokaciji Ulice Riva (slika 5.) vrlo jasno pokazuju razliku u temperaturi same označene točke i okolne površine. Pokazuje se da na istoj mikrolokaciji čak i isti materijal različite boje, u ovom slučaju asfalt i bijelo obojani asfalt (točke R5 i R7) mogu imati i nekoliko stupnjeva (oko 4°C) različitu temperaturu. Snimak mjernog mjesta R4 koji prikazuje granitne kocke koje su povezane bitumenom jasno pokazuje razliku u temperaturi tih materijala koja nije zanemariva (tablica 4.).



Slika 10. Prikaz temperatura zraka i različitih vrsta podloga (mjerenja u periodu lipanj-kolovoz 2011.)

Tablica 4. Prikaz mjernih točaka na mikrolokaciji Ulice Riva sa IC snimkom lokacije

Opis točke:	Foto snimak	IC snimak
Točka 4. (R4) Granitne kocke na parkiralištu		
Točka 5. (R5) Asfalt neposredno uz granitne kocke na parkiralištu		
Točka 7. (R7) Asfalt - bijela pruga pješачkog prijelaza		
Točka 8. (R8) Asfalt - vozna traka		

#### 4. Zaključak

Nastanak toplinskih otoka kao mjesta s temperaturom višom od one okolnog područja ljeti u središnjim dijelovima gradova prepoznaje se kao jedan od važnijih ekoloških problema jer utječe na standard i zdravlje ljudi u gradovima te na povećanje utroška energije. Analiza faktora koji utječu na stvaranje toplinskih otoka u gradovima upućuje na to da je njihova preizgrađenost znatno doprinijela pojačanju toga negativnog efekta. Prometne se površine prepoznaju po svojem udjelu u površinama središta gradova kao važan element pojačavanja ili pak suzbijanja toga efekta. Pokazuje se da strategija o tome kako umanjiti efekt toplinskih otoka, u segmentu planiranja i projektiranja prometnih površina u gradovima, treba obuhvatiti uporabu materijala s visokim albedom (tzv. hladni kolnici), izgradnju poroznih kolnika od različitih materijala (osobito na parkirališnim i pješačkim površinama) te plansku sadnju drveća uz prometnice.

U ovome je radu predstavljen dio rezultata ispitivanja temperature kolničkih površina provedenog tijekom ljeta 2011. godine u gradu Rijeci. Rezultati upućuju na značajan utjecaj koji zagrijavanje kolničkih površina ima na temperaturu okolnog prostora jer pokazuju razliku u temperaturi zraka i površina. Kao najnepovoljniji materijal u smislu toplinskih svojstava pokazuje se asfalt. Nije nevažno istaknuti da i kod materijala nepovoljnih svojstava boja samoga materijala ima značajnu ulogu, pa tako bijelo obojani ili svjetliji asfalt ima povoljnija toplinska svojstva od tamnijeg (obnovljenog) asfaltnog zastora. Beton se pokazuje materijalom koji se manje zagrijava od asfalta i pri maksimalnim i pri trajno visokim (ljetnim) temperaturama, što ovaj materijal čini povoljnijim za primjenu u gradovima s aspekta utjecaja na zagrijavanje okoline. U daljnjim istraživanjima potrebno je detaljnije analizirati svojstva ugrađenih materijala kao što su boja i tekstura, kao i mogućnost usporedbe standardnih kolnika s onima prije spominjanim poroznim kolnicima u istim uvjetima zagrijavanja.

#### LITERATURA

- [1] Golden, J.S.: *The Built Environment Induced Urban Heat Island Effect in Rapidly Urbanizing Arid Regions – A Sustainable Urban Engineering Complexity*, Environmental Sciences, Vol. 1 (2004), No. 4, pp. 321-349.
- [2] Cuculić, M.; Šurdonja, S.: *Pregled novijih kolničkih konstrukcija koje ublažavaju efekt urbanih toplinskih otoka*, Zbornik radova Sveučilišta u Rijeci, knjiga 13 (2010), 245-262.
- [3] Memon, R.A.; Leung, D.Y.C.; Chunho, L.: *A review on the generation, determination and mitigation of the Urban Heat Island*, Journal of Environmental Sciences, Vol. 20 (2008), No. 1, pp. 120-128.
- [4] Santamouris, M.: *Heat Island Research in Europe: State of the Art*, Advances in Building Energy Research, Vol. 1 (2007), No. 1, pp. 123-150.
- [5] United States Environmental Protection Agency, EPA's Report on the Environment, EPA, Washington DC, 2008.
- [6] Torok, S.J.; Morris, C.J.G.; Skinner, C.; Plummer, N.: *Urban heat island features of southeast Australian towns*, Australian Meteorological Magazine, Vol. 50 (2001), No. 1, pp. 1-13
- [7] Santamouris, M.; Synnefa, A.; Karlessi, T.: *Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions*, Solar Energy, Vol. 85 (2011), No. 12, pp. 3085-3102.
- [8] Konijnendijk, C.C.: *A decade of urban forestry in Europe*, Forest Policy and Economics, Vol. 5 (2003), No. 2, pp. 173-186.
- [9] Bolund, P.; Hunhammar, S.: *Ecosystem services in urban areas*, Ecological Economics, Vol. 29 (1999), No. 2, pp. 293-301.
- [10] Doulos, L.; Santamouris, M.; Livada, I.: *Passive cooling of outdoor spaces. The role of materials*, Solar Energy, Vol. 77 (2004), No. 2, pp. 231-249.
- [11] Nakayama, T.; Fujita, T.: *Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas*, Landscape and Urban Planning, Vol. 96 (2010), No. 2, pp. 57-67.
- [12] Synnefa, A.; Dandou, A.; Santamouris, M.; Tombrou, M.: *On the Use of Cool Materials as a Heat Island Mitigation Strategy*, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 47 (2010), No. 11, pp. 2846-2856.
- [13] Šimetin, V.: *Građevinska fizika*, Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1983.
- [14] Kulišić, P.: *Mehanika i toplotina*, Školska knjiga, Zagreb, 2005.
- [15] Lazić, L.: *Numeričke metode u toplinskoj analizi*, Metalurški fakultet, Sisak, 2007.
- [16] United States Environmental Protection Agency, *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool Pavements*, EPA, Washington DC, 2008.