

## UTICAJ IZMENJENIH BIOKLIMATSKIH USLOVA NA PLANIRANJE GRADA – ANALIZA TOPLOTNOG OPTEREĆENJA U BEOGRADU TOKOM 30 GODINA

Milica Lukić<sup>1</sup>, Dejan Filipović<sup>2</sup>

**Apstrakt:** Pod uticajem klimatskih promena, menja se i klima gradova. Temperatura vazduha je svakako jedan od najznačajnijih parametara kojim opisujemo urbanu klimu. Međutim mikroklima gradova je znatno složeniji sistem, pa se i uticaj izmenjenih klimatskih uslova na kvalitet života u urbanim sredinama ne može pratiti samo korišćenjem jednog meteorološkog parametra. U današnjem kontekstu kada posledice klimatskih promena osećamo gotovo svakodnevno na svojoj koži, planeri i urbanisti, ali i svi drugi koji učestvuju u kreiranju javnih politika urbanog razvoja moraju promeniti način na koji sagledavaju mikroklimu gradova. Analiza termalnog komfora na otvorenom treba postati sastavni deo planova i strategija kojima se određuje vizija budućeg razvoja naših gradova.

U skladu sa navedenim, ovaj rad se fokusira na analizu termalnog komfora centralne zone Beograda, primenom bioklimatskog indeksa Heat Load (HL) - toplotno opterećenje u čoveku, tokom perioda od 30 godina (1991-2020). Cilj rada je sagledati na koji način se termalni komfor u centralnim, najgušće naseljenim i izgrađenim delovima Beograda, menjao u protekle tri decenije i kako ta saznanja mogu doprineti održivijem urbanom razvoju. Rezultati su prikazani na godišnjem i sezonskom nivou. Istraživanje je zasnovano na dnevnim meteorološkim podacima RHMZ-a, njihovim srednjednevnim i terminskim vrednostima (07h, 14h i 21h) zabeleženim na meteorološkoj stanici Beograd – Opservatorija (44°48N, 20°28E). Sprovedena analiza pokazuje umereni porast broja dana sa višim stepenom toplotnog opterećenja, odnosno dana kada su se vrednosti indeksa HL kretale u opsegu 1.026 – 1.180 (toplo) i 1.181 – 1.750 (vruće), posebno tokom letnjih meseci.

**Ključne reči:** toplotno opterećenje, bioklima, klimatske promene, planiranje, Beograd

### UVOD

Gradovi, kao najgušće naseljena područja sveta, zbog izuzetno složenih ekonomskih, socijalnih i ekoloških procesa i pojava koje se tu odvijaju, postali su posebno osetljivi na posledice klimatskih promena i sve učestalije ekstremne vremenske prilike. Regulacija spoljašnjeg termalnog komfora u urbanim sredinama danas je otežana usled nagle promene ekološke strukture grada izuzetno agresivnim prostornim intervencijama od strane čoveka. Promene u prostoru odvijaju se neprestano, te je planiranje gradova vrlo dinamična i osetljiva kategorija. S obzirom da više od 50% svetske populacije živi u urbanim sredinama (što je slučaj i sa Republikom Srbijom) od suštinske je važnosti planirati održive urbane prostore i podsticati urbanu otpornost.

Mikroklimatske karakteristike grada i spoljašnji termalni komfor treba posmatrati kao važne planersko-urbanističke uslove prilikom planiranja i upravljanja urbanim područjem. Primera radi, posebno kod planiranja zona lečilišta, odnosno delova grada gde se nalaze bolnice, porodilišta, klinički centri, tj. objekti zdravstvene zaštite gde korisnici i zaposleni provode dosta vremena. Planiranje takvih delova grada zahteva funkcionalno objedinjavanje i klimatskih i urbanističkih aspekata kako bi se regulisale ekstremne vrednosti meteoroloških parametara (Obradović-Arsić, 2014). Ukoliko se tome ne pristupi na adekvatan način, nepovoljan spoljašnji termalni komfor može znatno opteretiti oporavak korisnika zdravstvenih ustanova. Takođe, s obzirom da je grad „živ organizam“ i njegova fizionomija se neprestano menja usled širenja grada, povlačenja zelenih površina zarad izgradnje novih objekata, vrlo je verovatno da će se tokom vremena mikroklimatski uslovi lokacije menjati.

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, Beograd, Srbija; YES Europe - Serbia: Young leaders in Energy and Sustainability, Belgrade; WISE Serbia: Women of Serbia in Sustainable Energy, Belgrade, milica.lukic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-5252-2148

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, Beograd, Srbija, dejan.filipovic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-7732-1353

Isto važi kada govorimo o zonama škola, predškolskih ustanova, domova za stara lica, o zonama gde su smešteni objekti namenjeni sportu i rekreaciji. Takođe, kombinacija ove dve kategorije uslova (mikroklimatskih i planersko-urbanističkih) od velike je važnosti i za planiranje zona komercijalnih i industrijskih delatnosti, turizma i ugostiteljstva, i naposljetku zona stanovanja, posebno u zonama gusto izgrađenih višespatnica, objekata kolektivnog stanovanja u centralnim gradskim područjima.

Uključivanjem spoljašnjeg termalnog komfora u proces planiranja urbanih sredina, a posebno u savremene koncepte urbanističkog planiranja kakvi su zeleni gradovi, bavi se sve veći broj autora. Do sada je razvijeno više od 100 bioklimatskih indeksa kojima se opisuje termalni komfor na otvorenom (engl. outdoor thermal comfort), ali i onaj unutar zatvorenog prostora (indoor thermal comfort). Bioklimatske analize nam u mnogome mogu pomoći da bolje razumemo urbanu mikroklimu, njen uticaj na javno zdravlje i kvalitet života u gradovima, te da samim tim planiramo otpornije i održivije gradove koji će spremnije i efikasnije odgovoriti na izazove klimatske krize, koja nas (po svemu sudeći) očekuje u budućnosti.

Ovom prilikom, odabran je bioklimatski indeks Heat Load (HL) iliti toplotno opterećenje u čoveku. Ovaj indeks je tokom prethodne dve decenije naišao na značajnu primenu u bioklimatskim analizama urbanih sredina. Theoharatos i saradnici (2010) primenili su indeks HL prilikom ispitivanja posledica dva toplotna talasa koji su pogodili Atinu (Grčka) tokom leta 2007.godine. Posmatrana je korelacija između pikova HL indeksa i broja slučajeva, odnosno pacijenata koji su registrovani u bolnicama grčkog nacionalnog zdravstvenog sistema, a koji su se javljali sa tegobama toplotnog udara i drugih posledica koje nastaju usled visokih temperature i visokog termalnog opterećenja ljudskog organizma. Pantavou i dr. (2011) su koristili indeks HL u proceni spoljašnjeg termalnog komfora tokom ekstremnih vremenskih prilika koje su zabeležene tokom leta 2007.godine na području Atine. Osim indeksa HL, primenili su još tri indeksa (ASV, TS i DI). Analiza je pokazala značajnu korelaciju između visokih vrednosti toplotnog opterećenja i porasta broja pacijenata na dnevnom nivou koji su primljeni na urgentna odeljenja kardioloških klinika u okviru 4 opšte bolnice u Atini. Rezultati oba istraživanja nam ukazuju na značajan potencijal primene indeksa HL u predikciji mogućih posledica toplotnih talasa po javno zdravlje u urbanim sredinama. Spanou i dr. (2010) primenili indeks HL za potrebe procene stepena termalne (ne)udobnosti na prostoru čitave Grčke na osnovu podataka sa 31 meteorološke stanice kojima upravlja grčka nacionalna meteorološka služba.

Domaći autori su takođe posvetili pažnju indeksu toplotnog opterećenja u bioklimatskim analizama urbanih sredina. Pecelj M. (2013) je sproveda analizu bioklimatskih uslova na prostoru grada Banja Luke primenom indeksa HL, tokom perioda 1961-1990.godina, a istraživanje je bilo zasnovano na srednjim mesečnim vrednostima meteoroloških parametara. Pecelj i saradnici (2017) su primenom indeksa HL sprovedli komparativnu analizu termalnog komfora na otvorenom dva geografski različita okruženja: planine Zlatibor i grada Beograda. Pecelj, Lukić i saradnici su koristili Heat Load indeks kako bi sprovedli bioklimatsku analizu grada Loznice za potrebe zdravstvenog turizma i rekreacije. Šušnjar i Pecelj (2014) su istraživale termalni komfor na području planine Bjelašnica (BiH) tokom perioda 2000-2010.godina, primenom 4 bioklimatska indeksa (STI, PST, PhS i HL).

## METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Za potrebe ovog istraživanja primenjen je bioklimatski indeks Heat Load (HL) iliti toplotno opterećenje u čoveku. HL (bezdimezionalna veličina) se koristi za opisivanje opterećenja centralnog termoregulacionog sistema koje se javlja usled procesa adaptacije na spoljašnju sredinu u kojoj se čovek nalazi (Pecelj i dr., 2015). Procena toplotnog opterećenja (HL) zasniva se na primeni modela MENEX (Man-ENVironment-heat-Exchange) koji podrazumeva razmenu toplote između čoveka i okoline (Blazejczyk, 2001; Pantavou et al., 2011; Pecelj i dr., 2015; Pecelj i dr., 2018). Toplotno opterećenje se određuje na osnovu tri glavna toplotna fluksa: ukupna toplotna akumulacija (S), apsorbovana solarna radijacija (R) i gubitak toplote evaporacijom (E) koja se izražava u  $Wm^{-2}$  (Pecelj i dr., 2012; Pecelj, 2013; Pecelj i dr., 2015). Indeks HL se može izračunati primenom sledećih formula (Blazejczyk, 2001; Pantavou et al., 2011):

$$HL = [(S+360)/360] [2-1/(1+R)], \text{ gde je } S \leq 0 Wm^{-2} \text{ i } E \geq -50 Wm^{-2} \quad (1)$$

$$HL = [(S+360)/360] [2+1/(1+R)], \text{ gde je } S > 0 Wm^{-2} \text{ i } E \geq -50 Wm^{-2} \quad (2)$$

$$HL = (E/ - 50)[(S+360)/360][2-1/(1+R)], \text{ gde je } S \leq 0 Wm^{-2} \text{ i } E \leq -50 Wm^{-2} \quad (3)$$

$$HL = (E/ - 50)[(S+360)/360][2+1/(1+R)], \text{ gde je } S > 0 Wm^{-2} \text{ i } E \leq -50 Wm^{-2} \quad (4)$$

Indeksom HL opisuje se 7 kategorija toplotnog opterećenja (od veoma hladnog do veoma toplog), a granične vrednosti za svaku od kategorija prikazane su u Tabeli br.1.

Istraživanje je zasnovano na dnevnim meteorološkim podacima koji su dostupni u okviru Meteoroloških godišnjaka Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda (RHMZ) za period od 30 godina (1991-2020). Kako bi se dobio detaljniji uvid u bioklimatsku sliku centralnog područja Beograda, i kako bi se detaljnije sagledale promene u toplotnom opterećenju tokom protekle tri decenije, korišćene su srednje dnevne i terminske vrednosti (07h, 14h i 21h) meteoroloških parametara koji su zabeleženi na meteorološkoj stanici Beograd – Opservatorija (44°48N, 20°28E). Na osnovu toga razmatrani su sledeći subindeksi:

- HL07h (na osnovu meteoroloških parametara izmerenih u 07h)
- HL14h (na osnovu meteoroloških parametara izmerenih u 14h)
- HL21h (na osnovu meteoroloških parametara izmerenih u 21h)
- HLsr (na osnovu srednjih dnevnih vrednosti meteoroloških parametara)

Osim meteoroloških, u analizi korišćeni su i fiziološki parametri, definisani ISO 8996 standardom za prosečnu odraslu osobu koja se kreće brzinom od 4km/h, tj. 1.1 m/s, a stopa metabolizma (M) iznosi 135 Wm<sup>-2</sup> (Theoharatos et al., 2010). Nakon formiranja baze podataka, pristupilo se izračunavanju vrednosti indeksa, kao i klasifikaciji rezultata u pripadajuće kategorije toplotnog opterećenja. Za potrebe određivanja vrednosti indeksa HL korišćen je softver BioKlima 2.6.

Tabela br.1: Kategorije toplotnog opterećenja u čoveku (HL) i stepen udobnosti (Pecelj, 2015)

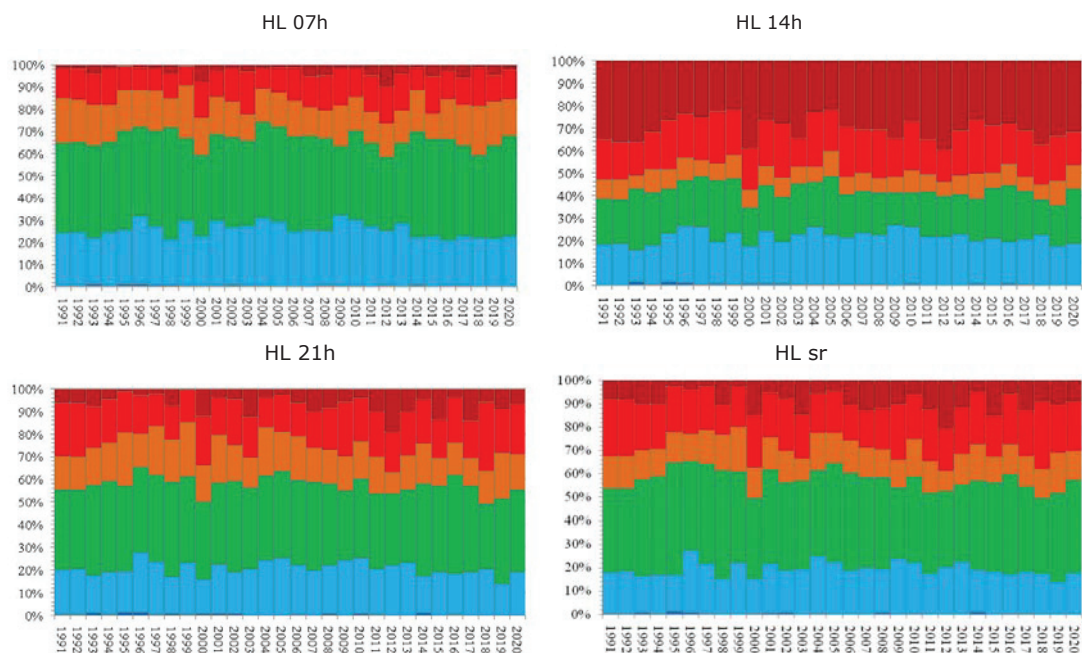
Granične vrednosti	Stepen udobnosti
≤ 0.250	Veoma hladno
0.251 – 0.820	Hladno
0.821 – 0.975	Prohladno
0.976 – 1.025	Ugodno
1.026 – 1.180	Toplo
– 1.750	Vruće
> 1.751	Veoma vruće

## REZULTATI I DISKUSIJA

U nastavku teksta prikazani su rezultati bioklimatske analize central zone Beograda primenom indeksa HL, na godišnjem i sezonskom nivou, tokom perioda od 30 godina (Grafikoni 1-5).

### Analiza godišnjih vrednosti toplotnog opterećenja (HL)

Rezultati godišnjih vrednosti indeksa Heat Load (HL) pokazuju sledeće: tokom perioda 1991-2020.godina zabeležen je umereni porast broja dana sa višim stepenom toplotnog opterećenja, odnosno dana kada su se vrednosti indeksa HL kretale u opsegu 1.026 – 1.180 (toplo) i 1.181 – 1.750 (vruće), kako za terminske vrednosti (HL 07h, HL 14h, HL 21h) tako i za srednje dnevne vrednosti (HL sr). Ako posmatramo subindeks HL 14h, videćemo da dominiraju dani kada je termalni komfor pripadao kategoriji sa najvišim vrednostima ("veoma vruće", HL 14h >1.751) i takvih dana je bilo 3314, odnosno 30% ukupno razmatranog perioda. Dana u kojima je subindeks HL 14h registrovan u opsegu 1.181 – 1.750 (vruće) bilo je 2112, što znači da su dve kategorije najvišeg toplotnog opterećenja bile zastupljene sa čak 49% tokom razmatranog perioda (Grafikon br.1). Najveći broj dana kada je HL 14h bio iznad granične vrednosti za "veoma vruće" (>1.715) zabeležen je 2012. godine (144), zatim 2000.godine (142) i 2018.godine (137). Godine 2012. je ujedno izmerena i srednja maksimalna vrednost subindeksa HL14h tokom perioda od 30 godina koja je iznosila 1.923. Iste godine su zabeležene srednje maksimalne vrednosti i ostalih subindeksa: HL07h =1.176, HL21h =1.316, HLsr = 1.366. Kada posmatramo subindeks HL 07h, vidimo da dominiraju dani kada su se vrednosti indeksa kretale u opsegu 0.976 – 1.025 (ugodno), tj. 4500 takvih dana, odnosno 41% ukupno posmatranog perioda, što znači da je posmatrano na dnevnom nivou za boravak na otvorenom, najpogodniji prepodnevni period.



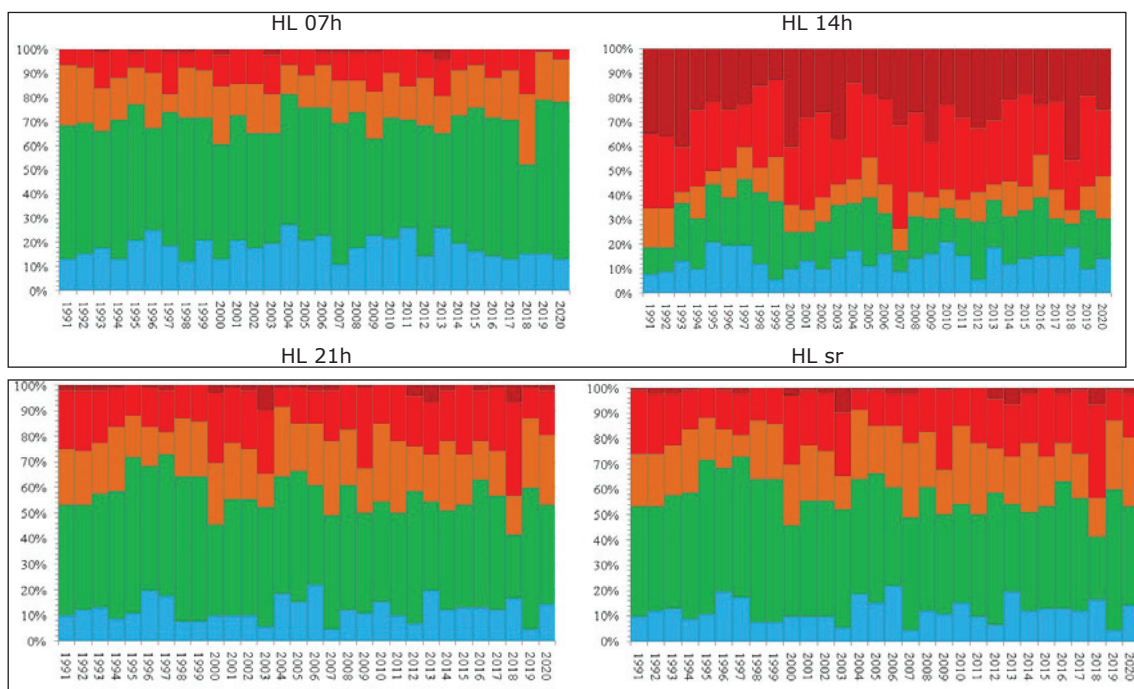
Grafikon br. 1: Udeo različitih kategorija toplotnog opterećenja (HL), 07h, 14h, 21 i srednje dnevne vrednosti, za period 1991-2020.godina (s leva na desno)

### **Analiza sezonskih vrednosti toplotnog opterećenja (HL)**

Sezonska analiza predstavljena je kroz analizu termalnog komfora tokom različitih godišnjih doba, i to počevši od proleća, zatim leta, jeseni, i na kraju zime.

#### **Proleće (1991-2020)**

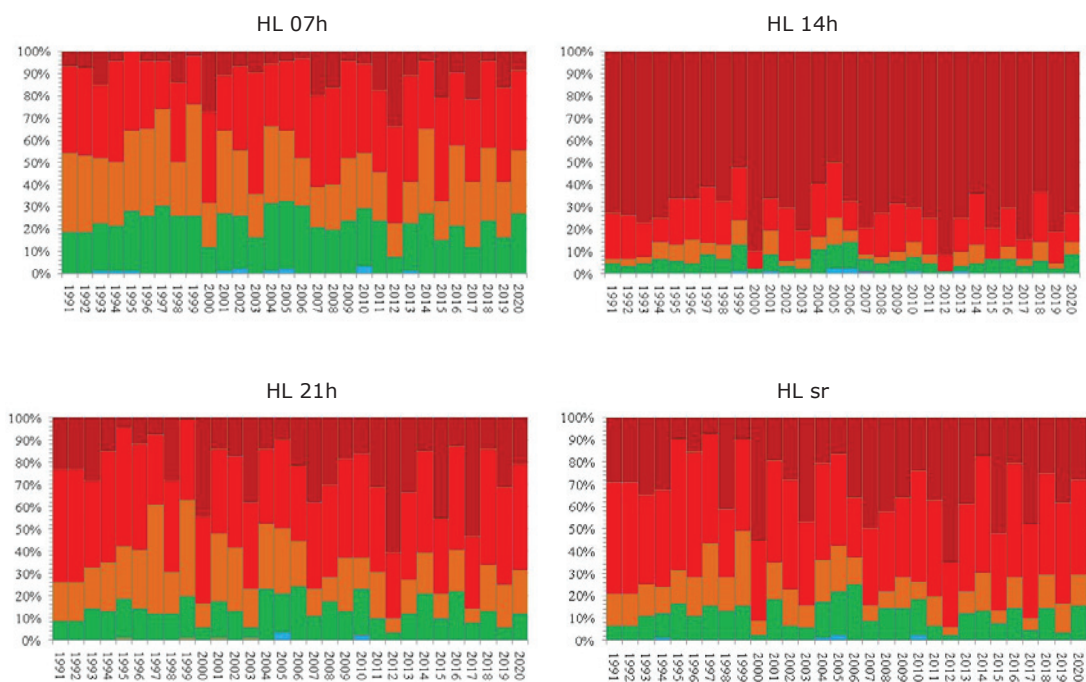
Posmatrano u odnosu na druge mesece u godini, termalni komfor na otvorenom ocenjen indeksom HL, najpovoljniji je tokom prolećnih meseci (mart, april, maj), posebno tokom jutarnjih (HL07h) i večernjih časova (HL21h). Na Grafikonu br. 2 možemo uočiti da se najviše vrednosti toplotnog opterećenja u čoveku javljaju kod subindeksa HL14h, gde su procentualno najzastupljenije kategorije "vruće" i "veoma vruće" (820, odnosno 737 takvih dana ili ti 56% ukupnog broja dana tokom tridesetogodišnjeg perioda). Što zapravo znači da je tokom prolećnih meseci toplotno opterećenje najviše u najtoplijem delu dana. Najviša srednja prolećna vrednost subindeksa HL14h izmerena je 2000.godine kada je iznosila 1.760. Najviše srednje prolećne vrednosti subindeksa HL07h zabeležene su 2018.godine (1.095), a iste godine registrovane su najviše srednje vrednosti subindeksa HL21h (1.204) i HLSr (1.253). Najveći broj dana u kategoriji "ugodno" (0.976 – 1.025) javlja se kod subindexa HL 07h sa 1450 takvih dana ili 52%. Subindeksi HL21h i HLSr imaju podjednak broj dana u kategoriji "ugodno" – 1251 dan ili 55%. Na drugom mestu kod oba subindeksa javljaju se dani kada je toplotno opterećenje pripadalo kategoriji "toplo" (1.026 – 1.180) sa 21% u ukupnom broju dana (581, odnosno 580 dana).



Grafikon br. 2: Udeo različitih kategorija toplotnog opterećenja (HL), 07h, 14h, 21 i srednje dnevne vrednosti, tokom prolećnih meseci (mart, april, maj) za period 1991-2020.godina (s leva na desno)

### Leto (1991-2020)

Letnji meseci (jun, jul, avgust) predstavljaju najmanje povoljne mesece tokom godine, kada se javljaju najviše temperature i najviše vrednosti toplotnog opterećenja u čoveku, koje prilikom dužeg boravka na otvorenom i dužnoj izloženosti nepovoljnim bioklimatskim uslovima mogu izazvati različite zdravstvene tegobe kod čoveka. Na Grafikonu br.3, možemo jasno uočiti trend smanjenja broja dana sa nižim vrednostima toplotnog opterećenja (kategorija "ugodno", označena zelenom bojom), ali i rast broja dana sa najvišim vrednostima toplotnog opterećenja, posebno kod subindeksa HL14h (označene nijansama crvene boje). Ako posmatramo subindeks HL14h, možemo lako uočiti dominaciju najviše kategorije toplotnog opterećenja (HL>1.751), gde je broj dana u kategoriji "veoma vruće" iznosio 1974, odnosno čak 71% ukupnog broja dana. Toplotno opterećenje najniže je u jutarnim časovima tokom toplih letnjih dana, što nam pokazuje subindeks HL 07h, kada je zabeležno najviše dana sa vrednostima indeksa u opsegu 0.976 – 1.025, odnosno 618 takvih dana iliti nešto više od 22% ukupnog razmatranog perioda. Kod preostala dva subindeksa (HL21h i HL sr) takođe dominiraju dve najviše kategorije "vruće" i "veoma vruće". Najviše srednje vrednosti indeksa HL tokom letnjih meseci zabeležene su 2000.godine za HL 14h = 3.451 i 2012.godine za HL14h = 3.437. Najviše srednje letnje vrednosti subindeksa HL 07h izmerene su 2012.godine HL07 =1.591, za HL 21h to je bila 2012.godina i vrednost 1.946, a za HL sr takođe 2012.godina i vrednost 2.091.



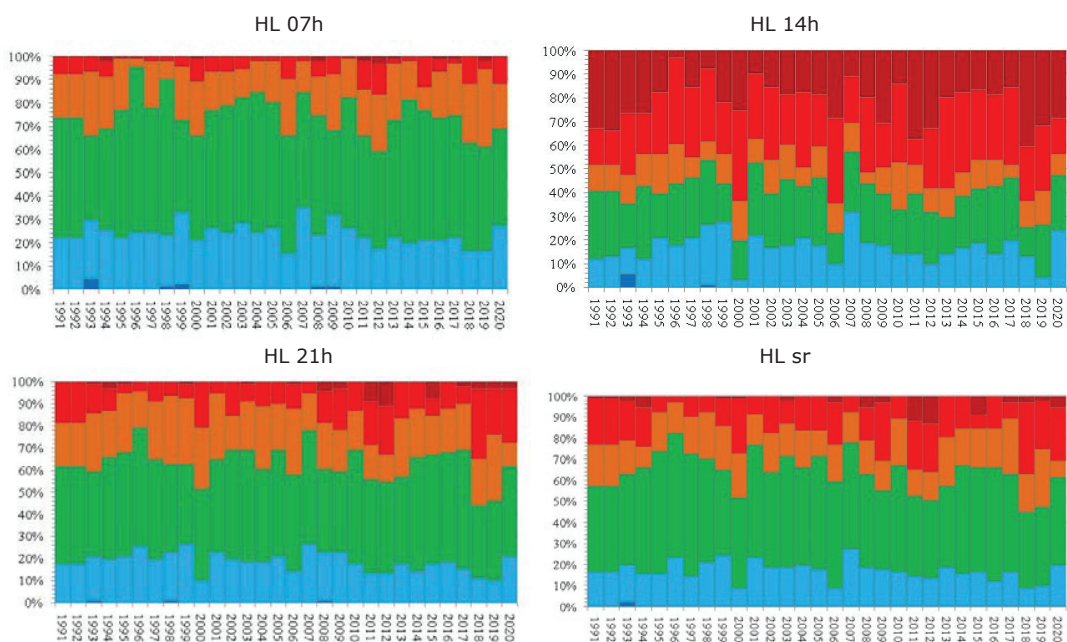
Grafikon br. 3: Udeo različitih kategorija toplotnog opterećenja (HL), 07h, 14h, 21 i srednje dnevne vrednosti, tokom letnjih meseci (jun, jul, avgust) za period 1991-2020.godina (s leva na desno)

### Jesen (1991-2020)

Osim tokom letnjih meseci, najznačajnije promene u pogledu spoljašnjeg termalnog komfora registrovane su i tokom jeseni u periodu 1991-2020.godina. Na Grafikonu br. 4 možemo uočiti blag porast broja dana u višim kategorijama toplotnog opterećenja "toplo", "vruće" i "veoma vruće". Te promene nisu u izražene u stepenu u kom su promene prisutne tokom letnjeg perioda analiziranog u ovoru radu, ali su svakako prisutne i ukazuju na izmenu bioklimatskih uslova tokom jesenjih meseci, kao i na porast temperatura tokom septembra, oktobra i novembra. Najviše srednje jesenje temperature svih razmatranih subindeksa zabeležene su 2012.godine i to za: HL07 = 1.116, HL14h = 1.758, HL21h = 1.244 i HLSr = 1.266. Najveći broj dana u kategoriji "ugodno" (0.976 – 1.025) zabeležen je kod subindeksa HL 07h i to 1388 dana, odnosno nešto više od 50% ukupnog broja dana tokom perioda od 30 godina. Kod subindeksa HL21h i HLSr taj udeo iznosi 44% i 46.5%. Kada posmatramo subindeks HL14h, koji približno odgovara vrednostima indeksa koji se registruju u najtoplijem delu dana, najzastupljeniji su dani koji su pripadali kategoriji "vruće" (1.181 – 1.750) – 723 takva dana ili nešto više od 26%. Tu je i kategorija "veoma vruće" sa 596 takvih dana ili 21.8%, što znači da je udeo broj dana u kojima je toplotno opterećenje izmereno u 14h, tokom jesenjih meseci iznosio oko 49%.

Ono što je kod jeseni 1991-2020.godina zanimljivo jeste broj dana u kategoriji "veoma vruće" kod subindeksa HLSr, gde je u periodu 1991-2010.godina zabeleženo 24 dana u pomenutoj kategoriji, dok je u poslednjoj deceniji istraživanog perioda (2011-2020.godina) taj broj gotovo udvostručen na 44 takva dana. Slično je i kod subindeksa HL 07h, gde je tokom prvih 20 godina registrovano samo 5 dana u kategoriji "veoma vruće", a tokom poslednjih 10 godina zabeleženo je 10 takvih dana (najviše 3 dana u 2012.godini).

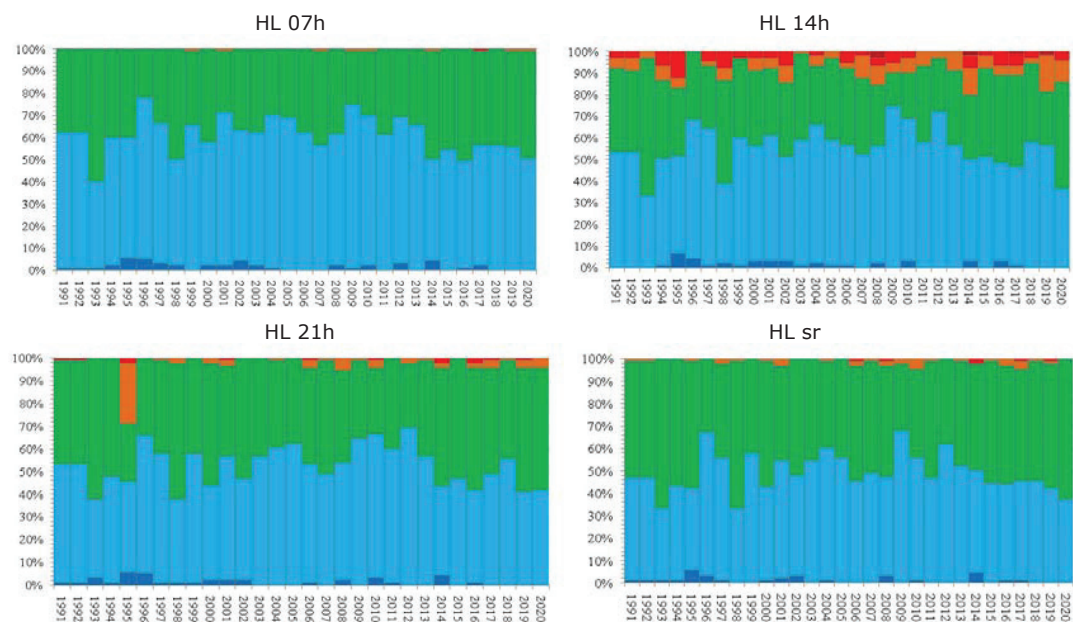
To je još izraženije kod suindexa HL21h, gde je u periodu 1991-2010.godina u kategoriji "veoma vruće" zabeleženo 15 takvih dana, tok je u periodu 2011-2020.godina taj broj iznosio 36, što znači da je došlo do porasta od 140%.



Grafikon br. 4: Udeo različitih kategorija toplotnog opterećenja (HL), 07h, 14h, 21 i srednje dnevne vrednosti, tokom jesenjih meseci (septembar, oktobar, novembar) za period 1991-2020. (s leva na desno)

### Zima (1991-2020)

Poredeći godišnja dobra tokom perioda od 30 godina, najmanje izražene promene u toplotnom opterećenju, zabeležene su tokom zime 1991-2020. Na Grafikonu br. 5 možemo uočiti blag pad broja dana u kategorijama koje su označene kao "prohladno" (0.821 – 0.975), kao i blag porast dana u višim kategorijama toplotnog opterećenja, pre svega u kategoriji "ugodno". Dve dominantne kategorije su "prohladno" i "ugodno". S obzirom da govorimo o najhladnijim mesecima u godini, zabeležen je i određen broj dana u kategoriji "hladno" (0.251-0.820). Najviša srednja zimska vrednost subindeksa HL07h izmerena je tokom zime 2020/21.godine i iznosio je 0.970. Za subindeks HL21h najviša srednja zimska temperatura izmerena je tokom zime 2019/20.godine kada je iznosila 0.981, a zatim je sledi zima 2020/21.godine kada je ta vrednost iznosila 0.978. Najviša srednja zimska vrednost subindeksa HLsr izmerena je tokom zime 2020/21.godine i iznosila je 0.980, a sledi je zima 2019/20.godina sa 0.979.



Grafikon br. 5: Udeo različitih kategorija toplotnog opterećenja (HL), 07h, 14h, 21 i srednje dnevne vrednosti, tokom zimskih meseci (decembar, januar, februar) za period 1991-2020. (s leva na desno)

Na koji način nam poznavanje spoljašnjeg termalnog komfora može pomoći u klimatski održivijem planiranju Beograda i planiranju javnih zelenih površina?

Koliko je značajan uticaj zelenih površina na termalni komfor u centralnim, gusto izgrađenim zonama Beograda, ali i koliko je termalni komfor na određenoj lokaciji uslovljen morfologijom grada, pokazuje istraživanje koje su sproveli Savić i saradnici (2024). Grupa istraživača bavila se ispitivanjem termalnog komfora na otvorenom, tokom juna i avgusta 2021.godine, kada su na 5 lokacija u Beogradu (Obilićev venac, ulica Đure Jakšića, Košutnjak, Akademski park (Studentski trg), Instituta za biološka istraživanja "Siniša Stanković") sproveli detaljna mikroklimatska merenja, u periodu od 12h do 18h u junu, i od 12h do 21h u avgustu (Slika 1). Oba terenska istraživanja sprovedena su tokom toplih letnjih dana (tokom toplotnih talasa), na lokacijama koje predstavljaju različite primere urbanog okruženja (centar grada, gusto izgrađeno područje, stambeno-komercijalnu zonu, gradski park).

Najveće razlike u temperaturi vazduha između gusto izgrađenih i zelenih površina u centralnoj zoni Beograda zabeležene su u najtoplijem delu dana, kada su one na nekim lokacijama prelazile i 7°C. Tako npr. 23.avgusta 2021.godine zabeležena je maksimalna temperatura vazduha od 40.6°C na lokaciji u ulici Đure Jakšića, dok je u istom trenutku u Akademskom parku ona iznosila 33.4°C. Kada govorimo o vrednostima termalnog komfora, u datom momentu, te razlike su bile još izraženije, pa su one iznosile čak i 10°C (Savić et al., 2024). U letnjim mesecima, takvi uslovi spoljašnje sredine mogu izazvati visok stepen termalne nelagode (diskomfora) koji najčešće i najviše pogađaju decu, trudnice, stare osobe i hronične bolesnike. Ekstremne vremenske prilike poput toplotnih talasa i visokih temperatura mogu biti uzročnik tzv. „meteorotropnih“ oboljenja koja predstavljaju različite poremećaje u čovekovom organizmu koja se javljaju usled nepovoljnih vremenskih prilika na određenoj lokaciji, a na koje ljudsko telo nije uspelo da se adekvatno prilagodi (Obradović-Arsić, Gledović, 2012).

Ono što je posebno značajno jeste što u pojedinim slučajevima (poput primera ulice Đure Jakšića i Akademskog parka na Studentskom trgu) govorimo o lokacijama koje su udaljene svega par stotina metara na kojima vladaju potpuno različiti mikroklimatski i bioklimatski uslovi. To nam jasno pokazuje koliko je gradsko zelenilo važno za urbanu mikroklimu i redukciju termalne nelagode. Zbog toga je potrebno unaprediti praksu urbanističkog planiranja, te pre svake značajnije prostorne intervencije, uraditi i procenu odnosno analizu mikrometeoroloških uslova i termalnog komfora, kako bi se donela rešenja koja će u najmanjoj meri opteretiti termalni komfor na datoj lokaciji, ili još bolje – koja će ublažiti termalnu nelagodu.



Slika 1: Mikrometeorološko merenje, Obilićev venac, uređaj Kestrel 5400 Heat Stess Tracker, avgust 2021.

Koliko ovakva istraživanja i procene spoljašnjeg termalnog poput navedenog istraživanja Savića i saradnika (2024), mogu doprineti praksi održivog urbanog planiranja Beograda, treba razmotriti i sa aspekta sve 1) intenzivnije izgradnje i urbanizacije Beograda, kao i 2) smanjivanju udela zelenih površina, posebno u centralnom gradskom području.

Tako naprimer - izgradnja u Beogradu značajno je intenzivirana poslednjih godina: od 2016. do 2020. godine broj godišnje izgrađenih stanova porastao je za 70%, a godišnja vrednost izvedenih građevinskih radova porasla je 105%. Broj godišnje izgrađenih m<sup>2</sup> visokogradnje porastao je za čak 350%. Najintenzivnije se gradi u teritorijalno najmanjim, centralnim gradskim opštinama: na Vračaru, Savskom vencu i Starom gradu, gde je postojeća gusina izgradnje velika, a gde su zelene površine nedovoljno zastupljene i neravnomerno raspoređene, te je ranjivost na posledice klimatskih promena posebno izražena (Mitić-Radulović i dr., 2022a, 2022b).

Dalje, udeo zelenih površina u Beogradu beleži konstantan pad. Skupština Grada Beograda je 2019.godine usvojila izuzetno značajan dokument – Plan Generalne Regulacije sistema zelenih površina Beograda koji sadrži preporuke i smernice, na koji način planirati razvoj zelenih površina u Beogradu, i kako njihov udeo povećati sa ciljem unapređenja kvaliteta života u Beogradu. PGR navodi da zelene površine obuhvataju 12.38% teritorije Beograda. Najveće zelene površine su gradske šume koje se nalaze izvan grada i obuhvataju 9.55% ukupne teritorije. Centralno gradsko područje izrazito je deficitarno zelenilom, te javne zelene površine pokrivaju samo 2.83%. Istim dokumentom, kroz bilans planiranih šuma i javnih zelenih površina, predviđeno je povećanje udela zelenih površina na 22.74%, i to: 16.48% šume i šumsko zemljište i 6.26% javne zelene površine. Međutim, 5 godina nakon usvajanja ovog važnog planskog dokumenta efekti realizacije istog i dalje nisu vidljivi.

Ono što dodatno zabrinjava jeste Nacrt Generalnog Urbanističkog Plana Beograda (GUP) 2041 iz 2022.godine, koji u delu *Zastupljenost i prostorna distribucija elemenata zelene infrastrukture* navodi da postojeće šume i javne zelene površine zauzimaju oko 9% ukupne teritorije (u odnosu na PGR sistema zelenih površina koji je 2019.godine evidentirao nešto više od 12%). Takođe, Nacrt GUP-a, navodi da su centralne gradske opštine, posebno Vračar i Stari Grad deficitarne zelenilom. Ujedno, Nacrt GUP-a konstatuje da u zonama deficitarnim zelenilom živi oko 392 000 građana. Zone sa niskim udelom zelenih površina, teže su pogođene urbanim ostrvima toplote i nepovoljnim termalnim komforom, koji zajedno nepovoljno utiču na psiho-fizičko stanje građana.

## **ZAKLJUČAK**

U radu je analiziran spoljašnji termalni komfor centralnog gradskog područja Beograda, tokom perioda od 30 godina (1991-2020), baziran na meteorološkim podacima RHMZ-a izmerenih na glavnoj meteorološkoj stanici Beograd – Opservatorija, primenom bioklimatskog indeksa Heat Load (HL) – toplotno opterećenje u čoveku. Rezultati su prikazani na godišnjem i sezonskom nivou. Uočen je porast broja dana sa višim kategorijama toplotnog opterećenja kada su se vrednosti indeksa HL kretale u opsegu 1.026 – 1.180 (toplo) i 1.181 – 1.750 (vruće), posebno tokom letnjih meseci koje je bioklimatski ocenjeno kao najnepovoljniji deo godine, u kojima dominira najviša kategorija termalnog stresa "veoma vruće" (HL > 1.751). Osim letnjih meseci, najznačajnije promene evidentirane su i tokom jesenjih meseci, što ukazuje na pojavu sve toplijih jeseni i izmenjenih bioklimatskih uslova.

Grad Beograd se paralelno suočava sa intenzivnom izgradnjom i smanjivanjem udela javnih zelenih površina sa jedne, i sve intenzivnijim i dužnim toplotnim talasima, urbanim ostrvima toplote i sve nepovoljnijim termalnim komforom na otvorenom sa druge strane.

Toplotno opterećenje u čoveku (ali i drugi bioklimatski indeksi) mogu značajno unaprediti razumevanje urbane mikroklimе, a njihova integracija u domaću praksu urbanističkog planiranja može nam pomoći da planiramo klimatski održivije gradove. Mogućnost relativno jednostavne interpretacije i vizualizacije rezultata, čine da pojam spoljašnjeg termalnog komfora postane razumljiv srpskim urbanistima i prostornim planerima, te da u budućnosti dobije značajnije mesto u oblasti prostornog i urbanističkog planiranja i arhitektonskog oblikovanja grada.

## **ZAHVALNICA**

Rad je podržan sredstvima Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Ugovor broj 451/03/65/2024-03/200091).

## LITERATURA I IZVORI

- Обрадовић-Арсидић, Д., Гледовић, З. (2012). *Медицинска географија*. Београд: Универзитет у Београду – Географски факултет.
- Обрадовић-Арсидић, Д. (2014). *Медицинско-географски фактори у планирању и заштити простора*. Београд: Универзитет у Београду – Географски факултет.
- Blazejczyk K. (2001). *Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance*. In: Matzarakis A, de Freitas CR, editors. Proceedings of the 1st international workshop on climate, tourism and recreation. Report of a workshop, Halkidiki, Greece, pp. 133.
- Nacrt Generalnog Urbanističkog Plana Beograda (GUP) 2041, Beograd, Обрађивач плана: Urbanistički zavod Beograda JUP, 2022.
- Mitić-Radulović, A., Simić, A., Ljubić, S. (2022a). *Mogućnosti primene ekološkog indeksa u planiranju Beograda*. Beograd: Centar za ekspertimente i urbane studije – CEUS.
- Mitić-Radulović, A., Lukić, M., Simić, A. (2022b). *Ekološki indeks kao instrument adaptacije Beograda na klimatske promene*. Zbornik radova "Lokalna samouprava u planiranju i uređenju prostora i naselja". Beograd: Asocijacija prostornih planera Srbije, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, str. 123-130, ISBN 978-86-6283-125-5
- Pantavou, K., Theoharatos, G., Mavrakakis, A., Santamouris, M. (2011). *Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens*. Building and Environment, 46, pp. 339-344, doi:10.1016/j.buildenv.2010.07.026
- Пецељ, М., Пецељ Ј., Пецељ, М.Р. (2012). *Биоклиматски индекс тоplotно оптерећење (HL) у функцији здравственог туризма на примеру Златибора и Београда*. Зборник са међународног научног скупа „Проблеми и изазови савремене географске науке, Копаоник. Београд: Универзитет у Београду – Географски факултет, стр. 621-626.
- Pecelj, M. (2013). *Bioclimatic indices based on the Menex model-example on Banja Luka*. Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijić SASA, 63(1), pp. 1-10, <https://doi.org/10.2298/IJGI120803003P>
- Пецељ, М.Р, Пецељ – Пурковић Ј., Пецељ, М. (2015). *Геокологија*. Београд: Универзитет у Београду – Географски факултет.
- Pecelj, M., Đordđević, A., Pecelj, R.M., Pecelj-Purković, J., Filipović, D., Šećerov, V. (2017) *Biothermal conditions on Mt. Zlatibor based on thermophysiological indices*. Archives of Biological Sciences, 69 (3), pp. 455-461. <https://doi.org/10.2298/ABS151223120P>
- Pecelj, M., Lukić, M., Pecelj, M., Vučićević, A. (2018). *Primena modela Meneks u bioklimatskoj analizi Loznice za potrebe zdravstvenog turizma i rekreacije*. Zbornik radova „Lokalna samouprava u planiranju i uređenju prostora i naselja – geneze i perspektive prostornog razvoja“. Beograd: Asocijacija prostornih planera Srbije, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, str. 163-171, ISBN 978-86-6283-061-6
- План генералне регулације система зелених површина Београда („Сл. лист града Београда“, бр. 110/19).
- Savić, S., Milanović, B., Milošević, D., Dunjić, J., Pecelj, M., Lukić, M., Ostojić, M., Fekete, R. (2024). *Thermal assessments at local and micro scales during hot summer days: a case study of Belgrade (Serbia)*. IDŐJÁRÁS Quarterly Journal of the HungaroMet Hungarian Meteorological Service, 128 (1), pp 121-141, DOI:10.28974/idojaras.2024.1.7
- Spanou, A., Mavarakis, A., Kantavou, K. et al. (2010). *Heat Load index levels during the heat waves of June and July 2007 in Greece*. Conference Proceedings of 10<sup>th</sup> COMECAP conference, Patras, Greece, pp. 386-393.
- Theoharatos, G., Pantavou, K., Mavrakakis, A. et al. (2010). *Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: Synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects*. Environmental Research, 110, pp. 152-161, doi:10.1016/j.envres.2009.12.002
- Šušnjar, S., Pecelj, M. (2014). *Bioclimate analysis of Mountain Bjelašnica*. Bulltein of the Serbian Geographical Society, XCIV, No. 1, pp. 91-104.
- Elektronski izvori:**
- Bioklima 2.6 - Universal tool for bioclimatic and thermophysiological studies, Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Science, author: Prof. Krzysztof Błażejczyk, PhD, <https://www.igipz.pan.pl/bioklima-crd.html>
- Метеоролошки годишњак - Климатолошки подаци, 1991-2020, Републички хидрометеоролошки завод, Београд, [https://www.hidmet.gov.rs/latin/meteorologija/klimatologija\\_godisnjaci.php](https://www.hidmet.gov.rs/latin/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php)

## **THE INFLUENCE OF CHANGED BIOCLIMATIC CONDITIONS ON URBAN PLANNING - ANALYSIS OF THE HEAT LOAD IN BELGRADE DURING 30 YEARS**

**Milica Lukić<sup>3</sup>, Dejan Filipović<sup>4</sup>**

**Abstract:** Under the influence of climate change, the urban microclimate is also changing. Air temperature is certainly one of the most important parameters used to describe the urban climate. However, since the urban microclimate is a very complex system, the impact of changed climatic conditions on the quality of life in urban areas cannot be monitored using only one meteorological parameter. In today's context, when we feel the effects of climate change on our well-being almost every day, planners and urban planners, as well as everyone else who participates in the creation of public policies of urban development, must change the way they perceive the urban microclimate. Analysis of outdoor thermal comfort should become an integral part of plans and strategies that determine the vision of the future development of our cities.

In accordance with the above, this paper focuses on the analysis of the thermal comfort of the central zone of Belgrade, using the bioclimatic index Heat Load (HL) during a period of 30 years (1991-2020). The main goal of the research is to present how the thermal comfort in the central, most densely populated, and built-up parts of Belgrade has changed over the past three decades and how these findings can contribute to more sustainable urban development. The results are presented at the annual and seasonal level. The research is based on the daily meteorological data of RHSS, their mean daily and term values (07h, 14h, and 21h CET) recorded at the meteorological station Belgrade - Observatory (44°48N, 20°28E). The conducted analysis shows a moderate increase in the number of days with a higher degree of heat load, that is, days when the values of the HL index ranged from 1.026 to 1.180 (warm) and 1.181 to 1.750 (hot), especially during the summer months.

**Keywords:** heat load, bioclimate, climate change, planning, Belgrade

---

<sup>3</sup> University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, Belgrade, Serbia; YES Europe - Serbia: Young leaders in Energy and Sustainability, Belgrade; WISE Serbia: Women of Serbia in Sustainable Energy, Belgrade, milica.lukic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-5252-2148

<sup>4</sup> University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, Belgrade, Serbia, dejan.filipovic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-7732-1353