

Оригинални научни рад

UDC: 911.2:551.58(497.15)

DOI:10.2298/IJG1120803003

БИОКЛИМАТСКИ ИНДЕКСИ ЗАСНОВАНИ НА МОДЕЛУ МЕНЕКС-ПРИМЕР БАЊА ЛУКЕ

*Милица Пецељ¹**

*Географски институт Јован Цвијић, САНУ, Београд, Србија

Универзитет у Источном Сарајеву, Филозофски факултет, Катедра за географију,
Пале, Р.С., Босна и Херцеговина

примљен 03 августа 2012; рецензиран 21 децембра 2012; прихваћен 05 априла 2013

Апстракт: Човеков организам се налази у константној интеракцији са атмосферским условима. Постоји неколико метода у оквиру хумане биоклиматологије које проучавају утицај атмосфере на човека. Један од главних приступа је заснован на топлотној равнотежи између човека и околине. Циљ овог рада је да се представе биоклиматске карактеристике Бања Луке (Босна и Херцеговина) и њене околине у функцији рекреације. У непосредној близини Бања Луке се налазе три бањска центра која се могу идентификовати као повољна места за рекреацију. Методолошки приступ у раду је базиран на топлотној равнотежи између човека и околине користећи физиолошке податке као и расположиве дневне метеоролошке податке помоћу биоклиматског модела „менех“. Као резултат модела представљени су термофизиолошки биоклиматски индекси (субјективна температура STI, физиолошко напрезање PhS, физиолошка субјективна температура PST и топлотно оптерећење у човеку HL).

Кључне речи: топлотна равнотежа између човека и околине, менех модел, термофизиолошки биоклиматски индекси, рекреација, Бања Лука (Р.С., Босна и Херцеговина)

Увод

Атмосфера је део животне средине у којој човеков организам константно тежи равнотежи са спољном средином. У организму човека непрестано се одвијају егзогени метаболички процеси. На тај начин човек је у сталној опасности од акумулације топлоте у организму. Уколико не би постојала топлотна размена између организма и околине, производња топлоте у организму би се нагло повећавала са већом физичком активношћу тј. са тежином физичког рада. Главне студије о примени биоклиматолошких метода за потребе рекреације и туризма урађене су са становишта човековог здравља (Scott и др., 2004; Matzarakis, 2006)

¹ milicapeclj@gmail.com

Процена биоклиматских услова подразумева скуп метеоролошких фактора који утичу на људско тело и изазивају различиту адаптивну (терморегулација) реакцију на различите временске услове. Овај концепт је познат као човекова топлотна равнотежа (Human Heat Balance) и за његову примену је конципиран модел "menex" који подразумева размену топлоте између човека и околине (Man-ENVIRONMENT-EXCHANGE)². Као резултат примене овог модела може се издвојити низ такозваних термофизиолошких биоклиматских индекса као што су субјективна температура, физиолошко напрезање, физиолошка субјективна температура, топлотно оптерећење у човеку, ризик дехидрације, ризик прехлађивања, ризик од хипотермије, ризик од хипертермије као и биоклиматска временска класификација.

Термофизиолошки биоклиматски индекси прецизније описују топлотно оптерећење код човека користећи више метеоролошких и физиолошких параметара. Ова методологија је базирана на такозваним моделима топлотног баланса који у својој основи полазе од топлотне размене између човека и околине. Индекси који ће бити представљен и анализиран у овом раду су: субјективна температура STI, физиолошко напрезање PhS, физиолошка субјективна температура PST и топлотно оптерећење у човеку HL. За њихово израчунавање су кориштени физиолошки параметри као и расположиви дневни метеоролошки подаци помоћу поменутог модела menex.

Метода

Модели топлотног баланса између човека и околине подразумевају све механизме топлотне размене који као крајњи циљ имају одржавање терморегулације у телу. Ту се мисли на метаболичку производњу топлоте, размену топлоте зрачењем и конвекцијом, проводљивост топлоте и испаравање. У прилогу 1 шематски је представљен методолошки приступ биоклиматских истраживања на коме је базиран модел menex.

У човековом организму се константно производи топлота услед метаболичких реакција. Такође, топлота из тела се стално губи у непосредном окружењу. Када је степен производње топлоте у телу једнак степену губитка топлоте настаје тзв. топлотна равнотежа у телу (Human

²Blazejczyk, K., New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales, *Zeszyty IgiPZ PAN*, Nr. 28, стр. 27-58. (Zeszyty, IgiPZ PAN / Version book - Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences).

Heat Balance). Тако се у човековом организму непрекидно одвијају физичко-хемијски процеси који чине метаболизам. При тим процесима развија се топлота коју човек непрестано одаје околини да би се остварило стање топлотне равнотеже у телу. Температурни рецептори у телу активирају физиолошке реакције организма како би тело задржало сталну температуру. Количина произведене и предате топлоте зависи од: физичке активности, одевености, пола, узраста, масе тела, исхране, психичког стања, здравственог стања, спољашњих услова, аклиматизације, итд. Топлоту створену метаболичким процесима човек одаје користећи основне механизме преноса топлоте.



Прилог 1. Шематски приказ методологије која је коришћена за биоклиматску анализу

У складу са физичким законима постоји неколико основних механизма помоћу којих се врши размена топлоте између тела и околине. То су зрачење, проводљивост, конвекција и испаравање. Сви поменути механизми зависе од атмосферских услова.

Губитак топлоте радијацијом врши се у облику инфрацрвеног зрачења топлоте (електромагнетни таласи). Тело зрачи топлоту у свим правцима, а исто тако топлотни зраци се емитују од других објеката према телу. Веома често је наше тело топлије од околине тако да објекти који нас окружују апсорбују нашу телесну топлоту. Фактори који утичу на губитак топлоте радијацијом су:

- температурне разлике између температуре површине тела и температуре околине
- влажност ваздуха (ваздух са високим садржајем водене паре мање пропушта зрачење у односу на сувљи ваздух) – губитак топлоте радијацијом је мањи када је влажност ваздуха већа

Губитак топлоте провођењем (кондукцијом) врши се при додиру тела са неким објектом или ваздухом. При додиру са објектом губи се 3% топлоте из тела док се при додиру са ваздухом губи 12% топлоте из тела. Одећа се сматра битним фактором који смањује одавање топлоте од тела тиме што повећава отпор провођењу топлоте од тела ка околини. Утицај провођења у процесу размене топлоте зависи од проводљивости материјала који је у непосредном контакту са кожом.

Губитак топлоте конвекцијом подразумева кретање ваздуха услед различитих температура. На површини тела, испод одеће, формира се слој топлог и влажног ваздуха. Када је околни ваздух хладнији ствара се конвективна струја која односи топлији вадух при кожи и замењује га хладнијим ваздухом. Када је тело изложено ветру, слој ваздуха при кожи се брже замењује новим хладнијим ваздухом што повећава губитак топлоте тела конвекцијом. Губитак топлоте конвекцијом расте са квадратом брзине ветра. Поред тога што утиче на пренос топлоте конвекцијом, брзина ветра утиче и на одавање латентне топлоте. Одавање латентне топлоте се повећава јер се при већој брзини ваздуха поспешује испаравање са коже услед одвођења ветром околног засићеног ваздуха у непосредној близини коже и доласком сувљег ваздуха на његово место. Губитак топлоте испаравањем зависи од количине влаге у ваздуху. Већа влажност и недостатак кретања ваздуха смањују испаравање, а самим тим и губитак топлоте је смањен. Основне компоненте човекове топлотне равнотеже представљене су формулом (1):

$$M + Q + C + E + Res = S$$

(1)

Основне компоненте човекове топлотне равнотеже која произилази из: непосредног контакта са околином (амбијентални услови) су:

- метаболичка топлотна енергија M ;
- биланс зрачења у човеку Q преставља збир апсорбованог
- сунчевог зрачења R и нето дуготаласног зрачења човека L
- губитак топлоте испаравањем E ;
- размена топлоте конвекцијом C ;
- губитак топлоте дисањем Res и
- Акумулација топлоте у телу S

Уколико се тело налази у топлотној равнотежи онда је производња топлоте у телу једнака губитку топлоте. Тада је акумулација топлоте у телу једнака нули ($S=0$). У одређеним тренуцима акумулација топлоте у телу (S) може да има позитивну или негативну вредност. Ако производња топлоте у телу превазилази губитак топлоте из тела, температура тела расте и тада се организам налази у стању позитивног тополотног биланса тј. акумулација топлоте у телу ће имати позитивну вредност ($S>0$). Ако је губитак топлоте из тела већи од производње топлоте у телу, температура опада и настаје негативан топлотни биланс, тј. акумулација топлоте у телу ће имати негативну вредност ($S<0$).

Да би се израчунала човекова топлотна равнотежа потребна су два типа података. То су метеоролошки подаци (температура ваздуха, брзина ветра, влажност ваздуха, радијација, облачност) и физиолошки параметри (температура коже човека, метаболичка продукција топлоте, изолација одеће, алbedo одеће и брзина кретања човека) (ISO 8996, ISO/TR 11079). Као резултат модел даје топлотне флуksеве као и термофизиолошке биоклиматске индексе. За добијене резултате је коришћен софтвер пакет “BioKlima 2.6©”³.

Метаболичка производња енергије обухвата базални метаболизам, плус метаболичку енергију произведену физичком активношћу. Укупна метаболичка производња енергије у људском телу чини збир базалног метаболизма (енергија произведена процесом варења и мишићне активности) (44 Wm^{-2} , ISO8996) и производње енергије услед физичке активности. Као мера физичке активности уведена је јединица “met” која одговара одавању топлоте човека од 58.2 Wm^{-2} површине тела (човек који седи). Просечна површина коже одраслог човека износи 1.8m^2 . Према

³ <http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/BioKlima.htm>

ISO8996, метаболичка топлота износи 135 Wm^{-2} и односи се на човека који се креће 1.1 ms^{-1} и узима се као константна вредност у моделу.

Топлотна изолација одеће је важан параметар топлотног комфора. Да би се топлотна изолација могла физички изразити уведена је јединица "clo" где је 1 clo једнак топлотној изолацији која се оствари код човека који се одмара на температури од 21°C и релативној влажности од 50% и подразумева човека обученог у пословно одело. Узима се као константна вредност у моделу. Стандардна међународна јединица топлотне отпорности је $\text{m}^{-2}\text{KW}^{-2}$, где 1 clo одговара $0.155 \text{ m}^{-2}\text{KW}^{-2}$ (Nishi, 1981. p. 31).

Влажност коже w представља израз ефикасности регулације испаравања. Влажна површина коже је површина која је прекривена знојем. Влажност коже представља физиолошки индекс дефинисан као однос стварне стопе знојења и максималне стопе знојења која би настала уколико би кожа била потпуно мокра. То је бездимензиона величина која има опсег између 0 и 1 (Ниши, 1981, стр. 32.).

Дуготаласно зрачење човека L представља биланс топлотне размене између човека L_s и атмосфере L_a као и топлотне размене између човека L_s и земљине површине L_g . Рачуна се помоћу Стефан-Болтзмановог закона. На основу расположивих података за облачност, апсорбовано сунчево зрачење R се процењује кориштењем SolAlt модела (Blazejczyk, the updated version of man-environment heat exchange model 2005).

Менех модел решава једначине у два корака. У првом кораку модел рачуна компоненте једначине које се јављају непосредно после контакта са околином. Температурни рецептори се активирају и дају физиолошки одговор организма како би задржао хомеотерму. Ако су временски услови хладнији, процес адаптације не мења битно температуру коже, тако да рецептори у кожи региструју стварну температуру коже због актуелног процеса атмосфери. У топлијим условима, услед интензивног испаравања зноја, након 15-20 минута почиње је хлађење коже, тако да рецептори у кожи региструју нову, мању температуру коже ($0,066^\circ\text{C}$ за сваки 1 Wm^{-2} испаравања, Fanger, 1970).

У другом кораку, модел рачуна једначину топлотне равнотеже узимајући у обзир температуру коже услед процеса постизања терморегулације. Другим речима, компоненте једначине топлотне равнотеже представљају ниво размене топлоте између човека и животне средине након 15-20 минута од процеса адаптације. Као резултат модел даје различите

термофизиолошке биоклиматске индексе. Неки од њих су анализирани у овом раду. То су:

1. Субјективна температура STI (°C) је индекс који описује субјективно термичко оптерећење у човеку узроковано у спољној средини пре активирања процеса адаптације. Субјективна температура представља термичко оптерећење које се формира у слоју ваздуха непосредно уз одећу. Термички утицај средине је изражен помоћу средње температуре зрачења, док је физиолошки одговор организма представљен као укупна топлотна акумулација S.

Табела 1. Опсег субјективне температуре и степен удобности.

Опсег субјективне температуре STI (°C)	
< -38.0	екстремно хладно
-38.0 - -20.0	веома хладно
-20.0 - -0.5	Хладно
-0.4 - 22.5	Прохладно
22.6 - 31.9	Удобно
32.0 - 45.9	Топло
46.0 - 54.9	Вруће
55.0 - 69.9	веома вруће
≥ 70.0°C	Спарина

Извор: Błażejczyk, 1994.

2. Физиолошко напрезање PhS (бездимензионална величина) представља интензитет процеса адаптације у хладном или топлим окружењу. Зависи од односа конвективног флукса и флукса испаравања. Рачуна се помоћу формуле:

$PhS = C/E$; при чему за одређене вредности физиолошког напрезања важи следеће:

- PhS од 0.75 до 1.5 - благи одговор терморегулационог система;
- PhS > 1.5 - хладно физиолошко напрезање које се манифестује као: смањење температуре коже, смањење периферне циркулације крви, повећање крвног притиска, повећање топлотне изолације у ткиву коже и дрхтавица;
- PhS < 0.75 топло физиолошко напрезање које се манифестује као: повећање периферне циркулације крви, смањење крвног притиска,

Табела 2. Опсег физиолошког напрезања и степен удобности

Физиолошко напрезање PhS		
< 0.0	екстремно топло напрезање	топло физиолошко напрезање које се манифестује као: повећање периферне циркулације крви, смањење крвног притиска, повећање откуцаја срца, интензивно знојење и дехидрација, велике промене температуре коже
0.00 - 0.24	велико топло напрезање	Благи одговор терморегулационог система
0.25 - 0.74	умерено топло напрезање	хладно физиолошко напрезање које се манифестује као: смањење температуре коже, смањење периферне циркулације крви, повећање крвног притиска, повећање топлотне изолације у ткиву коже и дрхтавица ⁴
0.75 - 1.50	термонеутрално	
1.51 - 4.00	умерено хладно напрезање	
4.01 - 8.00	велико хладно напрезање	
> 8.00	екстремно хладно напрезање	

Извор: Błażejczyk, 1994.

3. Физиолошка субјективна температура (PST) представља субјективан осећај термичког окружења од стране човека. Физиолошка субјективна температура представља ниво термичког стимуланса који се налази у непосредној близини површине коже након 15-20 минута интензивног процеса адаптације.

Табела 3. Опсег физиолошке субјективне температуре.

Физиолошка субјективна температура PST (°C)	
< -36.0	смрзнуто
-36 – -16.1	веома хладно
-16.0 – 4.0	хладно
4.1 – 14.0	прохладно
14.1 – 24.0	удобно
24.1 – 34.0	топло
34.1 – 44.0	вруће
44.1 – 54.0	веома вруће
> 54.0	презнојавање

Извор: Błażejczyk, 1994.

⁴ Blanc J. de, 1975, *Man in the cold*. Ch.C.Thomas Publ., Springfield.

4. Топлотно оптерећење у човеку HL (бездимензионална величина) описује оптерећење централног терморегулационог система због процеса адаптације на средину у којој се човек налази. За рачунање се користи комбинација три главна топлотна флукса: укупна топлотна акумулација (S), апсорбована соларна радијација (R) и губитак топлоте испаравањем (E).

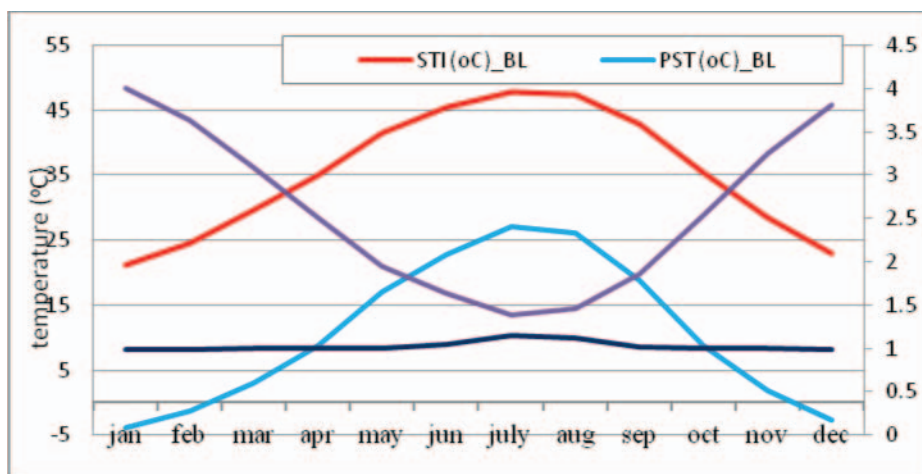
Табела 4. Опсег топлотног оптерећења и степен удобности

Топлотно оптерећење у човеку HL		
≤ 0.250	веома хладно	-3
0.251-0.820	хладно	-2
0.821-0.975	прохладно	-1
0.976-1.025	угодно	0
1.026-1.180	топло	1
1.181-1.750	вруће	2
> 1.751	веома вруће	3

Извор: Błażejczyk, 1994.

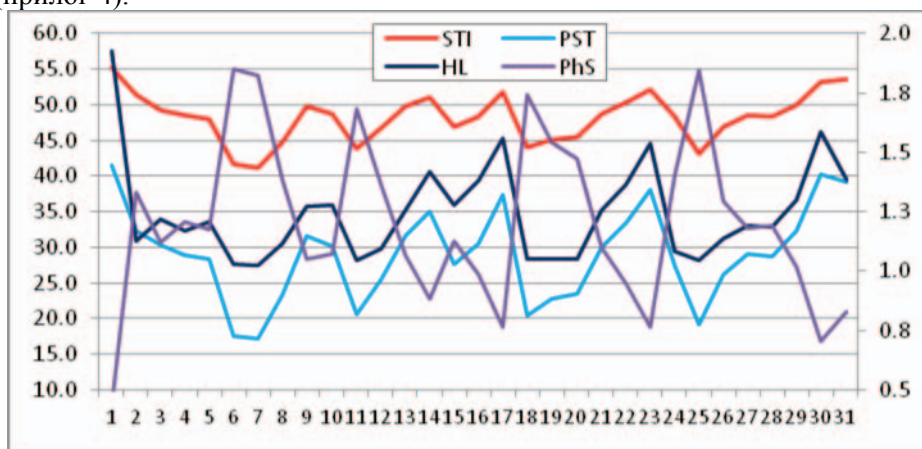
Резултати и дискусија

Односи између атмосфере и човека су анализирани методом топлотне равнотеже која се заснива на размени топлоте између човека и околине кориштењем менекс модела. На основу физиолошких параметара и расположивих метеоролошких података из метеоролошке станице у Бања Луци, израчунати су термофизиолошки биоклиматски индекси. Резултати показују годишњи ток субјективне температуре и субјективне физиолошке температуре где су максимуми у августу ($STI_{jan}=48.3^{\circ}C$ и $PST_{avg}=28.5^{\circ}C$) и показују биоклиматске типове *вруће* и *топло*, док су минимуми у јануару ($STI=23.2^{\circ}C$ и $PST=-1.2^{\circ}C$) и показују биоклиматске типове *удобно* и *хладно*. Индекс физиолошко напрезање је инверзни са температурама и има максимум у јануару ($PhS=3.4$) и минимум у јулу ($PhS=1.2$). Топлотно оптерећење у човеку је скоро равномерно са малим изузетком у јулу и августу (прилог 2).

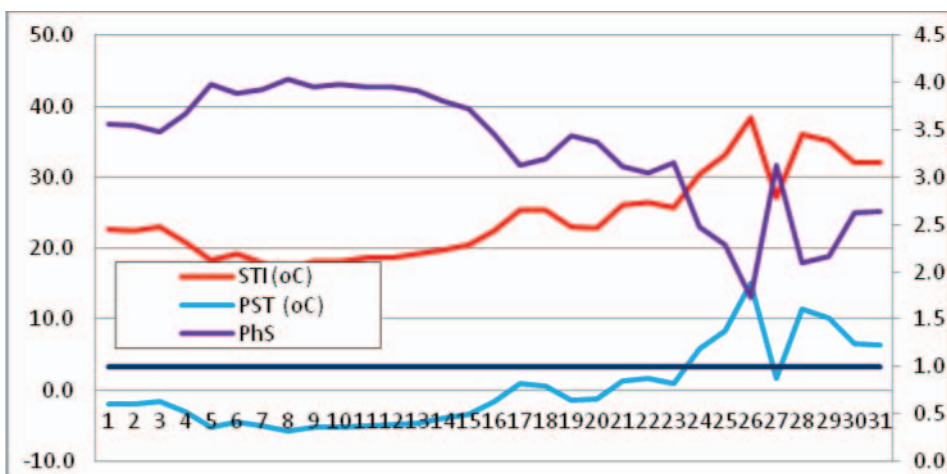


Прилог 2. Годишње вредности термофизиолошких биоклиматских индекса у Бања Луци (1961-1990)

Дневни подаци у јулу представљају праве односе између индекса. Субјективна температуре и субјективна физиолошка температура прате температуру ваздуха. Уколико су ове температуре у порасту онда је и топлотно оптерећење у човеку у порасту, док је физиолошко напрезање, што представља интензитет процеса адаптације, у паду (прилог 3). Такође, ако се температура нагло мења онда су топлотно оптерећење и физиолошко напрезање више изражени. У хладнијем периоду, процес адаптације ће бити интензивнији и физиолошко напрезање ће порастати (прилог 4).



Прилог 3. Дневне вредности термофизиолошких биоклиматских индекса, Јули 1990.



Прилог 4. Дневне вредности термофизиолошких биоклиматских индекса у Јануару, 1990.

У досадашњим биоклиматским анализама бањско-климатских места користиле су се традиционалне стандардне методе и величине: моћ хлађења, моћ сушења, ваздушна енталпија, индекс охлађивања, еквивалентне температуре, ефективне температуре, радијационо-еквивалентно ефективне температуре, метод парног притиска, еквивалентно-ефективне температуре, резултанта температура и друге. У овом раду представљена је методологија која се заснива на топлотном балансу између човека и околине на којој се заснивају новија истраживања из области хумане биоклиматологије. За биоклиматску анализу бањских места примењује се модел "menex" који је био основа биоклиматских истраживања и детаљно је представљен у раду. Основно полазиште на коме се заснива методологија модела је топлотна равнотежа између човека и околине на основу које се анализирају адаптациони процеси у топлом и хладном режиму.

Индекси представљени у овом раду показују могућност процене биоклиматских услова у одређеној области. Бања Лука је урбано подручје окружено различитим пејзажима повољан за туризам и рекреацију. Разноврсна примена ове методе дају могућност да се квантификују и идентификују специфичне области са повољним или неповољним биоклиматским условима.

Литература

- Blazejczyk, K. (1994). New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales, *Zeszyty IgiPZ PAN*, Nr. (28) 27-58.
- Blazejczyk, K. (2001). Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance, *Proceedings of the First International Workshop on Climate Tourism and Recreation*, Neos Marmaras, Greece, WP01, 133-152.
- Blazejczyk, K. (2004). Radiation Balance in Man in Various Meteorological and Geographical Conditions, *Geographia Polonica*, PL ISSN 0016-7282, 77 (1) 63-76.
- Blazejczyk, K., & Matzarakis, A. (2007). Assesment of Bioclimatic Differentiation of Poland Based on the Human Heat Balance, *Geographia Polonica, Spring*, vol. 80 (1) 63-82.
- Blazejczyk, K., & Matzarakis, A. (2008). Evaluation of climate from point of view of recreation and tourism. The 18th International Congress of Biometeorology ICB, Tokio, 1-4.
- de Freitas, C. R. (1990). Recreation climate assessment, *International Journal of Climatology*, Jan|Feb, Volume (10) 89-103.
- de Freitas, C. R. (2003). Tourism Climatology-evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector, *International Journal of Biometeorology*, (48) 45-54.
- Drljača, V., Tošić, I., & Unkašević, M. (2009). Analiza toplotnih talasa pomoću klimatskg indeksa u Beogradu i Nišu, *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić” SASA, Belgrade*, 59 (1) 49-62.
- Fanger, P.O. (1970). Thermal Comfort -Analysis and Applications in Environmental Engineering, *Danish Technical Press*, Copenhagen.
- Gagge, A.P., & Nishi, Y. (1977). Heat exchange between human skin surface and thermal environment, *Handbook of Physiology, reaction to Environmental Agents*, *Waverly Press*, Baltimore, chapt. (5) 69-72.
- Gagge, A.P., Stolwijk, J. A., & Nishi, Y. (1971). An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response, *ASHARE Trans.* 77 (1). 247-262.
- Höppe, P. (1997). Aspects of biometeorology in past, present and future, *International Journal of Biometeorology*, 40 (1) 19-23.
- Jendritzky, G. (1991). Selected questions of topical interest in human bioclimatology, *International Journal of Bioclimatology*, 35 (3) 139-150.
- Kozłowska T. S., Krawczyk B., & Błażejczyk K. (2004). The Main Features of Bioclimatic Conditions at Polish Health Resorts, *Geographia Polonica*, PL ISSN 0016-7282, 77 (1) 45-61.
- Matzarakis, A. (2006). Weather and climate-related information for tourism, *Tourism Hospital Plan Development*, (3) 99-115.

- Nishi, Y. (1981). Measurement of Thermal Balance of Man, K. Cena & J. A. Clark (Ed.) *Bioengineering, Thermal Physiology : Physical Principles and Measurements* (pp. 29-39). New York, Elsevier.
- Pecelj, R. M. (1998). Bioclimatic research of Republika Srpska, *Builen of Geographical Society of Republika Srpska*, Banja Luka, (3) 67-72.
- Pecelj, M. R., Milinčić, M., & Pecelj, M.M. (2007). Bioclimatic and ecoclimatic research-prospecting development, *Builen of Serbian Geographical Society*, 87 (2) 199-210.
- Pecelj, M., Pecelj M.R., Mandić, D., Pecelj J., Milinčić, M., & Tošić, D. (2010). Informational Technology in Bioclimate Analysis of Banja Luka for Tourism Recreation, *Proceedings Book of 9th WSEAS International Conference on Telecommunication and Informatics*, Catania, Sicily, 35-39.
- Pecelj, M. R., Pecelj, M., Mandić, D., Pecelj J., Vujadinović, S., Šećerov, V., Šabić D., Gajić, M., & Milinčić, M. (2010). Bioclimatic Assessment of Weather Condition for Recreation in Health Resorts, *Proceedings Book of 8th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development*, Athens, Greece, 211-214.
- Scott, D., Jones, B., & McBoyle, G. (2004). *Climate, Tourism and Recreation: A Bibliography*, University of Waterloo, Waterloo.
- Vujević, P. (1961). Contributions for Bioclimatology-area of Kopaonik, *Journal of the Geographic Institute „Jovan Cvijić”*, SASA, Belgrade, 1-81.
- ISO 8996 (1990). Ergonomics - Determination of metabolic heat production, *International Standard Organization*.
- ISO/TR 11079 (1993). Evaluation of cold environments– Determination of required clothing insulation, *International Standard Organization*.