

## Biometeorološki indeksi u ocjeni termičkog komfora Zagreba za vrijeme različitih sinoptičkih situacija

### Biometeorological Indices in Assessment of Thermal Comfort in Zagreb during Various Synoptic Situations

NADA PLEŠKO

Republički hidrometeorološki zavod SRH, Zagreb

**Sažetak:** U radu je dan pregled biometeoroloških indeksa danas najčešće korištenih u svijetu za bioklimatsko klasificiranje, kao i za ocjenu pravog termičkog komfora čovjeka. Neki od tih indeksa (indeks ohlađivanja, entalpija zraka, ekvivalentna temperatura zraka, te omjer entalpije i indeksa ohlađivanja) bazirani na utjecaju različitih kombinacija meteoroloških elemenata na toplinski osjet čovjeka, primijenjeni su na zagrebačko područje u 6 različitih sinoptičkih situacija. Izvršena je analiza prostorne i vremenske raspodjele toplinskog osjeta u Zagrebu kao i analiza upotrebljivosti gore spomenutih indeksa u različitim vremenskim prilikama.

**Ključne riječi:** Biometeorološki indeksi; Termički komfor; Različite sinoptičke situacije; Zagreb; Zdravlje čovjeka.

**Abstract:** Survey of biometeorological indices most frequently used in the world for bioclimatic classification of a certain region and for assessment of man's actual thermal sensation has been represented. Several of these indices based on the various meteorological elements combined influence upon man's thermal sensation (cooling power, air enthalpy, equivalent temperature and ratio of air enthalpy and cooling power) have been applied to the estimation of thermal sensation in Zagreb during six varied synoptic situations. Thermal sensation spatial and temporal distribution were studied as well as the applicability of aforementioned indices under various weather conditions.

**Key words:** Biometeorological indices; Thermal comfort; Various synoptic situations; Zagreb; Man's health.

#### 1. UVOD

Bez obzira u kojoj sredini se čovjek nalazi, u zatvorenom ili otvorenom prostoru, mikroklima tog prostora djeluje na njega i sudionik je u proizvodnji određenog termičkog osjeta ili, kako ga često zovu, osjeta ugodnosti. Mnogo je faktora, zapravo, koji sudjeluju u formiranju tog osjeta, a preko njega djeluju i na zdravlje.

Jedno su faktori koji obilježavaju fizičku sredinu u kojoj čovjek boravi i to su: temperatura zraka, relativna vlaga, strujanje, zračenje (kratkovalno i dugovalno), tlak zraka, kvalitet zraka, svjetlo i zvuk (ROHLES, 1971).

Drugo su faktori koji su individualna karakteristika svakog čovjeka i to su: dob, spol, genetičke karakteristike, zdravlje općenito, psihičko stanje.

Treće su tzv. recipročni faktori kojima čovjek reagira na stanje svoje okoline i to su: prehrana, odijevanje, aktivnost, ekspozicija itd.

Svi ovi faktori zajedno sudjeluju u formiranju određenog termičkog komfora neke osobe u datom trenutku i u određenoj sredini. Budući da je čovjek homeoterm, odnosno biće čija se normalna temperatura mora zadržati na približno 37°C da bi on bio zdrav, to mu najbolje odgovaraju takvi uvjeti u njegovoj okolini koji omogućavaju neprijetan prijelaz suviška topline proizvedenog procesima metabolizma (izmjene tvari u organizmu) i njegovom aktivnošću na okolni zrak. Ukoliko je prijelaz topline s tijela na okolni zrak otežan zbog previsokih temperatura zraka, stupaju u akciju njegovi regulatorni mehanizmi. Šire se krvne žile na površini tijela, da bi se što veće količine

krvi rashlađivale, ubrzava se frekvencija srca, da bi se što više krvi i što brže transportirala na površinu tijela i tako omogućilo rashlađivanje. Započinje i znojenje, koje pri isparavanju također troši toplinu tijela. Ukoliko je, uz visoku temperaturu zraka, i sadržaj vlage u zraku previsok, tijelo ne može isparavanjem znoja gubiti suvišnu toplinu, pa nastaju naročito nezdravi, sparni uvjeti. Rad srca je još više otežan, jer je otežan i gubitak topline preko respiratornog trakta. Teško se diše. Takvi uvjeti postaju opasni i po život osoba čije je zdravlje narušeno, zbog čega i mehanizmi za adaptaciju ne funkcioniraju dobro.

Pored temperature i vlage zraka postoje i drugi faktori okoline, kao na primjer — strujanje zraka, koji doprinose značajno termičkom osjetu određenih mikroklimatskih prilika. Što je veća brzina strujanja zraka oko tijela, to je brže odvođenje topline od tijela i ubrzano ohlađivanje. No pri vrlo visokim temperaturama zraka i visokoj vlazi ni jako strujanje zraka ne može stvoriti ugodne uvjete. Ukoliko je zrak topliji od tijela, jako strujanje čak ubrzava prijenos topline na tijelo. Tada je potrebno rashlađivanje zraka, ako se radi o boravku u zatvorenom prostoru, ili barem rashlađivanje tijela kupanjem.

Na toplinski osjet koji tvori kombinacija temperature, vlage i strujanja zraka, može u velikoj mjeri utjecati i izloženost direktnom zračenju bilo sa Sunca, bilo s nekog drugog izvora. Zato, ako su temperature zraka visoke, a pogotovo ako su udružene s visokom vlagom zraka, koja otežava ohlađivanje tijela znojenjem, čovjeku je prevruće i sparno pa »bježi sa Sunca« i barem na taj način smanjuje efekt zagrijavanja.

Naravno, na takve se uvjete reagira i smanjenom odjevenošću, laganijom odjećom, smanjenom potrebom za hranom, smanjenom aktivnošću, naročito fizičkom, te se izbjegava zračenje bilo kojeg toplinskog izvora, prirodnog ili umjetnog. Zato i nije čudna prirodna »lijenost« ljudi u vrućim klimama, jer je to u stvari neophodna obrana od prilika u njihovoj okolini.

U slučaju niskih temperatura, pogotovo ako još postoji jače strujanje zraka, situacija je obrnuta, jer postoji opasnost da se tijelo čovjeka ohladi ispod njegove normalne temperature od 37°C. Tada se čovjek u prvom redu štiti odjećom bolje toplinske izolacije od prevelikog gubitka topline, a osim toga opet stupaju u akciju obrambeni mehanizmi organizma. Dolazi do konstrikcije perifernih krvnih žila, zbog čega se krv zadržava u unutarnjim dijelovima tijela, čuvajući na taj način toplinu tijela. Javlja se povećana potreba za proizvodnjom topline u tijelu, odnosno za hranom, za kaloričnijom hranom kao i povećana potreba za kretanjem. Ukoliko je ipak gubitak topline s površine tijela prevelik javlja se drhtanje kao posljedica povećane mišićne aktivnosti u proizvodnji topline.

Čovjek izbjegava boravak uz hladne predmete, jer zračenjem njegova toplina, čak u mirnoj atmosferi, prelazi na hladnije predmete u okolini.

Poznat je slučaj, da se čovjek neće osjećati ugodno u prostoriji gdje je temperatura zraka dovoljno visoka da bude ugodno, gdje nema vjetera i gdje je vlaga optimalna, ako su zidovi prostorije hladni.

Pridruže li se svemu opisanom još i individualne karakteristike pojedinog čovjeka, u prvom redu dob i zdravstveno stanje, koji su usko povezani s funkcioniranjem termoregulacijskih mehanizama, jasno je da je određivanje osjeta ugodnosti, odnosno termičkog osjeta u određenom trenutku, kompleksan problem. Zbog toga je osjet nemoguće u cjelini predočiti jednim pokazateljem. Stoga su nužna pojednostavnjenja, koja ipak sadrže najbitnije elemente za termički osjet svakog čovjeka. To su u svakom slučaju temperatura, vlaga i strujanje zraka. Upravo na djelovanje ovih meteoroloških elemenata na osjet ugodnosti bit će usmjerenajveća pažnja u ovom radu.

## 2. BIOMETEOROLOŠKI INDEKSI — PROBLEMATIKA

Problemom mikroklimatskih prilika sa stanovišta termičkog osjeta u zatvorenom prostoru, bilo da se radi o stanovima, uredskim prostorijama, školama, bolnicama, tvorničkim halama itd., bave se najviše stručnjaci koji projektiraju uređaje za zagrijavanje ili hlađenje zatvorenog prostora. Zato danas u svijetu postoje brojni empirijski bioklimatski indeksi, koji su izvedeni kao kombinacija u prvom redu temperature i vlage, a ponekad i slabog strujanja kakvo može postojati u zatvorenom prostoru — i istovremenog toplinskog osjeta kod grupe ispitivanih ljudi. Budući da se kod pojedinaca javlja različit osjet, onaj osjet koji registrira većina ispitivanih osoba, pridružuje se određenoj kombinaciji temperature vlage i vjetera. Tako su empirijski dobivene razne bioklimatske klasifikacije i pripadni indeksi.

Ti se indeksi, iako primarno izvedeni za ocjenu termičkog komfora u zatvorenom prostoru, kao npr. vrlo često korištena efektivna temperatura ET, primijenjuju i za ocjenu komfora na otvorenom prostoru.

U novije vrijeme indeksi termičkog komfora izvode se na bazi jednadžbi toplinske ravnoteže između tijela i njegove okoline, često uz uključivanje faktora kao što su odjevenost i aktivnost (FANGER, 1972). Takvi kompleksni indeksi se mogu primjenjivati u lječilištima u terapijske svrhe, jer omogućavaju da se u datim mikroklimatskim prilikama odredi nivo aktivnosti, a da termički osjet ostane u okviru ugodnog (JENDRITZKY, 1978.). Oni također omogućavaju da se bilo grijanjem, bilo hlađenjem stvore najidealniji uvjeti u zatvorenom prostoru za postizavanje najveće radne ili sportske aktivnosti.

Pored ovih indeksa, koje ponekad zovu biometeorološki, a ponekad bioklimatski — a određuju stvarni termički osjet čovjeka u nekoj sredini u određenom trenutku, ti se indeksi upotrebljavaju

i za ocjenu klime u bioklimatskom smislu. Bioklimatske razdiobe podesne su za međusobnu usporedbu, prostornu i vremensku, raznih područja, da bi se ustanovilo koje je područje i kada povoljnije sa zdravstvenog stanovišta od nekog drugog. Na takvim se onda mjestima izgrađuju lječilišta, koja kao važan faktor liječenja koriste prirodne mikroklimatske prilike. No i u takvim prosječno vrlo povoljnim bioklimama treba voditi računa o mogućem rasponu trenutnih osjeta ugodnosti, jer je kroz 3—4 tjedna boravka (najčešće) u takvoj klimi, organizam izložen djelovanju stvarnih prilika u tom periodu a ne nekoj prosječnoj višegodišnjoj klimi. Zato je pri planiranju liječenja poželjnije poznavanje vjerojatnosti za pojavu određenog osjeta u pojedinim dijelovima godine nego prosječni osjet unutar kojeg mogu biti sakriveni i vrlo nepovoljni termički osjeti.

O biometeorološkim indeksima koji se koriste za ocjenu termičkog komfora u zatvorenom prostoru, bilo da su izvedeni kao empirička formula, bilo samo kao grafički prikaz u koji se ulazi s dva ili tri meteorološka elementa (temperatura, vlaga i samo vrlo slabi vjetar), nećemo ovdje pisati. O tim se indeksima dosta sistematski govori u radovima GIVONIJA (1976), OLIVERA (1973), TROMPA (1980), GREGORCZUKA i CENE (1967), GREGORCZUKA (1968), TERJUNGA (1968), LANDSBERGA (1972), kao i brojnih drugih autora. Uključenje nemeteoroloških parametara, kao što su odjeća i aktivnost, u toplinsku ravnotežu između čovjeka i njegove okoline u zatvorenom prostoru, obilježene parametrima kao što su temperatura, vlaga, strujanje i zračenje, detaljno je obradio FANGER (1972). Njegov su model prilagodili za upotrebu na otvorenom, uvodenjem vanjske temperature zračenja, JENDRITZKY i SÖNNING (1978).

Ne postoji danas instrument kojim bi se mogao direktno mjeriti termički osjet što ga određene meteorološke prilike proizvode kod neke osobe ili grupe ljudi. Postoje samo katatermometri i frigorimetri (globe-termometri), koji mjere veličinu ohlađivanja ljudskog tijela u datim uvjetima (MUNN, 1970). U najnovije vrijeme (1982) izrađen je u Danskoj instrument za određivanje kompleksnog termičkog komfora, koji je kombinacija senzora za mjerenje meteoroloških parametara i mikroprocesora, koji na osnovi jednadžbi FANGERA (1972) izračunava osjet ugodnosti. Te jednadžbe, pored meteoroloških parametara: temperature zraka, temperature zračenja, brzine vjetra i tlaka vodene pare, uključuju u termički osjet i nemeteorološke parametre: intenzitet aktivnosti i vrstu odjeće. Taj je instrument predviđen za upotrebu u zatvorenim prostorima, a ima, na osnovi eksperimentalnih rezultata, programski čak ugrađen procent osoba nezadovoljnih određenim toplinskim prilikama. Ovaj je instrument naročito pogodan za primjenu u studijama profesionalnih oboljenja, kod ispitivanja grijanja, ventilacije, za određivanje optimalnih uvjeta u operacionim salama i u sportskim dvoranama ili za određivanje nivoa aktivnosti u svrhu rehabilitacije u lječili-

štima.

### 3. PREGLED DANAS NAJVIŠE KORIŠTENIH BIOMETEOROLOŠKIH INDEKSA

Unatoč brojnim faktorima koji sudjeluju u formiranju toplinskog osjeta, danas se još uvijek u praksi najčešće koriste oni biometeorološki indeksi koji se iz registriranih podataka o temperaturi i vlazi ili o temperaturi i brzini vjetra dobivaju računskim putem ili pomoću nomograma.

#### a) Indeksi iz temperature i vlage zraka

1. Jedan od najšire upotrebljivanih indeksa za ocjenu toplinskog komfora u vanjskom prostoru je Missenardova **efektivna temperatura**, čija empirička formula glasi:

$$ET = T - 0.4 (T - 10) (1 - RH/100)$$

gdje je: ET — efektivna temperatura u °C,

T — temperatura zraka u °C,

RH — relativna vlaga u %.

Smatra se da su najugodnije prilike za većinu ljudi uz  $ET \approx 20^\circ\text{C}$  (LANDSBERG, 1972), a da sparina nastaje uz  $ET > 24^\circ\text{C}$ .

Koristeći ovu formulu GREGORCZUK i CENA (1967) izradili su karte s prostornom raspodjelom ET na Zemlji za siječanj i srpanj.

Taj se indeks koristi i za ocjenu ugodnosti u zatvorenom prostoru, za koji su obično izrađeni nomogrami. Po definiciji, efektivna temperatura je ona temperatura kod koje će miran zasićen zrak proizvoditi isti osjet ugodnosti kao što će ga proizvesti stvarni uvjeti temperature vlage i slabog strujanja, kod osoba koje sjede i rade obučene u običnu sobnu odjeću (MUNN, 1970).

WUCHERLEY (1967) je u svom radu za Maleziju prikazao razdiobu osjeta prema vrijednosti ET i to ovako:

ET °C	osjet
>24.5	vrlo vruće
22.8—24.5	vruće
20.6—22.8	optimalno
18.9—20.6	prohladno
<18.9	hladno

Nedostaje joj detaljnija diferencijacija ekstremnih osjeta, da bi se mogla koristiti za razna područja.

2. Vrlo se mnogo koristi THOMOV (1959) **indeks neugode DI** (discomfort index), koji je on uveo umjesto ET, da bi se lakše računao termički osjet, direktno iz mjerene temperature suhog i mokrog termometra. Glasi:

$$DI = 0.4 (t + t_m) + 4.8$$

gdje je: DI — indeks neugode u °C, a t i  $t_m$  temperature suhog i mokrog termometra u °C (LANDSBERG, 1972; SARGENT and TROMP, 1964). Ovaj

indeks često zovu i **indeks temperature i vlage THI** (temperature — humidity index), pa se pod jednim od ta dva naziva nalazi u literaturi.

Mnogi rade prostorne razdiobe tog jednostavnog indeksa, koji uvažava samo temperaturu i vlagu zraka u ocjeni osjeta ugodnosti (JAUREGUI and SOTO, 1967; KAWAMURA, 1966). Međutim, pod terminom — indeks neugode — razni autori (RUBINSTEIN, GANOR and OHRING, 1980; TOUT, 1980) uvode i druge empiričke izraze, kao npr.

$$DI = (t + t_m) / 2$$

gdje je: DI — indeks neugode u °C, a t i t<sub>m</sub> temperature suhog i mokrog termometra u °C. Isti su autori za svoje područje radili i prostorne razdiobe tog indeksa, koristeći pri tom klasifikaciju prema THOMU (1959):

DI °C	osjet
20	svi se ljudi osjećaju ugodno
24	polovina ljudi osjeća se neugodno
28	većina ljudi osjeća se neugodno

Amerikanci koriste još dosta i **indeks ugone CI** (comfort index), koji se određuje iz nomograma uz pomoć podataka o temperaturi i vlazi zraka (OLIVER, 1973; TERJUNG, 1968). Izradili su i globalnu razdiobu mjesečnog indeksa ugone za siječanj i srpanj, kombinirajući dnevne i noćne indekse ugone u cjelovitu ocjenu osjeta, koji obilježava određenu klimu za taj mjesec (TERJUNG, 1968).

3. Bioklimu svijeta na osnovi **entalpije zraka**, odnosno ukupnog sadržaja topline u zraku, obradio je GREGORCZUK (1968), izradivši prostornu razdiobu entalpije, također za siječanj i srpanj. Entalpija se računa po jednadžbi BÖERA (1964):

$$i = 0.24 \left( t_m + \frac{1555.0}{p} E_t \right),$$

odnosno prerađeno u SI-jedinice:

$$i = 1004 \cdot \left( t_m + \frac{1555}{p} E_t \right)$$

gdje je: i — entalpija zraka u kcal/kg (SI; J/kg); t<sub>m</sub> — temperatura mokrog termometra u °C, p — tlak, zraka u mmHg (SI; hPa), E<sub>t</sub> — maksimalni tlak vodene pare u mm Hg (SI; hPa) kod određene temperature zraka t. U usporedbi s drugim analognim bioklimatskim indeksima, vrijednost entalpije leži u činjenici, kaže Gregorcuk, da je izražena u istim fizikalnim jedinicama (kcal/kg) kao i metabolizam toplokrvnih bića (kcal/kg/sat). Skalu osjeta za određenu vrijednost entalpije dao je BRAZOL (GREGORCZUK, 1968).

4. Još se jedan indeks, koji koristi samo temperaturu i vlagu zraka, upotrebljava često u praksi i to osobito za ocjenu osjeta sparine. Posebno se mnogo koristi u radovima njemačkih autora (MAYER, 1975; 1977; MAYER und ABELE; 1977). To je **ekvivalentna temperatura T<sub>eq</sub>**. Definirana je

kao ona temperatura koju bi zrak poprimio kada bi se sva u njemu sadržana vodena para kondenzirala, a oslobođena latentna toplina iskoristila za zagrijavanje tog zraka (izobarno). Izračunava se iz:

$$T_{eq} = t + \frac{0.622 \cdot L \cdot e}{p \cdot c_p}$$

gdje je: T<sub>eq</sub> — ekvivalentna temperatura zraka u °C

L — latentna toplina isparavanja (L=597.3 cal g<sup>-1</sup>, odnosno u SI L=2500 · 10<sup>3</sup> J/kg)

e — tlak vodene pare u mmHg, odnosno hPa (SI)

p — tlak zraka u mmHg, odnosno hPa (SI)

c<sub>p</sub> — specifična toplina zraka uz konstantan tlak (c<sub>p</sub> = 0.24 cal g<sup>-1</sup> grad<sup>-1</sup> ili u SI c<sub>p</sub> = 1.004 · 10<sup>3</sup> J/kg °C).

Ukoliko je T<sub>eq</sub> > 56°C, javlja se osjet sparine po ranije spominjanim njemačkim autorima. Za lječilišta i bolnice, odnosno za bolesne osobe, kriterij za osjet sparine je pooštren, te se uzima da je sparno uz T<sub>eq</sub> > 49°C (BEGRIFFSBESTIMMUNGEN ..., 1979).

Vrlo jednostavan kriterij za ocjenu sparine dao je još SCHARLAU (LANDSBERG, 1972). Po njemu vrijednost tlaka vodene pare od 18.8 mbar-a (14.1 mmHg ili u SI 18.8 hPa) predstavlja granicu iznad koje se javlja sparina. No taj se indeks danas rjeđe koristi od T<sub>eq</sub>.

Postoje još i drugi biometeorološki indeksi bazirani na temperaturi i vlazi, ali se oni koriste pretežno samo za ona područja na kojima su i nastali (MUNN, 1970; LANDSBERG 1972; CRITCHFIELD, 1974).

## b) Indeksi iz temperature i strujanja zraka

1. Mnogo upotrebljavani biometeorološki indeks baziran na zajedničkom utjecaju temperature i vlage zraka je **indeks ohlađivanja H** (cooling power). Taj indeks pokazuje koja se količina topline gubi s cm<sup>2</sup> ljudskog tijela u sekundi u datim uvjetima temperature i vjetra. Ta se količina topline može mjeriti katatermometrom, ili frigoriometrom, ali se češće koristi jedna od brojnih empiričkih formula (LANDSBERG, 1972; CONRAD and POLLAK, 1950). Svaka od njih vrijedi za određeni interval brzina vjetra. Još 1937. HILL je dao odvojene formule, za brzine vjetra manje od 1 m/s od one za veće brzine. Upravo se one danas još veoma mnogo koriste. Glase (u starim mjernim jedinicama, koje se nalaze u literaturi):

$$H = (0.20 + 0.40 v^{0.5}) (36.5 - t) \text{ za } v < 1 \text{ m/s}$$

$$H = (0.13 + 0.47 v^{0.5}) (36.5 - t) \text{ za } v \geq 1 \text{ m/s}$$

gdje je: H — indeks ohlađivanja u mcal cm<sup>-2</sup> sek<sup>-1</sup>; v — brzina vjetra u m/s, t — temperatura zraka u °C. Izraz (36.5 - t) predstavlja razliku temperature tijela i temperature zraka.

U novim mjernim jedinicama međunarodnog sistema — SI, one glase:



$$H = 41,87 (0,20 + 0,40 v^{0.5}) (36.5 - t) \quad (\text{za } v < 1 \text{ m/s})$$

$$H = 41,87 (0,13 + 0,47 v^{0.5}) (36.5 - t) \quad (\text{za } v \geq 1 \text{ m/s})$$

pri čemu se sada  $H$  dobiva u  $\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , a ostale jedinice ostaju nepromijenjene.

Za indeks ohlađivanja određene su i skale osjeta, kao i klasifikacija klime (CONRAD and POL-LAK, 1950). I za naše su područje razni autori koristili indeks ohlađivanja, kako za ocjenu klime, tako i za ocjenu termičkog osjeta u raznim sinoptičkim situacijama (PENZAR, 1974).

Iskustvo je pokazalo, kaže LANDSBERG (1972), da je indeks ohlađivanja reprezentativan samo za srednje klase u skali osjeta. Za ekstremno hladni osjet bolji je wind-chill indeks, jer više odgovara fiziološkim događajima, odnosno mogućnosti smrzavanja. Za topli dio skale, veliki broj drugih, već opisanih indeksa, kao npr. DI ili ET, bolje odgovara, po LANDSBERGU, ljudskim reakcijama nego indeks ohlađivanja.

2. **Wind-chill indeks** se koristi za ocjenu onih situacija kada je temperatura zraka negativna i kad pušu jaki vjetrovi, pa su gubici topline s tijela konvekcijom jako veliki. Prema SIPLEU i PASSELU (MUNN, 1970) wind-chill indeks se računa iz empiričke jednadžbe:

$$Q_H = (10 \cdot v^{0.5} + 10.45 - v) (33 - t),$$

odnosno u SI — jedinicama

$$Q_H = 1.163 \cdot 10^{-3} (10v^{0.5} + 10.45 - v) (33 - t),$$

gdje je:  $Q_H$  — wind chill indeks u  $\text{kcal m}^{-2} \text{sat}^{-1}$  (odnosno  $\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$  u SI-jed.);  $v$  — srednja brzina vjetra u m/s,  $t$  — temperatura zraka u  $^{\circ}\text{C}$ . Izraz  $(33 - t)$  je razlika između normalne temperature kože i temperature zraka. Gornja jednadžba za  $Q_H$  može poslužiti da se normaliziraju različite kombinacije  $v$  i  $t$  na referentnu brzinu vjetra od 2.2 m/s, tj. da se  $t$  pretvori u onu temperaturu uz koju bi postojao isti gubitak topline  $Q_H$  kao kad bi brzina vjetra bila samo 2.2 m/s. To je onda »wind-chill temperatura«, o kojoj se za hladnih valova u SAD daju često informacije na radiju i u štampi (MUNN, 1970).

Postoje i drugi izrazi za wind-chill indeks, u kojima su koeficijenti nešto izmijenjeni, uostalom kao i kod indeksa ohlađivanja (TROMP, 1980; MUNN, 1970).

#### 4. IZBOR INDEKSA ZA PRIMJENU NA ZAGREBAČKO PODRUČJE

Iz pregleda najčešće upotrebljivanih biometeoroloških indeksa vidjelo se da ni jedan od njih ne uključuje istovremeni utjecaj temperature, vlage i vjetra na osjet ugodnosti na otvorenom prostoru. Postoji, doduše, fizioklimagram LEISTNERA, korišten kod nas za ocjenu bioklimate južnog Jadrana (PLEŠKO, ŠINIK, LONČAR, 1973) koji je temeljen na ekvivalentnoj temperaturi kože, određivanoj iz ekvivalentne temperature zraka i brzine vjetra. No, temperatura kože se mnogo rjeđe koristi kao biometeorološki indeks, (budući da nije

ista na cijelom tijelu), nego indeksi izvedeni samo iz meteoroloških elemenata ili onih indeksa u kojima se temperatura kože drži konstantnom. Osim toga, podjednaki su oni indeksi za čije računanje postoje empiričke formule, jer se mogu koristiti elektronska računala.

Za ocjenu bioklimatskih prilika Zagreba odlučili smo zato upotrijebiti dva indeksa, jedan koji uključuje utjecaj temperature zraka i strujanja (indeks ohlađivanja  $H$ ), i drugi koji uključuje utjecaj temperature i vlage zraka (entalpija zraka  $i$ ). Za oba ova indeksa postoje bioklimatske klasifikacije. Svijesni smo toga da će svaki od ovih indeksa u određenim uvjetima iskrivljavati stvarni osjet, jedan u slučaju visoke vlage (indeks ohlađivanja), a drugi u slučaju jačeg vjetra (entalpija).

Zato je kombinacijom ovih dvaju indeksa izveden njihov omjer  $i/H$  kao i pripadni osjet ugodnosti (PLEŠKO, 1979), koji sadrži istovremeni utjecaj temperature, vlage i vjetra na termički osjet. Pretpostavljamo, da je zbog toga najbliži pravom osjetu u datoj vremenskoj situaciji.

Omjer  $i/H$  treba shvatiti kao broj, koji omogućuje da se vidi sposobnost atmosfere da u određenim meteorološkim uvjetima primi toplinu koju će tijelo zdrava čovjeka proizvesti normalnim metabolizmom u mirovanju. Što je omjer  $i/H$  veći, veći je ukupni sadržaj topline u zraku, pa će to teži biti prijelaz topline od tijela u atmosferu. Male vrijednosti omjera označavaju mali sadržaj ukupne topline u zraku, kao i jako strujanje, zbog čega će organizam gubiti mnogo topline i trebat će ga štiti od prejakog ohlađivanja.

Kombinirana bioklimatska klasifikacija izvedena za omjer  $i/H$  (PLEŠKO, 1979) daje detaljniju skalu osjeta nego indeks ohlađivanja sam, a pogotovo u području ekstremnih osjeta, kako vrućeg tako i hladnog.

Tabela 1.

Skala osjeta koji odgovara omjeru  $i/H$  u kombiniranoj bioklimatskoj klasifikaciji.

Table 1.

Sensation scale corresponding to air enthalpy and cooling power ratio ( $i/H$ ) in combined bioclimate classification.

$i/H$	O s j e t	$i/H$ (izveden za nove jedinice SI)
<0.05	izvanredno hladno	<5
0.05	vrlo hladno	5
0.1	hladno	10
0.2	vrlo svježe	20
0.3	svježe	30
0.4—0.5	ugodno svježe	40—50
0.6	ugodno (idealno)	60
0.7—0.8	ugodno toplo	70—80
0.9—1.1	toplo	90—110
1.2—1.5	vrlo toplo	120—150
1.6—2.0	neugodno toplo	160—200
2.1—2.6	nesnosno toplo i sparno	210—260
2.7—3.1	ekstremno toplo i sparno	270—310
>3.1	letalno toplo	>310

Proučavanju ovih triju indeksa  $i$ ,  $H$  te omjeru  $i/H$  provedenom za područje Zagreba, pridružena je i ekvivalentna temperatura  $T_{eq}$ , specijalno kao mjera za ocjenu osjeta sparine.

#### 5. IZBOR VREMENSKIH SITUACIJA, RAZDOBLJA I METEOROLOŠKIH STANICA

Cilj nam je bio proučiti razdiobu stvarnog termičkog osjeta na raznim lokacijama gradskog područja i to za vrijeme veoma različitih sinoptičkih situacija. Odabrali smo one sinoptičke situacije koje mogu predočiti najširi raspon očekivanog osjeta ugodnosti i pokazati koliko se osjet može mijenjati u toku jednog dana. Taj je raspon u prosječnoj slici izglađen i zbog toga nevidljiv, a veoma je značajan za bolesne osobe, koje se moraju iz dana u dan, pa i tokom jednog dana, prilagođavati vrlo različitim atmosferskim prilikama. Kako kod bolesnih osoba mehanizmi za adaptaciju ne funkcioniraju dobro, prilagodba se odvija uz poteškoće, koje se mogu donekle ublažiti ako ih se poznaje.

Potaknuti pripremama za izgradnju nove bolnice u Zagrebu, zbog koje je postavljena meteorološka stanica u Remetincu (s registracijama različitih meteoroloških elemenata), smatrali smo podesnim upotrijebiti upravo razdoblje rada te stanice. Time se povećava broj stanica s registriranim instrumentima na području grada, što olakšava prostorno i vremensko proučavanje razdiobe osjeta.

U periodu 1979—80. odabrali smo 6 karakterističnih vremenskih situacija za koje smo proučili dnevni hod indeksa ohlađivanja  $H$ , entalpije

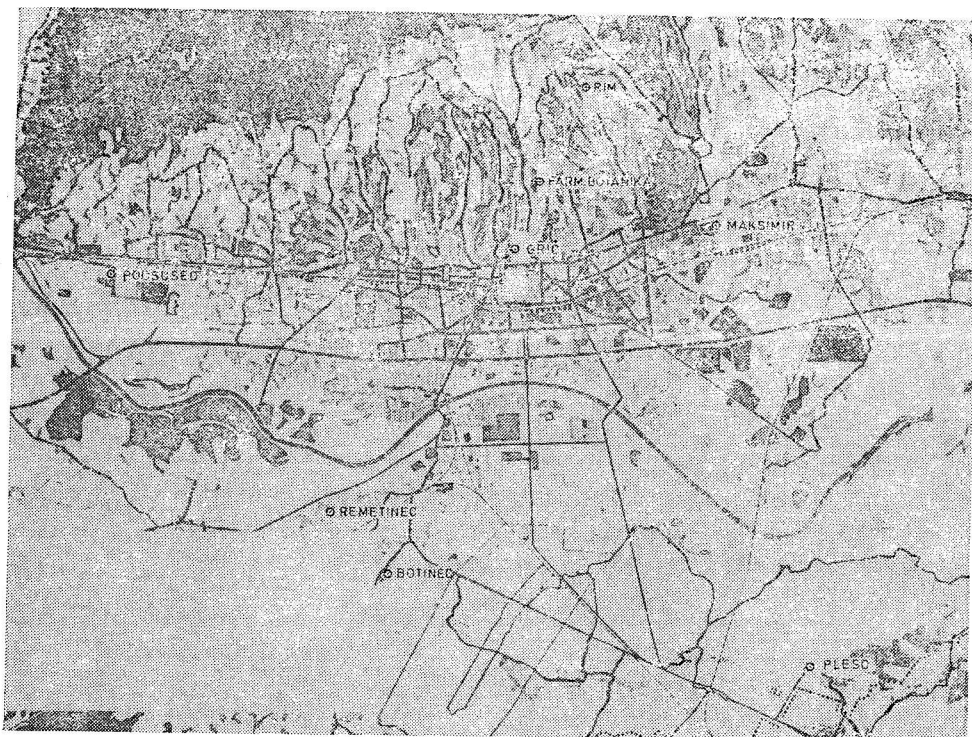
zraka  $i$ , omjera  $i/H$  i ekvivalentne temperature zraka  $T_{eq}$ . Komparacijom ovih indeksa u različitim vremenskim situacijama pored njihove prostorne razdiobe, ispitat ćemo koji je od njih najprikladniji za ocjenjivanje dnevnih karakteristika atmosfere sa stanovišta termičkog osjeta.

Proučavane su slijedeće vremenske situacije:

1. vedar zimski dan s niskim minimalnim temperaturama,
2. vedar ljetni dan s visokim maksimalnim temperaturama,
3. dan s dugotrajnom maglom,
4. zimski dan s NE pojačanim vjetrom,
5. ljetni dan sa SW pojačanim vjetrom,
6. dan s dugotrajnom kišom i pojačanim vjetrom.

Koristili smo podatke svih meteoroloških stanica na gradskom području i to u prvom redu onih koje raspolažu podacima za svaki sat, a to su: Zagreb—Maksimir, Pleso, Remetinec i Grič, ali i onih koje imaju podatke za samo tri termina (7, 14, 21 sat) dnevno: Podsused, Rim, Botinec i Farmaceutska botanika (Sl. 1).

Kod izračunavanja satnih vrijednosti  $H$  koristili smo 10-minutne brzine vjetra oko punog sata, kada su očitavane i temperature zraka. Na običnim meteorološkim stanicama, koje motre samo u tri termina dnevno, vjetar se ne određuje instrumentalno, nego se vizuelnom procjenom određuje jačina po Beaufortovoj ljestvici. Zbog toga mogu nastati i odstupanja indeksa ohlađivanja na tim lokacijama, koja nemaju fizikalnog opravdanja.



Sl. 1. Meteorološke stanice u Zagrebu  
Fig. 1. Meteorological stations in Zagreb

## 6. OSJET UGODNOSTI NA ZAGREBAČKOM PODRUČJU U RAZLIČITIM VREMENSKIM SITUACIJAMA

### 6.1 Vedar zimski dan s niskim minimalnim temperaturama (4. 01. 1980)

Naše područje nalazi se pod utjecajem grebena visokog tlaka. Cijeli je dan vedro, s temperaturama zraka ispod  $^{\circ}\text{C}$ . Najniže temperature spustile su se i do  $-8.7^{\circ}\text{C}$  na perifernim stanicama, dok je u centru (Grič) bilo oko  $3^{\circ}\text{C}$  toplije. Vjeter je bio slab, mijenjajući se uglavnom od 1—3 m/s (10-min srednjak oko punog sata), a samo rijetko do 4 m/s. Vlaga je na periferiji bila viša nego u centru.

Po bilo kojem od proučavanih indeksa (sl. 2) u jutarnjim i noćnim satima postoji izrazitija razlika u osjetu između pojedinih lokacija nego u poslijepodnevnom satima (12—17h).

Po indeksu ohlađivanja i Conradovoj klasifikaciji klime, tog je dana bilo »blago do jako podražajno«, po entalpiji zraka tokom cijelog dana je bilo »vrlo hladno«, a po omjeru i/H »izvanredno hladno«. Budući da samo i/H uvažava utjecaj tem-

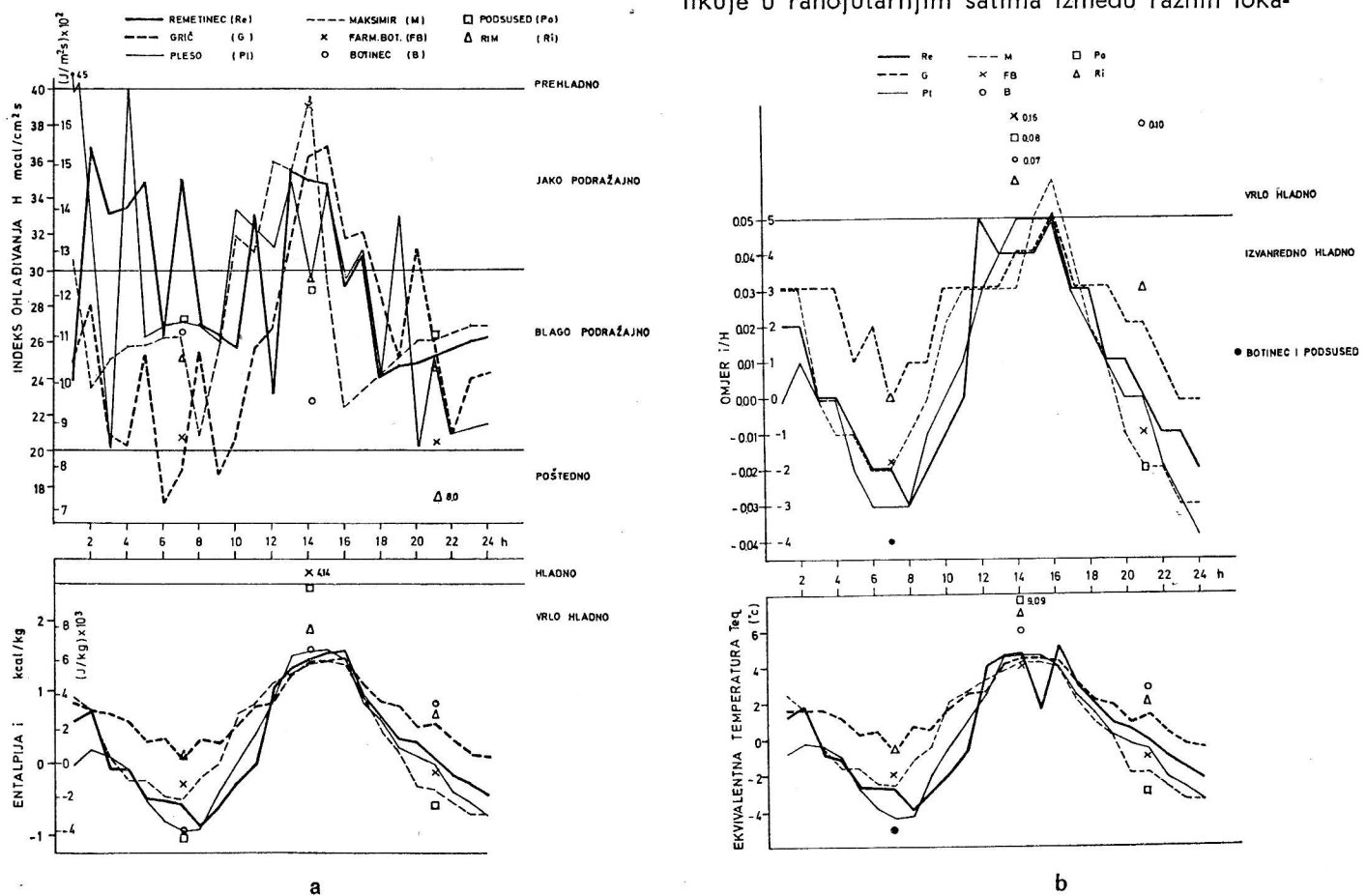
perature, vlage i vjetera na osjet, vrlo je vjerojatno da je on najbliži stvarnom osjetu. Pri tome je na rubu grada osjet »izvanredno hladno« ujutro i na večer jače izražen nego u centru.

U prosječnim 10-godišnjim bioklimatskim prilikama za razdoblje 1971—80. osjet »izvanredno hladno« uopće se ne pojavljuje (ZANINOVIĆ, 1983). Takvi su dani sakriveni u prosjeku, a kolika je njihova vjerojatnost i trajanje vidi se iz rada NOVAKOVIĆ (1983).

### 6.2 Vedar ljetni dan s visokim maksimalnim temperaturama (3. 8. 1980)

Tog je dana stražnja strana anticiklone obuhvaćala područje Zagreba podržavajući potpuno vedro vrijeme s maksimalnim temperaturama oko  $30^{\circ}\text{C}$ , uz vrlo slabu dnevnu cirkulaciju (1—2 m/s) sa i na Medvednicu, ali uz dosta visoku relativnu vlagu u zraku. U jutarnjim satima vlaga je na perifernim stanicama bila čak iznad 90%, a u centru oko 80%. Jutarnje minimalne temperature bile su na periferiji 16—17 $^{\circ}\text{C}$ , dok je u centru bilo toplije (19.4 $^{\circ}\text{C}$ ).

U skladu s temperaturom zraka i osjet po bilo kojem biometeorološkom indeksu najviše se razlikuje u ranojutarnjim satima između raznih loka-



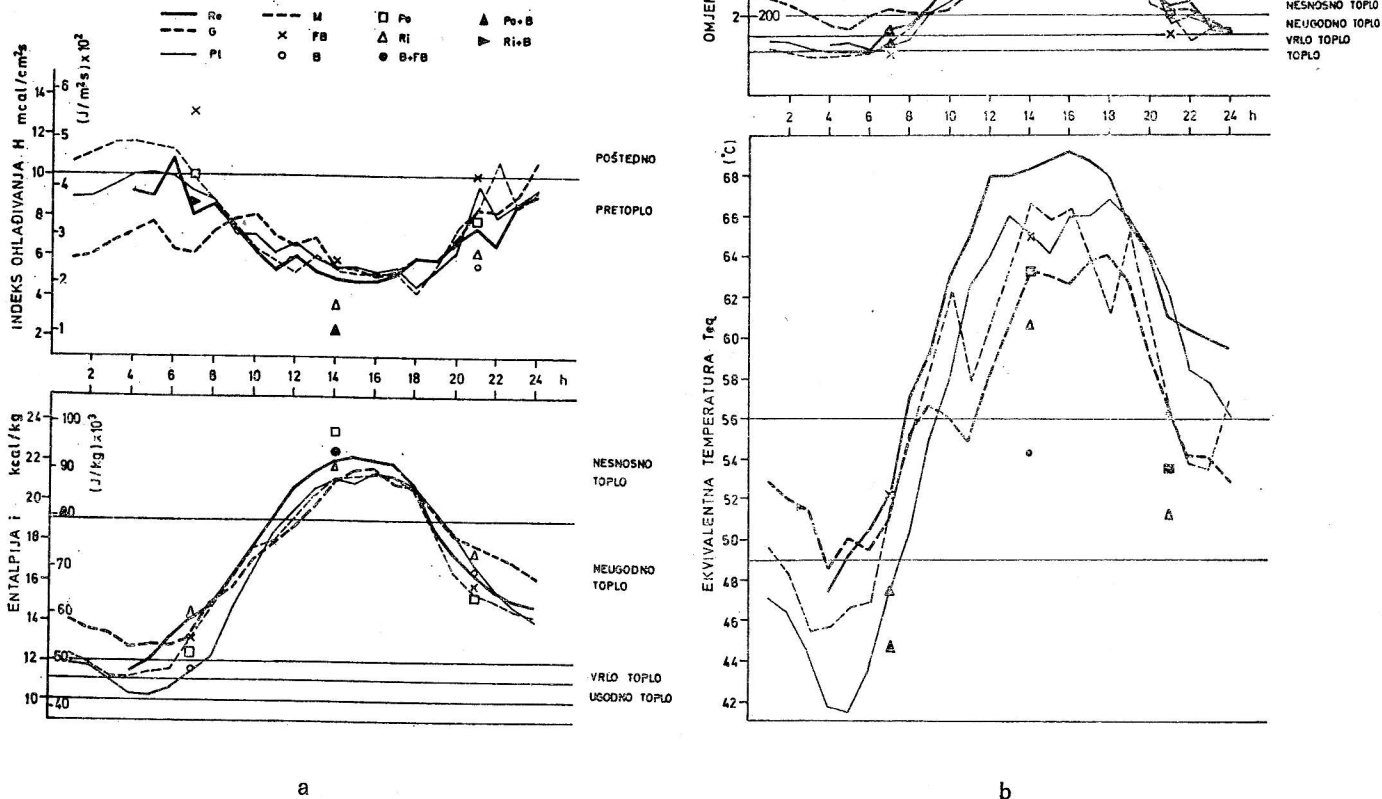
Sl. 2. Biometeorološke prilike za vrijeme vedrog, hladnog zimskog dana (4. I 1980), a) prema indeksu ohlađivanja (H) i entalpiji zraka (i), b) prema kombiniranom indeksu i/H i ekvivalentnoj temperaturi ( $T_{eq}$ )

Fig. 2. Biometeorologic conditions during a clear and cold winter day (4. I 1980), a) according to cooling power (H) and air enthalpy (i), b) according to combined index i/H and equivalent temperature ( $T_{eq}$ )

cija u gradu. Grič ima najmanje promjene osjeta tokom dana, a ujutro je najneugodniji od svih lokacija (sl. 3). Sve proučavane lokacije u gradu takvog dana imaju prema indeksu ohlađivanja »pretoplo« vrijeme. Prema entalpiji osjet je podijeljen malo detaljnije, pa je u jutarnjim satima na Plesu bilo čak »ugodno toplo«, kod ostalih »vrlo toplo«, dok je u centru istovremeno »neugodno toplo«. Međutim, već između 11 i 12 h na cijelom gradskom području postaje »nesnosno toplo« po entalpiji zraka i to traje sve do 19 h, s time što je ukupni sadržaj topline u zraku na području Remetince, Botinca i Podsuseda veći, pa je i osjet »nesnosno toplo« intenzivniji nego u centru. Za dan sa slabim vjetrom, entalpija daje pouzdaniju sliku osjeta od indeksa ohlađivanja. Međutim, omjer  $i/H$  daje još detaljniju i vjerojatniju podjelu termičkog osjeta. Po njemu je na području Maksimira i na obroncima Medvednice jutro najugodnije, jer je samo »toplo«, dok je na ostalim gradskim područjima »vrlo toplo« a u centru »neugodno toplo«, ili čak »nesnosno toplo i sparno«. Međutim, već od 9 h postaje na svim stanicama »nesnosno toplo i sparno«, a oko 11–12 h u takvom vedrom ljetnom danu sa dosta vlage postaje čak »letalno toplo«. U takvim prilikama postoji opasnost i po život za osobe s narušenim mehanizmima za adaptaciju. Neophodno je po-

trebno rashlađivanje prostorija ili tijela ugroženih osoba. Centar grada imao je tada čak nešto blaži osjet sparine, zbog nešto niže vlage zraka. Tako izrazito nepovoljne prilike trajale su sve do oko 20 h i nema bitnih razlika između pojedinih lokacija.

I po ekvivalentnoj temperaturi zraka može se ocijeniti da je taj dan bio izrazito nepovoljan sa zdravstvenog stanovišta jer se sparina ( $T_{eq} > 56^{\circ}\text{C}$ ) javila već oko 8–10 h, odnosno u slično vrijeme kao po  $i/H$ . Po strožem kriteriju ( $T_{eq} > 49^{\circ}\text{C}$ ), značajnom posebno za bolesnike, Grič i Remetinec imaju »sparinu« tokom cijelog dana. Ukoliko se takva situacija nastavi još koji dan, organizam osoba s lošom termičkom regulacijom sve je iscrpljeniji, sve teže podnosi to dugotrajno termičko opterećenje, te raste naročito broj oboljelih od infarkta miokarda i moždanog udara (TROMP, 1980).



Sl. 3. Biometeorološke prilike za vrijeme vedrog, vrućeg ljetnog dana (3. VIII 1980), a) prema indeksu ohlađivanja ( $H$ ) i entalpiji zraka ( $i$ ), b) prema kombiniranom indeksu  $i/H$  i ekvivalentnoj temperaturi ( $T_{eq}$ )

Fig. 3. Biometeorologic conditions during a clear, hot summer day (3. VIII 1980), a) according to cooling power ( $H$ ) and air enthalpy ( $i$ ), b) according to combined index  $i/H$  and equivalent temperature ( $T_{eq}$ )



Prosječna slika za 10-godišnje razdoblje (1971—80) ni u jednom terminu (7, 14, 21 h) ne pokazuje tako vruće vrijeme niti pojavu sparine. Jedino se ljeti, u tri dekade javlja osjet »neugodno toplo« u podnevnim satima — prema  $i/H$ .

Već ove dvije situacije, zimska i ljetna, pokazale su raspon osjeta koji se može očekivati u našoj kontinentalnoj klimi, a sakriven je u prosječnoj slici.

### 6.3 Dan s dugotrajnom maglom (9. 2. 1980)

Područje Zagreba bilo je pod djelovanjem grebena povišenog tlaka. Cijeli je dan prevladavalo mirno vrijeme (najjači vjetar 1—2 m/sek) uz maglu, naročito gustu na periferiji u prijednevnom satima. Nakon podneva magla se nešto prorijedila, a u centru prešla u sumaglicu. Minimalne temperature zraka bile su na periferiji —1.2°C, a u centru 1.4°C. Poslijepodnevne maksimalne temperature jače su se razlikovale na raznim lokacijama, te su najniže bile u Maksimiru (4.5°C). Jugozapadni dio grada bio je najtopliji, čak topliji od centra, gdje je bilo 8.5°C.

U ovakvim uvjetima, indeks ohlađivanja (sl. 4) za periferno područje tokom većeg dijela dana pokazuje »blago podražajno«. Najpovoljnije stanje je u centru, gdje je u prijednevnom satima kad je vjetar jako slab bilo »poštedno«.

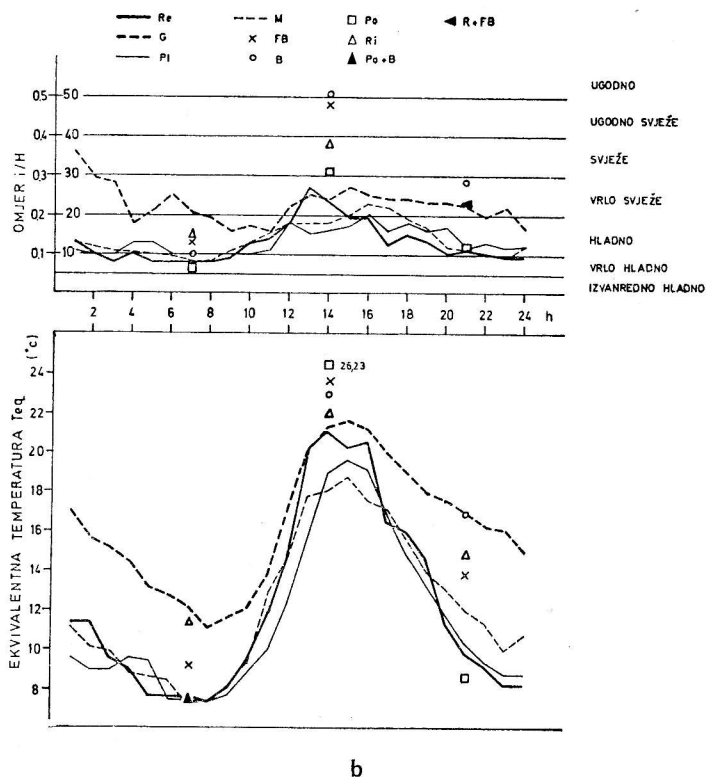
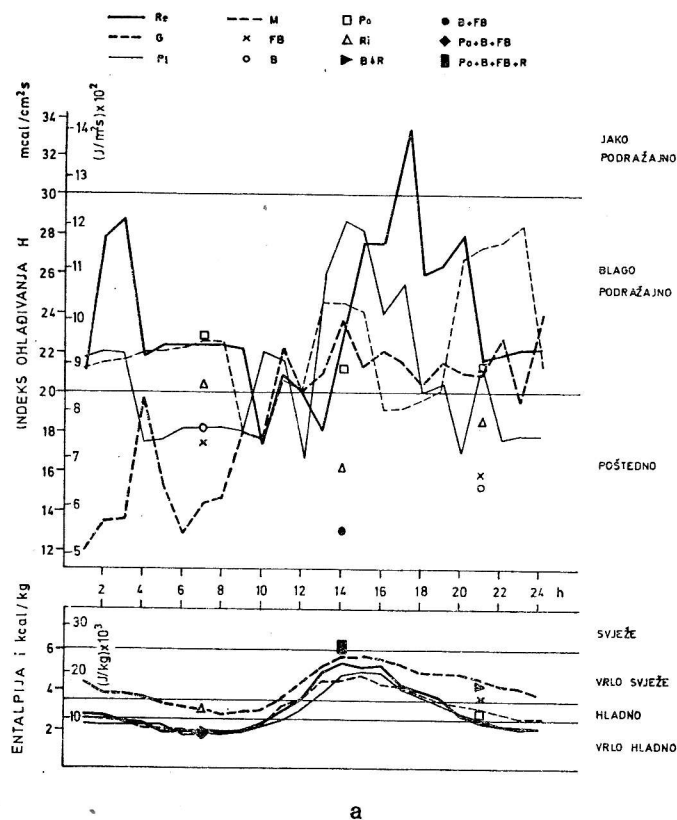
koder zbog slabog vjetera u jutarnjim satima imao »poštedne« prilike, iako s većim indeksom ohlađivanja od centra. Stanice na obroncima Medvednice imale su poslijepodne i navečer višu temperaturu, jer su bile van sloja magle, pa zbog toga i »poštedne« prilike.

Po entalpiji, osjet se tokom tog maglovitog dana mijenjao na području grada od »vrlo hladno« do »vrlo svjež«, s time što je u centru grada cijeli dan najugodnije.

Zbog slabog vjetera, sliku vrlo sličnu entalpiji, i razdiobu osjeta od »vrlo hladno« do »vro svjež«, daje i omjer  $i/H$ , ukazujući također na vrlo povoljan osjet u centru tokom dana. Međutim, u podnevnim satima topliji obronci Medvednice, smješteni van sloja magle, imaju još povoljnije prilike sa stanovišta osjeta nego centar, tako da se ovdje javlja čak i »ugodno svjež«.

Ekvivalentna temperatura pokazuje također najviše vrijednosti za centar tokom cijelog dana. Samo u podnevnim satima one su još više na obroncima Sljemena i jugozapadnoj periferiji grada.

U prosječnim vrijednostima (1971—80) prva dekada veljače, u koju spada i ovaj dan s maglom, tokom sva tri dnevna termina (7, 14, 21 h), po omjeru  $i/H$ , ima osjet »hladno«. Naš primjer pokazuje, međutim, širi raspon osjeta, čak i u situaciji s maglom i vrlo slabim strujanjem.



Sl. 4. Biometeorološke prilike za vrijeme zimskog dana s maglom (9. II 1980), a) prema indeksu ohlađivanja ( $H$ ) i entalpiji zraka ( $i$ ), b) prema kombiniranom indeksu  $i/H$  i ekvivalentnoj temperaturi ( $T_{eq}$ )

Fig. 4. Biometeorologic conditions during a winter foggy day (9. II 1980), a) according to cooling power ( $H$ ) and air enthalpy ( $i$ ), b) according to combined index  $i/H$  and equivalent temperature ( $T_{eq}$ )

#### 6.4 Zimski dan s NE — pojačanim vjetrom (31. 12. 1979)

Duboka ciklona na Jadranu uzrokovala je puhanje NE vjetera nad područjem Zagreba. Temperatura zraka se vrlo malo mijenjala tokom dana i to u intervalu  $-1.0$  do  $+1.0^{\circ}\text{C}$ , a razlike između pojedinih lokacija gotovo da i ne postoje. Vjetar je dosta promjenljive jačine. Najjači vjetar na području grada je  $5-7$  m/sek i puhao je oko podneva ili u poslijepodnevni satima. Relativna vlaga na cijelom gradskom području je vrlo visoka, s tim što je u centru ipak nešto niža nego na periferiji. Cijeli je dan bilo potpuno oblačno.

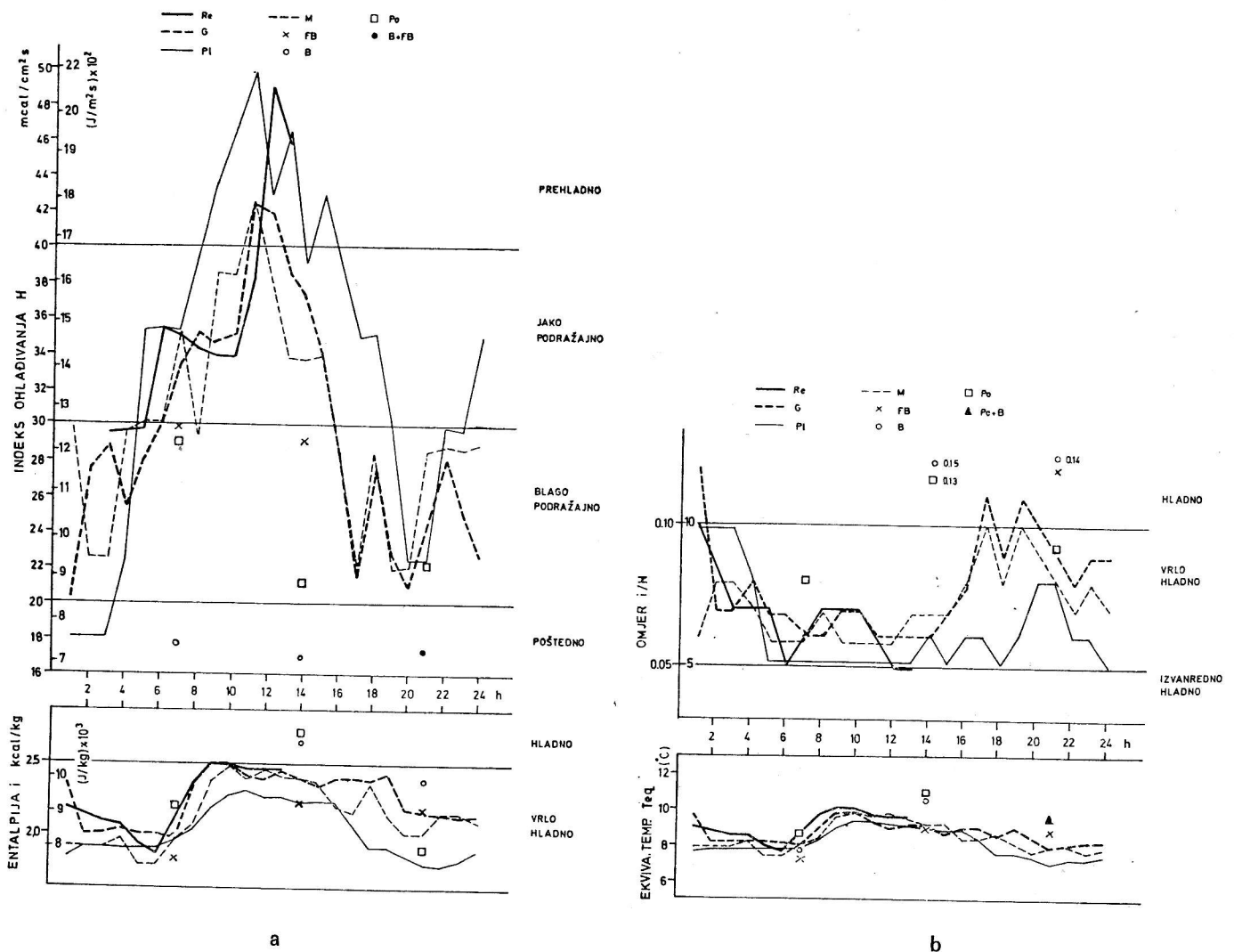
Iako se temperatura zraka vrlo malo mijenjala, indeks ohlađivanja zbog promjenljive brzine vjetera pokazuje tokom dana širok raspon od »blago podražajno« do »prehladno« (sl. 5), s time što

je prehladno upravo oko podneva, kada su brzine vjetera najjače. Pri tome je na Plesu, gdje je vjetar bio najjači i indeks ohlađivanja bio najveći. Centralno gradsko područje bilo je najugodnije.

Entalpija zraka, jer ne uvažava ulogu vjetera u ocjeni termičkog komfora, a temperature se nisu mnogo razlikovale, cijelo gradsko područje svrstava u »vrlo hladno« tokom dana.

Prema omjeru  $i/H$ , osjet se na gradskom području zadržava tog dana s NE vjetrom uglavnom u okviru »vrlo hladno«. Samo u ponekim terminima, kad vjetar oslabi, ublažava se osjet, »vrlo hladno«, te postaje »hladno«. Takve su prilike osobito nepovoljne za vaskularne bolesnike, a isto tako i za reumatičare (TROMP, 1980).

Inače, u prosjeku (1971-80) taj dio godine je ocijenjen kao »hladno«, prema  $i/H$ , za sva tri termina. Naravno, pojačani vjetar, kao u ovoj NE situaciji, pojačao je osjet hladnoće na »vrlo hladno«, što se u prosjeku izgubilo.



Sl. 5. Biometeorološke prilike za vrijeme zimskog dana s prevladavajućim NE vjetrom (31. XII 1979), a) prema indeksu ohlađivanja ( $H$ ) i entalpiji zraka ( $i$ ), b) prema kombiniranom indeksu  $i/H$  i ekvivalentnoj temperaturi ( $T_{eq}$ )

Fig. 5. Biometeorologic conditions during a winter day with prevailing NE-wind (31. XII 1979), a) according to combined index  $i/H$  and equivalent temperature ( $T_{eq}$ )

6.5 Ljetni dan sa SW — pojačanim vjetrom (8. 7. 1979)

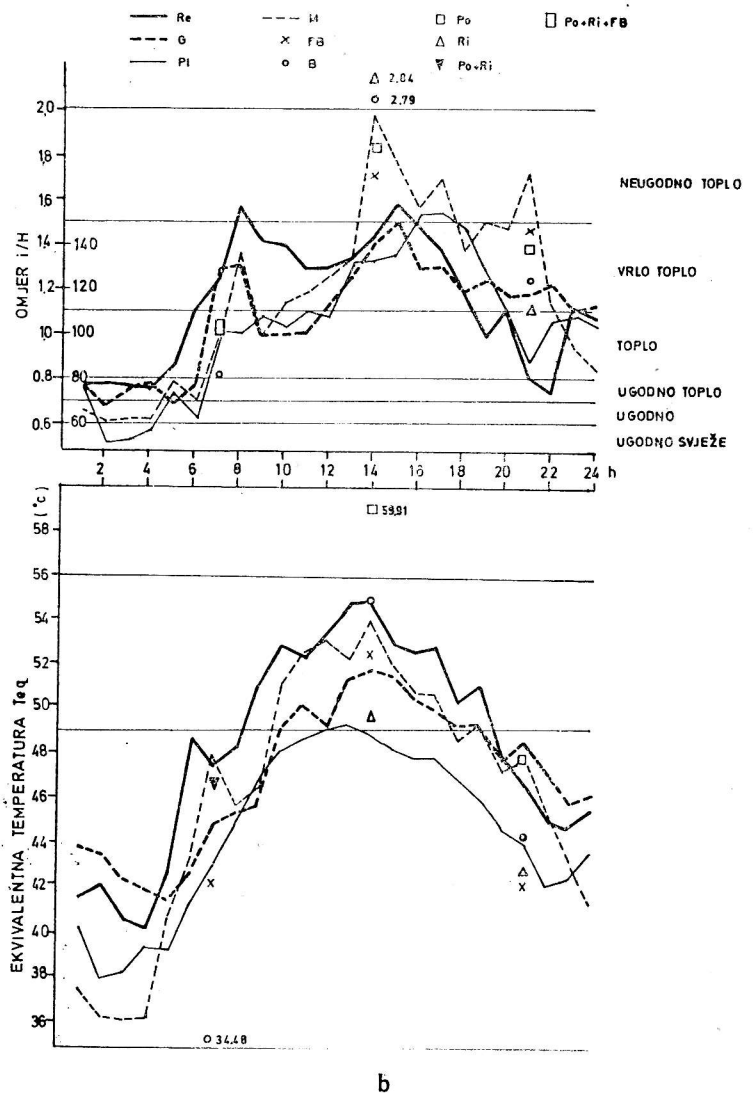
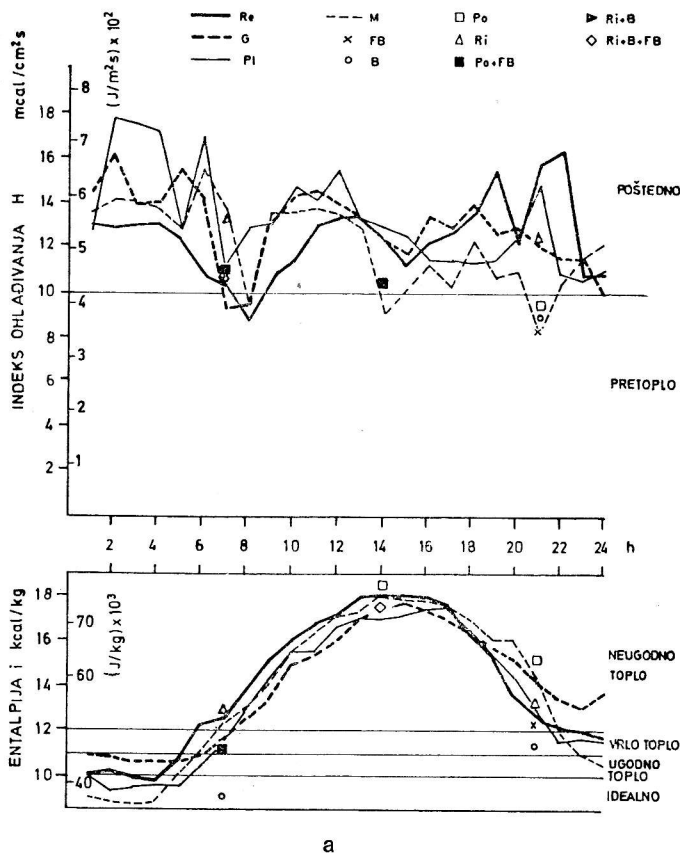
Prva dekada srpnja po prosječnom osjetu  $i/H$  (1971—80) ujutro i navečer spada u »toplo«, a preko podneva u »vrlo toplo«. Međutim, konkretna situacija s jugozapadnom strujom, pojačanom u podnevnim satima do 8 m/s, znatno se razlikuje od prosječne slike.

Iako temperatura varira u gradu od 13°C ujutro do 27°C poslije podne, s tim što je u centru jutro najtoplije (16.1°C), pojačani vjetar poslije podne svodi indeks ohlađivanja tokom dana (sl. 6) u klasu »poštedno«, čak i u vrijeme popodnevnih visokih temperatura zraka.

Po entalpiji, osjet je toga dana varirao od »idealno« u jutarnjim satima, pa preko »neugodno toplo« u vremenu 7—22 h do »vrlo toplo« u kasnijim satima, na većem dijelu gradskog područja. U centru je i dalje ostalo »neugodno toplo«. Taj indeks je očito nepodesan za primjenu, osobito u slučaju pojačanog vjetra, jer tada precjenjuje ulogu ukupnog sadržaja topline u zraku na termički osjet.

Omjer  $i/H$ , uvažavanjem temperature, vlage i brzine vjetra, klasificira osjet toga dana u rasponu od najpovoljnije klase »ugodno« pa preko »vrlo toplo« na većem dijelu gradskog područja u poslijepodnevnim satima, do uglavnom »toplo« u večernjim satima. U vrijeme maksimalnih temperatura poslije podne, područja na kojima je oslabio vjetar (Maksimir i sjeverna gradska područja) imala su pojačani osjet topline, te je tu prevladalo »neugodno toplo«.

Za bolesne osobe na cijelom gradskom području, osim na Plesu, u vremenu od 9—18 sati je »sparno« po ekvivalentnoj temperaturi ( $T_{eq} > 49°C$ ). No tu je isključen rashlađujući utjecaj vjetra, koji u takvoj situaciji postoji i briše u stvarnosti osjećaj sparine. Zato je osjet ocijenjen prema kombiniranoj klasifikaciji ( $i/H$ ) vjerodostojniji.



Sl. 6. Biometeorološke prilike u ljetnom danu s prevladavajućim SW vjetrom (8. VII 1979), a) prema indeksu ohlađivanja ( $H$ ) i entalpiji zraka ( $i$ ), b) prema kombiniranom indeksu  $i/H$  i ekvivalentnoj temperaturi ( $T_{eq}$ )

Fig. 6. Biometeorologic conditions on a summer day with prevailing SW-wind (8. VII 1979), a) according to cooling power ( $H$ ) and air enthalpy ( $i$ ), b) according to combined index  $i/H$  and equivalent temperature ( $T_{eq}$ )

### 6.6 Dan s dugotrajnom kišom (19. 11. 1979)

Sredina studenog po prosječnom 10-god. osjetu (1971—80) obilježena je sa »vrlo svjež« (i/H) uz zanemarivo male razlike između termina.

Dan koji smo izdvojili za posebnu analizu je situacija kada se područje Zagreba nalazilo u ciklonalnom polju sa slabom do umjerenom kišom tokom cijelog dana, i uz jutarnji i priepodnevi jaki sjeverni vjetar (do 10 m/sek). Temperaturne prilike su bile poremećene. Rano ujutro je bilo najtoplije (9—10°C), bez većih razlika između pojedinih lokacija, a kasno večer najhladnije (5—6°C).

Indeks ohlađivanja (sl. 7) kreće se toga dana u rasponu gotovo svih klasa Conradove klasifikacije — od »poštedno« u rano jutro, kad je uz slab vjetar bilo najtoplije, nakon čega naglo prelazi u »prehladno« u toku priepodneva za vrijeme najjačeg vjetra. Poslije podne, ovisno o jačini vjetra, stanje na području grada je izrazito varijabilno od »poštedno« do »prehladno«.

Osjet, određen po entalpiji, varira vrlo malo tokom dana i to od »svjež« do »vrlo svjež«. Pojedine lokacije samo se malo međusobno razlikuju

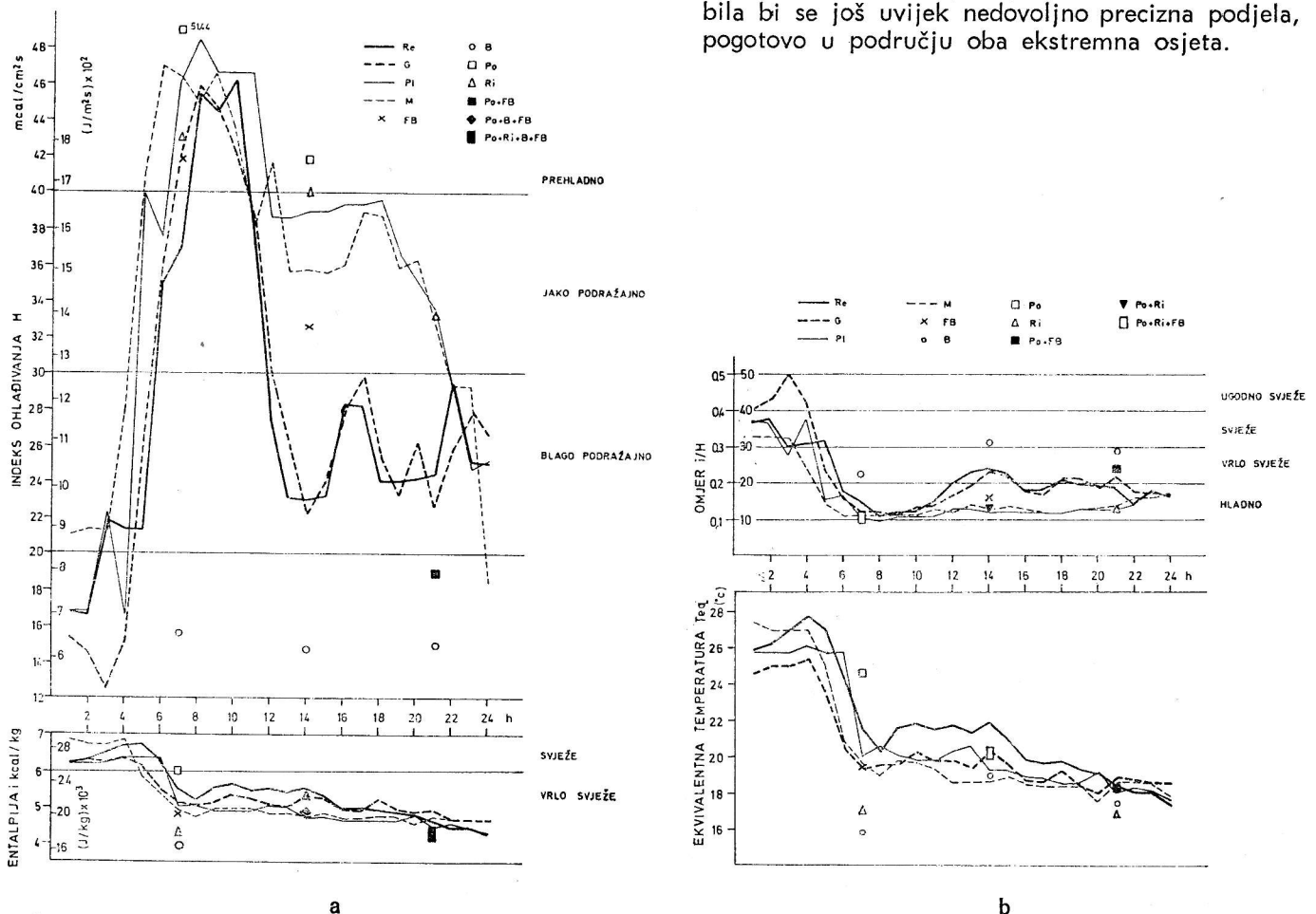
po ovom indeksu, koji ne uvažava brzinu vjetra, jer se i temperature zraka u takvom oblačnom, kišovitom i vjetrovitom danu malo razlikuju. Prema tome, taj indeks daje nerealnu ocjenu termičkog komfora.

Zato omjer i/H uvažavajući sve te meteorološke elemente, pokazuje da se osjet toga dana kretao u rasponu od »ugodno svjež« u rano jutro, pa do »hladno« tokom ostalog dijela dana. Najmanje razlike u osjetu između raznih lokacija na području grada su postojale u vrijeme najjačeg vjetra (10 m/sek).

### 7. ZAKLJUČAK

1. Komparacija upotrebljenih biometeoroloških indeksa za ocjenu termičkog komfora u raznim sinoptičkim situacijama pokazala je da:

a) indeks ohlađivanja prema Conradovoj klasifikaciji daje pregrubu podjelu bioklime i nije pogodan za primjenu na dnevne hodove meteoroloških elemenata. Čak kad bi se upotrijebila neka druga klasifikacija za osjet ugodnosti, temeljena na indeksu ohlađivanja (npr. Schmidt, Dorno), dobila bi se još uvijek nedovoljno precizna podjela, pogotovo u području oba ekstremna osjeta.



Sl. 7. Biometeorološke prilike u danu s dugotrajnom kišom (19. XI 1979), a) prema indeksu ohlađivanja (H) i entalpiji zraka (i), b) prema kombiniranom indeksu i/H i ekvivalentnoj temperaturi (T<sub>eq</sub>)

Fig. 7. Biometeorologic conditions on a day with persistent rain (19. XI 1979), a) according to cooling power (H) and air enthalpy (i), b) according to combined index i/H and equivalent temperature (T<sub>eq</sub>)



Osim toga, indeks ohlađivanja, jer ne uvažava ulogu vlage zraka, nije podestan za primjenu u situacijama s visokom vlagom. Osobito je neprecizan za ocjenu ljetnih prilika sa sparinom.

b) Entalpija, neuvažavajući rashlađujuće efekte vjetra, naročito je neprikladna za ocjenu termičkog komfora u danima s jačim strujanjem, zbog čega dolazi do precjenjivanja ljetnih vrućina i sparina, ali i podcjenjivanja zimskog ohlađivanja.

c) Omjer  $i/H$  eliminira u velikoj mjeri nedostatke opisanih indeksa, pa kombinirana klasifikacija, sudeći po dnevnim hodovima temperature, vlage i vjetra te po našem subjektivnom iskustvu, daje termički osjet bliži pravome, nego svaki od korištenih indeksa odvojeno. Zato je pogodniji za ocjenjivanje dnevnog hoda osjeta ugodnosti. Dobro se slaže s kriterijem za ocjenu sparine pomoću ekvivalentne temperature zraka ( $T_{eq} > 56^{\circ}\text{C}$ ), osim u vjetrovitim danima, kada je po ekvivalentnoj temperaturi sparno, a po omjeru  $i/H$ , koji uvažava ulogu vjetra, nije. Smatramo da je i tada pouzdanije vjerovati omjeru  $i/H$ .

2. Ocjenjujući pomoću omjera  $i/H$  termički osjet na području grada u raznim sinoptičkim situacijama uočava se:

a) u situacijama sa slabim strujanjem, centar grada, zimi ujutro, je povoljniji sa stanovišta osjeta, jer je topliji od periferije, dok su oko podneva razlike male. Ljeti je centar ujutro nepovoljniji od periferije, jer je pretopao. Međutim, u poslijepodnevnim satima u centru je zbog smanjene vlage zraka manje sparno. Oscilacije osjeta ugodnosti u centru su općenito mnogo manje nego na periferiji. Južni i jugozapadni predjeli grada su ljeti u poslijepodnevnim satima jako vrući i sparni, a zimi ujutro dosta hladniji po osjetu od centra.

b) U danu s maglom, u centru, gdje je ona obično manje gusta, termički je osjet povoljniji nego na periferiji.

c) Jak vjetar briše razlike u termičkom komforu između pojedinih gradskih lokacija.

d) U kišovitom danu, pogotovo uz pojačan vjetar postoje samo male razlike u termičkom komforu između pojedinih lokacija.

e) Termički osjet na sjevernom gradskom području smještenom na obroncima Medvednice može se zbog orografije dosta razlikovati između pojedinih lokacija. To je ovisno prvenstveno o izloženosti vjetru. Područja u kotlinama, gdje je slabo strujanje, a povišena vlaga i jače dnevno zagrijavanje, imaju ljeti češće sparine, a zimi pogotovo ujutro i noću pojačani osjećaj vlažne hladnoće.

## LITERATURA

- Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen (1979), Deutscher Bäderverband e. V., Bonn
- BÖER, W. (1964): Technische Meteorologie, Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 290
- CONRAD, V. i L. W. POLLAK (1950): Methods in Climatology, Harvard University, Press, Cambridge, Massachusetts, 459.
- CRITCHFIELD, H. J. (1974): General Climatology, Prentice Hall Inc., Engelwood Cliffs, N. J., 446.
- FANGER, P. O. (1972): Thermal Comfort, McGraw-Hill Book Company, New York, 244
- GIVONI, B. (1976): Man, Climate and Architecture, London, 75-102.
- GREGORCZUK, M. and K. CENA (1967): Distribution of Effective Temperature over the Surface of the Earth, Int. J. Biometeor., Vol. 11 No. 2, 145-149.
- GREGORCZUK, M. (1968): Bioclimates of the World Related to Air Enthalpy, Int. J. Biometeor., Vol. 12, No. 1, 35-39.
- JAUREGUI, E. and C. SOTO (1967): Wet Bulb Temperature and Discomfort Index Areal Distribution in Mexico, Int. J. Biometeor., Vol. 11, No. 1, 21-28
- JENDRITZKY, G. und W. SÖNNING (1978): Die Quantitative Erfassung des Thermischen Wirkungskomplexes in der Klimatherapie, 15. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie, Grindelwald, 19-23. Sept. 1978, 104-107.
- LANDSBERG, H. E. (1972): The Assessment of Human Bioclimate, WMO, Tech. Note No. 123, 36.
- MAYER, H. (1975): Die Effektive Temperatur unter dem Aspekt »Schwüle« in 2 m und 175 m über Grund, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 23, 147-155.
- MAYER, H. und J. ABELE (1977): Bioklimatische verhältnisse im südwestafrikanischen Steppengebiet, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 24, 337-347.
- MAYER, H. (1977): Schwüleverhältnisse an der Deutschen Nordseeküste, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B., 24, 361-372.
- MUNN, R. E. (1970): Biometeorological Methods, Academic Press, New York and London, 336.
- NOVAKOVIĆ, J. (1983): Vjerojatnost pojave i trajanja različitog toplinskog osjeta u Zagrebu tokom 1981, Rasprave 18, RHMZ SRH, Zagreb.
- OLIVER, J. E. (1973): Climate and Man's Environment, John Wiley and Sons, New York, 195-221.
- PENZAR, B. (1974): Studija o indeksu ohlađivanja na istočnom dijelu Jadrana, Acta Adriatica, Vol. 15, No. 6., 3-46.
- PLEŠKO, N. (1979): Turističko-zdravstveni aspekt klimatskih prilika na jadrano, II konferencija o zaštiti Jadrana. Zbornik referata, Hvar, 11-13 travnja 1979, 203-213
- PLEŠKO, N. N. ŠINIK, E. LONČAR (1973): Bioklimatska klasifikacija regije južnog Jadrana, Zbornik meteoroloških i hidroloških radova, 4, Beograd 69-76.
- ROHLES, F. H. JR. (1971): Psychological Aspects of Thermal Comfort, ASHRAE JOURNAL, January 1971.
- RUBINSTEIN, M., E. GANOR and G. OHRING (1980): Areal Distribution of the Discomfort Index in Israel; Int. J. Biometeor., Vol. 24, No. 4, 315-322.
- SARGENT, F. and S. W. TROMP (1964): A Survey of Human Biometeorology, WMO, Tech. Note No. 65
- TERJUNG, W. H. (1968): World Patterns of the Distribution of the Monthly Comfort Index, Int. J. Biometeor., Vol. 12, No 2, 119-151.
- TOUT, D. G. (1980): The Discomfort Index, Mortality and the London Summers of 1976 and 1978, Int. J. Biometeor., Vol. 24, No. 4, 323-328.
- TROMP, S. W. (1980): Biometeorology — the Impact of Weather and Climate on Humans and their Environment, Heyden, London, 346.
- WUCHERLEY, P. R. (1967): Indices of Comfort throughout Malaysia. Meteorol. Mag., Vol. 96, No 1136, 73-77.
- ZANINOVIĆ, K. (1983): Bioklimatske karakteristike Zagreba, Rasprave 18, RHMZ SRH, Zagreb.

## SUMMARY

First part of the article comprises review of biometeorological indices most frequently used for the estimation of man's true thermal sensation in the world, as well as for bioclimatic appreciation of a certain region. Indices are represented in two groups, depending upon the meteorological elements they include. First (a) are indices calculated from the air temperature and relative humidity, and second (b) indices calculated from the air temperature and wind speed. Some inadequacies of these indices have been discussed, because the first (a) do not respect the wind speed influence upon thermal comfort, and second (b) neglect the relative humidity influence. Therefore (a) are especially inappropriate for usage in the case of stronger wind speeds, and (b) for sultriness assessment in synoptic situations with low wind speeds. A combined biometeorological index (air enthalpy and cooling power ratio, respectively  $i/H$ ) has been shown along with an adequate sensation scale (PLEŠKO, 1979). This index appreciates simultaneous influence of the air temperature, relative humidity and wind speed upon man's thermal sensation. For this reason a combined index ( $i/H$ ) is more convenient than other biometeorological indices for the estimation of daily atmospheric conditions in a bioclimatic sense.

In the second part of the article we investigated a daily course of comfort sensation (thermal sensation) on the territory of Zagreb under varied synoptic situations. Weather situations were chosen in a such way that they could represent the broadest span of thermal sensation in this climatic region. Comparatively we have

used the following biometeorological indices: air enthalpy ( $i$ ), cooling power ( $H$ ) and ratio  $i/H$ , as well as equivalent temperature  $T_{eq}$  of the air. Analysis have been made for six weather situations (6.1 a clear winter day with low minimum temperature, 6.2 a clear summer day with high maximum temperature, 6.3 a day with persistent fog, 6.4 a winter day with a strengthened NE-wind, 6.5 a summer day with strengthened SE-wind, 6.6 a day with persistent rain) and revealed that a smaller sensation span exists in the city than on the outskirts of town (Fig. 6.1—6.6). The centre is more comfortable than other parts on winter mornings due to a higher temperature. At winter midday, differences are lesser among the various parts of town. On clear summer mornings the centre is more uncomfortable than the outskirts due to overly high air temperature. Meanwhile, summer sultriness at midday in the centre is somewhat more weakly expressed on account of lower relative humidity. Southern and south-western parts of the town are very hot and sultry in the forenoon during summer and significantly colder in the winter mornings than the centre, according to comfort sensation ( $i/H$ ). Differences in thermal sensation between various parts of town disappeared on days with strengthened wind speed as well as on days with persistent rain. Thermal sensation on a day with fog in the territory of the town is more favourable in the centre than elsewhere, due to lower relative humidity caused by fog of a lower density in the centre.

Besides, this comparative analysis confirmed an applicability of air enthalpy and cooling power ratio ( $i/H$ ) for an appreciation of the thermal sensation daily course.