

EU PROJEKT BUS GOCIRCULAR

PRIPREMIO:
Bojan Milovanović

Kako smanjiti utjecaj toplinskih otoka?

Kako bi se smanjio utjecaj urbanih toplinskih otoka te povećala toplinska ugodnost vanjskoga okoliša, ali i toplinska ugodnost unutar zgrada, u pojedinim se državama potiče izvedba tzv. hladnih krovova i hladnih kolnika, koje definira vrijednost indeksa solarne refleksije

Uvodne napomene

Projekt BUS GoCircular, koji se posljednje tri godine provodi na Građevinsko-me fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, bavi se izazovima energetske učinkovitosti u građevinarstvu koji se pojavljuju zbog tranzicije iz linearnoga u kružno gospodarstvo (u graditeljstvu poznatije kao zelena gradnja).



Opći cilj toga EU-ova projekta jest rješavanje i prevladavanje izazova stimuliranja potražnje kvalificirane radne snage u tzv. zelenim poslovima zajedno s praktičnom izgradnjom kapaciteta za povećanje broja kvalificirane radne snage u cijelome lancu vrijednosti. Projekt se financira iz EU-ova programa Horizon 2020, a planirano je da traje od 1. rujna 2021. do 29. veljače 2024. Nositelj je projekta Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, a projektni tim čine prof. dr. sc. Ivana Banjad Pečur, prof. dr. sc. Nina Štirmer, doc. dr. sc. Bojan Milovanović, dr. sc. Marina Bagarić i Mergim Gaši. Provodi se na razini pojedinih zemalja i na regionalnoj razini primjenom mjera za poticanje potražnje koje su praćene praktičnim usavršavanjem centara za izobrazbu inženjera i građevin-

skih radnika. Angažman malih i srednjih poduzeća omogućit će izobrazba njihovih radnika u sklopu projekta.

BUS-GoCircular formiran je koalicijom partnera koji su sudjelovali u završenim EU-ovim projektima BUILD UP Skills i Construction Skills, a to su nizozemske institucije *Stichting Isso*, *Stichting Circle Economy* i *Building Changes Support BV*, bugarske institucije *Fondatsiya tsentar za energiyina efektivnost – ENEFEKT* i *Universitet po arhitektura stroitelstvo i geodezija*, češki instituti *Ceske vysoké uceni technicke V Praze* i *Institut Cirkularni Ekonomiky ZU*, španjolski instituti *Instituto Valenciano de la Edificacion* i *Federacion Valenciana de empresarios de la Construcción*, mađarska udruga *EMI Epitesugyi Minosegellenorzo Innovacios Nonprofit KFT*, Tehnološko sveučilište *Shannon Midlands Midwest* iz Irske, belgijski *Savjet europskih arhitekata* te njemačka udruga *ICLEI European Secretariat GmbH*.

Opći cilj EU-ova projekta BUS-GoCircular jest rješavanje i prevladavanje izazova potražnje za kvalificiranom radnom snagom za zelenu energiju uz praktičnu izgradnju kapaciteta za povećanje broja kvalificirane radne snage u cijelome lancu vrijednosti. BUS-GoCircular postići će taj cilj razvojem i implementacijom kvalifikacijskoga okvira vještina zelene gradnje s fokusom na višenamjenske zelene krovove, fasade i elemente interijera. To je razrađeno u pet specifičnih kvalitativnih ciljeva:

- razvijanje kvalifikacijskoga okvira za kružne građevinske vještine
- poticanje tržišne potražnje za vještinama zelene gradnje

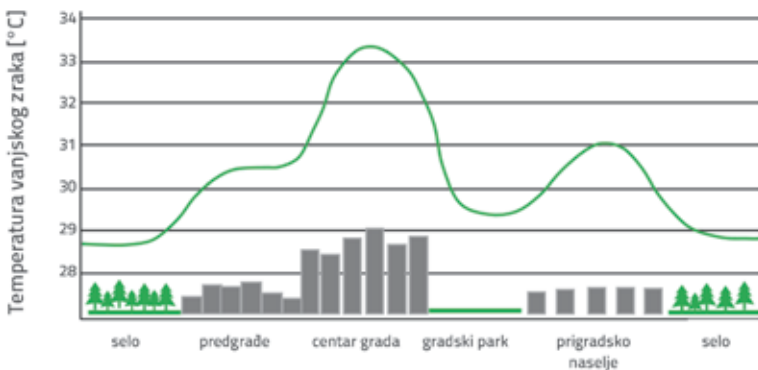
- razvoj shema priznavanja i provođenja pilot-tečajeva
- poboljšanje ugleda građevinskoga sektora i privlačenje žena i mladih u zelena zanimanja
- proširenje projekta BUS-GoCircular na nacionalnoj razini i razini EU-a razvojem i provedbom strategije komunikacije i replikacije.

BUS-GoCircular najviše je usmjeren na multifunkcionalne zelene krovove, fasade i elemente interijera, pri čemu je vrlo važna tematika urbanih toplinskih otoka. U nastavku priloga obrađena je tema urbanih toplinskih otoka i važnosti vrijednosti indeksa solarne refleksije koja se istražuje u sklopu toga EU-ova projekta.

Urbani toplinski otoci

Fenomen urbanoga toplinskog otoka (engl. *Urban Heat Island – UHI*) postoji u svim gradovima, neovisno o njihovoj veličini, a znači razvoj viših temperatura zraka u urbanim sredinama u usporedbi s temperaturama zraka u okolnim gradskim predgrađima i ruralnim sredinama. Intenzitet urbanoga toplinskog otoka (engl. *Urban Heat Island Intensity – UHII*) vjerojatno je najistaknutiji problem vezan uz toplinsku ugodnost vanjskoga i unutarnjega okoliša te energetske učinkovitost zgrada, i to ponajprije u vidu potrošnje energije za hlađenje.

Najveća dnevna razlika između temperatura zraka u urbanim i ruralnim sredinama određuje intenzitet urbanoga toplinskog otoka. Urbani toplinski otoci pojavljuju se u svako doba godine, ali ekstremni ljetni uvjeti najviše utječu na kvalitetu života i korištenje energije u gradovima. UHII može doseći temperaturu od 10 do 12 °C u megagradovima te od 3 do 4 °C u gradovima s populacijom manjom od 500 000 stanovnika. Intenzi-



Slika 1. Prikaz temperaturnih razlika između urbanih sredina, njihovih predgrađa i ruralne okolice kao posljedice toplinskih otoka

lika gustoća izgrađenosti okoliša (jer se znatna količina topline koju pohranjuju materijali izgrađenoga okoliša emitira natrag u atmosferu, ograničava prirodno strujanje zraka, a vodonepropusne obloge otežavaju prirodno otjecanje oborina) i smanjenje zelenih i vodnih površina, jer je time smanjeno prirodno hlađenje transpiracijom i evaporacijom.

Albedo materijala

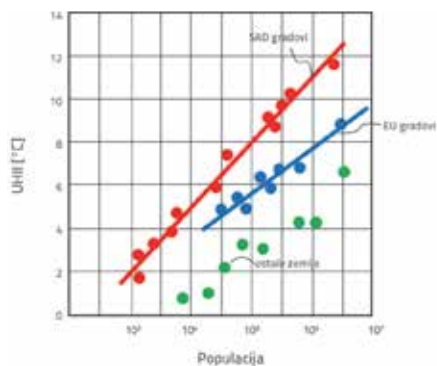
U prosjeku, ovisno o dostupnoj literaturi, u većini gradova krovovi i kolnici čine oko

tet toplinskih otoka mogao bi se izraziti i u pogledu noćnih temperaturnih razlika, koje mogu doseći 2 do 4 °C te time znatno utjecati na učinkovitost pasivnoga noćnog hlađenja zgrada [1]. Na slici 1. prikazane su tipične ljetne maksimalne dnevne temperature zraka u različitim dijelovima urbanih i ruralnih područja. Intenzitet urbanoga toplinskog otoka ovisi o klimatskim i topografskim karakteristikama mjesta, urbanističkome planu grada i gradskih četvrti (na primjer, veličini i obliku vodotoka i parkova) te trenutnim vremenskim uvjetima kao što su naoblaka, vlažnost zraka i vjetar. Također ovisi o omjeru visine zgrade i širine ulice te optičkim i toplinskim svojstvima ugrađenih materijala. Na slici 2. prikazan je intenzitet urbanoga toplinskog otoka u ovisnosti o veličini gradova.

Tablica 1. Literaturne vrijednosti albeda (solarne refleksije) određenih građevnih materijala

	Materijal	Albedo – solarna refleksija (-)	Literatura
Podne površine	Trava	0,25	[5]
	Asfalt – dotrajali	0,19	[5]
	Asfalt – novi	0,08 – 0,09	[6]
	Beton – glatki, svijetlo sive boje	0,36 0,18* – 0,29	[5] [6]
	Betonski opločnici	0,25 – 0,28	[6]
	Drobljena opeka, crvena	0,30	[5]
Zidne površine	Beton**	0,21 – 0,45**	[5]
	Opeka**	0,28 – 0,51**	[5]
Krovne površine	Glineni crijev*** (različite površinske obrade – engobe)	0,12 – 0,63***	[7]
Boje	Izrazito svijetle Glatke površine prekrivene svježom ili čistom bijelom bojom ili premazom.	0,75	[5]
	Svijetle Zidane površine, površine s teksturom, grubo drvo ili šljunčane (krovne) površine prekrivene bijelom bojom ili premazom.	0,65	[5]
	Srednje Priljavo bijela, kremasta, žuta ili druga svijetla cigla u boji, betonski blok ili obojene površine i šljunkom pokriveni krovovima.	0,45	[5]
	Tamne Smeđe, crvene ili druge tamne boje cigla, betonski blok, obojani ili od prirodnog drveta zidovi i krovovi sa šljunkom, crvene pločice, kamen ili šindra smeđe boje.	0,25	[5]
	Izrazito tamne Tamnosmeđa, tamnozeleno ili drugom vrlo tamnom bojom obojane, premazane, ili šindrom pokriveno površine.	0,10	[5]

*niže vrijednosti albeda odgovaraju betonu svjetlije boje; **detaljnija podjela i pripadne vrijednosti albeda dostupna je u [5]; ***detaljniji prikaz površinskih obrada i vrsta crijeпова prikazan je u [7]



Slika 2. Intenzitet urbanoga toplinskog otoka američkih i europskih gradova (prilagođeno prema [1])

Na temelju navedenih utjecaja na intenzitet urbanoga toplinskog otoka može se zaključiti da su ključni čimbenici ve-

60 posto ukupnih urbanih površina, od čega krovovi čine 20 – 25 posto, a kolnici doprinose s preostalih 40 posto [2], [3]. Daljnja okvirna razdioba kolnika ide u smjeru 15 posto ceste, 12 posto parkirna mjesta, pet posto nogostupi i tri posto prilazi [4]. Znanstvena istraživanja upućuju na to kako optička i toplinska svojstva materijala koji čine izgrađeni okoliš imaju snažan utjecaj na klimu urbanoga okoliša i razvijene temperature [2]. Konkretno, solarna refleksija ili albedo navodi se kao prvo svojstvo materijala koje doprinosi zagrijavanju površina urbanoga okoliša. Albedo materijala jest omjer reflektiranoga i upadnoga globalnog Sunčeva zračenja te se njegove vrijednosti kreću u rasponu od 0 (upija cijelo upadno Sunčevo zračenje) do 1 (reflektira cijelo upadno Sunčevo zračenje). Materijali s visokom vrijednosti albeda reflektiraju veću količinu upadnoga Sunčeva zračenja, što znači da manji postotak upadnoga Sunčeva zračenja upijaju, u pravilu, materijali svijetlije boje. S druge strane, materijali s niskom vrijednosti albeda reflektiraju manju količinu upadnoga Sunčeva zračenja, što posljedično znači da veću količinu upadnoga zračenja u pravilu pohranjuju materijali tamnije boje. Što je više Sunčeve energije apsorbirano, to su veći površinska temperatura materijala i zagrijavanje zraka u neposrednoj blizini površine. U tablici 1. prikazane su literaturne vrijednosti albeda za određene građevne materijale. Razna istraživanja pokazuju da razlika u površinskim temperaturama između asfaltnih i betonskih kolnika (ali i betonskih opločnika) tijekom dana u ljetnome periodu doseže i do 20 °C [6]. Valja istaknuti da je ta razlika izraženija što je jači intenzitet Sunčeva zračenja (ljetni period, dan). Povećanje albeda materijala, odnosno korištenje materijala s većom vrijednosti albeda, nameće se kao jedno od potencijalnih rješenja za smanjenje površinskih temperatura izgrađenoga okoliša, a samim time i temperature vanjskoga zraka.

Emisivnost materijala

Međutim, treba istaknuti da korištenje isključivo albeda materijala kao alata za

Tablica 2. Literaturne vrijednosti ukupne toplinske emisivnosti određenih vrsta građevnih materijala

Materijal	Temperatura [°C]	Emisivnost [-]	Literatura
Aluminij – visoko poliran (sjajan)	50 – 500	0,04 – 0,06	[9]
Aluminij – oksidirani (mat)	200 600	0,11 0,19	[9]
Asfalt	Temperatura okoliša	0,90 – 0,98	[9]
Opeka – tamna	0 – 50	0,90	[10]
Opeka – crvena, hrapava	20	0,93	[9]
Opeka – glazirana	1100	0,75	[9]
Beton	0 – 100	0,85 – 0,94	[9][10]
Glineni crijep (različite površinske obrade – engobe)*		0,88 – 0,91	[7]

*detajniji prikaz površinskih obrada i vrsta crijeva prikazan je u [7]

smanjenje utjecaja toplinskih otoka nije dostatno. Na primjer, relativno velika solarna refleksija (albedo) neće spriječiti pregrijavanje površine krova ili kolnika ako taj isti materijal krova ili kolnika ima nisku razinu emisivnosti. Toplinska emisivnost upućuje na sposobnost materijala da otpusti upijeno zračenje natrag u okoliš, odnosno na to koliko učinkovito hladi svoju površinu emitiranjem apsorbirane topline natrag u atmosferu. Njegove se vrijednosti kreću od 0 do 1, gdje 1 označava savršeno učinkovitog emitera zračenja. Emisivnost površine materijala funkcija je stanja njegove površine, temperature i valne duljine mjerenja. U tablici 2. prikazane su literaturne vrijednosti za određene građevne materijale. Kao što je vidljivo, te vrijednosti čak i za isti materijal mogu znatno varirati ovisno o stanju površine (glatko, hrapavo, mat, sjajno) te je preporučljivo koristiti literaturne vrijednosti samo ako stvarne vrijednosti nisu dostupne, odnosno ako ih nije moguće eksperimentalno odrediti. Parametar koji najbolje opisuje mogućnost "hlađenja" materijala jest indeks solarne refleksije (engl. *Solar Reflectance Index* – SRI) jer uzima u obzir i albedo i toplinsku emisivnost materijala.

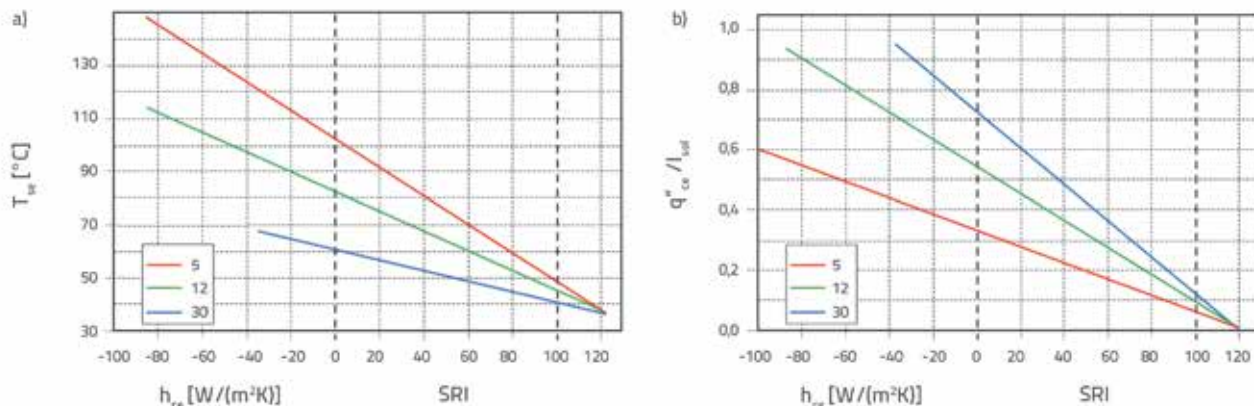
Indeks solarne refleksije

Vrijednosti indeksa solarne refleksije definirane su tako da 0 predstavlja standardno crno tijelo (albedo = 0,05 i emisivnost

= 0,90), a vrijednost 100 standardno bijelo tijelo (albedo = 0,80 i emisivnost = 0,90). Valja istaknuti da takva definicija SRI-a omogućuje da njegove vrijednosti za određene materijale budu i manje od 0 ili veće od 100. Što je vrijednosti SRI-a veća, to će biti niža površinska temperatura krova ili kolnika izložena Sunčevu zračenju. SRI omogućuje izravnu usporedbu različitih materijala korištenih u urbanim sredinama s različitim optičkim i toplinskim svojstvima (različite kombinacije vrijednosti albeda i emisivnosti) kako bi se utvrdila učinkovitost svakog od promatranih materijala u ublažavanju urbanoga toplinskog otoka [11].

U istraživanju [11] utvrđena je linearna korelacija između SRI-a te površinske temperature materijala izgrađenoga okoliša (slika 3.a), ali i udjela upadnoga Sunčeva zračenja koje materijal predaje natrag neposrednome okolišu – zraku (slika 3.b).

Na slici 3.a pokazano je da se s povećanjem SRI-a snižava površinska temperatura materijala. Konkretno, povećanje vrijednosti SRI-a za 10 rezultira 2 °C nižom površinskom temperaturom pri slabim brzinama vjetra, oko 3,75 °C nižom površinskom temperaturom pri umjerenim brzinama vjetra te čak 5 °C nižom površinskom temperaturom u slučaju jakih vjetrova. Na slici 3.b prikazan je udio upadnoga Sunčeva zračenja (q_{ce} / I_{sol}) koje materijal predaje natrag zraku u neposrednoj blizini svoje površine. Jasno



Slika 3. Ovisnost SRI i: a) površinske temperature T_{se} , b) udio upadnoga Sunčeva zračenja koje se emitira natrag u zrak u neposrednoj blizini površine materijala za različite vrijednosti koeficijenta strujanja h_{ce} (slab, umjeren i jak vjetar) i ostale standardne uvjete za izračun SRI-a ($I_{sol} = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_{air} = 310 \text{ K}$, $T_{sky} = 300 \text{ K}$) (prilagođeno prema [11])

je vidljivo kako veće vrijednosti SRI-a rezultiraju manjom količinom zračenja koje se predaje natrag u okoliš, a samim time doprinosi slabijemu zagrijavanju okoliša. Konkretno, povećanje vrijednosti SRI-a za 10 rezultira 2,86 posto manjim opsegom predaje upadnoga Sunčeva zračenja okolnome zraku pri slabim brzinama vjetera te s otprilike čak šest posto manjim opsegom predaje upadnoga Sunčeva zračenja okolnome zraku pri jakim brzinama vjetera.

“Hladni” krovovi i “hladni” kolnici

Kako bi se smanjio utjecaj na stvaranje urbanih toplinskih otoka te povećala toplinska ugodnost vanjskoga okoliša, ali i toplinska ugodnost unutar zgrada, u pojedinim državama zahtijeva se i/ili potiče izvedba “hladnih” krovova i “hladnih” kolnika, koje definira parametar SRI. Smatra se da “hladni” krovovi i “hladni” kolnici mogu doprinijeti smanjenju lokalnih temperatura zraka, što povećava kvalitetu zraka, smanjuje potrebu za energijom za hlađenje te samim time smanjuje vršnu potrošnju električne energije. Također, smanjenje površinskih temperatura krovova i kolnika pridonijelo bi njihovoj trajnosti i samim time duljemu životnom vijeku. Za američko tržište definirano je najviše standarda kao što su ASHRAE 90.1, ASHRAE 90.2, ASHRAE 189.1, *International Energy Conservation Code*, koji definiraju kriterije SRI-a za “hladni” krov, međutim ti krite-

Tablica 3. Primjeri obveznoga standarda i dobrovoljnih sustava za ocjenjivanje zelene gradnje koji obuhvaćaju kriterije na bazi parametra SRI

	KROV				KOLNIK (uključuje i parkirališta)
	Mali nagib (< 9,5°)		Veliki nagib (> 9,5°)		
	SRI – početno stanje	SRI – pri starosti 3 godine	SRI – početno stanje	SRI – pri starosti 3 godine	
<i>California Building Energy Efficiency Standard (Title 24), 2019.</i>	/	≥ 75*	/	≥ 16	/
LEED USGBC	≥ 82	≥ 64	≥ 39	≥ 32	Albedo definiran kao kriterij

*U slučaju visokih zgrada stambene namjene, hotela i motela taj kriterij iznosi ≥ 64

riji nisu međusobno usklađeni. U tablici 3. prikazani su najpoznatiji kriteriji, a to su obvezni kriteriji koje propisuje *California Building Energy Efficiency Standard (Title 24)* [12, 13] za područje Kalifornije te dobrovoljni kriteriji LEED ocjenjivačkoga sustava za zelenu gradnju koje je razvio američki savjet za zelenu gradnju [14].

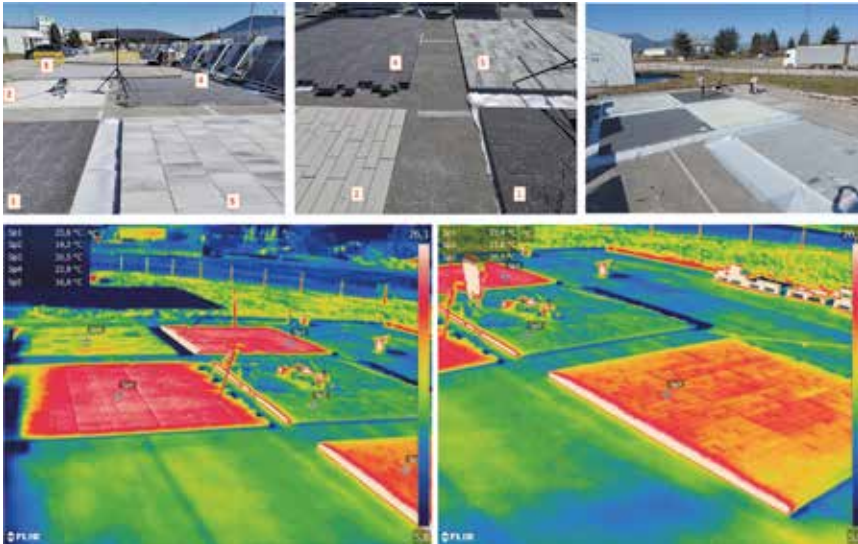
Što se tiče europskoga tržišta, jedinstveni kriteriji na razini EN standarda trenutačno ne postoje, ali pojedine zemlje u svoju regulativu uvode nacionalne kriterije. Primjer je Italija koja je u 2015. za zgrade javne namjene, kako nove tako i one čija obnova obuhvaća više od 75 posto vanjske ovojnice, predložila korištenje završnih materijala s visokom vrijednosti SRI-a. Konkretno, za krovove nagiba manjeg od 15° trebaju se koristiti materijali sa SRI ≥ 75, za krovove nagiba

većeg od 15° definiran je SRI ≥ 29 te bi za ostale površine (kolnike i parkirališta) SRI također trebao iznositi ≥ 29 [7].

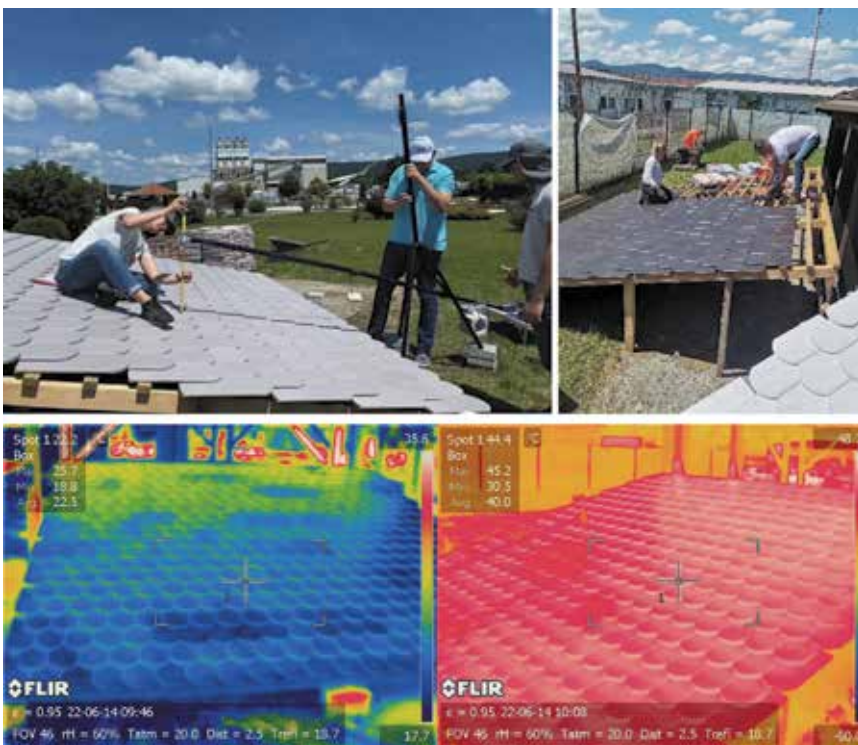
Zbog svega navedenoga pojedini proizvođači građevnih proizvoda počeli su ispitivati parametar SRI za svoje proizvode.

Iz termograma prikazanih na slici 4. vidljivo je da za dane uvjete snimanja postoji znatna razlika u površinskoj temperaturi uzoraka uzrokovana razlikama u albedu i indeksu solarne refleksije. Termogrami različitih vrsta betonskih opločnika pod djelovanjem Sunca snimljeni su 3. ožujka 2022. u 12.55 sati. Valja istaknuti da bi ta temperaturna razlika bila još izraženija u slučaju jačega intenziteta Sunčeva zračenja (na primjer, ljetni period).

Kao jedna od osnovnih mjera smanjenja intenziteta urbanih toplinskih otoka nameće se povećanje indeksa solar-



Slika 4. Termogrami različitih vrsta betonskih opločnika



Slika 5. Termogrami krova

ne refleksije urbanih površina te su u skladu s time pojedini standardi i dobroljni sustavi za ocjenjivanje zelene gradnje propisali kriterije za "hladne" krovove i "hladne" kolnike. Klimatske su promjene jedan od najvećih izazova budućih generacija. Negativne posljedice porasta temperature zraka osobito su primjetne u četvrtima u središtima velikih gradova. Zbog toga EU-ov projekt

BUS GoCircular u sklopu interdisciplinarnе razmjene znanja na regionalnoj razini nastoji potaknuti ekološki održiv načina funkcioniranja gradova. Sa svime time valjalo bi požuriti jer su razlike u temperaturama sve veće i ne bilježe se samo u usporedbi urbanih i gusto naseljenih područja te nenaselejenih područja, već su primjetne i u usporedbi grada i njegove najbliže periferije.

Literatura:

- [1] Medved, S.: Building physics - Heat, Ventilation, Moisture, Light, Sound, Fire, and Urban Microclimate, Springer Tracts in Civil Engineering, 2022.
- [2] Xie, N., Wang, H., Feng, D.: Coating materials to increase pavement surface reflectance, Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs - Design, Properties and Applications, 1st Edition, Elsevier, 2015.
- [3] Alchapar, N.L., Correa, E.N.: Comparison of the performance of different facade materials for reducing building cooling needs, Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs - Design, Properties and Applications, 1st Edition, Elsevier, 2015.
- [4] Reza, F., Boriboonsomsin, K.: Pavements made of concrete with high solar reflectance, Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs - Design, Properties and Applications, 1st Edition, Elsevier, 2015.
- [5] Reagan, J.A., Acklam, D.M.: Solar reflectivity of common building materials and its influence on the roof heat gain of typical southwestern U.S.A. residences, Energy and Buildings. 2 (1979), pp. 237–248, doi: [/doi.org/10.1016/0378-7788\(79\)90009-4](https://doi.org/10.1016/0378-7788(79)90009-4).
- [6] Li, H.: A comparison of thermal performance of different pavement materials, Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs - Design, Properties and Applications, 1st Edition, Elsevier, 2015.
- [7] Di Giuseppe, E., Sabbatini, S., Cozzolino, N., Stipa, P., D'Orazio, M.: Optical properties of traditional clay tiles for ventilated roofs and implication on roof thermal performance, Journal of Building Physics, 24 (2019), pp. 484–505, doi: <https://doi.org/10.1177/1744259118772265>.
- [8] BUSGoCircular, <https://busgocircular.eu/>, 1.6.2022.
- [9] Mikron Instrument Company: Table of emissivity of various surfaces, http://www-eng.lbl.gov/~dw/projects/DW4229_LHC_detector_analysis/calculations/emissivity2.pdf (accessed April 30, 2020), 1.6.2022.
- [10] Carvill, J.: Thermodynamics and heat transfer, in: Mechanical Engineer's Data Handbook, 1993., pp. 102–145, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-1014-8.50008-8>.
- [11] Muscio, A.: The Solar Reflectance Index as a Tool to Forecast the Heat Released to the Urban Environment: Potentiality and Assessment Issues, Climate, 6 (2018), doi: <https://doi.org/10.3390/cli6010012>.
- [12] EnergyCodeAce: Fact Sheet Energy Code 2019, Title 24, Part 6: Nonresidential Cool Roofs and Reroofing, (n.d.). https://energycodeace.com/page/35783/?mode=file_display, 7.3. 2022.
- [13] EnergyCodeAce: Fact Sheet Energy Code 2019, Title 24, Part 6: Residential Cool Roofs and Reroofing, (n.d.). https://energycodeace.com/page/35119/?mode=file_display, 7.3.2022.
- [14] USGBC: LEED v4 for Building design and construction, https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED_v4_BDC_07.25.19_current.pdf, 7.3.2022.