

Zagrijavanje različito obojanih fasada i njihov utjecaj na pojavnost gradskih toplinskih otoka

Heating of differently colored house facades and their impact on the formation of urban heat island

Učenici: Luka Kovačić i Filip Kovačić, 7.razred

Mentori: Tamara Banović i Ivica Štrbac

Osnovna škola *Josip Pupačić* Omiš, Hrvatska

SAŽETAK

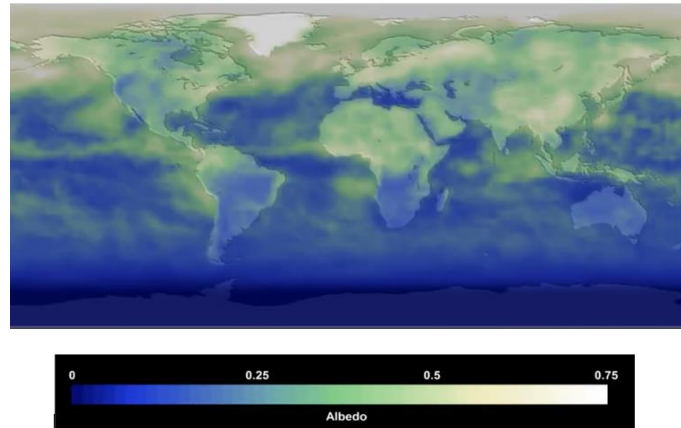
Cilj ovoga rada je ispitati utjecaj boje podloge na njeno zagrijavanje, s naglaskom na mjerenje razlike u zagrijavanju različito obojenih površina stambenih i poslovnih objekata te ispitati njihov utjecaj na pojavnost urbanih toplinskih otoka. Prvi dio istraživanja provodio se u školskom laboratoriju gdje se pokusom ispitala brzina taljenja leda ovisno o boji podloge na kojoj se led nalazi te se ispitala razlika u temperaturi zagrijavanja triju različito obojenih podloga, koje simuliraju zagrijavanje tla, vode i ledenjaka. Drugi dio istraživanja povodio se na terenu gdje se laserskim infracrvenim termometrom mjerila površinska temperatura različito obojenih dijelova objekata kojima smo okruženi. Mjerenje se obavljalo od lipnja 2023. do siječnja 2024. na pet stambenih objekata. Treći dio istraživanja uključivao je mjerenje temperature zraka u izgrađenom urbanom dijelu grada i u zapuštenom, neizgrađenom dijelu kako bi se utvrdila razlika u temperaturi zraka na tim područjima. Rezultati istraživanja pokazuju brže taljenje leda na tamnim podlogama te brže zagrijavanje tamnijih površina. Mjerenje temperature različito obojenih fasada pokazuje veću zagrijanost tamnog dijela fasade za sva mjerenja na svim objektima. Temperaturna razlika u zagrijavanju povećava se s povećanjem temperature zraka, a ovisi i o orijentaciji fasade na kojoj se mjerenja obavljaju. U urbanom dijelu grada, temperatura zraka mjerena među stambeno-poslovnim zgradama, s djelomično tamno obojanim fasadama, viša je u odnosu na temperaturu zraka mjerenu svega nekoliko stotina metara udaljenom području na kojem nema izgrađenih objekata. Ovim istraživanjem dolazi se do zaključka da tamne površine, s niskim albedo efektom, upijaju veću količinu energije od bijelih površina. Otpuštanjem topline povećavaju temperaturu okolnog zraka i utječu na pojavnost gradskih toplinskih otoka. U područjima s blagim zimama i vrućim ljetima, bijela fasada bolji je izbor od tamne fasade zbog većeg zagrijavanja tamne fasade ljeti dok je razlika u zagrijavanju tamne fasade u odnosu na bijelu zanemariva u zimskom razdoblju.

Ključne riječi: *albedo efekt, globalno zatopljenje, taljenje ledenjaka, bijele kuće, urbani toplinski otoci*

UVOD I OBRAZLOŽENJE TEME

Pojačani učinak staklenika, globalno zatopljenje i klimatske promjene, teme su o kojima učimo u školi i o kojima svakodnevno možemo čuti i čitati u medijima. Razdoblje od 2011. do 2020. godine bilo je najtoplije desetljeće otkako postoje meteorološka mjerenja, a globalno zagrijavanje Zemlje trenutačno iznosi 0,2 °C po desetljeću (www://climate.ec.europa.eu/, 2021). Ljudskim djelovanjem, u atmosferi se povećava koncentracija ugljikovog(IV) oksida i ostalih stakleničkih plinova, koji zadržavaju toplinu odbijenu od površina na Zemlji i sprječavaju njen povratak u svemir te tako uzrokuju globalno zatopljenje. Ono podrazumijeva porast temperature na Zemlji, sve češću pojavu suša i šumskih požara, otapanje ledenjaka i podizanje razine mora, poplave, erozije tla i slično (www://climate.ec.europa.eu/, 2022). Izgled Zemlje brzo se mijenja uslijed globalnog zatopljenja, a jedan od najalarmantnijih procesa koji se uočava je smanjivanje površine ledenjaka. Osim što taljenje ledenjaka utječe na povišenje razine mora i smanjenje količine pitke vode, nestajanjem ledenjaka dodatno se povećava temperatura atmosfere što pridonosi globalnom zatopljenju. Razlog tome možemo naći u albedo efektu. Riječ albedo potječe od latinskog naziva *albus* što znači bijelo ili bjelina, a definira se kao udio svjetlosti reflektirane od neke površine. Kada sunčeva svjetlost dopre do površine Zemlje, dio se apsorbira, a dio

reflektira. Vrijednosti albeda kreću se od 0 do 1, odnosno od 0 do 100%. Površina s visokim albedom će reflektirati više sunčeve svjetlosti od površine s niskim albedom. Površine s visokim albedom uključuju pijesak, snijeg i led te neke urbane površine, poput betona ili svijetlog kamena, a površine s niskim albedom uključuju šume, oceane i neke urbane površine, poput asfalta (www.mynasadata.larc.nasa.gov, 1, 2021). Na slici 1 prikazana je skala vrijednosti albedo učinka. Plavom bojom prikazano je područje koje odbija najmanju količinu sunčevog zračenja. Uglavnom su to područja mora i oceana. Zelenom bojom prikazana je postupno rastuća količina odbijene sunčeve svjetlosti dok je područje najveće količine odbijene sunčeve energije prikazano bijelom bojom. Bijela boja prisutna je na vrhovima bijelih oblaka te na ledom prekrivenim područjima vode i kopna.



Slika 1 Skala vrijednosti albedo učinka na Zemlji (izvor: www.earthobservatory.nasa.gov, 2005)

Albedo planeta Zemlje može se izračunati pomoću satelitskih mjerenja, a prema podacima NASA-e, Zemljin prosječni albedo iznosi 0,3, što znači da reflektira 30 % zračenja koje prima od Sunca. Kako je Zemlja otvoren sustav, tako se energija i tvari izmjenjuju s okolinom te albedo učinak ima značajan utjecaj na temperaturu nekog područja lokalno, ali bitno utječe i na klimu čitavog planeta (www.mynasadata.larc.nasa.gov, 1, 2021).

Pojavnost gradskih toplinskih otoka također je povezana s albedo efektom. Izraz urbani toplinski otoci odnosi se na područja unutar gradskog okoliša koja imaju značajno višu temperaturu u usporedbi s okolnim ruralnim područjima (Žgela, 2019). Urbani toplinski otoci rezultat su urbanizacije i koncentracije građevinskih materijala koji apsorbiraju i zadržavaju toplinu, poput betona i asfalta, odnosno zbog niskog albedo učinka koje navedeni materijali imaju (www.globe.gov, 2022). U urbanim područjima temperature zraka dosežu i do 6 °C višu vrijednost nego u okolnim predgrađima i ruralnim područjima (www.mynasadata.larc.nasa.gov, 2, 2021). Odabir materijala za izgradnju stambenih prostora utječe na zagrijanost atmosfere u gradovima jer i građevinski materijal koji se koristi za izgradnju stambenih objekata također ima različiti albedo efekt. Tako primjerice, bijela cigla ima albedo vrijednost 0,4, dok je albedo narančaste cigle 0,26. Odabir materijala za izgradnju krovnih površina također utječe na zagrijanost atmosfere, tako narančasta opeka ima albedo 0,41, a smeđa opeka 0,36 (Žgela, 2020).

Budući iz literaturnih izvora saznajemo da je bijela boja, zbog visoke vrijednosti albedo učinka, važna i za temperaturu zraka, zapitali smo se koji je razlog da ljudi u području s vrućim ljetima boje fasade kuća i zgrada u bilo koju drugu boju osim bijelu. S obzirom na područje mediteranske klime koja vlada u području u kojem živimo, a koje karakteriziraju vruća i suha ljeta, postavlja se pitanje otkuda trend izgradnje objekata s tamnom fasadom. Od davnina su Dalmaciju karakterizirale bijele kamene kuće,

dok se u posljednje vrijeme takve kuće gotovo i ne grade, a posebno ne u urbanim područjima. Zamijenile su ih građevine čije se fasade boje različitim bojama, a nije rijedak slučaj tamno obojenih kuća, najčešće tamno sivom, ali i smeđom bojom. Istraživačka pitanja koja su nas potakla na ovo istraživanje su sljedeća. Utječe li boja podloge na brzinu taljenja leda? Zagrijavaju li se jednakom brzinom različite podloge poput vode, tla i snijega? Razlikuje li se površinska temperatura različito obojenih fasada kuća i zgrada koje su izložene jednakoj količini sunčevog zračenja? Kako albedo učinak utječe na pojavnost gradskih toplinskih otoka?

Cilj ovoga rada je ispitati utjecaj boje podloge na njezino zagrijavanje, s naglaskom na mjerenje razlike u zagrijavanju različito obojenih površina stambenih i poslovnih objekata te ispitati njihov utjecaj na pojavnost urbanih toplinskih otoka. Također cilj nam je ispitati ovisnost zagrijavanja različito obojenih dijelova fasada o temperaturi zraka i o satu mjerenja.

Na temelju svega prethodno navedenoga, postavljene su sljedeće hipoteze:

1. Led će se brže taliti ukoliko se nalazi na tamno obojenoj površini u odnosu na led koji se nalazi na bijeloj površini.
2. Tamnije površine zagrijavat će se brže od svijetlih površina, što je površina tamnija brže će se zagrijavati.
3. Fasade tamnih objekata zagrijavat će se više od bijelih fasada te će utjecati na pojavnost urbanih toplinskih otoka.

METODE RADA

Istraživanje se provodilo na tri razine. Prvi dio istraživanja provodio se u školskom laboratoriju tako da su urađena dva pokusa. Prvim pokusom ispitala se brzina taljenja leda ovisno o boji podloge na kojoj se led nalazi. Drugim pokusom ispitala se razlika u temperaturi zagrijavanja triju različito obojenih podloga koje su početno imale jednaku temperaturu.

Drugi dio istraživanja povodio se na terenu od početka lipnja 2023. do kraja siječnja 2024. godine. U tom dijelu istraživanja, laserskim infracrvenim termometrom mjerila se površinska temperatura različito obojenih dijelova objekata kojima smo okruženi.

Treći dio istraživanja također se provodio na terenu. Taj dio istraživanja uključivao je mjerenje temperature zraka u izgrađenom urbanom dijelu grada i u neizgrađenom dijelu kako bi se utvrdila razlika u temperaturama zraka na tim područjima, odnosno kako bi se utvrdilo postojanje urbanih toplinskih otoka.

Brzina taljenje leda

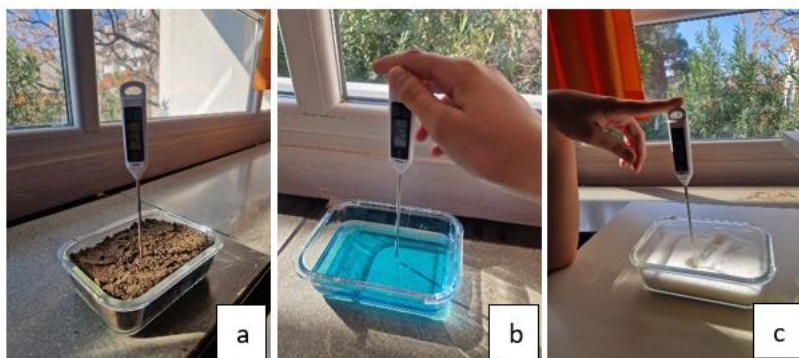
Dvije kockice leda jednakoga volumena položene na bijeli i crni papir izlože se izravnom sunčevom zračenju. Papiri s ledom postave se jedan do drugoga tako da je kut upada svjetlosti za oba uzorka tijekom provedbe pokusa jednak (Slika 2). Bilježi se vrijeme koje je potrebno da se u potpunosti rastale kockice leda na tamnoj i svijetloj podlozi. Pokus se ponovi još dva puta te se rezultati za ukupno tri para uzoraka leda prikažu grafički.



Slika 2 Pokus: brzina taljenje leda na različito obojenim podlogama

Zagrijavanje različito obojenih površina

Tri jednake pravokutne posude visine 4 cm napune se do vrha različitim materijalima. U prvoj posudi to je tamno smeđe obojena zemlja za cvijeće, u drugoj voda obojena plavom prehrambenom bojom, a u trećoj šećer. Ovim pokusom simulira se brzina zagrijavanja tla u prvoj posudi, mora u drugoj posudi te snijega, odnosno leda u trećoj. Posude se ostave stajati na sobnoj temperaturi tri sata da se temperature uzoraka izjednače. Tri jednaka, prethodno baždarena ubodna termometra, na istoj dubini postave se u posude s uzorcima i provjeri se jednakost početne temperature različitih uzoraka. Termometri su postavljeni tako da vrškom dotiču dno posude u kojoj se uzorci nalaze, a iz specifikacije termometara vidljivo je da je senzor za mjerenje temperature smješten 2 cm od vrha ubodnog termometra te se temperatura uzoraka na ovaj način mjeri na 2 cm dubine. Posude se potom izlože izravnom sunčevom zračenju koje ravnomjerno zagrijava sve tri podloge (Slika 3). Po izlaganju uzoraka sunčevim zrakama pokrene se štoperica te se bilježe promjene temperature svake minute tijekom 10 – minutnog zagrijavanja za svaki uzorak (www.mynasadata.larc.nasa.gov, 3, 2021). Rezultat zagrijavanja smeđe, plave i bijele podloge prikaže se grafički.



Slika 3 Pokus: brzina zagrijavanja različito obojenih podloga a) smeđe tlo, b) plava voda, c) bijeli snijeg/led

Zagrijavanje različito obojenih fasada stambenih i poslovnih objekata

Za provođenje istraživanja odabrano je pet objekata označenih brojevima od 1 do 5. Kriterij za izbor objekata bio je da objekti imaju jednak izolacijski materijal. U ovom istraživanju za sve objekte to je bila kamena vuna debljine 15 cm. Sljedeći uvjet bio je da fasada bude jednim dijelom bijela odnosno svijetla, a drugim dijelom tamno obojena i da su tako različito obojeni dijelovi fasade jednako usmjereni u prostoru odnosno jednako izloženi sunčevom zračenju. Određivalo se i prema kojoj strani svijeta je orijentiran dio fasade na kojemu se obavljalo mjerenje. Orijentacija je određena kompasom. Pokus se sastojao u tome da se mjerila temperatura zagrijavanje svijetlog i tamnog dijela fasade. Mjerenje temperature obavljalo se pomoću IR termometra, uvijek na istoj visini od podloge na kojoj se objekt nalazi. S udaljenosti od jednoga metra, crveni laser infracrvenog (IR) termometara usmjeri se prema

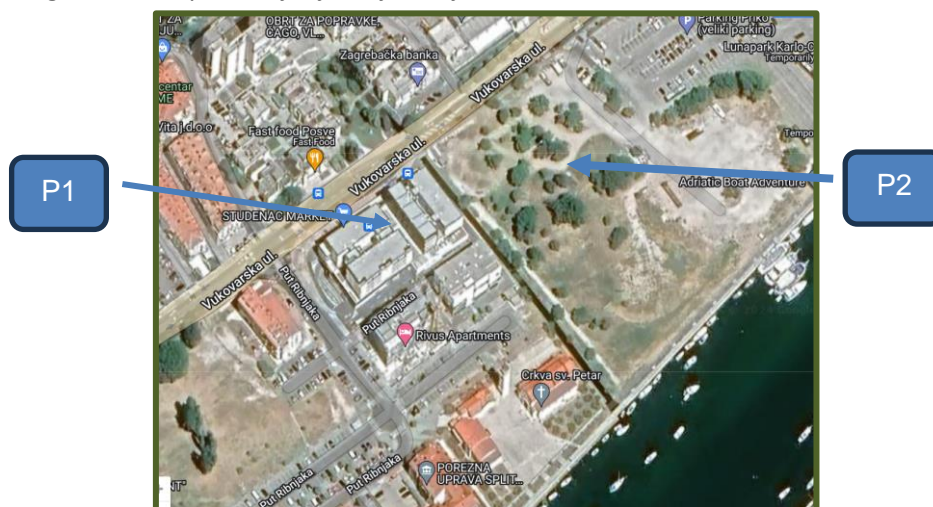
podlozi, pričekava se nekoliko sekundi da se temperatura ustali te se očita vrijednost sa zaslona mjernog uređaja. Visina na kojoj se mjerila temperatura objekata je u razini ispružene ruke u kojoj se nalazio mjerni instrument prilikom mjerenja temperature fasade. Mjerenja su napravljena dva puta mjesečno tijekom osam mjeseci, odnosno za svaki objekt je napravljeno ukupno 16 mjerenja.

Jedan od pet objekata, objekt 5, odabran je za intenzivna mjerenja kako bi se utvrdilo kako se zagrijavanje površina mijenja ovisno o dobu dana, kada je temperatura zraka i upad sunčevih zraka različit. To je mjerenje koje se obavljalo jednom mjesečno. Tijekom jednoga dana mjerene su na istoj mjernoj postaji temperature svijetle i tamne fasade pet puta, u 9, 12, 15, 18 i 21 sat.

Uz sva navedena mjerenja, alkoholnim termometrom mjerila se i temperatura zraka u bliskom okolišu mjernih postaja kako bi se povezala temperatura zraka s temperaturom zagrijavanja tamne i svijetle površine promatranih objekata. Metoda rada za ovaj dio istraživanja osmišljena je od strane učenika, autora ovoga istraživačkoga projekta.

Urbani toplinski otoci

Odabrana su dva područja istraživanja koja su udaljena jedan od drugoga manje od pola kilometra i nalaze se na istoj nadmorskoj visini (Slika 4). Prvo područje je urbani, naseljeni dio grada u kojem se nalaze objekti s tamnim fasadama dok je drugo područje neizgrađeno i smješteno je rubno od naseljenog dijela. Drugo stanište karakterizira nisko raslinje i kamenjar. Na oba područja se digitalnim termometrom mjerila temperatura zraka na visini od 1 m od površine tla te su se dobivene vrijednosti usporedile i prikazale grafički. Mjerenja su obavljena svaka dva tjedna od početka lipnja 2023. do kraja svibnja 2024. godine. Ukupan broj mjerenja bio je 17.

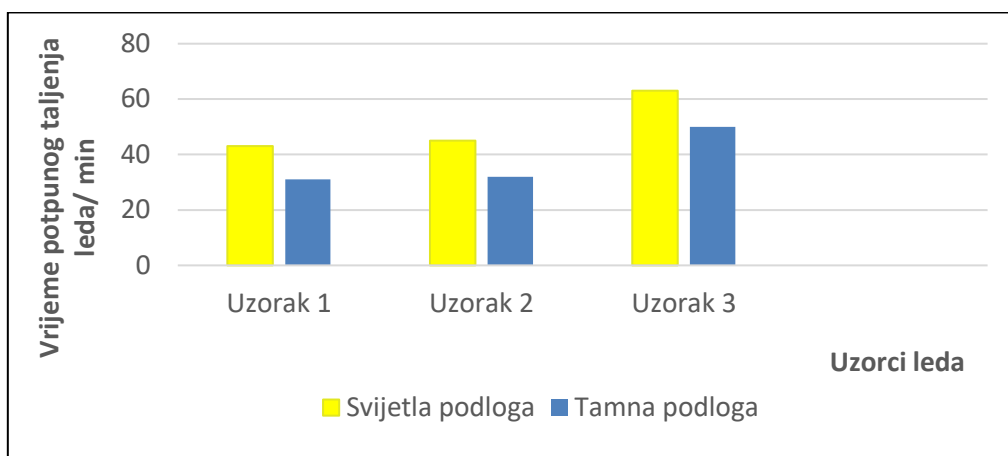


Slika 4 Postaje (P1 i P2) na kojima se mjerila i uspoređivala temperatura zraka

REZULTATI

Brzina taljenje leda

Na slici 5 grafički su prikazani rezultati usporednog taljenja tri para uzoraka kockica leda jednakoga volumena na različito obojenim podlogama. Plavo obojeni stupci prikazuju vrijeme koje je bilo potrebno za taljenje kockice leda na crnoj podlozi, a žuto obojeni stupci prikazuju vrijeme potpunog taljenja kockica leda na bijeloj podlozi.

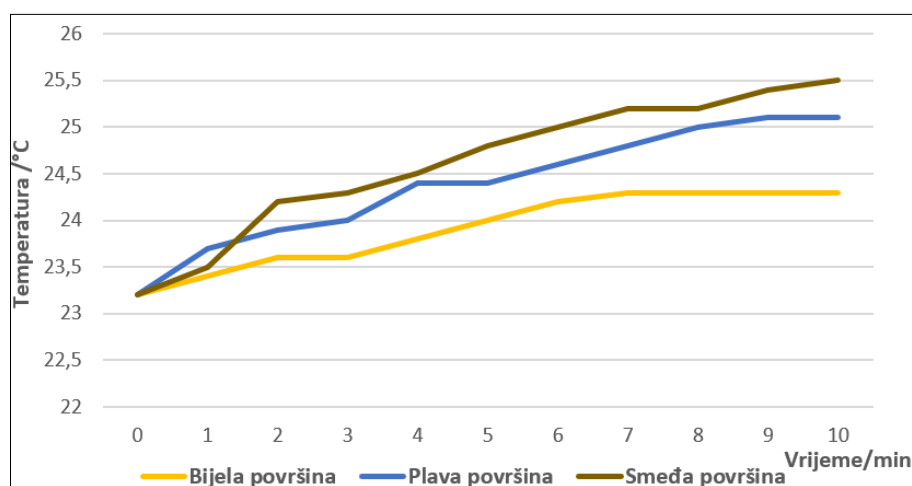


Slika 5 Grafički prikaz vremena potrebnog za taljenje kockica leda u ovisnosti o boji podloge na kojoj se nalaze

Iz grafikona je vidljivo da je, za sva tri para uzoraka, vrijeme potrebno za potpuno taljenje leda bilo kraće ukoliko se kockica leda nalazila na tamnoj podlozi. Tako se u prvom uzorku kockica leda na crnoj podlozi u potpunosti rastalila za 31 minutu, a kockica na bijeloj podlozi za 43 minute. U uzorku 2, kockica na tamnoj podlozi tali se za 32, a na bijeloj za 45 minuta. U trećem uzorku, vrijeme potrebno za taljenje leda na tamnoj podlozi bilo je 50 min, dok je kockici leda na bijeloj podlozi za potpuno taljenje bilo potrebno malo više od jednoga sata, točnije 63 minute.

Zagrijavanje različito obojenih površina

Na slici 6 grafički je prikazan porast temperature bijele, plave i smeđe površine koje u pokusu imaju ulogu usporediti zagrijavanje leda odnosno snijega, mora i tla. Dobiveni rezultati odnose se na temperature mjerene na 2 cm dubine od površine tijekom izravne izloženosti sunčevom zračenju u trajanju od 10 minuta.



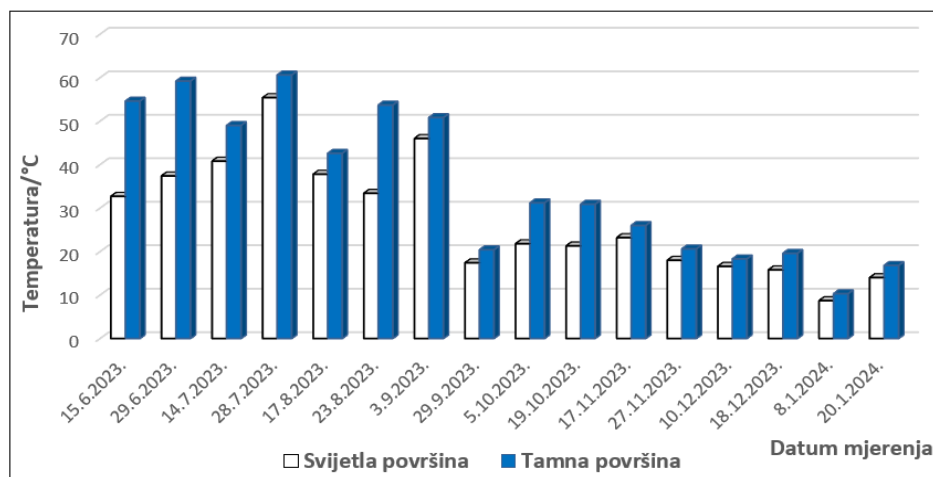
Slika 6 Grafički prikaz zagrijavanja različito obojenih podloga na 2 cm dubine tijekom 10 - minutnog izlaganja sunčevom zračenju

Od jednake početne temperature od 23,2 °C, tijekom izloženosti sunčevom zračenju, u svim uzorcima dolazi do porasta temperature. Najveći porast temperature zabilježen je u smeđe obojenom uzorku tla, temperatura je porasla za 2,2 °C. U vodi obojenoj modrom bojom temperatura je tijekom desetominutnog zagrijavanja porasla za 1,9 °C dok je u bijelom uzorku temperaturni porast bio 1,1 °C.

Zagrijavanje različito obojenih fasada stambenih i poslovnih objekata

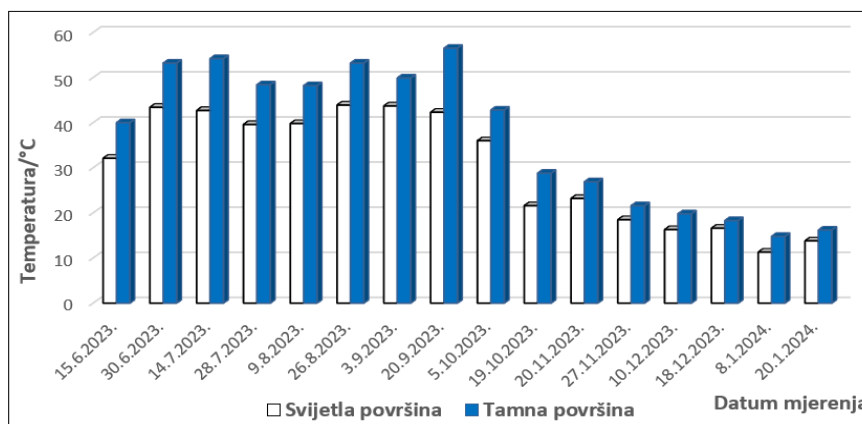
Na slikama od 7 do 11 prikazane su vrijednosti izmjerenih temperatura bijelog i tamnog dijela fasade za pet objekata na kojima su se obavljala mjerenja. Za svaki objekt prikazani su rezultati 16 mjerenja koja su napravljena od lipnja 2023. do siječnja 2024. godine. Na svakoj slici (Slika 7, 8, 9, 10 i 11) rezultati su usporedni, bijeli stupci grafikona prikazuju temperaturu bijelog dijela fasade dok plavi stupci prikazuju temperature tamnog dijela fasade pojedinoga objekta.

Slika 7 prikazuje podatke za objekt 1 na kojemu je mjerena temperatura na pročelju kuće koje je okrenuto prema jugoistoku, kuća je smještena uz vrlo prometnu cestu i većim dijelom dana izložena je izravnom sunčevom zračenju.



Slika 7 Grafički prikaz odnosa temperatura svijetle i tamne površine objekta 1 mjerenih od lipnja 2023. do siječnja 2024. Na grafikonu na slici 7 može se uočiti da se tamna fasada više zagrijavala kod svih mjerenja, ali ta razlika u temperaturi nije uvijek jednaka. Primjerice u ljetnim mjesecima temperature zraka i mjerenih dijelova fasade su više, a veća je i razlika u zagrijanosti tamne površine u odnosu na svijetlu. Razlike u temperaturi manje su tijekom jeseni i zime kada su i temperature zraka dosta niže (Prilog 1).

Na slici 8 prikazan je odnos zagrijavanja tamnog i bijelog dijela fasade objekta 2. Temperatura je mjerena na dijelu fasade koji je orijentiran prema jugoistoku. Objekt je okružen drugim stambenim objektima koji u pojedinom dijelu dana rade sjenu i sprječavaju direktnu izloženost objekta sunčevom zračenju.

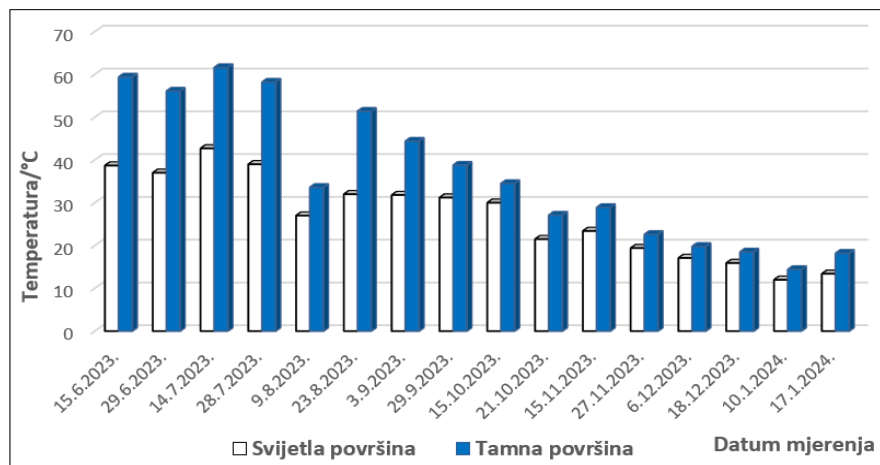


Slika 8 Grafički prikaz odnosa temperatura svijetle i tamne površine objekta 2 mjerenih od lipnja 2023. do siječnja 2024.

Vrijednosti izmjerenih temperatura različito obojenih dijelova fasade objekta 2 također pokazuju da je temperatura tamnog dijela fasade viša od temperature bijele fasade kod svih 16 mjerenja (Slika 8), a

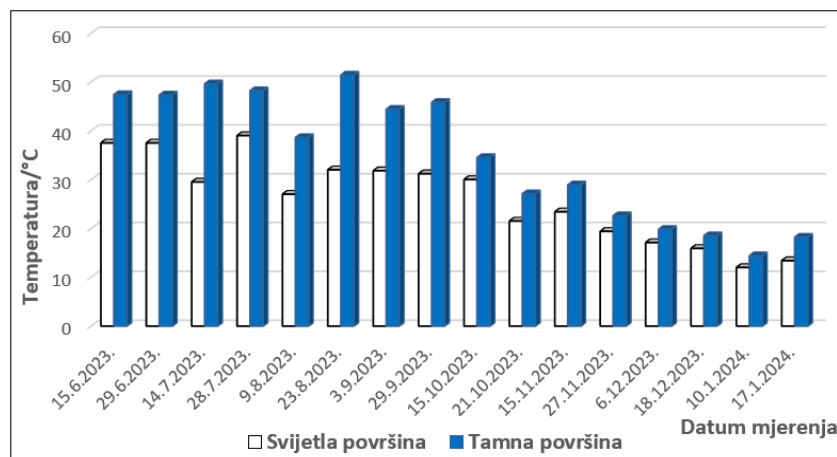
također ovisno o temperaturi zraka mijenja se razlika u zagrijanosti različito obojenih površina, što je temperatura zraka viša uglavnom je veća i razlika u temperaturi tamne i svijetle podloge (Prilog 2).

Objekt 3 je poslovno - stambena zgrada, nezaklonjena i izložena izravnom sunčevom zračenju. Temperatura je mjerena na istočnoj strani objekta. Slika 9 prikazuje rezultate mjerenja na objektu 3.



Slika 9 Grafički prikaz odnosa temperatura bijele i tamne površine objekta 3 mjerenih od lipnja 2023. do siječnja 2024. Rezultati, kao i kod prethodnih mjerenja pokazuju da je kod svih mjerenja zabilježena viša temperatura tamno obojenog dijela fasade (Slika 9) i da se razlika u temperaturi povećava s povećanjem temperature zraka (Prilog 3).

Objekt 4 nalazi se u blizini objekta 3, a zajedno se nalaze u novoizgrađenom poslovno - stambenom kompleksu. Objekt je također izložen izravnom zagrijavanju Sunca, a fasada zgrade na kojoj su obavljena mjerenja orijentirana je u smjeru sjeverozapada. Rezultati mjerenja prikazani su grafičkim prikazom na slici 10.

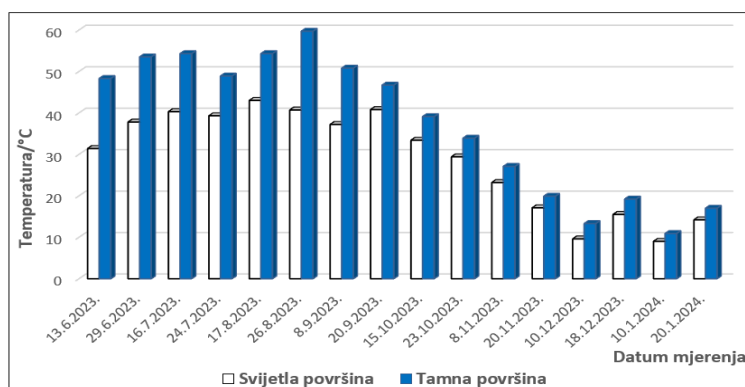


Slika 10. Grafički prikaz odnosa temperatura bijele i tamne površine objekta 4 mjerenih od lipnja 2023. do siječnja 2024.

Rezultati pokazuju višu temperaturu tamnog dijela fasade u odnosu na svijetlu za svih 16 mjerenja napravljenih tijekom osam mjeseci (Slika 10), a razlika u temperaturi tamnog i bijelog dijela fasade veća je kod viših temperatura zraka (Prilog 4).

Rezultati prikazani grafikonom na slici 11 prikazuju izmjerene temperaturne vrijednosti tamnog i svijetlog dijela fasade objekta 5. Fasada na kojoj su obavljena mjerenja okrenuta je u smjeru sjeverozapada, objekt je u blizini drugih stambenih objekata, ali dovoljno udaljen da nije u sjeni

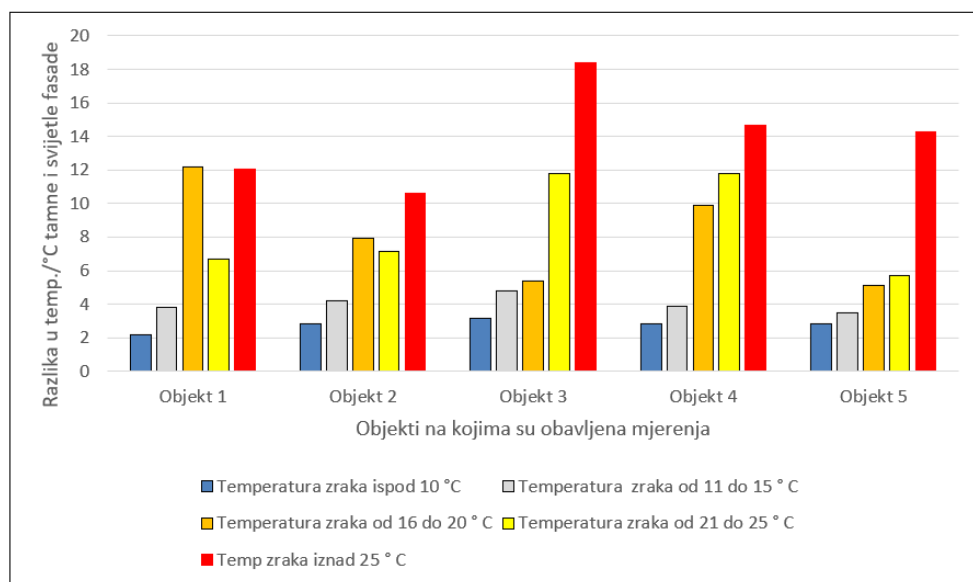
susjednih objekata, ali je zid na kojem se mjerila temperatura veći dio dana zasjenjen od samog objekta kojemu zid pripada.



Slika 11 Grafički prikaz odnosa temperatura bijele i tamne površine objekta 5 mjerenih od lipnja 2023. do siječnja 2024. Izmjerene temperature su kao i u prethodnim mjerenjima uvijek više na tamnom dijelu fasade (Slika 11) i razlika temperature između tamne i svijetle fasade veća je tijekom razdoblja viših temperatura zraka (Prilog 5).

Ovisnost zagrijavanja različito obojenih dijelova fasada o temperaturi zraka

Na slici 12 prikazana je usporedba razlike temperature tamnog i bijelog dijela fasade u ovisnosti o temperaturi zraka. Rezultati su prikazani na način da su izmjerene temperature zraka podijeljene u pet skupina: temperatura zraka manja od 10 °C, između 11 i 15 °C, između 16 i 20 °C, između 21 i 25 °C i iznad 25 °C. Izračunata je aritmetička sredina razlika u temperaturi tamnog i bijelog dijela fasade svih mjerenja za svaku skupinu raspona temperature zraka te su rezultati prikazani grafički za svaki od pet promatranih objekata.



Slika 12 Grafički prikaz odnosa temperature zraka i razlike u temperaturi tamnog i svijetlog dijela fasade

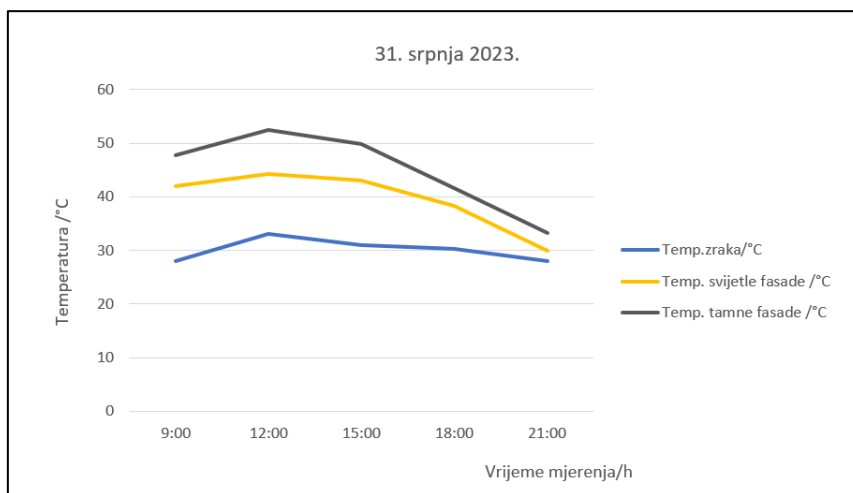
Na slici 12 može se uočiti da je srednja vrijednost razlike u zagrijavanju tamnog i svijetlog dijela promatranih objekata bila najveća kada je temperatura zraka bila najviša. Razlika u povećanju temperature povećava se s povećanjem temperature zraka za objekte 3, 4, 5 dok se na objektima 1 i 2 može uočiti nepravilnost u povećanju temperature za raspone temperature zraka od 16 do 20 °C i 21 do 25 °C. Kako bi se objasnila ova pojava napravljena je analiza dobivenih vrijednosti povećanja temperatura tamnog i svijetlog dijela fasade u ovisnosti o dobu dana, odnosno satu kada se pristupilo

mjerenju (Prilog 6). Analiza je napravljena za vremensko razdoblje od lipnja do listopada 2023., budući su razlike u zagrijavanju tamne i svijetle fasade znatno manje od studenoga kada su i temperature zraka znatno niže. Analiza pokazuje da je razlika u temperaturi tamne i svijetle podloge na svim mjernim postajama najmanja u jutarnjim satima. Mjerenja na području objekata 1 i 2 koji su orijentirani jugoistočno, temperaturna razlika povećava se do 15 sati, a nakon 15 sati se smanjuje. Na objektu 3, na kojem su mjenom obavljena na fasadi koja je okrenuta prema istoku, temperaturna razlika smanjuje se već nakon 12 sati. Objekt 4, kojemu je fasada na kojoj se obavljaju mjerenja orijentirana sjeverozapadno imaju povećanje razlike temperature sve do 19 sati, dok je na jednako orijentiranom objektu 5 već iza 15 sati dolazi do smanjenja razlike u temperaturi.

Ovisnost zagrijavanja različito obojenih dijelova fasada o satu mjerenja tijekom jednoga dana

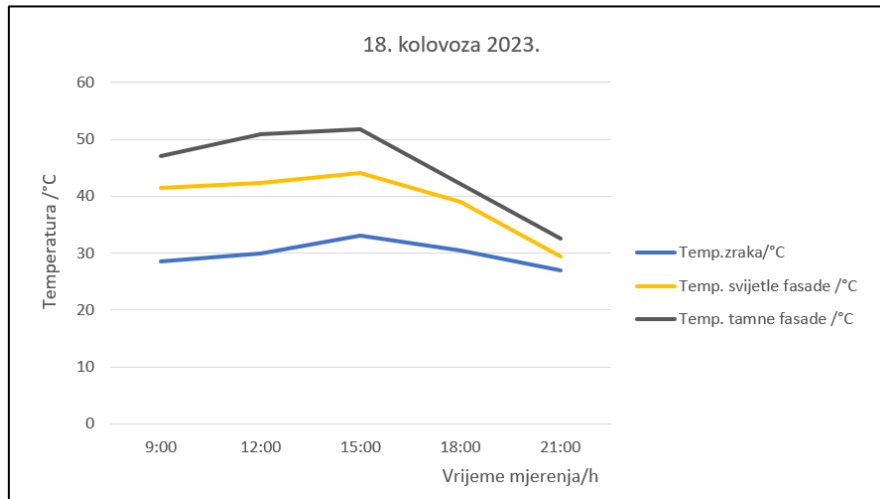
Na slikama od 13 do 19 grafički su prikazani odnosi temperatura zraka te temperatura tamnog i bijelog dijela fasade mjerenih u različitim dijelovima dana. Mjerenja su obavljena na objektu 5, jednom mjesečno i to pet puta tijekom jednoga dana: u 9, 12, 15, 18 i 21 sat.

Intenzivna mjerenja u srpnju 2023. (Slika 13), pokazuju da su razlike u temperaturi najniže u kasnim popodnevnim i večernjim satima, a najviša razlika u temperaturi mjerena je u 12 sati i iznosila je 8,2°C. Razlika u temperaturi u 15 sati iznosila je 6,7 °C. Temperature zraka tijekom mjerenja bile su visoke i kretale su se od 28 °C do 33 °C. Razlika u zagrijavanju bila je najveća kada je i temperatura zraka bila najviša. Razlika u najvećem i najmanjem zagrijavanju tijekom dnevnog mjerenja tamne i bijele fasade iznosila je 5°C.



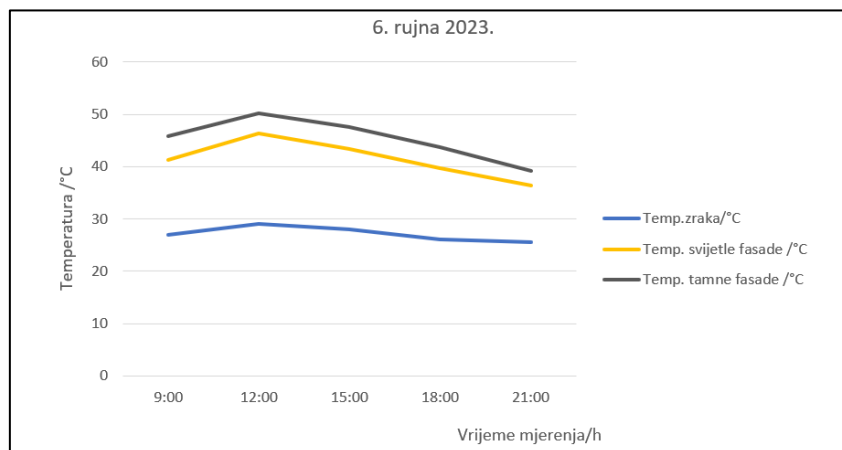
Slika 13 Grafički prikaz odnosa temperatura zraka i različito obojenih dijelova fasade u ovisnosti o satu mjerenja tijekom 31. srpnja 2023.

Na slici 14 prikazani su podaci intenzivnih mjerenja iz kolovoza 2023. Ovoga puta ne poklapa se najveća razlika u zagrijavanju tamne i bijele podloge s najvišom temperaturom zraka. Najviša temperatura izmjerena je u 15 sati, a najveća razlika u 12 sati. Razlika izmjerenih temperatura tamne i svijetle podloge u 12 sati iznosila je 8,6 °C, a potom u 15 sati kada je razlika bila 7,7 °C. Najniže razlike bilježe se u kasnim popodnevnim i večernjim satima. Razlika najvećeg i najmanjeg zagrijavanja različito obojenih fasada iznosila je 5,5 °C.



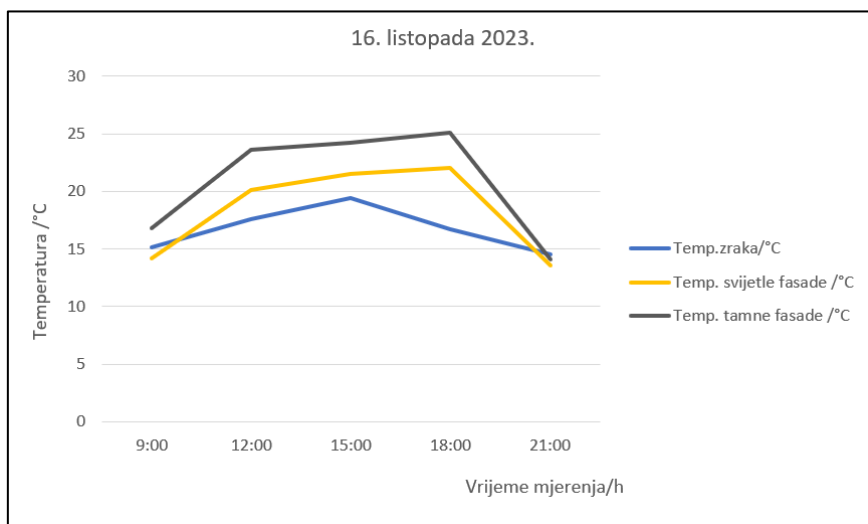
Slika 14 Grafički prikaz odnosa temperatura zraka i različito obojenih dijelova fasade u ovisnosti o satu mjerenja tijekom 18. kolovoza 2023.

Slika 15 prikazuje podatke intenzivnih mjerenja obavljenih u rujnu 2023. U rujnu, temperature zraka postaju nešto niže, a mjerenja pokazuju manju razliku između temperature tamnog i svijetlog dijela fasade (Slika 15). Najmanja razlika među temperaturama tamne i svijetle površine izmjerena je u 21 sat, a najviša ujutro u 9 sati, kada temperatura zraka nije bila najviša. Razlika između najvećeg i najmanjeg zagrijavanja iznosi 1,9 °C.



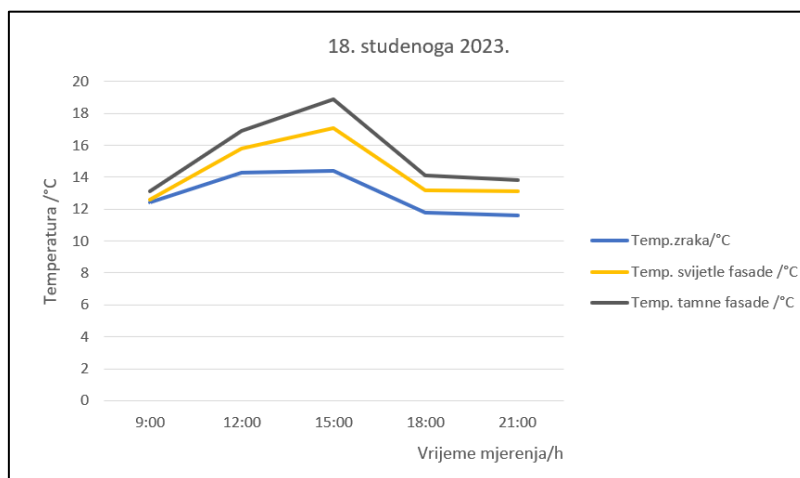
Slika 15 Grafički prikaz odnosa temperatura zraka i različito obojenih dijelova fasade u ovisnosti o satu mjerenja tijekom 6. rujna 2023.

Na slici 16 grafički su prikazani podaci intenzivnih mjerenja za listopad 2023. Temperature zraka su daleko niže u odnosu na prethodne mjeseci i razlika izmjerenih temperatura tamne i svijetle površine je manja. Najviša razlika, od 3,5 °C izmjerena je u 12 sati, iako je najviša temperatura zraka bila u 15 sati. Najmanja razlika u zagrijavanju različito obojenih podloga bila je u 21 sat i iznosila je svega 0,5 °C. Razlika u najvećem i najmanjem zagrijavanju bile je 3 °C.



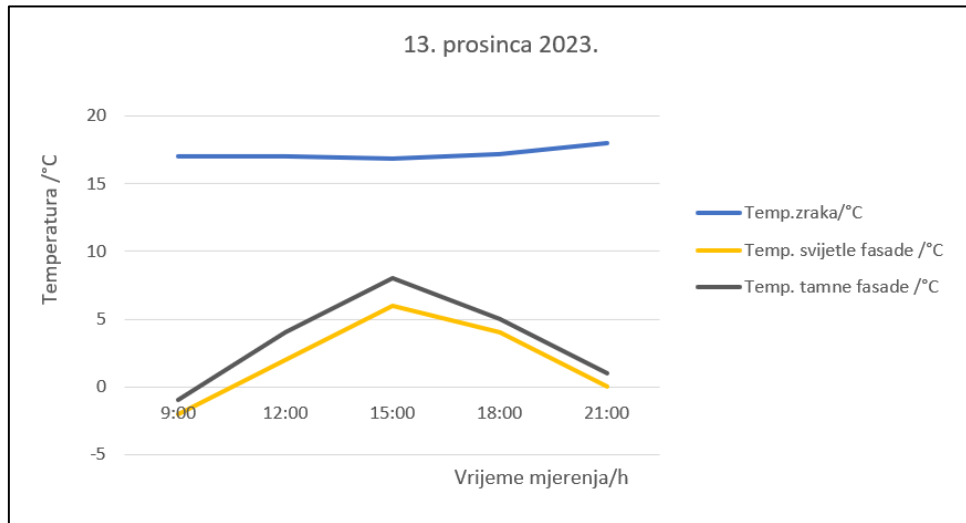
Slika 16 Grafički prikaz odnosa temperatura zraka i različito obojenih dijelova fasade u ovisnosti o satu mjerenja tijekom 16. listopada 2023.

Rezultati mjerenja u studenom 2023. grafički su prikazani su na slici 17. Razlike u temperaturama različito obojenih površina promatranih objekata u studenom su male, od 0,5 °C za mjerenje u 9 sati kada je temperaturna razlika bila najniža, do najviše razlike u 15 sati koja je iznosila 1,8 °C. Razlika u mjerenjima iznosila je 1,3 °C.



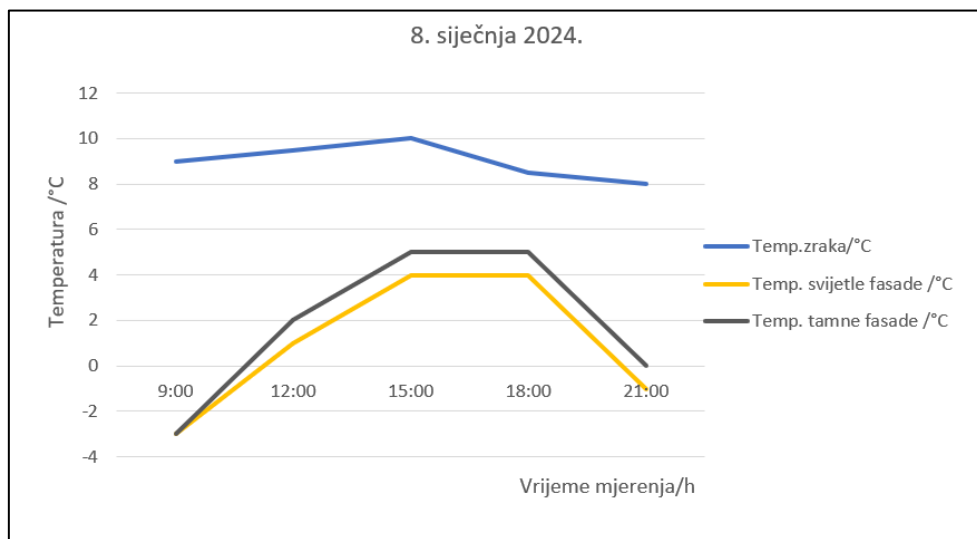
Slika 17 Grafički prikaz odnosa temperatura zraka i različito obojenih dijelova fasade u ovisnosti o satu mjerenja tijekom 18. studenoga 2023.

Slika 18 prikazuje vrijednosti izmjerenih temperatura u prosincu 2023. U prosincu se vrijednosti razlike temperature kreću između 1 °C i 2 °C.



Slika 18 Grafički prikaz odnosa temperatura zraka i različito obojenih dijelova fasade u ovisnosti o satu mjerenja tijekom 13. prosinca 2023.

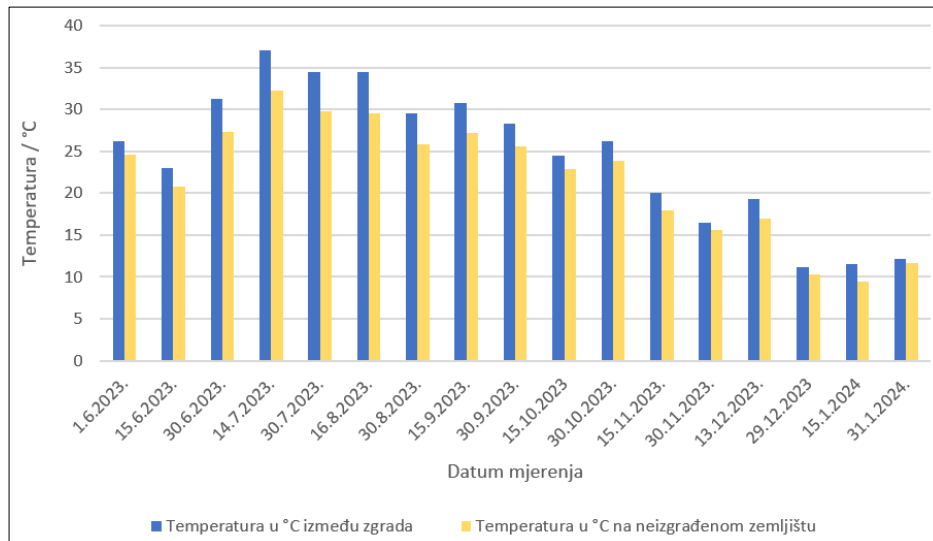
Rezultati mjerenja u siječnju 2024. grafički su prikazani su na slici 19. U siječnju su također zabilježene razlike u zagrijavanju u okviru 1°C razlike. Razlike u temperaturi različito obojenih dijelova fasade ili nije bilo ili je bila razlika od 1 °C.



Slika 19 Grafički prikaz odnosa temperatura zraka i različito obojenih dijelova fasade u ovisnosti o satu mjerenja tijekom 8. siječnja 2024.

Urbani toplinski otoci

Slika 20 prikazuje razlike u temperaturama zraka koje su mjerenje u izgrađenom i neizgrađenom području našega grada.



Slika 20 Grafički prikaz odnosa temperatura zraka u izgrađenom i neizgrađenom dijelu grada

Krivulje pokazuju za sva mjerenja višu temperaturu zraka u stambenom dijelu, te razlike su maksimalne u ljetnim mjesecima i iznose do 5 °C, dok je najmanja razlika bila krajem studenoga i iznosila je 0,6 °C.

RASPRAVA

Pretpostavka da će se led u potpunosti rastaliti brže ukoliko se nalazi na tamnoj podlozi potvrdila se ovim istraživanjem. Povezujući tu činjenicu s literaturnim nalazima može se povezati utjecaj tamnih površina na brže taljenje leda u prirodi i to zbog niskog albedo efekta tamnih površina. Učinak niskog albeda znači da površina upija sunčevu toplinu i takva pojava doprinosi zagrijavanju planeta. Bijela, snijegom i ledom prekrivena područja kao što su Arktik i Antarktika imaju jako visok albedo učinak i važni su mehanizmi za hlađenje Zemlje. Najveći učinak je zimi jer svježi snijeg odbija 90% sunčevog zračenja. Ostale važne površine s visokim albedom su oblaci i pustinje. Druga pak područja imaju vrlo nizak albedo efekt, primjerice tamni i otvoreni oceani. Površina oceana ima prosječni albedo efekt 0,08 što bi značilo da vraća u svemir svega 8 % primljenog zračenja. Drugim riječima, oceani apsorbiraju veliku količinu sunčevog zračenja i dodatno zagrijavaju Zemlju. Dakle, oceani se povećavaju zbog taljenja leda, a zbog svog albeda dodatno doprinose još bržem procesu taljenja novih količina leda (www.climatehero.me, 2021).

Rezultati zagrijavanja različito obojenih površina poput tamno smeđe zemlje, plavo obojene vode i bijeloga šećera mogu se povezati sa zagrijavanjem tla, mora i ledenjaka u prirodi. U kratko vremenu zagrijavanja dogodila se razlika u zagrijavanju od nekoliko stupnjeva, najviše se zagrijalo tlo, potom voda, a zbog visokog albeda bijela površina, najmanje se zagrijala. Kao u slučaju pokusa i literaturni nalazi potvrđuju da je za isti volumen tla potrebno dovesti daleko manje topline u odnosu na količinu energije koje je potrebna za zagrijavanje voda (Šegota i Filipčić, 1996). Razlog tomu navodi se veliki toplinski kapacitet vode te kod donošenja zaključaka o zagrijavanju različitih površina treba uključiti i druge moguće čimbenike, a ne isključivo albedo učinak.

Rezultati mjerenja zagrijanosti tamnog i svijetlog dijela fasada na svih pet objekata pokazuju da je tamni dio fasade uvijek imao višu temperaturu od svijetloga dijela. Taj podatak u skladu je s pretpostavkom postavljenom na početku istraživanja. U nedostatku sličnih istraživanja o zagrijavanju

različito obojenih dijelova fasada, usporedit ćemo rezultate ovoga rada s rezultatima usporedne analize zagrijavanja bijelog i crvenog krova na kućama u Novom Zelandu. Prema Tayloru (2016), razlika u zagrijavanju različito obojenih krovova ima mali utjecaj na temperaturu tijekom niskih temperatura dok tijekom toplijih dijelova dana može doći i do temperaturne razlike od 10 °C veće zagrijanosti tamnijeg krova. Tako podaci navedenog istraživanja pokazuju da bijeli krovovi pomažu smanjiti unutarnju temperaturu tijekom toplijih razdoblja, a ne utječu na unutarnju temperaturu tijekom hladnijih razdoblja. Kod istraživanja zagrijavanja fasade došlo se do sličnih rezultata jer su razlike u temperaturi različito obojenih dijelova fasada bile jako velike tijekom ljetnog razdoblja kada je temperatura zraka bila jako visoka, a padom temperature zraka tijekom jeseni i zime razlika u zagrijavanju fasada jako se smanjila, a u pojedinim mjerenjima je bila i jednaka.

Osim temperature zraka, koja utječe na razliku u zagrijavanju tamnih i svijetlih dijelova fasade, ovim istraživanjem uočilo se da orijentacija kuća u prostoru i doba dana kada se mjerenja obavljaju predstavljaju vrlo važne čimbenike koji utječu na zagrijavanje fasada. Također, važan utjecaj ima i položaj mjernih postaja u odnosu na prometnice i druge objekte koji ih okružuju. Tako objekti 1 i 2 imaju istu orijentaciju fasada na kojima su se mjerenja obavljala, a razlike u temperaturi bile su veće na objektu 1 jer je veći dio dana sunčevo zračenje na mjerenu podlogu bilo izravno, a u blizini je prometnica s gustim prometom, dok je objekt 2 dijelom dana zaklonjen sjenom susjednih zgrada, sunčevo zračenje nije izravno te je temperaturna razlika tamnog i svijetlog dijela fasade manja. Također, razlika u zagrijavanju tamne i svijetle fasade objekata 4 i 5 u popodnevnim satima, koje imaju fasade orijentirane u smjeru sjeverozapada, može se objasniti pojavom sjene koja se stvara na objektu 5.

Vrućine kojima smo izloženi tijekom ljeta, a nerijetko i na prijelazu iz proljeća u ljeto, najintenzivnije se osjećaju u središtima velikih gradova, gdje su temperature zraka i po nekoliko stupnjeva više nego drugdje. Mnogi znanstvenici diljem svijeta već desetljećima upozoravaju na negativne posljedice koje porast površinske temperature Zemlje ima na ljude te na biljni i životinjski svijet. To je već vidljivo u gradovima gdje porast globalne temperature znatno mijenja lokalna klimatska obilježja i dovodi do stvaranja takozvanih urbanih toplinskih otoka (Bogdan, 2019). Rezultati ovoga rada također su u suglasju s navodima Bogdana (2019). Tijekom ljetnih mjeseci temperatura zraka među zgradama s dijelom prisutnim tamnim fasadama povećava se preko 5°C u odnosu na obližnje neizgrađeno područje. U zimskom razdoblju s niskim temperaturama zraka ta vrijednost je manja, ali i dalje postoji.

Ovim našim istraživanjima u globalu smo potvrdili sve naše pretpostavke. Dakle, bijela boja, bilo snijega, leda ili u bijelo obojenih objekata, važna je za odbijanje sunčeve energije sa Zemlje čime se sprječava povećanje temperature na Zemlji. Stoga bojimo kuće u bijelo jer "bila boja je boja". Boja za Zemlju i za bolju budućnost.

ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata provedenog istraživanja doneseni su sljedeći zaključci:

1. Kockica leda jednakog volumena brže će se rastaliti ukoliko se nalazi na tamno obojenoj površini u odnosu na kockicu leda koja se nalazi na svijetlo obojenoj površini. Ukoliko se rezultat poveže s taljenjem ledenjaka u prirodi zaključuje se da se ledenjaci brže tale ukoliko su okruženi tamnim područjima kao što su oceani.

2. Tamnije površine brže se zagrijavaju od svijetlih površina. Prema rezultatima pokusa može se zaključiti da se najbrže zagrijava tlo, potom voda, a najsporije se zagrijavaju bijele površine.
3. Tamni dijelovi fasada kuća više će se zagrijavati od bijelih dijelova tijekom cijele godine, ali će razlika u zagrijavanju biti veća što je temperatura zraka viša. Temperaturne razlike u zagrijavanju različito obojenih površina veće su tijekom ljeta kada su temperature zraka najviše, a najmanje tijekom zime kada su temperature zraka najniže.
4. Temperatura zraka viša je među stambenim zgradama s prisutnim tamnim fasadama u odnosu na obližnje neizgrađeno područje te na taj način možemo utvrditi postojanje urbanog toplinskog otoka u našem gradu. Razlika u zagrijavanju izgrađenog i neizgrađenog područja veća je što je temperatura zraka viša.

LITERATURA

- Bogdan A. 2019. Učinak urbanog toplinskog otoka. Građevinar 9: 802- 806, <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-71-2019-9-7-ZO.pdf>, pristupljeno 20.2.2024.
- Climate Hero 2021. Albedo Effect, <https://climatehero.me/albedo-effect/>, pristupljeno 23.1.2024.
- Europska komisija 2021. Uzroci klimatskih promjena, https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_hr, pristupljeno 20. 2. 2024.
- Europska komisija 2022. Posljedice klimatskih promjena, https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_hr#regionalne-prijetnje, pristupljeno 23.1.2024.
- GLOBE 2022. Urban Heat Island Effect Surface Temperature Intensive Observation Period, <https://www.globe.gov/web/surface-temperature-field-campaign>, pristupljeno 15.12.2023.
- My Nasa data 1, Albedo values, <https://mynasadata.larc.nasa.gov/basic-page/albedo-values>, pristupljeno 12.1.2024.
- My Nasa data 2, Urban Heat Islands, <https://mynasadata.larc.nasa.gov/basic-page/urban-heat-islands>, pristupljeno 18.12.2023.
- My Nasa data 3, Changing Albedo Lab, <https://mynasadata.larc.nasa.gov/lesson-plans/changing-albedo-lab>, pristupljeno 15.12.2023.
- NASA earth observatory 2005. Earth's Albedo in Decline, <https://earthobservatory.nasa.gov/images/5484/earths-albedo-in-decline>, pristupljeno 12.1.2024.
- Šegota T., Filipčić A. 1996. Klimatologija za geografe. Školska knjiga, Zagreb.
- Taylor A.P.R. 2016. A comparative analysis of a white-roof installation during a New Zealand autumn and winter. International Journal of Sustainable Building Tehnology and Urban Development 7: 52-60, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/2093761X.2016.1167644>, pristupljeno 22.2.2024.
- Žgela M. 2019. Urbana klimatologija – primjer toplinskog otoka grada Zagreba, <https://hrcak.srce.hr/file/321962>, pristupljeno 1.12.2023.
- Žgela M. 2020. Utjecaj promjena podloge na toplinska obilježja grada Zagreba na temelju analize Landsat podataka - diplomski rad, <https://repositorij.pmf.unizg.hr/islandora/object/pmf%3A9203/datastream/PDF/view>, pristupljeno 10.12.2023.

PRILOZI

Prilog 1 Podaci za objekt 1

| Datum mjerenja | Sat mjerenja | Temperatura zraka / °C | Razlika u temperaturi tamne i svijetle fasade u °C |
|----------------|--------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| 15.6.2023. | 11:50 | 20 | 21,9 |
| 29.6.2023. | 10:45 | 26 | 21,8 |
| 14.7.2023. | 9:30 | 28,5 | 8,2 |
| 28.7.2023. | 9:40 | 26 | 5,2 |
| 17.8.2023. | 8:00 | 25 | 4,8 |
| 23.8.2023. | 14:15 | 34 | 20,3 |
| 3.9.2023. | 8:30 | 22 | 4,8 |
| 29.9.2023. | 7:30 | 20 | 3 |
| 5.10.2023. | 18:40 | 23 | 9,4 |
| 19.10.2023. | 13:45 | 22 | 9,6 |
| 17.11.2023. | 10:30 | 18 | 2,8 |
| 27.11.2023. | 13:30 | 5 | 2,6 |
| 10.12.2023. | 7:30 | 7 | 1,7 |
| 18.12.2023. | 11:30 | 14,5 | 3,8 |
| 8.1.2024. | 9:30 | 9 | 1,6 |

| | | | |
|------------|-------|---|-----|
| 20.1.2024. | 13:30 | 7 | 2,8 |
|------------|-------|---|-----|

Prilog 2 Podaci za objekt 2

| Datum mjerenja | Sat mjerenja | Temperatura zraka / °C | Razlika u temperaturi tamne i svijetle fasade u °C |
|----------------|--------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| 15.6.2023. | 10:30 | 20 | 7,9 |
| 30.6.2023. | 10:30 | 26,5 | 9,8 |
| 14.7.2023. | 11:00 | 31 | 11,5 |
| 28.7.2023. | 10:00 | 26 | 8,8 |
| 9.8.2023. | 10:00 | 25 | 8,4 |
| 26.8.2023. | 11:00 | 30 | 9,3 |
| 3.9.2023. | 9:30 | 25 | 6,2 |
| 20.9.2023. | 15:15 | 27,5 | 14,2 |
| 5.10.2023. | 10:00 | 22 | 6,8 |
| 19.10.2023. | 14:45 | 21 | 7,2 |
| 20.11.2023. | 10:30 | 14,5 | 4,2 |
| 27.11.2023. | 13:30 | 6 | 3,1 |
| 10.12.2023. | 7:30 | 7 | 3,5 |
| 18.12.2023. | 7:30 | 5,5 | 1,7 |
| 8.1.2024. | 9:30 | 9 | 3,5 |
| 20.1.2024. | 14:00 | 7 | 2,4 |

Prilog 3 Podaci za objekt 3

| Datum mjerenja | Sat mjerenja | Temperatura zraka / °C | Razlika u temperaturi tamne i svijetle fasade u °C |
|----------------|--------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| 15.6.2023. | 11:00 | 20,5 | 20,9 |
| 29.6.2023. | 9:45 | 25,5 | 19,1 |
| 14.7.2023. | 12:00 | 32 | 22,4 |
| 28.7.2023. | 9:45 | 25 | 19,2 |
| 9.8.2023. | 7:30 | 22 | 6,6 |
| 23.8.2023. | 14:00 | 34 | 19,4 |
| 3.9.2023. | 12:00 | 28 | 12,6 |
| 29.9.2023. | 9:30 | 24 | 7,6 |
| 15.10.2023. | 16:00 | 24,5 | 4,5 |
| 21.10.2023. | 12:00 | 20 | 5,6 |
| 15.11.2023. | 11:30 | 18 | 5,1 |
| 27.11.2023. | 9:00 | 6 | 3,2 |
| 6.12.2023. | 8:30 | 8 | 2,7 |
| 18.12.2023. | 9:00 | 7 | 2,6 |
| 10.1.2024. | 9:30 | 6 | 2,4 |
| 17.1.2024. | 11:00 | 15 | 4,8 |

Prilog 4 Podaci za objekt 4

| Datum mjerenja | Sat mjerenja | Temperatura zraka / °C | Razlika u temperaturi tamne i svijetle fasade u °C |
|----------------|--------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| 15.6.2023. | 10:45 | 20 | 9,9 |
| 29.6.2023. | 11:00 | 26,5 | 9,8 |
| 14.7.2023. | 18:00 | 33 | 21,1 |
| 28.7.2023. | 9:50 | 25 | 9,2 |
| 9.8.2023. | 11:40 | 26,5 | 11,6 |
| 23.8.2023. | 15:30 | 35,5 | 19,4 |
| 3.9.2023. | 14:00 | 28,5 | 12,6 |
| 29.9.2023. | 16:00 | 26,5 | 13,6 |
| 15.10.2023. | 17:30 | 24 | 20,5 |
| 21.10.2023. | 8:00 | 23 | 5,6 |
| 15.11.2023. | 8:00 | 12 | 5,5 |
| 27.11.2023. | 9:30 | 6,5 | 3,2 |

| | | | |
|-------------|-------|------|-----|
| 6.12.2023. | 10:30 | 11 | 2,7 |
| 18.12.2023. | 14:00 | 15 | 2,6 |
| 10.1.2024. | 10:30 | 8 | 2,4 |
| 17.1.2024. | 9:40 | 14,9 | 4,8 |

Prilog 5 Podaci za objekt 5

| Datum mjerenja | Sat mjerenja | Temperatura zraka / °C | Razlika u temperaturi tamne i svijetle fasade u °C |
|----------------|--------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| 13.6.2023. | 10:00 | 26 | 16,9 |
| 29.6.2023. | 11:30 | 27,5 | 15,7 |
| 16.7.2023. | 10:30 | 30 | 14 |
| 24.7.2023. | 9:00 | 29 | 9,6 |
| 17.8.2023. | 10:00 | 29 | 11,3 |
| 26.8.2023. | 15:00 | 33 | 19 |
| 8.9.2023. | 17:00 | 30,5 | 13,6 |
| 20.9.2023. | 9:30 | 23 | 5,9 |
| 15.10.2023. | 10:00 | 19 | 5,7 |
| 23.10.2023. | 9:00 | 19 | 4,5 |
| 8.11.2023. | 9:00 | 13,5 | 3,9 |
| 20.11.2023. | 9:00 | 12 | 2,8 |
| 10.12.2023. | 13:30 | 10 | 3,7 |
| 18.12.2023. | 15:00 | 15 | 4 |
| 10.1.2024. | 7:00 | 5 | 1,9 |
| 20.1.2024. | 9:30 | 5,5 | 2,8 |

Prilog 6 Prikaz srednjih vrijednosti temperaturnih razlika u zagrijavanju tamnog i svijetlog dijela fasade u ovisnosti o satu obavljenih mjerenja

| Objekt mjerenja/orijentiranost | Vrijeme mjerenja | Srednja vrijednost razlika u temperaturi / °C tamnog i svijetlog dijela fasade |
|--------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Objekt 1/ jugoistok | do 9:00 sati | 4,2 |
| | 09:00 - 12:00 sati | 14,3 |
| | 12:00 - 15:00 sati | 15 |
| | 15:00 - 19:00 sati | 9,4 |
| Objekt 2/ jugoistok | do 9:00 sati | nema mjerenja |
| | 09:00 - 12:00 sati | 8,5 |
| | 12:00 - 15:00 sati | 10,7 |
| | 15:00 - 19:00 sati | nema mjerenja |
| Objekt 3/ istok | do 9:00 sati | 6,6 |
| | 09:00 - 12:00 sati | 16,7 |
| | 12:00 - 15:00 sati | 15 |
| | 15:00 - 19:00 sati | 4,5 |
| Objekt 4/ sjeverozapad | do 9:00 sati | 5,6 |
| | 09:00 - 12:00 sati | 10,1 |
| | 12:00 - 15:00 sati | 12,6 |
| | 15:00 - 19:00 sati | 18,6 |
| Objekt 5/sjeverozapad | do 9:00 sati | 7 |
| | 09:00 - 12:00 sati | 11,5 |
| | 12:00 - 15:00 sati | 19 |
| | 15:00 - 19:00 sati | 13,6 |