

Bioklimatske karakteristike Zagreba

Bioclimatic Conditions in Zagreb

KSENIJA ZANINOVIC

Republički hidrometeorološki zavod SRH, Zagreb

Sažetak: U radu je analizirana bioklima grada Zagreba na temelju dekadskih srednjaka dnevnih i terminskih vrijednosti bioklimatskih indeksa za desetogodišnje razdoblje. Procijenjen je utjecaj pojedinih meteoroloških parametara na osjet ugodnosti, kao i upotrebljivost pojedinih bioklimatskih indeksa za realni prikaz bioklime.

Ključne riječi: Zagreb, Bioklimatski indeksi, Osjet ugodnosti, Bioklima.

Abstract: In the paper the bioclimate of Zagreb is analysed by means of annual courses of bioclimatic indices (daily mean values and values at 7, 14 and 21 LT over a ten-day period). The influence of various meteorologic parameters on thermal comfort is discussed as well as the applicability of bioclimatic indices in the evaluation of bioclimate.

Key words: Zagreb, Bioclimatic indices, Comfort sensation, Bioclimate.

1. UVOD

Klima nekog kraja najčešće se određuje na temelju meteoroloških elemenata koji se redovno mjere na meteorološkim stanicama. Ovako dobivene klimatske karakteristike ne mogu, međutim, odgovoriti na pitanje kako se u takvoj klimi osjeća i na nju reagira čovjek. Obradujući klimu Zagreba s bioklimatskog stanovišta, u ovom ćemo radu pokušati dati odgovor upravo na to pitanje.

Na čovjekov osjet djeluje niz faktora, a za njegovu se procjenu koriste kombinirane meteorološke veličine — bioklimatski indeksi. O njima je više pisano u članku PLEŠKO (1983). Spomenut ćemo samo ukratko indekse koji će se koristiti u ovom radu.

Kombinirani efekt temperature i brzine strujanja izražava indeks ohlađivanja — veličina koja predstavlja količinu topline koju tijelo temperature 36.5°C gubi s jedinične površine u jedinici vremena. Za izračunavanje indeksa ohlađivanja postoji više empiričkih formula (LANDSBERG, 1972), ali se najčešće koriste Hillove formule (CONRAD, 1964):

$$H_1 = (0.20 + 0.40\sqrt{v}) (36.5 - t) \quad (1)$$

za $v \leq 1$ m/s

$$H_1 = (0.13 + 0.47\sqrt{v}) (36.5 - t) \quad (2)$$

za $v \geq 1$ m/s

$$H_2 = 41.868 (0.20 + 0.40\sqrt{v}) (36.5 - t) \quad (1')$$

$v \leq 1$ m/s

$$H_2 = 41.868 (0.13 + 0.47\sqrt{v}) (36.5 - t) \quad (2')$$

$v \geq 1$ m/s

Gdje je H_1 — indeks ohlađivanja, mcal/cm²s
 H_2 — indeks ohlađivanja, J/m²s
 v — brzina vjetra, m/s
 t — temperatura zraka, °C

Prema indeksu ohlađivanja Schmidt (Tab. 1), Dorno i Mörikofer napravili su skale osjeta, a Conrad je dao klasifikaciju klime (Tab. 1) (PENZAR 1974, VUJEVIĆ 1956).

Za procjenu osjeta ugodnosti, a posebno spari-
 ne, vrlo je važna, uz temperaturu, i količina vlage u zraku. Postoji više bioklimatskih indeksa koji za procjenu osjeta koriste temperaturu i vlagu zraka izraženu bilo pomoću relativne vlage, bilo temperature mokrog termometra, bilo tlaka vodene pare.

Tabela 1. Schmidtova skala osjeta ugodnosti prema indeksu ohlađivanja H.

Table 1. Schmidt's sensation scale based on cooling power H.

Osjet	H(mcal/cm ² s)	H(J/m ² s) · 10 ²
Izvanredno studeno	>55	>23.0
Vrlo studeno	40—55	16.7—23.0
Studeno (hladno)	30—40	12.6—16.7
Hladno (svježe)	22—30	9.2—12.6
Blago	15—22	6.3—9.2
Toplo	10—15	4.2—6.3
Sparno	<10	<4.2

Tabela 2. Conradova klasifikacija klime prema indeksu ohlađivanja H.

Table 2. Conrad's climatic classification based on cooling power H.

Klima	H(mcal/cm ² s)	H(J/m ² s) · 10 ²
prehladna	>40	>16.7
jako podražajna	30—40	12.6—16.7
blago podražajna	20—30	8.4—12.6
poštedna	10—20	4.2—8.4
pretopla	<10	<4.2

Ekvivalentna temperatura računa se po formuli (PLEŠKO, 1979):

$$T_{eq} = t + \frac{0.622 re}{pc_p} \quad (3)$$

Gdje je: t — temperatura zraka, °C
 r — latentna toplina isparavanja, 597.3 cal/g odnosno 2500 · 10³ J/kg
 e — tlak vodene pare, mm Hg, odnosno hPa
 p — tlak zraka, mm Hg, odnosno hPa
 c_p — specifična toplina zraka uz konstantan tlak, 0.24 cal/g grad, odnosno 1.004 · 10³ J/kg grad

Osjet sparine javlja se uz T_{eq} > 49°C, što je stroži kriterij za lječilišta, odnosno uz T_{eq} > 56°C.

Često se koriste i Misserandova efektivna temperatura ET i Thomov indeks neugode DI (često nazivan i indeks temperature i vlage), (PLEŠKO, 1983):

$$ET = t - 0.4 (t - 10) \left(1 - \frac{U}{100}\right) \quad (4)$$

$$DI = 0.4 (t + t_m) + 4.8 \quad (5)$$

Gdje je: ET — efektivna temperatura, °C
 DI — indeks neugode, °C
 t — temperatura suhog termometra, °C
 t_m — temperatura mokrog termometra, °C
 U — relativna vlaga zraka, %

a sparina se javlja uz ET > 24°C i DI > 24°C, dok su najpovoljniji uvjeti uz ET ≈ 20°C.

Najjednostavniji kriterij za procjenu sparine u veu je Scharlau prema vrijednostima parcijalnog tlaka vodene pare — sparina se javlja uz e > 14.1 mm Hg (18.8 hPa) (PLEŠKO, 1979). Svaki od spomenutih kriterija koristi se u praksi, ali se u literaturi ne navodi koji od njih daje najrealnije rezultate.

Entalpija zraka je veličina koja izražava ukupni sadržaj topline u zraku (manifestne i latentne). Formulu za njeno računanje dao je Böer (1964):

$$i_1 = 0.24 \left(t_m + \frac{1555}{p} E_s\right) \quad (6)$$

$$i_2 = 1.004 \cdot 10^3 \left(t_m + \frac{1555}{p} E_s\right) \quad (6')$$

gdje je: i₁ — entalpija zraka, kcal/kg
 i₂ — entalpija zraka, J/kg
 t_m — temperatura mokrog termometra, °C
 E_s — zasićeni tlak vodene pare kod temperature t, mm Hg, odnosno hPa
 p — tlak zraka, mm Hg, odnosno hPa

Prema vrijednostima entalpije Brazol je definirao skalu osjeta ugodnosti i klime (GREGORCZUK, 1968), (Tab. 3).

Zbog smanjene mogućnosti isparavanja s površine tijela, velika količina vlage u zraku uz visoku temperaturu pojačava osjet topline, posebno sparine koji je još neugodniji. S druge strane, kod niskih temperatura isparavanje kože postaje sekundarno u usporedbi s odvođenjem topline kao procesom ohlađivanja. Budući da strujanje zraka i visoka relativna vlaga povećavaju odvođenje topline s površine tijela, zimi će se, za razliku od ljeta, osjet topline smanjivati uz veću količinu vlage. Međutim, veća brzina vjetra smanjivat će toplinski osjet u svim godišnjim dobima, osim ako je temperatura zraka viša od tjelesne (CRITCHFIELD, 1974).

Budući da je Schmidtova skala osjeta bazirana na vrijednostima indeksa ohlađivanja, koji uključuje brzinu vjetra, ta skala ima veći raspon i zato preciznije definiran osjet ugodnosti u hladnijim uvjetima. Nasuprot tome, Brazolova klasifikacija je preciznija za osjet topline, jer se bazira na entalpiji, dakle uključuje vlagu zraka.

Da bi se istodobno uvažio utjecaj temperature, vlage i strujanja na osjet ugodnosti, u radu će se koristiti kombinirani osjet ugodnosti, omjer entalpije i indeksa ohlađivanja (i/H) i na osnovi njega izvedena klasifikacija osjeta ugodnosti (Tab. 4), (PLEŠKO, 1979).

Slično kao kod entalpije, klima se može podijeliti na hipotermičku, idealnu i hipertermičku, kako je u Tab. 4. i označeno.

U daljnjem tekstu koristit će se vrijednosti bioklimatskih indeksa u SI jedinicama (H u J/m²s, odnosno i u J/kg i odgovarajuće vrijednosti za i/H), osim na nekim slikama gdje će biti naznačene vrijednosti za H, i te i/H i po starom i po novom sistemu mjera.

Tabela 3. Brazolova skala osjeta prema entalpiji zraka (i) i antropoklimatska klasifikacijaTable 3. Brazol's sensation scale based on air enthalpy (i) and anthropoclimatic classification

Osjet	i (kcal/kg)	i (J/kg · 10 ³)	antropoklim. klasifikacija
vrlo hladno	<2.5	<10.5	hipotermička klima
hladno	2.5—3.5	10.5—14.7	
vrlo svježe	3.5—6.0	14.7—25.1	
svježe	6.0—7.5	25.1—31.4	
ugodno svježe	7.5—8.5	31.4—35.6	homeotermička (optimalna) klima
idealno	8.5—10.0	35.6—41.9	
ugodno toplo	10.0—11.0	41.9—46.1	
vrlo toplo	11.0—12.0	46.1—50.2	hipertermička klima
neugodno toplo	12.0—19.0	50.2—79.5	
nesnosno toplo (sparno)	19.0—26.0	79.5—108.9	
ekstremno neugodno	26.0—31.0	108.9—129.8	
letalno toplo	>31.0	>129.8	

Tabela 4. Klasifikacija osjeta ugodnosti i klime prema omjeru entalpije i indeksa ohlađivanja (i/H), gdje je (i/H)₁ omjer za i (kcal/kg) i H (mcal/cm²s), a (i/H)₂ omjer za i (J/kg) i H (J/m²s).Table 4. Complex sensation scale and climatic classification based on air enthalpy and cooling power ratio (i/H), where (i/H)₁ is ratio for i in kcal/kg and H in mc cal/cm²s, and (i/H)₂ is ratio for i in J/kg and H in J/m²s.

Osjet ugodnosti	(i/H) ₁	(i/H) ₂	Klima
izvanredno hladno	<0.05	<5	hipotermička klima
vrlo hladno	0.05	5	
hladno	0.1	10	
vrlo svježe	0.2	20	
svježe	0.3	30	
ugodno svježe	0.4—0.5	40—50	idealna klima
ugodno	0.6	60	
ugodno toplo	0.7—0.8	70—80	
toplo	0.9—1.1	90—110	hipertermička klima
vrlo toplo	1.2—1.5	120—150	
neugodno toplo	1.6—2.0	160—200	
nesnosno toplo i sparno	2.1—2.6	210—260	
ekstremno toplo i sparno	2.7—3.1	270—310	
letalno toplo	>3.1	>310	

Osjet ugodnosti predstavlja stvarni osjet u određenom trenutku. Međutim, iako su u radu korišteni višegodišnji prosjeci bioklimatskih indeksa, šim klimatskih, bit će korištene i klasifikacije osjeta ugodnosti. Pri tome treba voditi računa da stvarni osjet u određenom trenutku može znatno odstupati od klimatskog prosjeka (PLEŠKO, 1983; NOVAKOVIĆ, 1983).

Osim bioklimatskih indeksa za procjenu bioklime Zagreba koristit će se i podaci o broju dana s ekstremnim temperaturama definiranim prema klasičnim meteorološkim kriterijima:

ledeni dani	$t_{\min} \leq -10^{\circ}\text{C}$
studen dani	$t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$
hladni dani	$t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$
topli dani	$t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$
vrući dani	$t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$
dani s toplim noćima	$t_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$

2. MATERIJAL I METODE

Meteorološki parametri, potrebni za računanje bioklimatskih indeksa mjereni su na meteorološko-aerološkom opservatoriju Zagreb — Maksimir. Korištene su terminske vrijednosti (7h, 14h, 21h) temperature suhog i mokrog termometra, tlaka zraka, parcijalnog tlaka vodene pare i relativne vlage, te satni srednjaci brzine vjetera za razdoblje 1971—80. Na temelju desetogodišnjih dekadskih srednjaka meteoroloških parametara, računati su bioklimatski indeksi prema izrazima (1) do (6).

Analizirat će se godišnji hodovi bioklimatskih indeksa po terminima, a na temelju vrijednosti pojedinih meteoroloških parametara ustanoviti koji je od meteoroloških elemenata presudan za osjet ugodnosti u određeno doba godine.

Budući da je ustanovljeno da se dnevni srednjaci bioklimatskih indeksa dobiveni na temelju tri terminska podatka ne razlikuju mnogo od pravih dnevnih srednjaka, o čemu će kasnije biti više riječi, računati su dekadski srednjaci srednjih dnevnih vrijednosti bioklimatskih indeksa na temelju višegodišnjih dekadskih srednjaka bioklimatskih indeksa po terminima i analizirani godišnji hodovi tako dobivenih dnevnih srednjaka te uspoređeni s terminskim godišnjim hodovima.

3. KOMPARACIJA DNEVNIH SREDNJAKA BIOKLIMATSKIH INDEKSA IZ TRI TERMINSKE VRIJEDNOSTI S PRAVIM DNEVNIM SREDNJACIMA

Potreba za procjenom dnevnih srednjaka bioklimatskih indeksa na temelju njihove tri terminske vrijednosti, nametnula je ispitivanje njihove reprezentativnosti. U tu svrhu izabrano je 60 dana s ekstremnim meteorološkim uvjetima tokom 1976. i 1977. godine u Maksimiru ($t_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$, $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$, $v_{\max} > 8$ m/s; $v \leq 1$ m/s u više termina i $U > 80\%$ tokom čitavog dana) i uspoređivani su dnevni srednjaci bioklimatskih indeksa dobiveni pomoću tri terminske vrijednosti (7h, 13h, 19h) s onima dobivenim pomoću 24 (indeks ohlađivanja) odnosno 8 (entalpija, i/H) satnih vrijednosti tokom dana. Prepostavili smo da će razlike između pravih i 3-terminskih srednjaka kod »normalnih« uvjeta biti manje nego kod ekstremnih. Budući da smo na raspolaganju imali kompjuterski

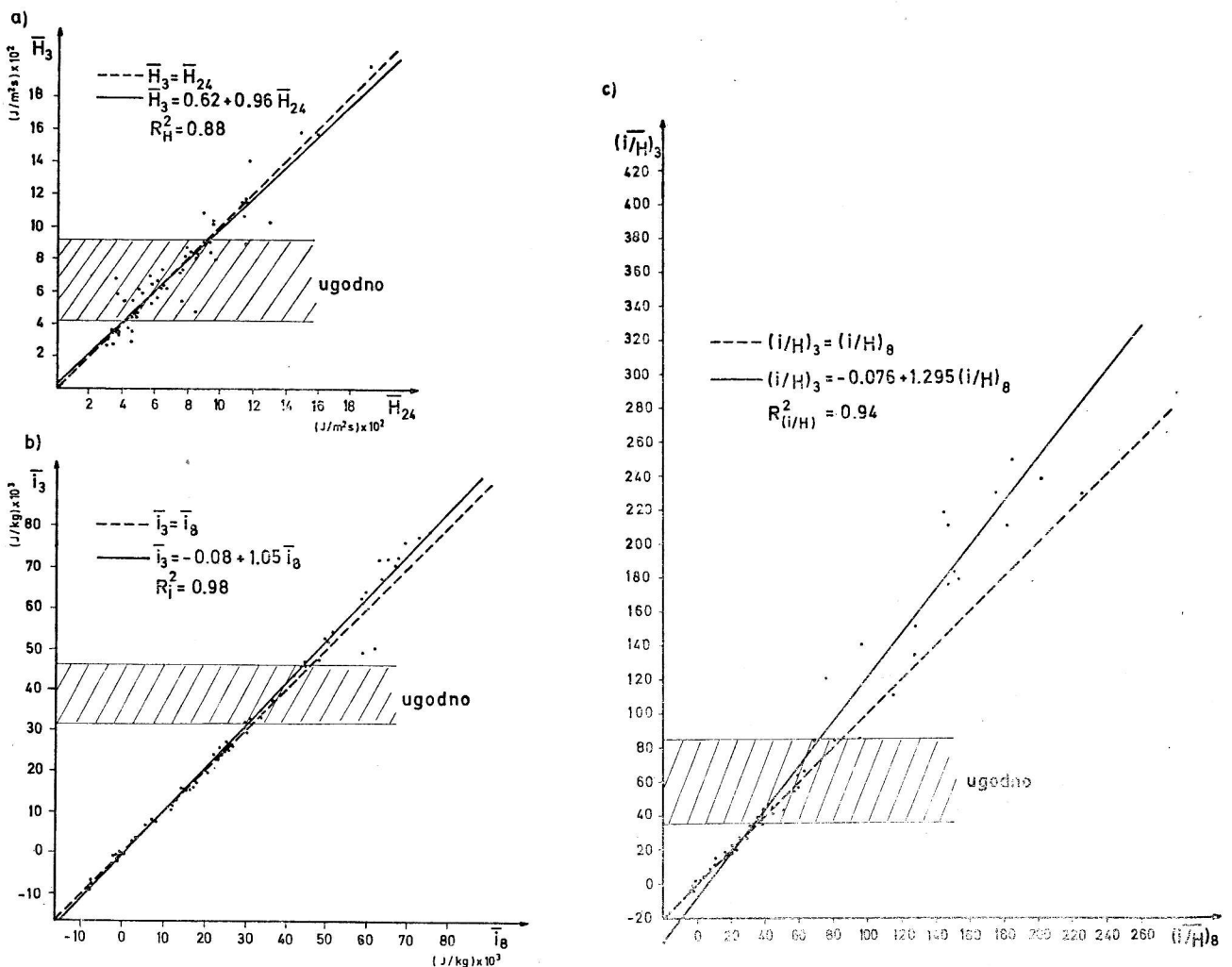
materijal s izračunatim vrijednostima entalpije i omjera i/H samo u sinoptičkim terminima (zbog nedostatka podataka o temperaturi mokrog termometra u ostalim terminima) i njihovi su dnevni srednjaci računati na temelju samo 8 satnih vrijednosti. Iz istog razloga uzete su vrijednosti bioklimatskih indeksa u 13h i 19h uz pretpostavku da se one ne razlikuju mnogo od onih u klimatološkim terminima 14h i 21h.

Dobiveni parovi srednjaka bioklimatskih indeksa prikazani grafički sa 24 (odnosno 8) terminskim dnevnim srednjakom na apscisi i 3-terminskim dnevnim srednjakom na ordinati (Sl. 1a—1c), pokazali su da možemo pretpostaviti linearnu vezu među njima. Računom su dobiveni slijedeći pravci regresije (ucrtani na slikama 1a—1c):

$$\begin{aligned} \overline{H}_3 &= 0.62 + 0.96 \overline{H}_{24} & \text{uz } R_H^2 &= 0.88 \\ \overline{i}_3 &= 0.08 + 1.05 \overline{i}_8 & \text{uz } R_i^2 &= 0.98 \\ (\overline{i/H})_3 &= -0.076 + 1.295 (\overline{i/H})_8 & \text{uz } R^2(i/H) &= 0.94 \end{aligned}$$

gdje su \overline{H}_3 , \overline{i}_3 i $(\overline{i/H})_3$ dnevni srednjaci indeksa ohlađivanja entalpije i njihovog omjera dobiveni iz tri terminske vrijednosti u 7h, 13 i 19h ($\overline{H}_3 = 1/3 (H_7 + H_{13} + H_{19})$ itd), a \overline{H}_{24} , \overline{i}_8 i $(\overline{i/H})_8$ dnevni srednjaci bioklimatskih indeksa dobiveni pomoću 24, odnosno 8 satnih vrijednosti u danu. U sva tri slučaja koeficijenti prilagodbe R^2 (goodness of fit) pokazuju čvrstu vezu, a testiranjem je utvrđena signifikantnost od 1%.

Teoretski ($\overline{H}_3 = \overline{H}_{24}$, $\overline{i}_3 = \overline{i}_8$, $(\overline{i/H})_3 = (\overline{i/H})_8$) i računom dobiveni pravci (pravci regresije) najbolje se podudaraju u onim dijelovima koji odgovaraju osjetu ugodnog, dok su najveća odstupanja kod ekstremnih uvjeta — vrlo hladnog i vrlo toplog (Sl. 1a—1c). Međutim, u klimatskom prosjeku takvi su uvjeti rijetki za naše područje. Stoga je opravdano dnevne srednjake bioklimatskih indeksa dobivene pomoću tri terminske vrijednosti smatrati pravim dnevnim srednjakima.



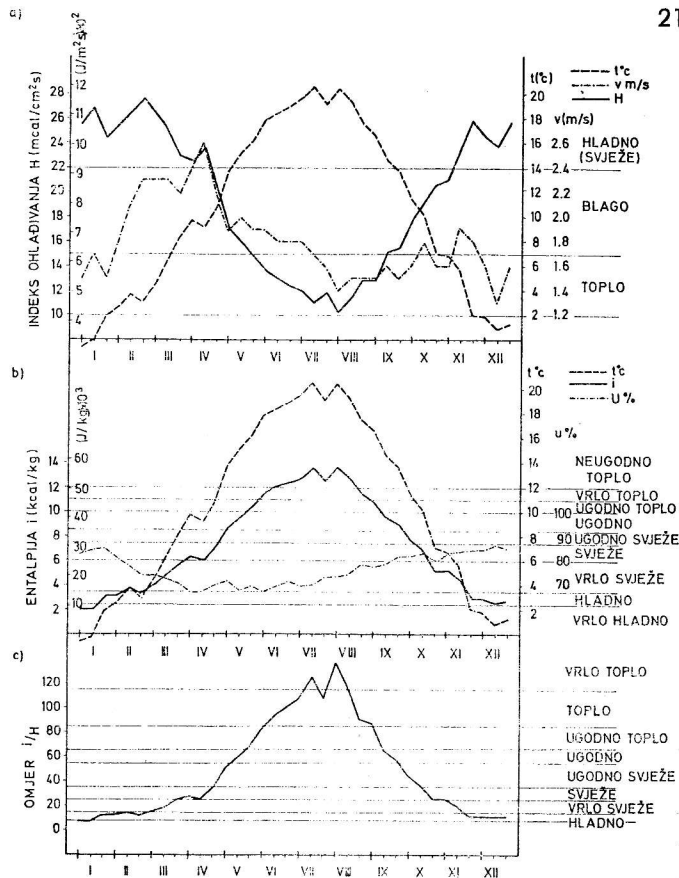
Slika 1. Veza između 3-terminskog (\overline{H}_3 , \overline{i}_3 , $(\overline{i/H})_3$) i 8 (\overline{i}_8 , $(\overline{i/H})_8$) odnosno 24-terminskog (\overline{H}_{24}) dnevnog srednjaka bioklimatskih indeksa: indeksa ohlađivanja H (a), entalpije i (b) i omjera entalpije i indeksa ohlađivanja i/H (c).

Figure 1. Connection between daily mean values of bioclimatic indices calculated from 3 (\overline{H}_3 , \overline{i}_3 , $(\overline{i/H})_3$) and 8 (\overline{i}_8 , $(\overline{i/H})_8$), ie. 24 (\overline{H}_{24}) daily values: cooling power H (a), air enthalpy i (b) and air enthalpy and cooling power ratio i/H (c).

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Godišnji hodovi dnevnih srednjaka bioklimatskih indeksa po dekadama

Godišnji hodovi bioklimatskih indeksa (Sl. 2a —2c) na temelju klimatskih klasifikacija Conrada i Brazola, pokazuju da se bioklimatske karakteristike Zagreba značajno razlikuju s obzirom na korišteni indeks. Prema indeksu ohlađivanja, bioklima Zagreba kreće se u granicama poštredne u toplom dijelu godine (1. dekada svibnja do 2. dekada u listopadu, ukupno 17 dekada) i blago podražajne u hladnom dijelu godine (3. dekada listopada do 3. dekada u travnju, ukupno 19 dekada). Budući da je Schmidtova skala nešto preciznija od Conradove, pa iako se ona odnosi na osjet a ne na klimu, u Tab. 5 navedeno je trajanje osjeta po toj skali. Čini se da su ovi rezultati nešto realniji, jer razlikuju osjet u proljeće i ljeto (blago i toplo), dok je prema Conradovoj skali u cijelom toplijem dijelu godine poštredno. Male brzine vjetra u Zagrebu (maksimalna srednja brzina vjetra u desetogodišnjem razdoblju je u drugoj dekadi travnja i iznosi 2.6 m/s) od bitnog su utjecaja na njegovu bioklimu. Usporedbe radi, uprkos višim temperaturama zraka, zimsko je hlađenje na Jadranu daleko jače nego u Zagrebu zbog većih brzina vjetra (PENZAR, 1974). S druge strane, međutim, prema Brazolovoj i kombiniranoj klasifikaciji na temelju entalpije i omjera i/H zagrebačka se klima mijenja od hipotermičke do hipertermičke, s kratkim prelaznim razdobljima optimalne klime u proljeće i jesen (Tab. 5b i 5c).



Slika 2. Godišnji hodovi dnevnih srednjaka po dekadama: indeksa ohlađivanja H, temperature t i brzine vjetra v (a); entalpije i, temperature t i relativne vlage zraka U (b); omjera entalpije i indeksa ohlađivanja i/H (c); Zagreb—Maksimir, 1971—1980.

Figure 2. Annual courses over ten-day periods (daily means) of: cooling power H, temperature t and wind speed v (a); air enthalpy i, temperature t and relative humidity U (b); air enthalpy and cooling power ratio i/H (c); Zagreb—Maksimir, 1971—1980.

Tabela 5. Razdioba osjeta ugodnosti i klime tokom godine prema Schmidtovoj (a), Brazolovoj (b) i kombiniranoj (c) klasifikaciji u Zagreb—Maksimiru, razdoblje 1971—1980. Rimske brojke označavaju mjesec, a indeksi uz njih dekadu u mjesecu početka i završetka određenog osjeta, tj. bioklime.

Table 5. Comfort sensation and climate distribution during the year based on Schmidt's (a), Brazol's (b) and complex (c) classification, Zagreb—Maksimir, 1971—1980. The start and finish of sensation, ie. bioclimate, are indicated by Roman numerals I—XII (month) and indices 1—3 (the ten-day period in respective month).

a)		
Vrijednost indeksa ohlađivanja (J/m²s) · 10²	Osjet	Trajanje osjeta (dekade) i početak i kraj razdoblja (mjeseci i dekade)
4.2—6.3	toplo	11 V ₃ — IX ₁
6.3—9.2	blago	9 IV ₃ —V ₂ IX ₂ —XI ₁
9.2—12.6	hladno (svježe)	16 XI ₂ —IV ₂

b)				
Vrijednosti entalpije u (J/kg) · 10³	Osjet	Trajanje osjeta (dekade)	Klima	Trajanje klime (dekade) i početak i kraj razdoblja (mjeseci i dekade)
<10.5	vrlo hladno	2		
10.5—14.7	hladno	7		20
14.7—25.1	vrlo svježe	7	hipotermička	X ₂ — IV ₃
25.1—31.4	svježe	4		
31.4—35.6	ugodno svježe	1		7
35.6—41.9	ugodno	4	optimalna	V ₁ —V ₃ IX ₁ —X ₁
41.9—46.1	ugodno toplo	2		
46.1—50.2	vrlo toplo	2		9
50.2—79.5	neugodno toplo	7	hipertermička	VII ₁ —VIII ₃

c)

Vrijednosti omjera i/H	Osjet	Trajanje osjeta (dekade)	Klima	Trajanje klime (dekade) početak i kraj razdoblja (mjeseci i dekade)
7.5— 15.0	hladno	11	hipotermička	19
15.0— 25.0	vrlo svježe	4		$X_3—IV_3$
25.0— 35.0	svježe	4		
35.0— 55.0	ugodno svježe	3	idealna	8
55.0— 65.0	ugodno	3		$V_1—VI_1$
65.0— 85.0	ugodno toplo	2		$IX_2—X_2$
85.0—115.0	toplo	6	hipertermička	9
115.0—155.0	vrlo toplo	3		$VI_2—IX_1$

Godišnji hodovi dnevnih srednjaka bioklimatskih indeksa po dekadama pokazuju slijedeće karakteristike:

1) Topli i hladni dio godine odvojeni su kraćim razdobljima idealne klime, najpovoljnije za organizam čovjeka, s prevladavajućim osjetom ugodno svježeg do ugodno toplog, ili jednostavno blagog. Prema indeksu ohlađivanja ovo je razdoblje u jesen nešto duže u usporedbi s ostalim klasifikacijama i obuhvaća čak prvu dekadu studenog (2. dekada rujna do 1. dekade u studenom), a u proljeće kraće i završava već sredinom svibnja (3. dekada IV — 2. dekada V) (Tab. 5a—c), slike 2a—c). U proljeće je, zbog većih brzina vjetra, kod istih temperatura hlađenje jače nego u jesen. Međutim, indeks ohlađivanja računat po Hilllovim formulama netočan je (u usporedbi s mjeranjima) za male brzine vjetra, čak kad su one i nešto veće od 1 m/s (VUJEVIĆ, 1956). Male srednje brzine vjetra koje su u Zagrebu, izuzev kasne zime i proljeća (veljača, ožujak, travanj), manje od 2 m/s razlog su često nerealnim inzosima indeksa ohlađivanja. Tako je teško vjerovati da bi krajem listopada i početkom studenog, uz srednju temperaturu od 7°C bilo ugodno (»blago«). Prema entalpiji i omjeru i/H , idealne bioklimatske prilike ograničene su na nešto kraće razdoblje (7—8 dekada), i obuhvaćaju u proljeće 1—3. dekadu svibnja (entalpija), odnosno 1. dekadu svibnja do 1. dekade lipnja (omjer i/H), a u jesen traju od početka rujna do početka listopada po entalpiji, odnosno od sredine rujna do sredine listopada po omjeru i/H (Tab. 5b—c, Sl. 2b—c). Općenito možemo reći da za organizam najpovoljnije prilike prevladavaju u svibnju i rujnu.

2) Dok je prema Schmidtovoj klasifikaciji hladni dio godine svjež (2. dekada studenog do 2. dekada u travnju, ukupno 16 dekada), prema Brazolovoj i kombiniranoj klasifikaciji obuhvaćen je širi raspon osjeta — od »vrlo hladnog« (entalpija) i »hladnog« (omjer i/H) u siječnju do »svježeg« u travnju i listopadu (Tab 5b—c, Sl. 2b—c). Činjenica da je prema kombiniranoj klasifikaciji trajanje hipotermičke klime (19 dekada) skraćeno u odnosu na entalpiju (20 dekada) potvrđuje već naglašenu nepreciznost Hilllovihi formula. U prilog tome govori i podatak da je osjet »vrlo hladnog« prema entalpiji, uz djelovanje vjetra, koje je izraženo u omjeru i/H , ublažen u »hladno«, što je nemoguće, jer vjetar, pa makar i vrlo slab

osjet hladnoga ne može ublažiti. U skladu s ovim smatramo da je, uprkos činjenici da se maksimalno ohlađivanje ne poklapa s minimumom temperature u 1. siječanjskoj dekadi već je zbog jačeg vjetra pomaknuto u treću dekadu veljače (sama razlika u vrijednostima H je vrlo mala i iznosi 83.7 J/m²s), najhladniji ipak siječanj, točnije njegova 1. i 2. dekada, kako pokazuju entalpija i omjer i/H , koji uostalom i uvažava utjecaj vjetra (sl. 2a—c). U prilog tome govori i činjenica da su u siječnju ledeni i studeni dani najčešći (8% ledenih i 20% studenih dana u usporedbi s 2% i 5% u veljači, odnosno 5% i 20% u prosincu), a većina dana u mjesecu je hladna s $t_{min} < 0^\circ C$ (71% u siječnju, prema 63% u prosincu i 52% u veljači).

3) Topli dio godine u bioklimatskom smislu (»toplo« po indeksu ohlađivanja ili hipertermička klima po entalpiji i omjeru i/H) uglavnom se poklapa s kalendarskim ljetom (VI, VII i VIII mjesec), s tim da prema indeksu ohlađivanja traje nešto duže (11 dekada) i obuhvaća kraj svibnja i početak rujna, a prema omjeru i/H traje od 2. lipanjske do 1. rujanske dekade. Čini se neobičnim da je 1. dekada u lipnju topla i prema indeksu ohlađivanja i prema entalpiji, a ugodna prema njihovom omjeru. Međutim, vrijednost i/H je u ovoj dekadi na granici »ugodnog« i »toplog« (84) i do razlike je moglo doći u osrednjavanju. Zbog malih brzina vjetra i veće količine vlage u zraku (znači latentne topline), najtopliji dio godine u bioklimatskom smislu (1. dekada kolovoza) ne poklapa se s maksimumom temperature koji nastupa sredinom srpnja (Sl. 2a—c). U prvoj dekadi kolovoza na veću količinu vlage, dakle i topline u zraku, superponira se smanjena mogućnost odvođenja topline s površine tijela zbog slabijeg vjetra u odnosu na drugu srpanjsku dekadu. Stoga je razlika u osjetu topline između ovih dviju dekada izraženija u omjeru i/H nego u entalpiji (usp. sl. 2b i 2c). Zbog ohlađujućeg djelovanja vjetra kombinirana klasifikacija ima preciznije stupnjevanju skalu od Brazolove. Tako po kombiniranoj klasifikaciji između »ugodno« i »vrlo toplog« postoji prelazni osjet »toplog« kojeg u Brazolovoj klasifikaciji nema (usp. Tab. 3 i 4). Stoga vrijednosti entalpije ljeti prelaze granicu »neugodno toplog«, dok se omjer i/H zadržava u granicama »vrlo toplog«. Pored toga, iako je trajanje hipertermičke klime prema obje klasifikacije jednako (9 dekada), trajanje »vrlo toplog« po i/H skraćeno je zbog utjecaja vjetra na 3 dekade u

usporedbi sa 7 dekada »neugodno toplog« po entalpiji (Sl. 2b—c) (Tab. 5b—c). Prema Schmidtovoj klasifikaciji, indeks ohlađivanja u klimatskom prosjeku ne prelazi granicu »sparnog« (izraz nije najsretnije odabran, jer u indeks ohlađivanja nije uključena vlaga koja je za osjet sparine vrlo važna). Međutim, značajno je da niti prema bioklimatskim indeksima koji uključuju vlagu nema sparnih razdoblja (klimatski gledano), o čemu će nešto više riječi biti kasnije. Ako uz bioklimatske indekse analiziramo i vjerojatnost pojave dana s ekstremnim temperaturama, možemo zaključiti da je srpanj »topliji« od kolovoza (62% dana s $t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ u srpnju u odnosu na 55% u kolovozu), ali je kolovoz »neugodniji« (13% vrućih dana s $t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ prema 11% u srpnju). Osim toga, u promatranom periodu (1971—1980) pojavio se samo jedan dan s toplom noći ($t_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) i to upravo u kolovozu.

4) Budući da bioklimatski indeksi ovise o više meteoroloških parametara, odstupanja od očekivanog glatkog hoda na njihovim krivuljama godišnjih hodova rezultiraju sličnim odstupanjima na krivuljama godišnjih hodova bioklimatskih indeksa. U veljači, travnju i srpnju javljaju se odstupanja na krivuljama temperature i entalpije, a u ve-

ljači i travnju ohlađivanje je pojačano i zbog jačeg vjetrova (odstupanja na godišnjem hodu indeksa ohlađivanja) (Sl. 2a—c). Slično, u 1. i 3. siječanjskoj dekadi, kao i u drugoj u prosincu, ohlađivanje je uprkos nižim temperaturama, zbog slabijeg vjetrova manje nego u susjednim dekadama.

4.2. Godišnji hodovi bioklimatskih indeksa po terminima uz analizu uloge meteoroloških parametara

Terminski godišnji hodovi bioklimatskih indeksa razlikuju se kako međusobno (Sl. 3a—c), tako i od godišnjih hodova njihovih dnevnih srednjaka.

Budući da je godišnja amplituda meteoroloških parametara odgovornih za osjet ugodnosti (temperature, relativne vlage i brzine vjetrova, Sl. 4a—c) u 14h veća od onih u 7h i 21h, i bioklimatski indeksi se u godišnjem hodu najbrže mijenjaju u tom terminu. Stoga je i trajanje prelaznog razdoblja ugodne bioklime najkraće u 14h (Tab. 6a—c) — u proljeće počinje i završava ranije, a u jesen kasnije nego u ostalim terminima, barem prema entalpiji i omjeru i/H. Tako je u podnevnim satima ugodno već krajem ožujka, kao i prvih 20 dana u listopadu.

Tabela 6. Razdioba osjeta ugodnosti i klime po terminima tokom godine prema Schmitovoj (a), Brazolovoj (b) i kombiniranoj (c) klasifikaciji u Zagreb-Maksimiru, razdoblje 1971—1980. Rimske brojke označavaju mjesec, a indeksi uz njih dekadu u mjesecu početka i završetka određenog osjeta, tj. bioklime.

Tabele 6. Comfort sensation and climate distribution at 7, 14 and 21 LT during the year based on Schmidt's (a), Brazol's (b) and complex (c) classification, Zagreb-Maksimir, 1971—1980. The start and finish of sensation, ie. bioclimate, are indicated by Roman numerals I—XII (month) and indices 1—3 (the ten-day period in respective month).

a)

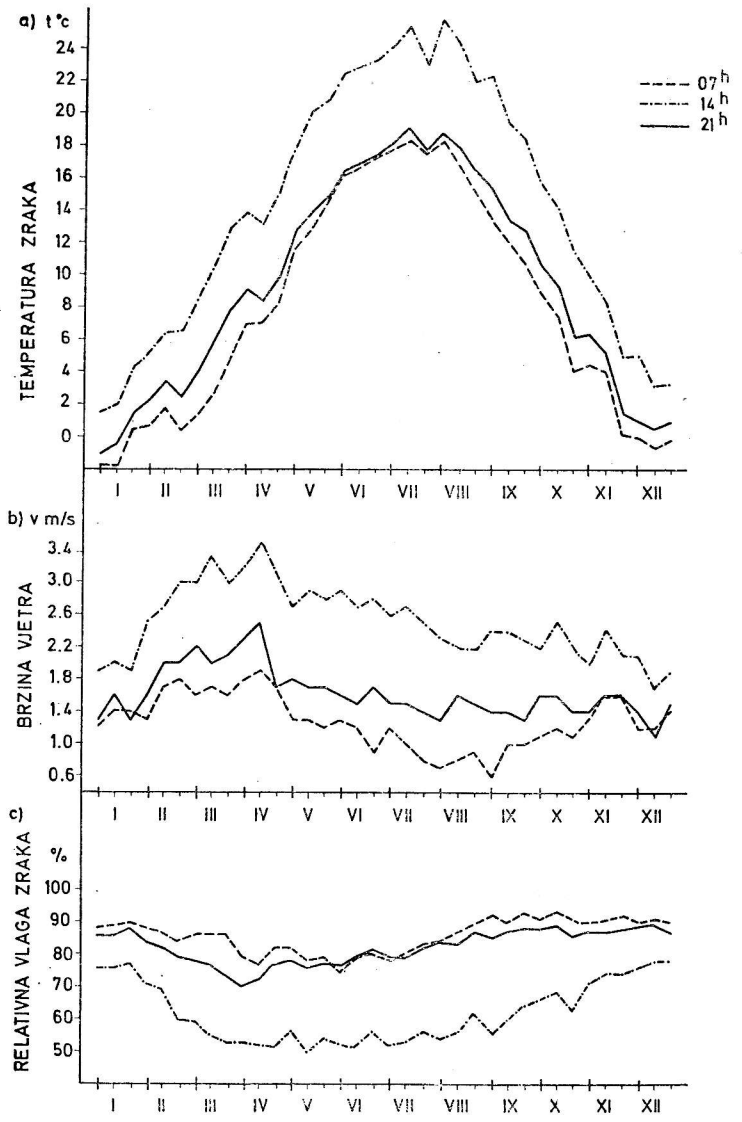
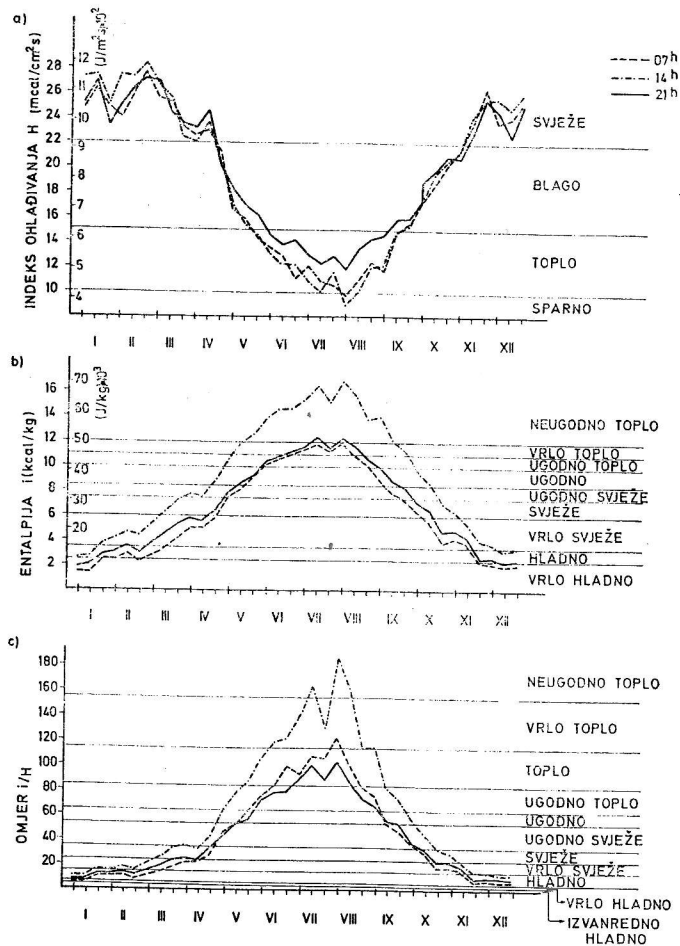
Vrijednosti indeksa ohl. (J/m ³ s) · 10 ²	Osjet	Trajanje osjeta (dekade)					
		Početak i kraj trajanja osjeta (mjeseci i dekade)					
		7h	14h	21h	7h	14h	21h
<4.2	sparno	1	12	2	12	0	10
4.2 — 6.3	toplo	11	V ₃ —IX ₂	10	V ₃ —IX ₂	10	VI ₁ —IX ₁
6.3 — 9.2	blago	8	IV ₃ —V ₂ ; IX ₃ —XI ₁	8	IV ₃ —V ₂ ; IX ₃ —XI ₁	10	IV ₃ —V ₃ IX ₂ —XI ₁
9.2 — 12.6	hladno (svježe)	16	XI ₂ — IV ₂	16	XI ₂ — IV ₂	16	XI ₂ — IV ₂

b)

Vrijednosti entalpije (J/kg) · 10 ³	Osjet	Trajanje osjeta (dekade)			Klima	Trajanje klime (dekade)		
		7h	14h	21h		Početak i kraj trajanja klime (mjeseci i dekade)		
		7h	14h	21h		7h	14h	21h
<10.5	vrlo hladno	9	0	3				
10.5 — 14.7	hladno	3	4	6		22	16	21
14.7 — 25.1	vrlo svježe	8	8	9	hipotermička	IX ₃ —IV ₃	X ₃ —III ₃	IV ₃ —X ₁
25.1 — 31.4	svježe	2	4	3				
31.4 — 35.6	ugodno svježe	3	2	2		9	6	9
35.6 — 41.9	ugodno	2	3	4	optimalna	V ₁ —VI ₂	IV ₁ —V ₁	V ₁ —VI ₂
41.9 — 46.1	ugodno toplo	4	1	3		VIII ₂ —IX ₂	X ₁ —X ₂	VIII ₃ —IX ₃
46.1 — 50.2	vrlo toplo	5	2	4		5	14	6
50.2 — 79.5	neugodno toplo	0	12	2	hipotermička	VI ₃ —VIII ₁	V ₂ —X ₃	VI ₃ —VIII ₂

c)

Vrijednosti osjeta i/H	Osjet	Trajanje osjeta (dekade)			Klima	Trajanje klime (dekade) Početak i kraj trajanja klime (mjeseci i dekade)		
		7h	14h	21h		7h	14h	21h
5.0— 7.5	vrlo hladno	2	0	2	hipotermička	20 X ₂ —IV ₃	17 X ₃ —III ₃ , IV ₂	20 X ₂ —IV ₃
7.5— 15.0	hladno	10	7	9				
15.0— 25.0	vrlo svježe	6	6	6				
25.0— 35.0	svježe	2	4	3				
35.0— 55.0	ugodno svje.e	5	3	4	idealna	10 V ₁ —VI ₂ VIII ₃ —X ₁	8 IV ₁ , IV ₃ —V ₂ IX ₂ —X ₂	11 VI ₁ —VI ₃ VIII ₃ —X ₁
55.0— 65.0	ugodno	1	2	2				
65.0— 85.0	ugodno toplo	4	3	5				
85.0—115.0	toplo	5	3	5	hipertermička	6 VI ₃ —VIII ₂	11 V ₃ —IX ₁	5 VIII ₁ —VIII ₂
115.0—155.0	vrlo toplo	1	5	0				
155.0—205.0	neugodno toplo	0	3	0				



Slika 3. Godišnji hodovi indeksa ohlađivanja H (a), entalpije i (b) i omjera entalpije i indeksa ohlađivanja i/H (c) po terminima, Zagreb—Maksimir, 1971—1980.

Slika 4. Godišnji hodovi temperature zraka t (a), brzine vjetra v (b) i relativne vlage zraka U (c) po terminima, Zagreb—Maksimir, 1971—1980.

Figure 3. Annual courses at 7, 14 and 21 LT of cooling power H (a), air enthalpy i (b) and air enthalpy and cooling power ratio i/H (c), Zagreb—Maksimir, 1971—1980.

Figure 4. Annual courses at 7, 14 and 21 LT of air temperature t (a), wind speed v (b) and relative humidity U (c), Zagreb—Maksimir, 1971—1980.

Godišnji hodovi indeksa ohlađivanja po terminima imaju neke neočekivane karakteristike (Sl. 3a):

1) u zimskom razdoblju ohlađivanje je u 14h veće nego u 7h i 21h;

2) ljeti, kad su razlike u temperaturi, ali i u brzini vjetra tokom dana izraženije nego zimi (Sl. 4a i 4c), indeks ohlađivanja u 14h, iako nešto manji, ne razlikuje se mnogo od onog u 7h.

3) u prelaznom razdoblju ohlađivanje je gotovo jednako u sva tri termina.

Anomalije se javljaju zbog razlika u brzini vjetra po terminima tokom čitave godine (Sl. 4c). Međutim, vjerojatno ovakve razlike u brzini strujanja stvarno ne mogu u tolikoj mjeri modificirati razlike u temperaturi, da bi dobiveni odnosi u osjetu bili realni, tim prije što se radi o relativno malim brzinama vjetra (maksimalna srednja brzina vjetra u godini javlja se u 14h u 2. dekadi travnja i iznosi 3.5m/s). Stvarni razlog anomalija leži u činjenici da indeks ohlađivanja, računat po Hillovim formulama ne daje dobru procjenu osjeta ugodnosti kod malih brzina vjetra (u 7h, pa i u 21h). U prilog tome govori i činjenica da je prema omjeru i/H u usporedbi s entalpijom razdoblja hladne (hipertermičke) klime u 7h i 21h skraćeno (sa 22 odnosno 21 dekade u 7h i 21h po entalpiji na 20 dekada po i/H), a produženo trajanje tople (hipertermičke) klime u 7h (sa 5 po entalpiji na 6 dekada po i/H), iako je za očekivati da će rashladni efekt vjetra djelovati upravo suprotno — produžiti trajanje hladnog a skratiti trajanje toplog razdoblja.

Omjer i/H pokazuje najbolje rezultate u godišnjem hodu za 14h. U tom terminu kad je vjetar jači i kad mu je brzina tokom godine rijetko manja od 2 m/s, skraćeno je trajanje tople, a produženo trajanje hladne bioklime prema omjeru i/H u odnosu na entalpiju (Tab. 6b-c). Prema entalpiji razdoblje hipertermičke (tople) klime u 14h traje 14 dekada (od sredine svibnja do kraja listopada), od čega ih je čak 12 »neugodno toplih«. Rashladni utjecaj vjetra (prema i/H) skraćuje ovo

razdoblje na 11 dekada, od čega su svega tri »neugodno tople«. U ovom dijelu godine ujutro je toplije nego navečer (prema i/H), ali ovo treba uzimati s rezervom zbog nepouzdanosti Hillovih formula kod slabog vjetra, a brzine vjetra u 7h često su ispod 1 m/s (sl. 4c).

Prema entalpiji, hipotermička klima u 14h traje od kraja listopada do kraja ožujka (16 dekada), s najčešćim osjetom »vrlo svježeg«. Međutim, zbog djelovanja vjetra uvaženog u omjeru i/H , u 14h je »svježeg« i sredinom travnja, kad su i brzine vjetra najveće (3.5 m/s), a od kraja listopada do kraja ožujka prevladava osjet »hladnoga«, za razliku od entalpije.

4.3. Analiza uporabivosti indeksa ohlađivanja za različite brzine vjetra

Nepreciznost Hillovih formula za određivanje indeksa ohlađivanja, posebno kod malih brzina vjetra, potakla je njegovo detaljnije analiziranje. Zanimalo nas je kako se mijenja temperatura s promjenom brzine vjetra za konstantan indeks ohlađivanja. U tu svrhu odabran je indeks ohlađivanja $H = 630 \text{ J/m}^2\text{s}$, kojem odgovara osjet »blagog«, dakle ugodnog, i iz Hillovih formula (1') i (2') računane su odgovarajuće temperature za danu brzinu vjetra (prema formulama za $v < 1 \text{ m/s}$ i $v \geq 1 \text{ m/s}$), a rezultati su dani u Tab. 7.

Iskustvo nam govori da će npr. u zatvorenom prostoru, dakle praktički bez strujanja, biti ugodno pri temperaturi od 20-22°C. Iz Tab. 7. proizlazi da je za osjet ugodnog uz ovakvu temperaturu potrebno strujanje od oko 3 m/s. Čini se stoga da indeks ohlađivanja računat po Hillovim formulama ne daje najbolje rezultate čak ni do 3 m/s. S druge strane, kod vrlo slabog strujanja, prema indeksu ohlađivanja bilo bi ugodno kod temperatura ispod nule. Treba napomenuti da ovdje nije uzimana u obzir vlaga koja bi nešto modificirala osjet. Međutim, u svakom slučaju procjena osjeta ugodnosti prema ovako računatom indeksu ohlađivanja ne može se smatrati prikladnom, posebno kod vrlo slabog strujanja koje u Zagrebu ni u klimatskom prosjeku nije rijetko.

Tabela 7. Temperature (t) računane prema Hillovim formulama za različite brzine vjetra (v) uz indeks ohlađivanja $H = 630 \text{ J/m}^2\text{s}$.

Table 7. Temperature (t) calculated from Hill's equations for various wind speeds (v) and cooling power $H = 630 \text{ J/m}^2\text{s}$.

v(m/s)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
t(°C)	-38.5	-9.4	-3.1	0.7	3.4	5.4	7.1	8.4	9.6	10.6
v(m/s)	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
t(°C)	11.5	12.4	13.2	14.0	14.6	15.2	15.8	16.3	16.8	17.2
v(m/s)	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
t(°C)	17.6	18.4	19.0	19.6	20.1	20.6	21.0	21.4	21.8	22.2
v(m/s)	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0				
t(°C)	22.5	22.8	23.1	23.3	23.6	23.8				

4.4. Analiza pojave sparine

Ljudski organizam može posebno nepovoljno reagirati na sparinu — veliku količinu vlage u zraku uz visoku temperaturu, posebno ako ona duže potraje (NOVAKOVIĆ, 1983). Stoga je vrlo značajna karakteristika zagrebačke bioklime da se (u prosjeku) sparina ne javlja niti po jednom bioklimatskom kriteriju — prema entalpiji, omjeru i/H, kao i efektivnoj i ekvivalentnoj temperaturi i indeksu neugode, koji su također određivani. Samo ekvivalentna temperatura u tri ljetne dekade (drugoj srpanjskoj i 1. i 2. u kolovozu) u 14h prelazi vrijednost od 49°C, što može biti opasno za bolesni organizam.

Međutim, to ne znači da nema i sparnih dana, bilo da se sparina javlja samo par sati u danu, bilo da traje i čitavog dana. Stoga je prema Scharlauovom kriteriju određivan broj dana u mjesecu sa sparinom ($e > 18.8$ hPa) u 7h, 14h ili 21h za svaki mjesec desetogodišnjeg razdoblja i izračunat prosječni broj dana u mjesecu sa sparinom u određenom terminu (Tab. 8).

Sparine se javljaju od svibnja do listopada, a najčešće su u kolovozu. U lipnju i srpnju češće su ujutro i navečer nego u 14h. Međutim, budući da Scharlauov kriterij ne uvažava temperaturu posebno, ove jutarnje i večernje sparine vjerojatno su prije posljedica veće količine vlage nego nepovoljne kombinacije vlage i temperature koja rezultira sparinom. Realno je za očekivati da bi stvarni broj sparnih dana u Zagrebu bio manji kad bi se uvažio utjecaj vjetra.

Tabela 8. Srednji broj dana u mjesecu sa sparinom u 7h, 14h ili 21h prema Scharlauovom kriteriju, $e > 18.8$ hPa u Zagreb—Maksimiru, razdoblje 1971—1980.

Table 8. Average number of days in month with sultriness at 7, 14 or 21 LT based on Scharlau's criterion, $e > 18.8$ hPa, Zagreb-Maksimir, 1971 — 1980.

mjesec termin	V	VI	VII	VIII	IX	X
07h	0.1	3.0	5.8	7.7	0.9	—
14h	0.2	2.7	6.3	9.4	2.5	0.4
21h	0.1	3.5	8.0	8.7	1.4	—

5. ZAKLJUČAK

Bioklimatske prilike u Zagrebu tokom godine mijenjaju se, prolazeći čitavu skalu osjeta od »vrlo hladnog« do »neugodno toplog«, ali ne i sparnog u prosjeku. Hladna su razdoblja duža od toplih i odvojena kratkim periodima ugodne bioklime (za dnevne srednjake bioklimatskih indeksa).

Međutim, procjena osjeta ugodnosti ovisi o korištenom bioklimatskom indeksu, ali i o preciznosti određene skale. Brazolova skala osjeta finije je stupnjevana od Schmidtove, osobito za osjet toplog. Posebno valja naglasiti da indeks ohlađivanja računat po Hillovim formulama nije najpodesniji za Zagreb, jer daje nerealne vrijednosti za male

brzine vjetra (manje od 3 m/s), koje su u Zagrebu najčešće. Trebalo bi ispitati da li su indeksi ohlađivanja računati prema drugim formulama prikladniji (LANDSBERG, 1972).

Smatramo da je omjer i/H, budući da uvažava i temperaturu i vlagu i brzinu strujanja, prikladnija veličina za procjenu bioklimatskih prilika nego što su to entalpija i indeks ohlađivanja. Ovaj indeks pokazuje posebno dobre rezultate kod većih brzina vjetra (u 14h), kad ublažava osjet toploga, ali i pojačava osjet hladnoga. Međutim, kod malih brzina vjetra (posebno u 7h) nerealne vrijednosti indeksa ohlađivanja iskrivljuju i omjer i/H.

Budući da je analiza bioklimatskih prilika u Zagrebu u ovom radu napravljena na temelju podataka za Maksimir, potrebno je napomenuti da se one mogu nešto razlikovati u centru grada. Zbog postojanja »toplinske kape« nad gradom, posebno u noćnim satima, a nešto nižih temperatura i manje količine vlage u toku dana na Griču (POJE, 1974; PLEŠKO, 1983), treba očekivati da će i raspon osjeta tokom godine u gradu biti manji, s ugodnijim jutrima zimi i podnevima ljeti.

Pored toga treba naglasiti da su brzine vjetra različite na visini od 10 m (na kojoj se mjere) i na visini na kojoj se čovjek kreće. Budući da je, kad brzina vjetra nije jako velika, strujanje pri tlu slabije, i osjet će biti drugačiji, što će ljeti rezultirati većom vrućinom i osjetom sparine.

LITERATURA

- ATLAS KLIME SR HRVATSKE (1977), Republički hidrometeorološki zavod SRH, Zagreb
- BÖER, W. (1964): Technische Meteorologie, Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 290
- CONRAD, V., L. W. POLLAK (1950): Methods in Climatology, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 459
- CRITCHFIELD, H. J. (1974): General Climatology, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 446
- GREGORCZUK, M. (1968): Bioclimates of the World Related to Air Enthalpy, Int. J. Biometeor., Vol. 12, No 1, 35-39
- LANDSBERG, H. E. (1972): The Assessment of Human Bioclimate, WMO Tech. Note No 123, 36
- NOVAKOVIĆ, J. (1983): Vjerojatnost pojave i trajanja različitog toplinskog osjeta u Zagrebu tokom 1981, Rasprave 18, RHMZ SRH, Zagreb
- PENZAR, B. (1974): Studija o indeksu ohlađivanja na istočnom dijelu Jadrana, Acta Adriatica, Vol. XV, No 6, 46
- PLEŠKO, N. (1979): Turističko zdravstveni aspekt klimatskih prilika na Jadranu, Druga konferencija o zaštiti Jadrana, Zbornik referata, Hvar, 203-213.
- PLEŠKO, N. (1983): Biometeorološki indeksi u ocjeni termičkog komfora Zagreba za vrijeme različitih sinoptičkih situacija, Rasprave 18, RHMZ SRH, Zagreb
- POJE, D., N. ŠINIK, E. LONČAR, N. PLEŠKO, G. HRABAK-TUMPA, Z. KATUŠIN, Z. BOLONČA (1974): Ovisnost zagađenosti zraka u Zagrebu o meteorološkim faktorima, Rasprave i prikazi, No 11, Zagreb, 86-97
- VUJEVIĆ, P. (1956): Klimatološka statistika, Naučna knjiga, Beograd, 150-153.

SUMMARY

The bioclimate in Zagreb is represented on the basis of few bioclimatic indices (equations (1) to (6)), and climatic and sensation scales (Tab. 1-3) proposed by Schmidt, Conrad and Brazol. Some of these indices include only temperature and wind speed, other only temperature and humidity for thermal comfort and climate evaluation. Therefore, air enthalpy and cooling power ratio (i/H) and corresponding sensation scale and climatic classification are used (Tab. 4). This complex index takes into consideration temperature and humidity (enthalpy) as well as the wind speed (cooling power).

Bioclimatic conditions in Zagreb change over the year, moving through the entire comfort sensation scale — from »very cold« to »uncomfortably warm«, but not sultry on the average. Cold periods last longer than warm ones (19 cold and 9 warm ten-day periods, according to i/H) and are separated by short intervals of ideal bioclimate in spring and autumn, mainly in May, September and early in October (according to daily mean values of bioclimatic indices) (Tab. 5, Fig. 2). The first ten-day period in August is the warmest, the first half of January the coldest part of the year.

Meteorological parameters responsible for comfort sensation change most rapidly at 14 LT (GMT+1). Consequently, bioclimatic indices have the greatest annual amplitude at 14 LT, and periods with ideal bioclimate last shorter at 14 LT than at 7 and 21 LT (8 ten-day periods with ideal bioclimate at 14 LT in comparison with 10, ie. 11 ten-day periods at 7 and 21 LT, according to i/H) (Tab. 6, Fig. 3). At the same time, extreme sensation of »very cold« appears, on average, only at 7 and 21 LT, and »uncomfortably warm« at 14 LT.

In comparison with other bioclimatic indices, cooling power has unreal values for low wind speeds. For example, if there is no air movement, it would be comfortable ($H=630 \text{ J/m}^2\text{s}$) at -38.5°C (Tab. 7), which is impossible. From experience everybody knows that inside, practically lacking air movement, it is comfortable at about $20-22^\circ\text{C}$. It follows from tab. 7, that temperature calculated from Hill's equations reaches this value when the wind speed is about 3 mps. Since wind speeds in Zagreb on the average are lower than 3 mps, cooling power is not a convenient index for bioclimatic assessment.

Air enthalpy and cooling power ratio gives the best results, especially at 14 LT, when the wind is stronger. Unreal values of cooling power spoil this ratio for weak wind, specially at 7 LT.