



Хумана биоклиматологија – биоклиматски индекси UTCI и PET у контексту климатских промјена – Примјер Бања Лука

Милица Пецељ

Сажетак: *Анализа биоклиматских индекса постаје све релевантнија у тумачењу климе у урбаном планирању, туризму, јавном здрављу, спортским догађајима, биопрогнозама итд. У том контексту, ова студија представља опште биоклиматске услове у Бањој Луци, дефинисане на основу индекса UTCI и PET како би се показао образац сваког индекса у умјереној клими и испитале годишње и мјесечне разлике сваког индекса у посљедњих шездесет година. Мјесечни и годишњи биоклиматски индекси анализирани су на основу шездесетогодишњих метеоролошких података тако што су представљене биоклиматске особине два референтна периода 1961–1990. и 1991–2020. и трећег шездесетогодишњег периода 1961–2020. године. Позитиван тренд и повећање вриједности сва три индекса за периоде 1961–2020. и 1991–2020. указују на повећање субјективног топлотног стреса и топлотне нелагоде у Бањој Луци. Резултати студије указују на већи биотермални стрес у љетним мјесецима и већу подударност индекса током љета.*

Кључне ријечи: *Хумана биоклиматологија, спољашњи термички комфор, UTCI, PET, tPET, Бања Лука, БиХ*

Цитирање: Пецељ М (2023) Хумана биоклиматологија – биоклиматски индекси UTCI и PET у контексту климатских промјена – Примјер Бања Лука. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:401–424

Cite as: Pecelj M (2023) Human Bioclimatology – Bioclimatic Indices UTCI and PET in the Context of Climate Change – Example of Banja Luka. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:401–424

8.1. Увод

Актуелне климатске промјене манифестују се у интензивном порасту температуре ваздуха и површинске температуре копна и океана (IPCC 2013). Процјењује се да је посљедњих година (2006–2015) глобална средња вриједност површинске температуре била виша за 0,87 °C од средње вриједности из периода 1850–1900. године (IPCC 2019). Према NOAA National Centers for Environmental Information (2020), у периоду 1880–2019. године на глобалном нивоу, девет од десет најтоплијих година догодило се након 2000. године, а најтоплија година била је 2016. Према Van der Schrier et al. (2013), загријавање у Европи у периоду 1980–2010. године напредовало је знатно брже од глобалног копна у просјеку 0,41 °C по деценији и 0,27 °C по деценији, респективно, што показује да се загријавање не догађа равномерно. Уочено загријавање резултира све чешћом појавом топлотних екстрема, на примјер топлотних таласа. Према Hansen et al. (2012), распон вриједности температуре ваздуха класификован као врућ екстрем у периоду 1951–1980. године покривао је мање од 1% Земљине површине, а у периоду 2006–2011. године повећао се на ниво већи од 10%. Током посљедњих пар деценија у Европи се догодило неколико врло јаких топлотних таласа. Matzarakis et al. (2020) евидентирали су да се у посљедњих 70 година, 13 највећих топлотних таласа (од укупно 23) догодило у посљедњих 12 година, док се 7 од преосталих 10 топлотних таласа забиљежило током 50 година прије 2000. године. Russo et al. (2015) топлотне таласе из 1994, 2003, 2006, 2010. и 2015. године дефинисали су као најинтензивније топлотне таласе у Европи након 1950. године. Међутим, за простор Балканског полуострва треба истаћи и топлотне таласе који су се догодили током 2007, 2012. и 2015. године (Unkašević and Tošić 2015; Basarin et al. 2020; Pecelj et al. 2020, 2021) и јасно уочен пораст максималне температуре ваздуха у Босни и Херцеговини (БиХ) у посљедњих 55 година (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a, 2018b).

Топлотни таласи су једна од највећих пријетњи људском здрављу у вези са климом, али често не изазивају исту пажњу као друге видљивије катастрофе као што су олујне непогоде или поплаве. Топлотни таласи, као опасност, често имају негативан ефекат, изазивајући топлотни стрес у људском тијелу. Већина студија о процјени топлотних таласа темељи се првенствено на једном метеоролошком параметру, најчешће максималној температури ваздуха, међутим, људски организам борави у природном окружењу на које утиче не само температура ваздуха већ цио комплекс датог окружења, а то подразумемијева више метеоролошких параметара заједно. Јаснију интерпретацију о утицају климатских екстрема на човјека дају нам хумана биометеоролошка и биоклиматска истраживања, јер поред температуре ваздуха узимају у обзир

и друге метеоролошке параметре као што су релативна влажност ваздуха, брзина вјетра и зрачење. Од свих наведених параметара, дуготаласно и краткоталасно зрачење, сажето као средња температура зрачења (*Mean Radiant Temperature, MRT*), има највећи утицај на субјективни топлотни осјећај (Middel et al. 2016) и често се не представља као извор података у истраживањима. На субјективну перцепцију времена нарочито у урбаним срединама утичу и карактеристике изграђеног окружења као што су отворено небо, хладовина, саобраћај, зелене површине итд. Поред наведених метеоролошких параметара важну улогу имају и физиолошки параметар метаболичке стопе и изолација од одјеће. Међусобна интеракција компоненти времена у атмосфери које се динамички мијењају и физиолошки процеси у човјеку суштински су важни за однос човјека и околине. Будући да се већина људских активности одвија напољу и да је људско тијело у сталној интеракцији са спољашњом околином, његове физичке (тјелесне) активности, рекреација и неке врсте одмора налазе се под физиолошким околностима размјене топлоте са околином.

Према Fanger (1970), температура ваздуха, температура зрачења, влажност ваздуха и кретање ваздуха четири су основне промјенљиве у непосредном окружењу човјека које утичу на одговор тијела на спољашње окружење у којем се налази. У комбинацији са метаболичком енергијом генерисаном физичком активношћу и одјећом коју носи особа, они чине шест основних параметара који дефинишу човјеков топлотни баланс са околином. На темељу Фангерове фундаменталне поставке једначине размјене топлоте са околином, у посљедњих двадесетак година појавило се неколико биоклиматских модела који дефинишу термофизиолошке биоклиматске индексе или сложене биоклиматске индексе помоћу којих се одређује термички комфор. Неки од тих индекса су између осталог: физиолошка еквивалентна температура – PET (*Physiologically Equivalent Temperature, PET*) (Mayer and Höppe 1987; Matzarakis et al. 1999; Höppe 1999), која се често примјењује посљедњих двадесетак година, затим физиолошко оптерећење – PhS (*Physiological Stress, PhS*) и физиолошка субјективна температура – PST (*Physiological Subjective Temperature, PST*) из Менекс модела (*Menex Model*) (Błazejczyk 1994; Błazejczyk and Matzarakis 2007; Błazejczyk et al. 2012), универзални термални климатски индекс – UTCI (*Universal Thermal Climate Index, UTCI*) (Błazejczyk et al. 2013) и други (De Freitas and Grigorieva 2015, 2017; Staiger et al. 2019). Један од најчешће коришћених биоклиматских топлотних индекса у посљедњих десет година је UTCI индекс, који има широку просторну примјену у различитим географским регијама, различитим климатским зонама и у различитим урбаним подручјима.

Улога хумане биоклиматологије у интердисциплинарним истраживањима континуирано расте током посљедњих двадесет година. Током протекле

деценије појавио се велики број публикација у којима се интерпретира клима за потребе човјека на основу сложених биометеоролошких индекса (*Heat Buget Indices*) у различитим научним дисциплинама као што су просторно и урбанистичко планирање, туризам, јавно здравље, животна средина урбаних подручја, спорт и рекреација и др.

Због напредујућег глобалног загријавања оправдано је анализирати биоклиматске услове и спољашњи термички комфор за референтне тридесетогодишње периоде у урбаним срединама за које се претпоставља да су веома рањиве на пораст глобалне температуре. У овом раду је представљена општа анализа биоклиматских услова у Бањој Луци на основу UTCI и PET индекса за вишегодишња мјерна осматрања у периоду 1961–2020. године. Подаци су добијени од Федералног хидрометеоролошког завода и Хидрометеоролошког завода Републике Српске. Метеоролошки подаци који су коришћени у раду су: средња дневна температура ваздуха (t , °C), минимална и максимална температура ваздуха (t_{\min} и t_{\max} , °C), средња дневна релативна влажност ваздуха (f , %), средња дневна брзина вјетра (v , m s^{-1}), средња дневна облачност (N). Наведени подаци пружају основу за израчунавање UTCI индекса, који се темељи на топлотној размјени између човјека и околине. Основни задатак истраживања је да се представе биоклиматске особине два референтна тридесетогодишња периода 1961–1990. и 1991–2020. године, као и укупног шездесетогодишњег периода 1961–2020. године. Циљ овога рада је да се укаже на важност интерпретације екстремних временских догађаја и климе за потребе човјека у различитим друштвеним секторима.

8.2. Преглед досадашњих истраживања

Радам Павла Вујевића под називом *Прилози за биоклиматологију области Копаоника* (Вујевић 1962), објављеног у журналу Географског института „Јован Цвијић“ Српске академије наука и уметности, почињу биоклиматолошка истраживања на просторима бивше СФРЈ. Комбинујући температуру ваздуха, брзину вјетра и напон водене паре, Вујевић (1962) је одредио еквивалентне температуре, ваздушну моћ хлађења и моћ сушења за Копаоник, Врњачку Бању, Куршумлију и Рашку, истичући и геоклиматску моћ сушења. Према Вујевић (1962), биоклиматологија или медицинска климатологија развила се у самосталну дисциплину опште климатологије. Неколико година касније, Štraser i Godić (1969) објављују књигу *Увод у медицинску биоклиматологију и основи балнеоклиматологије*, у којој повезују биоклиматологију и медицину кроз директан утицај времена и климе на здравље људи (Pecelj et al. 2007; Миловановић и сар. 2017; Пецељ 2019).

Крајем седамдесетих година двадесетог вијека у БиХ, Радмило Милосављевић (Милосављевић 1979) на основу еквивалентних температура представио је биоклиматску рејонизацију БиХ за потребе човјека, гдје је Кригерову скалу допунио са двије нове класе и прилагодио условима БиХ (Pecelj et al. 2007; Миловановић и сар. 2017). То је била прва биоклиматска рејонизација на основу еквивалентних температура и запаре у тадашњој Југославији. Даље, деведесетих година двадесетог вијека представљене су биоклиматске анализе Републике Српске (Пецељ 1998) на основу еквивалентних температура и запаре, гдје је запара представљана климограмом Шарлоа (Scharlau 1950).

Новији концепт биоклиматских истраживања, који поред климатских узимају у обзир и физиолошке карактеристике човјека, у домаћој литератури се спомиње у прегледној публикацији о теоријско-методолошком концепту биоклиматских и еоклиматских истраживања (Pecelj et al. 2007). У посљедњој деценији објављују се разноврсни чланци који анализирају биоклиматске карактеристике у земљама бивше СФРЈ са аспекта термофизиолошких индекса топлоте. Конкретно, у БиХ у посљедњих десетак и више година објављено је више публикација из биоклиматских истраживања са сложеним биоклиматским индексима (Пецељ 2010; Pecelj et al. 2010а, 2010б, 2010в, 2011, 2013; Пецељ и Пецељ-Пурковић 2012, Pecelj 2013; Šušnjar and Pecelj 2014; Пецељ 2019; Włażejczyk et al. 2021), као и биоклиматска анализа Бање Луке на основу индекса HUMIDEX користећи дневне податаке за период 2000–2005. године (Pecelj et al. 2010а). У монографској студији Пецељ (2019) поред биоклиматске временске класификације представља примјену биометеоролошких индекса за потребе бањског туризма у Републици Српској. У монографској студији Пецељ (2019) представљени су биоклиматски принципи на примјеру анализа бањских мјеста Републике Српске у функцији здравствено-љечилишног и рекреативног туризма са идејом да се прикаже на који начин се вријеме и клима могу вредновати за здравствено-љечилишне и рекреативне потребе људи. Такође, представљен је принцип временске биоклиматске класификације засноване на термичким, физичким и естетским аспектима. Наведена класификација, помоћу седам цифара, представља актуелне биоклиматске временске карактеристике у облику временског *типа*, *субтипа* и *класе*. Примјери поменути класификације дати су за Бању Луку (Pecelj et al. 2010а) и Добој (Pecelj et al. 2011). Биоклиматска анализа планине Бјелашнице заснована на термичким, физичким и естетским аспектима помоћу индекса погодности времена (*Weather Suitability Index*, WSI) урађена је на основу средњих мјесечних вриједности метеоролошких параметара за период од 11 година (2000–2010) (Šušnjar and Pecelj 2014). Затим, анализа спољашњег термалног комфора на основу индекса температура кугле по влажном термостату (*Wet*

Bulb Globe Temperature, WBGT) представљена је за Бијељину на основу десетогодишњих дневних података (Ђурић and Topalić Marković 2019).

Иако је посљедњих година објављено више радова који се баве овом тематиком, углавном анализирајући податке са метеоролошких станица у Републици Српској, ипак прате их слична ограничења везана за недостатак континуираног низа дневних података мјерених у терминима 7 х, 14 х или 21 х. До сада је за територију БиХ урађена процјена биоклиме на основу UTCI индекса у оквиру Динарског планинског система као дио анализе планинских система у централној и источној Европи. Анализа је фокусирана на термички стрес у зависности од надморске висине за метеоролошке станице Сарајево, Ливно, Иван седло, Бугојно и Бјелашница (Błażejczyk et al. 2021). Међутим, детаљније анализе термичког стреса засноване на UTCI и PET индексима нису обрађиване за референтне периоде осматрања.

8.3. Методологија истраживања

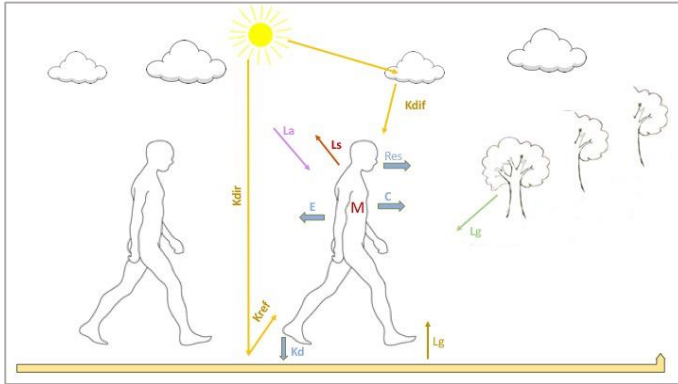
У хуманој биометеорологији користе се прости и сложени биометеоролошки индекси за интерпретацију субјективног осјећаја топлоте.

Прости биометеоролошки индекси описују утицај неколико појединачних метеоролошких параметара, најчешће температуре ваздуха, брзине вјетра и влажности ваздуха, који се односе директно на физиолошки одговор организма. Њихов утицај на људски организам разматра се на основу анализа топлотне перцепције или топлотног стреса (Błażejczyk et al. 2012). Ова група индекса укључује између осталих индексе: Humidex (Masterson and Richardson 1979), ефективна температура – ET (Houghton and Yaglou 1923) и привидна температура – AT (Steadman 1984), топлотни индекс WBGT (Yaglou and Minard 1957).

Сложени биометеоролошки индекси засновани су на различитим моделима човјекове топлотне равнотеже. Према Błażejczyk et al. (2012), карактеристике термалног окружења са становишта термичко-физиолошких услова подразумијевају примјену цјеловитог модела топлотног буџета са свим механизмима размјене топлоте. На Сл. 8.1. приказане су компоненте човјекове топлотне равнотеже (*Human Heat Balance*) кроз:

- топлотне флуксе: метаболизам (M), испаравање (E), дисање (Res), конвекција (C), провођење (Kd),
- топлотну радијацију: зрачење земље (Lg), зрачење неба (La), зрачење човјековог тијела (Ls),

- соларну радијацију: директно (K_{dir}), дифузно (K_{dif}) и рефлектовано зрачење (K_{ref}).



Сл. 8.1. Компоненте топлотне равнотеже између човјека и околине (*Human heat balance*) (Пецељ 2019)

Fig. 8.1. The components of human heat balance (Пецељ 2019)

За разлику од таквих индекса, једноставни биометеоролошки индекси никада не могу испунити основни захтјев да за сваку вриједност индекса увијек мора постојати одговарајуће значајно термофизиолошко стање (интензитет топлотног оптерећења), без обзира на комбинацију метеоролошких вриједности (Blazejczyk et al. 2012). Због тога је њихова примјенљивост ограничена, а резултати често нису упоредиви. Ови недостаци су отклоњени увођењем сложених биоклиматских индекса.

Методолошки концепт истраживања у овом раду заснован је на принципу размјене топлоте између човјека и околине, који је интерпретиран на основу модела који омогућавају рачунање UTCI и PET.

8.3.1. Универзални термални климатски индекс

Универзални термални климатски индекс (UTCI) представља индикатор топлотног стреса. За дефинисање овог индекса метаболизам игра веома важну улогу. Метаболички процеси у људском тијелу стварају топлоту која се непрекидно размјењује са околином, постижући стање топлотне равнотеже у тијелу како би се одржала константна тјелесна температура. Количина произведене и ослобођене топлоте зависи од сљедећих параметара: физичке активности, изолације од одјеће, пола, старости, тјелесне масе, исхране, менталног стања, здравља, спољашњих услова, аклиматизације итд. Стопа

метаболизма представља базалну или основну метаболичку продукцију увећану за вриједност енергије коју произведе људско тијело услед обављања одређене врсте физичке активности. Као мјера физичке активности уведена је јединица „МЕТ“, гдје је вриједност од 1 МЕТ једнака ослобођеној топлоти од $58,2 \text{ W m}^{-2}$ са просјечне површине коже одрасле особе ($1,8 \text{ m}^2$). Ова јединица једнака је стопи енергије произведене по јединици површине просјечне особе која сједи у миру (ANSI/ASHARE Standars 55 2017). Према стандардима Међународне организације за стандардизацију (ISO 8996 2004), метаболичка топлотна енергија особе која се креће брзином од $1,1 \text{ m s}^{-1}$ износи 135 W m^{-2} , тј. 2,3 МЕТ (Fiala et al. 2001, 2012; Bröde et al. 2012, 2013; Jendritzky et al. 2012; Havenith et al. 2012).

Да би се олакшало тумачење и разумијевање UTCI индекса, референтни услови за израчунавање UTCI индекса требало би да буду дефинисани у терминима који одговарају искуствима већине људи и релевантни за цијели спектар климатских зона на које се примјењује UTCI. Због тога је важно метеоролошке промјенљиве метаболичку стопу (М) и термалне особине одјеће (изолација од одјеће, пропусност) узети као универзалне константе у моделу. За UTCI се узима репрезентативна активност особе на отвореном која хода брзином од 4 km h^{-1} ($1,1 \text{ m s}^{-1}$), што одговара производњи метаболичке енергије од 2,3 МЕТ. За референтне вриједности окружења користе се:

- брзина вјетра (v) од $0,5 \text{ m s}^{-1}$ на висини 10 м (приближно $0,3 \text{ m s}^{-1}$ на 1,1 м),
- средња температура зрачења (T_{mrt}) једнака температури ваздуха,
- притисак водене паре (e) (релативна влажност од 50% при високим температурама ваздуха $> 29 \text{ }^\circ\text{C}$) (референтна влажност је константна на 20 hPa).

UTCI је могуће рачунати једино помоћу регресионих функција, што доводи до врло уског опсега улазних параметара, а то су метеоролошки параметри температуре ваздуха T_a ($^\circ\text{C}$), притиска водене паре p_p (hPa), брзине вјетра v (m s^{-1}) и средње температуре зрачења T_{mrt} ($^\circ\text{C}$). Сви физиолошки параметри одређују се аутоматски. Због ограничења за T_a од $-50,0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+50,0 \text{ }^\circ\text{C}$, као и за важећи распон брзине вјетра од $0,5 \text{ m s}^{-1}$ до $17,0 \text{ m s}^{-1}$ свакако постоје ограничења у примјени. То може довести до тенденције у резултатима јер су изостављени нарочито услови топлотног напрезања са високим и ниским вриједностима (Fröhlich and Matzarakis 2016). Ограничење које такође даје UTCI индекс постоји услед притиска водене паре референтног окружења, који је ограничен на 20,0 hPa (Jendritzky et al. 2012). Унутар прихваћеног опсега, UTCI је веома осјетљив на брзину вјетра (Fröhlich and Matzarakis 2016). Осим температуре ваздуха (T_a), такође и средња температура зрачења (T_{mrt}) снажно утиче на UTCI (Fröhlich and Matzarakis 2016; Chen and Matzarakis 2018).

Ради олакшаног тумачења резултата представљене су различите категорије стреса за одређене вриједности UTCI индекса (Таб. 8.1).

Таб. 8.1. Скала индекса са категоријама стреса UTCI (Blazejczyk et al. 2012)
 Table 8.1. Thermal perception and stress classification of UTCI (Blazejczyk et al. 2012)

UTCI (°C)	Категорија стреса	Скраћеница
> 46	Екстремно јак топлотни стрес	EHS
38 до 46	Веома јак топлотни стрес	VSHS
32 до 38	Јак топлотни стрес	SHS
26 до 32	Средњи топлотни стрес	MHS
9 до 26	Без термалног стреса	NTS
0 до 9	Благи хладни стрес	SLCS
0 до -13	Средњи хладни стрес	MCS
-13 до -27	Јак хладни стрес	SCS
-27 до -40	Веома јак хладни стрес	VSCS
< -40	Екстремно јак хладни стрес	ECS

8.3.2. Физиолошка еквивалентна температура

Физиолошка еквивалентна температура (PET) један је од најчешће коришћених топлотних индекса за процјену термичког комфора. Према дефиницији Хопа (Höppe 1999), PET представља температуру ваздуха при којој се у типичном затвореном окружењу одржава равнотежа између топлоте човјековог тијела (температура коже и температура унутрашњости тијела) и топлоте спољашње средине. Заснован је на Минхенском термофизиолошком моделу енергетског баланса (*Munich Energy-balance Model for Individuals*, MEMI) и средњој температури зрачења (T_{mrt}). PET се може израчунати коришћењем RayMan софтвера (Matzarakis et al. 2007, 2010). Модел PET температуре описан је у смјерници VDI 3787 Њемачког инжењерског друштва (*German Engineering Society*) (VDI 1998) под називом *Методе за процјену климе хигијене ваздуха за урбано и регионално планирање на основу метода из хумане биометеорологије (Methods for the Human-Biometeorological Assessment of Climate and Air Hygiene for Urban and Regional Planning)*. Његова сврха је израчунавање флукса зрачења на основу различитих параметара, као што су температура ваздуха, влажност ваздуха, брзина вјетра, степен облачности, доба дана и године, албео и надморска висина околних површина. Примјена RayMan модела користи се за одређивање услова топлотне удобности на основу релевантних

метеоролошких промјенљивих и промјенљивих људског тијела, а модел подразумијева сљедеће константне вриједности:

- тјелесна површина је стандардизована на $1,9 \text{ m}^2$, што представља човјека висине 1,75 м и тјелесне тежине од 75 кг (Mayer and Höppe 1987),
- стопа метаболичке енергије (радни метаболизам) од 80 W за особу која стоји,
- фактор изолације одјеће је стандардизован на 0,9 clo за затворени пословни простор (VDI 1998).

Одређене вриједности PET категорисане су према топлотном стресу у Таб. 8.2. За разлику од UTCI, модел PET не користи самоприлагођавајући модел одјеће већ је фиксиран за одређену вриједност. Један од најважнијих фактора који одређује PET јесте средња температура зрачења T_{mrt} ($^{\circ}\text{C}$), затим брзина вјетра v (m s^{-1}) и температура T_{a} ($^{\circ}\text{C}$). Влажност ваздуха показује веома слаб утицај на PET (Chen and Matzarakis 2018).

Таб. 8.2. Скала индекса са категоријама стреса физиолошке еквивалентне температуре (PET) (Matzarakis et al. 1999)

Table 8.2. Thermal perception and stress classification of physiological equivalent temperature (PET) (Matzarakis et al. 1999)

PET ($^{\circ}\text{C}$)	Категорија стреса	Скраћеница
> 41	Екстремно врућ стрес	EHS
35 до 41	Јак топлотни стрес	SHS
29 до 35	Средњи топлотни стрес	MHS
23 до 29	Благи топлотни стрес	SLHS
18 до 23	Без термалног стреса	NTS
13 до 18	Благи хладни стрес	SLCS
8 до 13	Средњи хладни стрес	MCS
4 до 8	Јак хладни стрес	SCS
< 4	Екстремно јак хладни стрес	ECS

PET који се већ више од двадесет година користи за одређивање људске топлотне удобности (Mayer and Höppe 1987; Matzarakis et al. 1999; Höppe 1999) недавно је модификована као измијењена физиолошки еквивалентна температура (*Modified Physiologically Equivalent Temperature*, mPET) (Chen and Matzarakis 2018; Lin et al. 2019; Chen et al. 2020) како би употпунила ограничења која је имала у вези са влажношћу ваздуха и изолацијом одјеће.

Измијењена физиолошки еквивалентна температура (mPET) потиче од PET, што је реалнија демонстрација човјекове топлотне удобности у различитим

климатским зонама. Улазни метеоролошки подаци слични су PET, а за бољу корелацију mPET користи исту класификацију као PET (Таб. 8.2) будући да се резултати крећу унутар истог спектра. За разлику од PET, mPET користи вишечворни модел транспорта топлоте аналогно моделу Фиала (Fiala et al. 2001, 2012) као и самоприлагодљиви вишеслојни модел одјеће, који симулира отпор водене паре. Дакле, mPET интегрише понашање одјеће у укупном преносу топлоте у зависности од датих топлотних услова, што је био главни недостатак PET (Chen et al. 2018, 2020). RayMan модел омогућава израчунавање средње температуре зрачења (T_{mrt}), важне промјенљиве за процјену PET и mPET. Модел физиолошке еквивалентне температуре успостављен је ради комбиновања биометеорологије са урбаном климатологијом и може се користити у другим областима, попут туристичких студија.

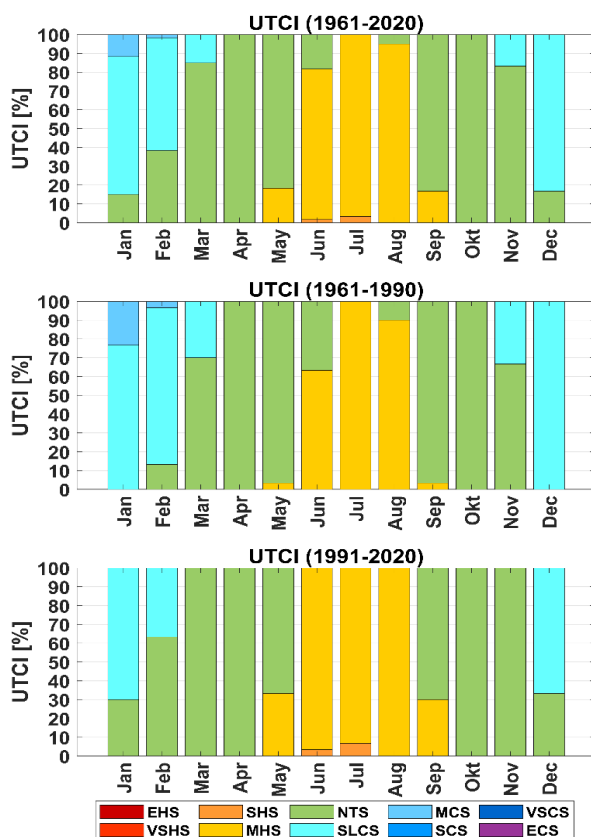
Разлике између улазних параметара који се користе за прорачуне PET и UTCI индекса су сљедеће: брзина вјетра за PET индекс смањена је на 1,1 м, што је еквивалентно центру тијела особе која стоји, док се вриједност брзине вјетра која се користи за UTCI индекс мјери на 10 м. Још једна важна разлика између PET и UTCI јесте та што се PET модел увијек заснива на параметру одјеће од 0,9 clo, док модел UTCI индекса прилагођава параметре одјеће посебним спољним условима (Jendritzky et al. 2012). Наведена разлика је ублажена код mPET. Квантификација биоклиматских услова у Бањој Луци осмишљена је за сваки индекс на дневној основи за сваку дефинисану категорију стреса. Добијени PET, mPET и UTCI индекси представљени су кроз опште класе стреса средњим мјесечним вриједностима. Да би се добио бољи увид у вриједности индекса за истраживани период, за сваку годину су дати просјечни UTCI, PET и mPET, заједно са временским серијама и трендовима. Даље су представљене средње мјесечне вриједности свих индекса за посматрани период (1961–2020). Брзина вјетра сведена је на висину од 1,1 м изнад површине користећи Хелманов експоненцијални закон (Ваћuelos-Ruedas et al. 2011) читавања брзине вјетра на двије различите висине, како слиједи у Формули (1):

$$\frac{v}{v_{10}} = \left(\frac{H}{H_{10}} \right)^\alpha \quad (1)$$

гдје је v брзина вјетра на висини $H = 1,1$ м, v_{10} је брзина вјетра на висини $H_{10} = 10$ м и α је коефицијент трења (Хелманов експонент). За градско подручје коришћено је $\alpha = 0,40$.

8.3. Резултати и дискусија

Користећи поменуте моделе израчунати су UTCI помоћу софтверског пакета BioKlima2.6 (доступно на: <https://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>), а PET и mPET помоћу софтверског пакета RayMan (Matzarakis et al. 2010). Користећи вишегодишњи низ података индекси су интерпретирани у три временска интервала. Први временски интервал је шездесетогодишњи период 1961–2020. године, затим референтни тридесетогодишњи период 1961–1990. и референтни тридесетогодишњи период 1991–2020. године. Индекси су за дате периоде представљени на основу мјесечне учесталости класа топлотног стреса и средњих мјесечних вриједности индекса, укључујући њихове средње сезонске и средње годишње вриједности.

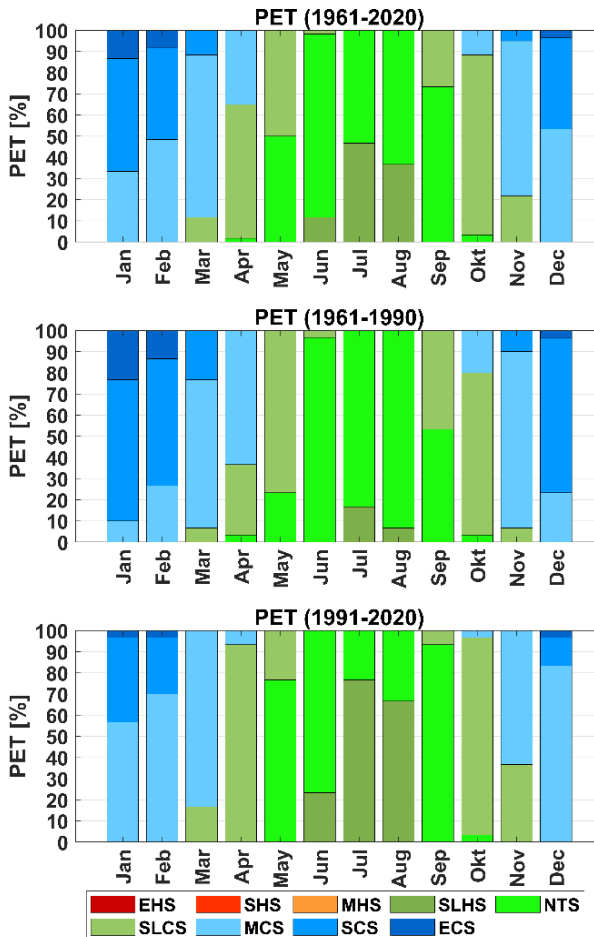


Сл. 8.2. Мјесечна учесталост класа топлотног стреса UTCI индекса за период 1961–2020. (горе), 1961–1990. (средина) и 1991–2020. (доље)

Fig. 8.2. Monthly frequency of UTCI heat stress classes for the period 1961–2020 (above), 1961–1990 (middle) and 1991–2020 (below)

На Сл. 8.2. представљене су мјесечне категорије топлотног стреса UTCI индекса за сва три периода, гдје се категорија јаког топлотног стреса уочава у јуну и јулу референтног периода 1991–2020, док у претходном референтном периоду 1961–1990. није присутна. Такође, у истом периоду (1991–2020) уочава се недостатак категорије средњег хладног стреса током јануара и фебруара, која је у претходном референтном периоду 1961–1990. године била присутна. Слична је ситуација са категоријом благи хладни стрес у марту и новембру.

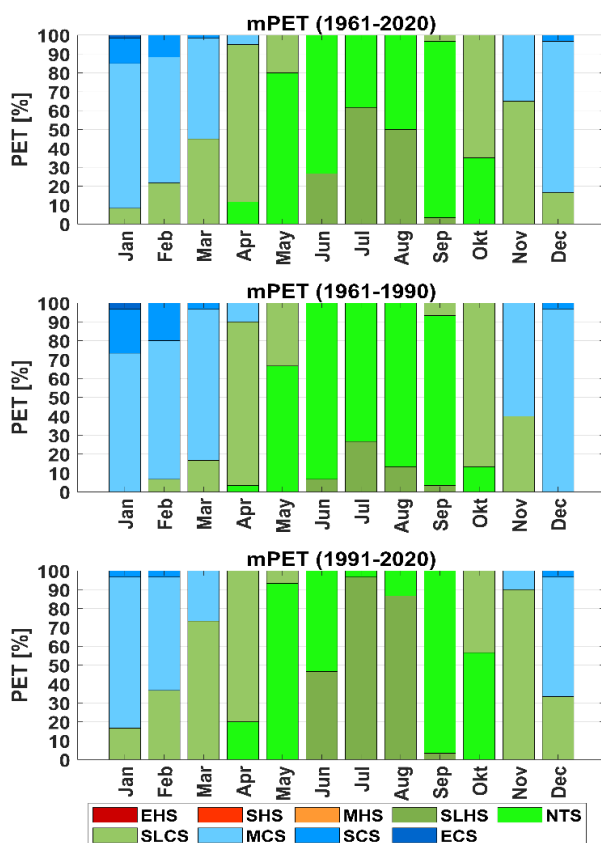
На Сл. 8.3. је представљена учесталост класа топлотног стреса PET индекса.



Сл. 8.3. Мјесечна учесталост класа топлотног стреса PET индекса за период 1961–2020. (горе), 1961–1990. (средина) и 1991–2020. (доље)

Fig. 8.3. Monthly frequency of PET heat stress classes for the period 1961–2020 (above), 1961–1990 (middle) and 1991–2020 (below)

У погледу категорије стреса РЕТ и mPET индекса, на Сл. 8.3. може се уочити слична ситуација, гдје за референтни период 1991–2020. у љетним мјесецима јун, јул и август имају значајно више заступљену категорију лагани топли стрес у односу на период 1961–1990. године, када је у истим мјесецима доминантна категорија без стреса. Са друге стране, у хладнијем периоду године смањила се учесталост средње хладног стреса у периоду 1991–2020. у односу на период 1961–1990, када је та категорија била доминантнија. У истом периоду се уочава присуство категорије екстремно хладни стрес, која у посљедњих тридесет година ишчезава. На Сл. 8.3. и Сл. 8.4. треба уочити разлику у учесталости стреса код оба индекса еквивалентне температуре РЕТ и mPET.



Сл. 8.4. Мјесечна учесталост класа топлотног стреса mPET индекса за период 1961–2020. (горе), 1961–1990. (средина) и 1991–2020. (доље)

Fig. 8.4. Monthly frequency of mPET heat stress classes for the period 1961–2020 (above), 1961–1990 (middle) and 1991–2020 (below)

Разлике између ова два топлотна индекса у погледу хладних термичких услова у поређењу са осталим годишњим добима је тај што PET има фиксну изолацију одјеће (0,9 clo), што је један од основних недостатака PET модела. Као што Chen et al. (2020) истичу, PET не реагује у погледу промјене компоненте изолације одјеће, за разлику од mPET, који има различите резултате када се компонента изолације одјеће мијења. То се нарочито уочава код mPET у хладнијем периоду године (Сл. 8.4).

Улога одјеће је важна у спречавању латентног губитка топлоте у људском тијелу, посебно зими. Према Jendritzky et al. (2012) топлотни стрес утиче на људски терморегулациони систем усљед размјене топлоте између тијела и његовог термичког окружења, у чему и одјећа игра значајну улогу. За разлику од PET, модел mPET нема фиксну изолацију одјеће, што му омогућава да одражава реалније биотермално стање и ублажи разлику у односу на UTCI индекс, посебно зими. Поред ове разлике између PET и UTCI, треба узети у обзир и разлику у степену физичке активности којој одговара метаболички енергетски ток у облику константне вриједности 135 W m^{-2} за UTCI модел и 80 W m^{-2} за PET модел. Опште поређење између PET и UTCI најприхватљивије је у топлијем периоду године.

Када се погледају средње мјесечне вриједности сва три индекса у сва три временска интервала, уочавају се минималне вриједности у мјесецу јануару и максималне вриједности у јулу, што прати типичну слику континенталног годишњег тока (Таб. 8.3).

Средња јулска вриједност UTCI индекса указује на средњи топлотни стрес док средња јануарска указује на средњи хладни стрес. Код PET индекса средње јануарске вриједности показују јак хладни стрес, док код mPET показују средњи хладни стрес. Средње јулске вриједности PET индекса у периоду 1961–2020. и 1961–1990. године показују да нема топлотног стреса, међутим у периоду 1991–2020. показују благи топлотни стрес. Код mPET показују благи топлотни стрес и у периоду 1961–2020. године (Таб. 8.3).

Средње годишње вриједности сва три индекса (UTCI, PET и mPET) у посљедњих тридесет година повећале су се за $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$ код UTCI индекса, затим за $5,8 \text{ }^\circ\text{C}$ код PET индекса и $1,9 \text{ }^\circ\text{C}$ код mPET индекса у односу на претходни тридесетогодишњи референтни период.

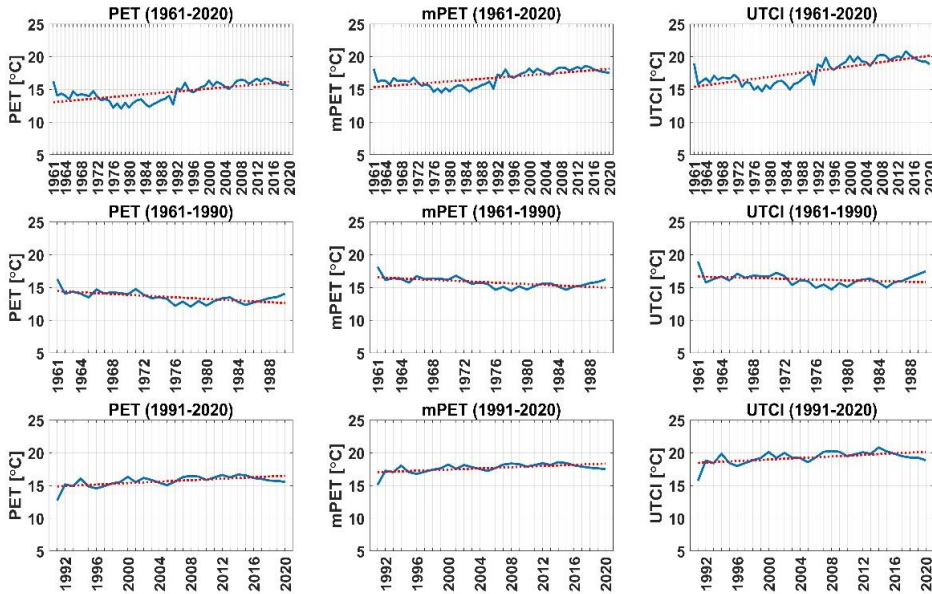
Таб. 8.3. Средње мјесечне вриједности и средњи годишњи UTCI, PET и mPET за период 1961–1990. (I), 1991–2020. (II) и 1961–2020. (III)

Table 8.3. Mean monthly and mean annual of UTCI, PET and mPET for the period 1961–1990. (I), 1991–2020. (II) and 1961–2020. (III)

	UTCI			PET			mPET		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Јан.	2,6	7,2	4,9	5,3	7,2	6,8	8,8	11,6	10,2
Феб.	5,8	9,4	7,6	6,6	9,4	7,7	9,9	12,0	10,9
Март	10,2	13,9	12,0	9,1	13,9	10,1	11,9	13,9	12,9
Апр.	16,1	19,6	17,9	12,7	19,6	13,7	14,8	16,8	15,8
Мај	22,6	24,9	23,8	17,0	24,9	17,9	18,6	20,1	19,4
Јун	26,4	29,1	27,8	19,9	29,1	21,1	21,2	23,1	22,1
Јул	28,0	30,6	29,3	21,4	30,6	22,6	22,5	24,4	23,4
Авг.	27,4	30,1	28,7	21,0	30,1	22,2	22,2	24,2	23,2
Септ.	23,6	25,2	24,4	18,4	25,2	19,0	19,9	21,0	20,5
Окт.	17,4	19,9	18,7	14,2	19,9	15,1	16,5	18,1	17,3
Нов.	10,4	13,8	12,1	10,1	13,8	11,2	13,0	15,0	14,0
Дец.	4,4	7,9	6,2	6,8	7,9	8,0	10,1	12,3	11,2
Просјек	16,2	19,3	17,8	13,5	19,3	14,6	15,8	17,7	16,7

Горепоменућа ситуација јасније се може уочити на графиконима на Сл. 8.5. гдје су представљене просјечне годишње вриједности UTCI (десни графикони) индекса за период 1961–2020, 1961–1990. и 1991–2020. године. Примјећује се негативан тренд UTCI индекса у периоду 1961–1990, док је код остала два периода позитиван тренд, нарочито интензивнији за шездесетогодишњи период 1961–2020. Такође, индекси PET и mPET показују негативан тренд за референтни период 1961–1990.

Како су навели Blazejczyk et al. (2012), UTCI веома добро представља различите временске услове и веома је осјетљив на промјене температуре, влажности, Сунчевог зрачења и брзине вјетра, док је PET највише повезан са температуром ваздуха. Повећање брзине ваздуха у великој мјери стимулише смањење биотермалних услова дефинисаних UTCI индексом. Треба нагласити да је сваки модел UTCI, PET и mPET ограничен фиксном брзином метаболизма, која се приближава благо израженој физичкој активности. То значи да класе топлотног стреса сва три индекса не дају реалне биотермалне показатеље топлотног стреса за интензивну физичку активност.



Сл. 8.5. Просјечни годишњи UTCI, PET и mPET за период 1961–2020. (горе), 1961–1990. (средина) и 1991–2020 (доље)

Fig. 8.5. Average annual UTCI, PET and mPET indices for the period 1961–2020 (above), 1961–1990 (middle) and 1991–2020 (below)

Ради побољшања будућих истраживања, важно је истаћи и поједина ограничења ове студије, а тичу се доступности и релевантности дневних података. У раду су за анализу искоришћени средњи дневни метеоролошки подаци који су били доступни. Међутим, дневна терминска мерења у 7 х, 14 х и 21 х, уколико вишесатни дневни подаци нису доступни, могу показати детаљнију учесталост па и јачину термичког стреса нарочито у екстремно хладним или екстремно топлим годинама. Имајући у виду глобалне закључке о порасту топлотних таласа и њиховом негативном ефекту на људе, нарочито у урбаним срединама, може се закључити да у досадашњим студијама у БиХ недостају јаснији приједлози за даља истраживања о њиховом утицају на локалном нивоу. Због тога су нарочито релевантна микрометеоролошка мјерења како би омогућила просторну дистрибуцију термичког стреса и спољашњег термичког комфора у урбаним срединама. Један од најбољих примјера како се различити параметри могу прикупити микрометеоролошким мјерењима јесте платформа за биометеоролошко посматрање под називом MaRTy (Middel et al. 2016, 2019, 2020). Даље, концентрисана просторна

мјерења у урбаним срединама обезбјеђују временске сатне податке довољне за осјетљивију анализу спољне топлотне нелагоде у здравствене сврхе.

8.4. Закључак

Истраживање биоклиматских услова у Бањој Луци засновано на UTCi и PET дало је идентификацију мјесечних и годишњих биотермалних карактеристика током три периода: 1961–1990, 1991–2020. и 1961–2020. Уочен је позитиван тренд и повећање вриједности индекса за периоде 1991–2020. и 1961–2020, што указује на повећање субјективног топлотног стреса и топлотне нелагоде Бањој Луци, нарочито посљедњих тридесет година. Посматрајући међусобно индексе, њихова компатибилност је веома уочљива у топлијем периоду године, углавном у љетним временским условима високих температура и ниже влажности. У хладнијем и влажнијем периоду године смањује се њихова компатибилност. С тим у вези, mPET показује свеобухватније карактеристике за процјену спољашњег термичког комфора, посебно током зимске сезоне, када су флуксеви зрачења мањи, и током прољећних или јесенских сезона, када је влажност већа.

Ова студија пружа општу процјену биоклиматских услова у контексту човјековог доживљаја метеоролошких и климатолошких услова и спољашњег термичког комфора и наглашава неопходност типских микрометеоролошких мјерења у урбаним срединама за даља истраживања на локалном нивоу.

Литература

- ANSI/ASHARE Standard 55 (2017) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, pp 37
- Bañuelos-Ruedas F, Angeles-Camacho C, Rios-Marcuello S (2011) Methodologies Used in the Extrapolation of Wind Speed Data at Different Heights and Its Impact in the Wind Energy Resource Assessment in a Region. In: Suivre GO (eds) Wind Farm—Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment, Chapter 4. InTech. doi.10.5772/20669
- Basarin B, Lukic T, Matzarakis A (2020) A Review of Biometeorology of Heatwaves and Warm Extremes in Europe. Atmosphere 11(12):1276. doi.10.3390/atmos 11121276
- Błazejczyk K (1994) New Climatological and Physiological Model of the Human Heat Balance Outdoor (MENEX) and Its Application in Bioclimatological Studies in Different Scales. Zeszyty IGiPZ PAN 28:27–58

- Błazejczyk K, Matzarakis A (2007) Assessment of Bioclimatic Differentiation of Poland Based on the Human Heat Balance. *Geographia Polonica* 80:63–82
- Błazejczyk K, Epstein Y, Jendritzky G, Staiger H, Tinz B (2012) Comparison of UTCI to Selected Thermal Indices. *International Journal of Biometeorology* 56(3):515–535. doi.10.1007/s00484-011-0453-2
- Błazejczyk K, Jendritzky G, Bröde P, Fiala D, Havenith G, Epstein Y, Psikuta A, Kampmann B (2013) An Introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica* 86(1):5–10. doi.10.7163/GPol.2013.1
- Błazejczyk K, Kuchcik M, Błazejczyk A, Milewski P, Szmyd J (2014) Assessment of Urban Thermal Stress by UTCI – Experimental and Modelling Studies: An Example from Poland. *Die ERDE* 145:16–33. doi.10.12854/erde-145-3
- Błazejczyk K, Pecelj M, Nejedlik P, Skrynyk O, Mikulova K (2021) Thermal Stress in Selected Mountain System in Central and Eastern Europe – Initial Research Based on UTCI Characteristics. *Geographia Polonica* 94(2):223–236. doi.10.7163/GPol.0202
- Bröde P, Fiala D, Błazejczyk K, Holmér I, Jendritzki G, Kampmann B, Tinz B, Havenith G (2012) Deriving the Operational Procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology* 56(3):481–494. doi.10.1007/s00484-011-0454-1
- Bröde P, Krüger EL, Fiala D (2013) UTCI: Validation and Practical Application to the Assessment of Urban Outdoor Thermal Comfort. *Geographia Polonica* 86(1):11–20
- Van der Schrier G, van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, Verver G (2013) Monitoring European Average Temperature Based on E-OBS Gridded Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118:5120–5135. doi.10.1002/jgrd.50444
- VDI (1998) VDI/DIN—Handbuch Reinhaltung der Luft. Band 1b. Environmental Meteorology, Methods for the Human-Biometeorological Evaluation of Climate and Air Quality for the Urban and Regional Planning at Regional Level—Part I: Climate. VDI, Düsseldorf, pp 29
- Бујевић П (1962) Прилози за биоклиматологију области Копаоника. Зборник радова Географског института “Јован Цвијић” 18:1–91
- De Freitas CR, Grigorieva EA (2015) A Comprehensive Catalogue and Classification of Human Thermal Climate Indices. *International Journal of Biometeorology* 59(1):109–120. doi.10.1007/s00484-014-0819-3
- De Freitas CR, Grigorieva EA (2017) A Comparison and Appraisal of a Comprehensive Range of Human Thermal Climate Indices. *International Journal of Biometeorology* 61(3):487–512. doi.10.1007/s00484-016-1228-6
- Ђурић D, Topalić Marković J (2019) Thermal Comfort in the City of Bijeljina for the Period 2009–2018 Defined by WGBT. *Archives for Technical Sciences* 21(1):69–74. doi.10.7251/afts.2019.1121.069Dj

- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1535
- IPCC (2019) *Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp 84
- ISO 8996 (2004) *Ergonomics of the Thermal Environment – Determination of Metabolic Rate*. Доступно на: <https://www.iso.org/standard/34251.html>, Приступљено: 2. фебруар 2020
- Jendritzky G, De Dear R, Havenith G (2012) UTCI—Why Another Thermal Index? *International Journal of Biometeorology* 56(3):421–428. doi.10.1007/s00484-011-0513-7
- Lin TP, Yang SR, Chen YC, Matzarakis A (2019) The Potential of a Modified Physiologically Equivalent Temperature (mPET) Based on Local Thermal Comfort Perception in Hot and Humid Regions. *Theoretical and Applied Climatology* 135:873–876. doi.10.1007/s00704-018-2419-3
- Masterson J, Richardson FA (1979) *Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity*. Environment Canada, Downsview, pp 45
- Matzarakis A, Mayer H, Iziomon MG (1999) Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature. *International Journal of Biometeorology* 43(2):76–84. doi.10.1007/s004840050119
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2007) Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments—Application of the RayMan Model. *International Journal of Biometeorology* 51(4):323–334. doi.10.1007/s00484-006-0061-8
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2010) Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments: Basics of the RayMan Model. *International Journal of Biometeorology* 54(2):131–139. doi.10.1007/s00484-009-0261-0
- Matzarakis A, Fröhlich D, Bermon S, Adami PE (2018) Quantifying Thermal Stress for Sport Events—The Case of the Olympic Games 2020 in Tokyo. *Atmosphere* 9(12):479. doi.10.3390/atmos9120479
- Matzarakis A, Laschewski G, Muthers S (2020) The Heat Health Warning System in Germany—Application and Warnings for 2005 to 2019. *Atmosphere* 11(2): 170. doi.10.3390/atmos11020170
- Mayer H, Höppe P (1987) Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments. *Theoretical and Applied Climatology* 38:43–49
- Middel A, Selover H, Hagen B, Chhetri H (2016) Impact of Shade on Outdoor Thermal Comfort—A Seasonal Field Study in Tempe, Arizona. *International Journal of Biometeorology* 60(12):1849–1861. doi.10.1007/s00484-016-1172-5
- Middel A, Krayenhoff ES (2019) Micrometeorological Determinants of Pedestrian Thermal Exposure During Record-Breaking Heat in Tempe, Arizona:

- Introducing the MaRTy Observational Platform. *Science of the Total Environment* 687(15):137–151. doi.10.1016/j.scitotenv.2019.06.085
- Middel A, Turner VK, Schneider FA, Zhang Y, Stiller M (2020) Solar Reflective Pavements—A Policy Panacea to Heat Mitigation? *Environmental Research Letters* 15(6):064016d. doi.10.1088/1748-9326/ab87d4
- Милосављевић Р (1979) Приказ и анализа притиска водене паре (апсолутне влажности) изнад Босне и Херцеговине. *Географски преглед* 22:7–8
- Миловановић Б, Радовановић М, Станојевић Г, Пецељ М, Николић Ј (2017) Клима Србије. У: Радовановић М (уредник) *Географија Србије*, стр 94–156. Географски институт “Јован Цвијић” САНУ
- NOAA National Centers for Environmental Information (2020) State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019. Доступно на: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>, Приступљено: 22. фебруар 2021
- Pecelj MR, Milinčić M, Pecelj MM (2007) Bioklimatska i ekoklimatska istraživanja—pravci razvoja. *Glasnik Srpskog geografskog društva* 87(2):199–210
- Пецељ М (2010) Биоклиматска анализа Вишеграда у функцији спа туризма. *Интердисциплинарност и јединство модерне науке*, 22 – 24. мај 2009, Пале, Универзитет у Источном Сарајеву, Филозофски факултет, Зборник радова, књига 4, том 2, стр 481–493
- Pecelj M, Pecelj MR, Mandić D, Pecelj J, Milinčić M, Tošić D (2010a) Informational Technology in Bioclimate Analysis of Banja Luka for Tourism Recreation. The 9th WSEAS International Conference on Telecommunication and Informatics, May 29 – 31, 2010, Sicily, WSEAS, Book of Preceedings, pp 35–39
- Pecelj M, Pecelj MR, Mandić D, Pecelj J, Vujadinović S, Šećerov V, Šabić D, Gajić M, Milinčić M (2010b) Bioclimatic Assessment of Weather Condition for Recreation in Health Resorts. The 8th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development, December 28 – 30, 2010, Athens, WSEAS, Book of Preceedings, pp 211–214
- Pecelj MR, Pecelj MM, Mandić D, Pecelj J, Lukić B, Filipović D (2010в) Informational Technology in Bioclimate Analysis of Višegrad for Health Spa Tourism. The 7th WSEAS International Conference on Engineering Education, July 22 – 24, 2010, Corfu Island, WSEAS, Book of Preceedings, pp 322–332
- Pecelj M, Pecelj M, Cutovic M, Pavlovic M, Zivkovic D, Zivkovic L, Vujadinovic S, Pecelj J, Gajic M, Mandic D (2011) Bioclimate Weather Classification of Doboј for Helth Spa Tourism. The 10th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, February 20 – 22, 2011, Cambridge, WSEAS, Book of Proceedings, pp 292–296
- Пецељ М, Пецељ-Пурковић Ј (2012) Могућност биоклиматских истраживања и њихова примена у бањском туризму. Трећи конгрес српских географа, 12 – 13. октобар 2011, Бања Лука, Географско друштво Републике Српске, Српско географско друштво, Природно-математички факултет Универзитета у Бањој Луци, Географски факултет Универзитета у Београду, Зборник радова, стр 268–280

- Pecelj M (2013) Bioclimatic Indices Based on the Menex Model-Example on Banja Luka. *Journal of Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 63(1):1–10. doi.10.2298/IJGI120803003
- Pecelj M, Trbić G, Pecelj MR (2013) Biothermal Condition Based on the Bioclimatic Index Heat Load. The 7th WSEAS International Conference on Waste Management, Water Pollution, Indoor Climate, March 20 – 22, 2013, Limasol, WSEAS, Book of Proceedings, pp 250–254
- Пецељ ММ (2019) Биоклиматске одлике бањских места Републике Српске—Климатско-медицински аспект. Асоцијација просторних планера Србије, Београд, стр 125
- Pecelj M, Lukić M, Filipović D, Protić B, Bogdanović U (2020) Analysis of the Universal Thermal Climate Index During Heat Waves in Serbia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20(7):2021–2036. doi.10.5194/nhess-20-2021-2020
- Pecelj M, Matzarakis A, Vujadinović M, Radovanović M, Vagić N, Đurić D, Cvetković M (2021) Temporal Analysis of Urban-Suburban PET, mPET and UTCI Indices in Belgrade (Serbia). *Atmosphere* 12(7):916. doi.10.3390/atmos12070916
- Пецељ РМ (1998) Биоклиматска истраживања Републике Српске. *Гласник/Herald* 3:67–72
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018a) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-based Index Analysis. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 68(1):17–33. doi.10.2298/IJGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018b) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/019
- Russo S, Sillmann J, Fischer EM (2015) Top Ten European Heatwaves Since 1950 and Their Occurrence in the Coming Decades. *Environmental Research Letters* 10(12):124003. doi.10.1088/1748-9326/10/12/124003
- Siple P, Passel CF (1945) Measurements of Dry Atmospheric Cooling in Subfreezing Temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society* 89:177–199
- Staiger H, Laschewski G, Matzarakis A (2019) Selection of Appropriate Thermal Indices for Applications in Human Biometeorological Studies. *Atmosphere* 10(1):18. doi.10.3390/atmos10010018
- Steadman RG (1984) A Universal Scale of Apparent Temperature. *Journal of Applied Meteorology* 23:1674–1687. doi.10.1175/1520-0450(1984)0232.0.CO;2
- Scharlau K (1950) Einführung eines Schwülemasstabes und Abgrenzung von Schwülezeiten durch Isohygrothermen. *Erdkunde* 4:188–201
- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01

- Unkašević M, Tošić I (2015) Seasonal Analysis of Cold and Heat Waves in Serbia During the Period 1949–2012. *Theoretical and Applied Climatology* 120:29–40. doi.10.1007/s00704-014-1154-7
- Fanger PO (1970) *Thermal Comfort*. Danish Technical Press, Copenhagen, pp 244
- Fiala D, Lomas KJ, Stohrer M (2001) Computer Prediction of Human Thermoregulatory and Temperature Responses to a Wide Range of Environmental Conditions. *International Journal of Biometeorology* 45(3):143–159. doi.10.1007/s004840 100099
- Fiala D, Havenith G, Bröde P, Kampmann B, Jendritzky G (2012). UTCI-Fiala Multi-Node Model of Human Heat Transfer and Temperature Regulation. *International Journal of Biometeorology* 56(3):429–441. doi.10.1007/s00484-011-0424-7
- Fröhlich D, Matzarakis A (2016) A Quantitative Sensitivity Analysis on the Behaviour of Common Thermal Indices Under Hot and Windy Conditions in Doha, Qatar. *Theoretical and Applied Climatology* 124(1–2):179–187. doi.10.1007/s00704-015-1410-5
- Hansen J, Sato M, Ruedy R (2012). Perception of Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(37): 14720–14721. doi.10.1073/pnas.1205276109
- Havenith G, Fiala D, Błażejczyk K, Richards M, Bröde P, Holmér I, Rintamäki H, Benschabat Y, Jendritzky G (2012) The UTCI-Clothing Model. *International Journal of Biometeorology* 56(3):461–470. doi.10.1007/s00484-011-0451-4
- Höppe PR (1999) The Physiological Equivalent Temperature—A Universal Index for the Bioclimatological Assessment of the Thermal Environment. *International Journal of Biometeorology* 43(2):71–75. doi.10.1007/s004840050118
- Houghton FC, Yaglou CP (1923) Determining Equal Comfort Lines. *Journal of the American Society of Heating and Ventilating Engineers* 29:165–176
- Chen YC, Matzarakis A (2018) Modified Physiologically Equivalent Temperature—Basics and Applications for Western European Climate. *Theoretical and Applied Climatology* 132:1275–1289. doi.10.1007/s00704-017-2158-x
- Chen YC, Chen WN, Chou CCK, Matzarakis A (2020) Concepts and New Implements for Modified Physiologically Equivalent Temperature. *Atmosphere* 11(7):694. doi.10.3390/atmos11070694
- Štraser T, Godić V (1969) Uvod u medicinsku bioklimatologiju i osnovi balneoklimatoterapije. *Medicinska knjiga, Beograd–Zagreb*, str 78
- Šušnjar S, Pecelj M (2014) Bioclimatic Analysis of Mountain Bjelasnica. *Bulletin of Serbian Geographical Society* 44(1):91–98. doi.10.2298/GSGD1401091S
- Yaglou CP, Minard D (1957) Control of Heat Casualties at Military Training Centers, A.M.A. *Archives of Industrial Health* 16:302–316

Human Bioclimatology – Bioclimatic Indices UTCI and PET in the Context of Climate Change – Example of Banja Luka

Milica Pecelj

Summary

Interpretation of bioclimatic conditions becomes more relevant in spatial planning, tourism, public health, sports events, etc. The study presents the general weather bioclimatic conditions in Banja Luka, defined on the basis of UTCI, PET, mPET indexes in order to show the pattern of each index in temperate climate and examine the annual and monthly differences of each index in the last sixty years. Monthly and annual indices were analyzed on the basis of 60 annual meteorological data by presenting the bioclimatic characteristics of the two reference periods 1961–1990 and 1991–2020 and the third sixty-year period 1961–2020. Positive trend and increase in the value of all three indices for the periods 1961–2020 and 1991–2020 years indicate an increase in subjective heat stress and heat discomfort in Banja Luka.

Keywords: Human bioclimatology, outdoor thermal comfort, UTCI, PET and mPET, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina