

|           |        |      |
|-----------|--------|------|
| GEOFIZIKA | Vol. 1 | 1984 |
|-----------|--------|------|

*Izvorni znanstveni rad*

## Vlažnost zraka u Zagrebu (Prilog poznavanju klime grada Zagreba, II)

*Ivo Lukšić*

*Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb*

*Primljeno 19. rujna 1983.*

UDK 551.571

U radu se analiziraju homogeni podaci tlaka pare i relativne vlage dobiveni na opservatoriju Zagreb–Grič u razdoblju 1944–1978.

Srednji godišnji hod tlaka pare sličan je onom temperature zraka. Relativna vlaga u srednjem godišnjem hodu opada od siječnja do travnja, raste od travnja do lipnja, blago opada od lipnja do srpnja a zatim raste do prosinca; glavni minimum u travnju objašnjava se brzim zagrijavanjem zraka, a glavni maksimum u prosincu prevladavanjem utjecaja noćnoga hlađenja zraka. Utvrđene su singularnosti tlaka pare (13–16. VIII) i relativne vlage (21–27. I, 4–9. V, 8–15. VI, 21–27. XII).

U srednjem dnevnom hodu tlak pare ima glavni minimum u rano jutro a maksimum poslije podne; od lipnja do listopada pojavljuje se sporedni neizraziti posljepodnevni minimum. Srednji dnevni hod relativne vlage ima maksimum oko izlaza Sunca a minimum poslije podne.

U razdoblju 1944–1978 tlak pare ne pokazuje izraziti trend, dok relativna vlaga ima trend porasta u kolovozu i rujnu.

Brojni atmosferski procesi ostavljaju svoj trag u podacima o tlaku pare i relativnoj vlazi zapisanim na Griču. To su advekcija zraka, danje grijanje i noćno hlađenje zraka, evapotranspiracija, kondenzacija, sublimacija, difuzija vodene pare, vertikalno miješanje zraka, supsidencija, ciklonalna aktivnost (padanje oborine, povećanje naoblake), evropski monsun, fenski utjecaj Dinarida i Alpa i utjecaj grada. Često više navedenih procesa zajednički povećavaju, odnosno smanjuju tlak pare ili relativnu vlagu. Utjecaj ovih procesa uglavnom nije stalan tijekom godine.

Air humidity in Zagreb (A contribution to the knowledge of climate of the city of Zagreb, II)

The paper analyzes homogeneous data of vapour pressure and relative humidity recorded at the Zagreb-Grič observatory between 1944 and 1978.

The mean annual course of vapour pressure resembles that of air temperature. Relative humidity in the mean annual course decreases from January to April, increases from April to June, slightly decreases from June to July, and then increases until December; the major minimum in April is due to sudden heating of air, and the major maximum in December is due to the prevalence nightly air cooling. Singularities of vapour pressure (August 13–16) and of relative humidity (January 21–27, May 4–9, June 8–15, December 21–27) have also been determined.

The mean diurnal course of vapour pressure has its major minimum early in the morning, and its maximum is in the afternoon; from June until October unpronounced secondary afternoon minimum appears. Relative humidity mean diurnal course has its maximum about sunrise, and its minimum is in the afternoon.

In the 1944–1978 period, vapour pressure does not show a pronounced trend, while relative humidity tends to increase in August and September.

Numerous atmospheric processes are reflected in the vapour pressure data and the relative humidity data recorded on Grič. The processes are air advection, daily heating and nightly cooling of air, evapotranspiration, condensation, sublimation, vapour diffusion, vertical air mixing, subsidence, cyclonal activity (precipitation, increased cloudiness), European monsoon, foehn influence of the Dinaric mountains and the Alps, and, finally, the urban influence. A combination of these processes often increases or decreases the vapour pressure or relative humidity. The influence of these processes is generally not constant throughout the year.

## 1. Uvod

Mnogi atmosferski procesi ovise o količini vlage u zraku, a vrijedi i obratno. Stoga su podaci o vlazi važna informacija o zbivanjima u atmosferi. U primijenjenoj meteorologiji podaci o vlazi zraka su također važni. Količina vlage u zraku najčešće se izražava tlakom pare i relativnom vlagom.

U ovom radu obrađuju se homogeni podaci vlage dobiveni na opservatoriju Zagreb-Grič ( $H_s = 157$  m) u razdoblju 1944–1978. To je, s obzirom na vlagu, dugo razdoblje bez prekida homogenosti, što daje posebno značenje ovim podacima. Stoga zahtijevaju temeljitu obradu i analizu. Ako nije drukčije naznačeno, podaci u ovom radu odnose se na mjerenja u 7, 14 i 21 sat. Mjesečni srednjaci relativne vlage dobiveni iz tih podataka nešto su manji od srednjaka dobivenih iz 24 satne vrijednosti. U prosjeku oni se srednjaci najviše razlikuju u listopadu (1.0%), a najmanje u travnju (0.2%).

Tlak pare i relativna vlaga određuju se na Griču od prosinca 1861. godine. Homogenost tih podataka bila je u više navrata narušena uslijed promjene načina u njihovu određivanju. Posljednji prekid homogenosti uslijedio je 1. IV 1943. zbog primjene aspiriranog psihrometra. Prije toga dana, dok se upotrebljavao neaspirirani psihrometar, psihometrijske tablice davale su prosječno oko 5% nerealno višu relativnu vlagu, jer su predviđene za jaču ventilaciju mokrog termometra od stvarne prirodne ventilacije u termometrijskoj kućici na Griču. Ova ventilacija je nešto smanjena okolnim objektima. Smanjena je također i zbog smještaja termometrijske kućice na sjeverni prozor zgrade, jer je tako onemogućeno strujanje zraka kroz južnu stranu spomenute kućice.

## 2. Tlak pare

### 2.1. Godišnji hod tlaka pare po mjesecima

Srednji tlak pare na Griču približno je i u siječnju i u srpnju jednak odgovarajućem srednjem tlaku pare za geografsku širinu Zagreba prema Haurwitzu i Austinu (1944).

Od listopada do siječnja u prosjeku se tlak pare na Griču ne razlikuje značajno od tlaka pare u nizini oko grada. U ostalim mjesecima tlak pare na Griču prosječno je niži. Sniženje je najizrazitije u srpnju kada u prosjeku iznosi oko 0.9 hPa. Izgleda, da toj razlici više doprinosi smještaj termometrijske kućice na Griču (sjeverna strana zgrade, 6.0 m iznad tla), a manje utjecaj grada i veća nadmorska visina Griča.

Pri višoj temperaturi zrak može primiti više vodene pare. Zbog toga kao i zbog isparavanja, kondenzacije ili sublimacije topliji zrak obično sadrži više vodene pare, te ima veći tlak pare. Stoga je srednji godišnji hod tlaka pare (tablica 1) sličan srednjem godišnjem hodu temperature zraka. U tablici 1 vidi se da najveći mjesečni srednjak tlaka pare nije u srpnju, već u prosječno hladnijem kolovozu.

U tablici 1 ne navodi se vrijeme kad nastupa ekstrem, ako se ista vrijednost pojavljuje više od dva puta. To također vrijedi za tablice 3, 4, 5, 8, 10 i 11.

### 2.2. Godišnji hod tlaka pare po danima

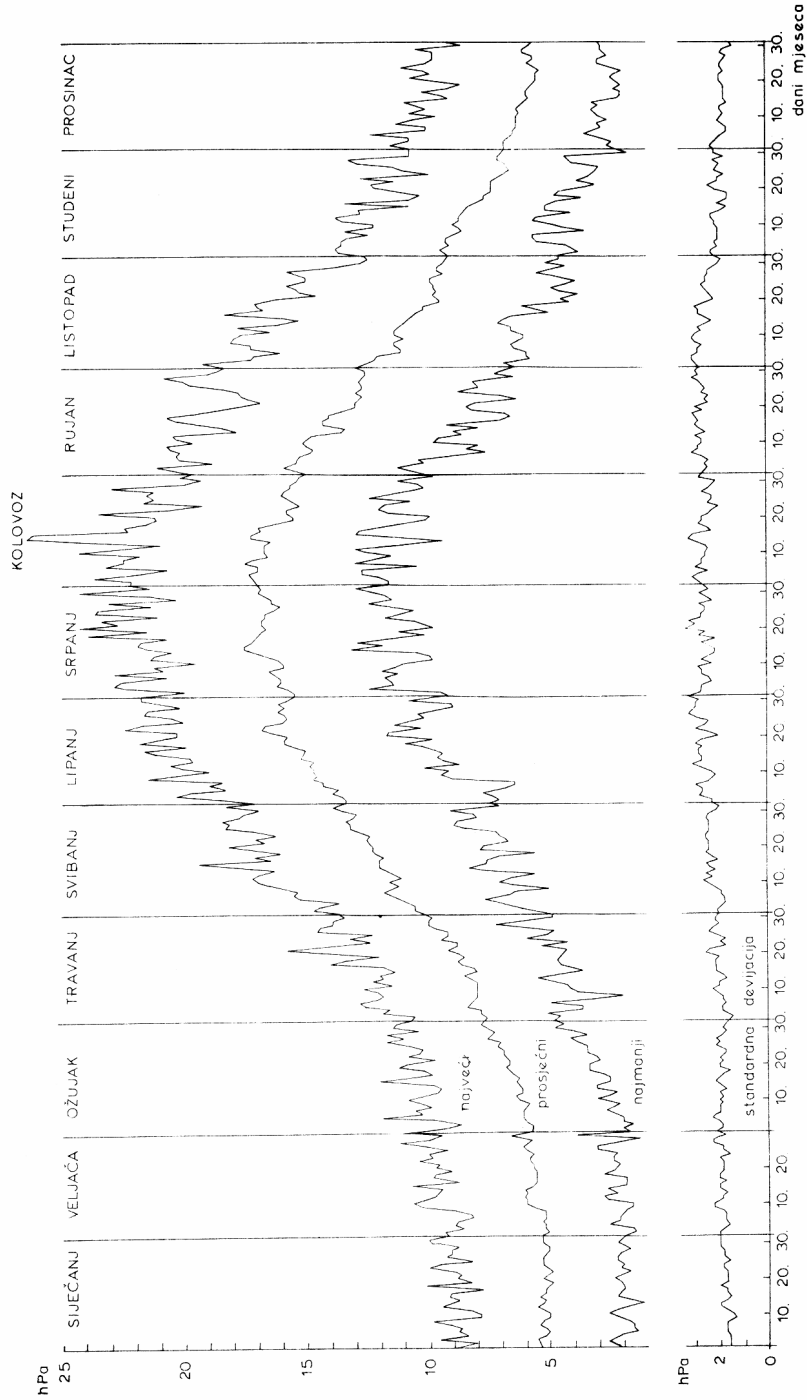
Najveći, prosječni i najmanji dnevni srednjaci tlaka pare (slika 1) mijenjaju se tijekom godine također slično kao i temperatura zraka. Zimi imaju mirniji hod. Standardna devijacija dnevnih srednjaka tlaka pare najveća je u srpnju, a najmanja u siječnju i prosincu.

Tablica 1. Podaci o mjesečnim i godišnjim srednjacima tlaka pare, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Table 1. Monthly and annual vapour pressure means, Zagreb–Grič, 1944–1978.

|                                  | I           | II   | III  | IV   | V    | I    | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | God. |
|----------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| hPa                              | čestine (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.1- 3.0                         |             | 3    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3.1- 4.0                         | 14          | 6    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4.1- 5.0                         | 23          | 17   | 6    |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 11   |
| 5.1- 6.0                         | 46          | 43   | 29   |      |      |      |      |      |      |      | 3    |      | 46   |
| 6.1- 7.0                         | 14          | 11   | 29   |      |      |      |      |      |      |      | 9    |      | 34   |
| 7.1- 8.0                         | 3           | 17   | 34   | 26   |      |      |      |      |      | 3    | 37   |      | 9    |
| 8.1- 9.0                         |             | 3    | 3    | 43   |      |      |      |      |      | 14   | 43   |      |      |
| 9.1-10.0                         |             |      |      | 26   | 3    |      |      |      |      | 20   | 6    |      | 20   |
| 10.1-11.0                        |             |      |      | 6    | 6    |      |      |      |      | 31   | 3    |      | 74   |
| 11.1-12.0                        |             |      |      |      | 54   |      |      |      | 6    | 23   |      |      | 6    |
| 12.1-13.0                        |             |      |      |      | 17   |      |      |      | 9    | 6    |      |      |      |
| 13.1-14.0                        |             |      |      |      | 20   | 17   |      |      | 43   |      |      |      |      |
| 14.1-15.0                        |             |      |      |      |      | 31   | 9    | 11   | 26   | 3    |      |      |      |
| 15.1-16.0                        |             |      |      |      |      | 37   | 29   | 29   | 11   |      |      |      |      |
| 16.1-17.0                        |             |      |      |      |      | 9    | 31   | 29   | 6    |      |      |      |      |
| 17.1-18.0                        |             |      |      |      |      | 6    | 23   | 26   |      |      |      |      |      |
| 18.1-19.0                        |             |      |      |      |      |      | 9    | 6    |      |      |      |      |      |
| srednji (hPa)                    | 5.2         | 5.6  | 6.5  | 8.5  | 12.0 | 15.1 | 16.4 | 16.4 | 13.9 | 10.5 | 8.0  | 6.0  | 10.4 |
| standardna devijacija (hPa)      | 0.8         | 1.2  | 0.9  | 0.8  | 0.9  | 1.1  | 1.1  | 1.1  | 1.2  | 1.3  | 0.9  | 0.8  | 0.4  |
| najveći (hPa) s godinom nastupa  | 7.8         | 8.1  | 8.5  | 10.8 | 13.6 | 17.6 | 18.4 | 18.5 | 16.8 | 14.1 | 10.4 | 7.9  | 11.2 |
|                                  | 1948        | 1966 | 1959 | 1961 |      | 1954 | 1959 | 1974 | 1975 | 1966 | 1963 | 1959 | 1951 |
| najmanji (hPa) s godinom nastupa | 3.3         | 2.9  | 4.8  | 7.2  | 10.0 | 13.3 | 14.5 | 14.3 | 11.3 | 7.6  | 6.0  | 4.3  | 9.7  |
|                                  | 1947        | 1956 | 1949 | 1955 | 1970 | 1962 | 1971 | 1953 | 1971 | 1947 | 1956 | 1962 | 1971 |





Slika 1. Najveći, prosječni i najmanji dnevni srednjaci tlaka pare, te standardne devijacije dnevnih srednjaka tlaka pare, Zagreb-Grič, razdoblje 1944-1978.

Figure 1. Largest, average and smallest daily means of vapour pressure, and standard deviations of vapour pressure daily means, Zagreb-Grič, 1944-1978.

Rast ili opadanje prosječnoga dnevnog srednjaka tlaka pare u nekom nizu datuma može biti posljedica vremenske singularnosti. U svrhu ispitivanja te singularnosti definiraju se prvi i posljednji datum toga rasta ili opadanja, te veličine M i N.

Prvi datum rasta je datum s najmanjim, a posljednji datum rasta datum s najvećim prosječnim dnevnim srednjakom tlaka pare. Obratno vrijedi za prvi i posljednji datum opadanja. Između prvoga i posljednjeg datuma rasta prosječni dnevni srednjak tlaka pare stalno se povećava, a između prvoga i posljednjeg datuma opadanja stalno se smanjuje.

Slovo M označuje broj onih godina kada je na posljednji datum nekoga rasta ili opadanja dnevni srednjak tlaka pare bio veći nego na prvi datum, a slovo N broj godina kada je odnos bio suprotan. M i N mogu se odnositi na razdoblje 1862–1900, 1901–1943. ili 1944–1978, dok su rast, opadanje, prvi i posljednji datum određeni isključivo prosječnim dnevnim srednjacima tlaka pare za razdoblje 1944–1978.

Pretpostavlja se da je rast ili opadanje prosječnoga dnevnog srednjaka tlaka pare za razdoblje 1944–1978. na slici 1 uvjetovano singularnošću, ako zadovoljava ove uvjete:

A. Apsolutni iznos rasta ili opadanja veći je od 0.5 hPa.

B. Rast ili opadanje ne uklapa se u opću tendenciju srednjega godišnjeg hoda tlaka pare u odgovarajućem dijelu godine.

C. Razlike M–N pozitivne su u slučaju rasta, a negativne u slučaju opadanja u sva tri razdoblja: 1862–1900, 1901–1943. i 1944–1978.

D. Prosječni dnevni srednjak tlaka pare slično se mijenja od prvoga do posljednjeg datuma u sva tri navedena razdoblja.

Uvjet A isključuje iz daljnjeg razmatranja neizrazit rast ili opadanje.

Zbog uvjeta B prednja pretpostavka o singularnosti odnosi se samo na rast ili opadanje koji se razlikuju od osnovne tendencije srednjega godišnjeg hoda tlaka pare. Stoga se očekuje da taj rast ili opadanje imaju zaseban uzrok.

Zbog uvjeta C pretpostavka o singularnosti odnosi se samo na rast ili opadanje, koji imaju sebi sličnu promjenu dnevnog srednjaka tlaka pare između prvoga i posljednjeg datuma u većini godina u svakom navedenom razdoblju.

Uvjeti C i D uzimaju u obzir i promjene dnevnih srednjaka tlaka pare prije prekida homogenosti u 1943. godini. Te promjene mogu se uzvati jer su uglavnom nezavisne o homogenosti. Uvažavanjem ovih promjena odabiru se izrazitije singularnosti.

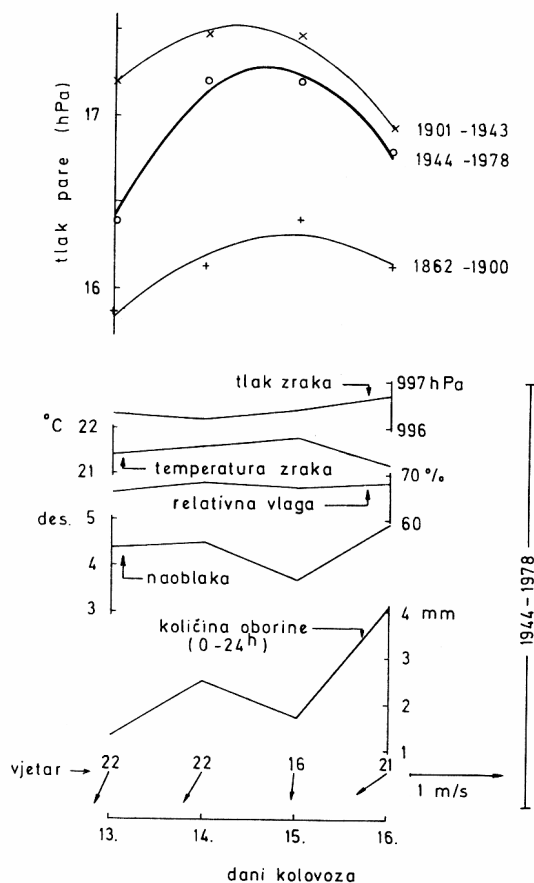
Tablica 2. Podaci o rastu prosječnoga dnevnog srednjaka tlaka pare koji zadovoljava uvjete A, B, C i D, Zagreb–Grič.

Table 2. Increase of vapour pressure average daily mean satisfying A, B, C and D conditions, Zagreb–Grič.

| 1944 – 1978.     |                        |                   |     | 1862–1900. | 1901–1943. |
|------------------|------------------------|-------------------|-----|------------|------------|
| prvi datum rasta | posljednji datum rasta | iznos rasta (hPa) | M–N | M–N        | M–N        |
| 13. VIII         | 14. VIII               | 0.8               | 17  | 8          | 13         |

Samo jedan niz datuma zadovoljava uvjete A-D (tablica 2). To su ipak samo datumi kad tlak pare raste uslijed singularnosti. Pridružimo li im sve susjedne uzastopne datume sa sličnim promjenama prosječnoga dnevnog srednjaka tlaka pare u sva tri razdoblja, dobivamo sve datume pod utjecajem singularnosti.

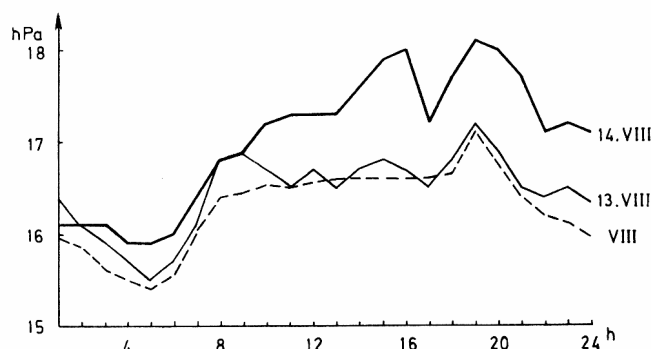
Produženi niz datuma od 13. do 16. VIII detaljnije će se proučiti. Na gornjem dijelu slike 2 prosječni dnevni srednjaci tlaka pare tih datuma za pojedina razdoblja označeni su križićem, putaćom i kružićem. Tim srednjacima za pojedino razdoblje pridijeljena je parabola metodom najmanje sume kvadrata. Na donjem dijelu slike ucrtani su prosječni dnevni srednjaci meteoroloških elemenata za razdoblje 1944–1978. Pored vektorskog srednjaka vjetra ispisana je njegova stalnost u %.



Slika 2. Prosječni dnevni srednjaci meteoroloških elemenata od 13. do 16. VIII, Zagreb–Grič.

Figure 2 Average daily means of meteorological elements, August 13–16, Zagreb–Grič.

Na slici 2 se uočava povećanje tlaka pare 14. i 15. VIII u sva tri razdoblja. U razdoblju 1944–1978. povećanje je u prosjeku izrazitije 14. VIII poslije 9 sati (slika 3). Ovu singularnost tlaka pare prati u prosjeku smanjenje tlaka zraka, a povećanje temperature zraka, relativne vlage, naoblake i količine oborine od 13. na 14. kolovoza, te zahlađenje koje zatim donosi tzv. evropski ljetni monsun (Vernić, 1952; Flohn, 1954). S tim u vezi frontalne grmljavine na Griču 16. VIII imaju povećanu čestinu (Penzar, 1977 b). Prema slici 1 i najveći dnevni srednjak tlaka pare mijenja se pod utjecajem ove singularnosti.



Slika 3. Srednji dnevni hod tlaka pare za 13. i 14. kolovoza, te za sve dane kolovoza, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Figure 3 Mean diurnal course of vapour pressure for August 13 and 14, and for all days in August, Zagreb–Grič, 1944–1978.

Najveći dnevni srednjak tlaka pare (tablica 3) je u kolovozu i to upravo u vrijeme opisane singularnosti. Najmanji dnevni srednjak tlaka pare najveću vrijednost postiže također u kolovozu.

### 2.3. Terminski ekstremi tlaka pare

Obzirom na termine 7, 14 i 21 sat najveći tlak pare je 27.6 hPa (tablica 4). I on se javlja u vrijeme opisane singularnosti tlaka pare u kolovozu. Najmanji terminski tlak pare iznosi 0.9 hPa, a zabilježen je u siječnju. Najmanji terminski tlak pare najveću vrijednost ima u kolovozu.

### 2.4. Dnevni hod tlaka pare

Srednji dnevni hod tlaka pare dobiven je iz srednjih satnih vrijednosti temperature zraka i relativne vlage. Prema slici 4 srednji dnevni hod tlaka pare od studenoga do svibnja ima oblik jednostavnog vala s minimumom u rano jutro, a maksimumom poslije podne. Jutarnji minimum nastaje jer je tijekom noći do Sunčeva izlaza gubitak vodene pare zbog difuzije, vertikalnog miješanja, kondenzacije u obliku rose ili sublimacije u obliku mraza veći od evapotranspiracije. Nakon Sunčeva izlaza evapotranspiracija je veća, te tlak pare raste do posljepodnevnog maksimuma. Sporedni posljepodnevni neizraziti minimum od lipnja do listopada nastaje zbog pojačanoga vertikalnog miješanja zraka. Tada je glavni maksimum u vrijeme oko Sunčeva zalaza.

Tablica 3. Podaci o dnevnim srednjacima tlaka pare, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

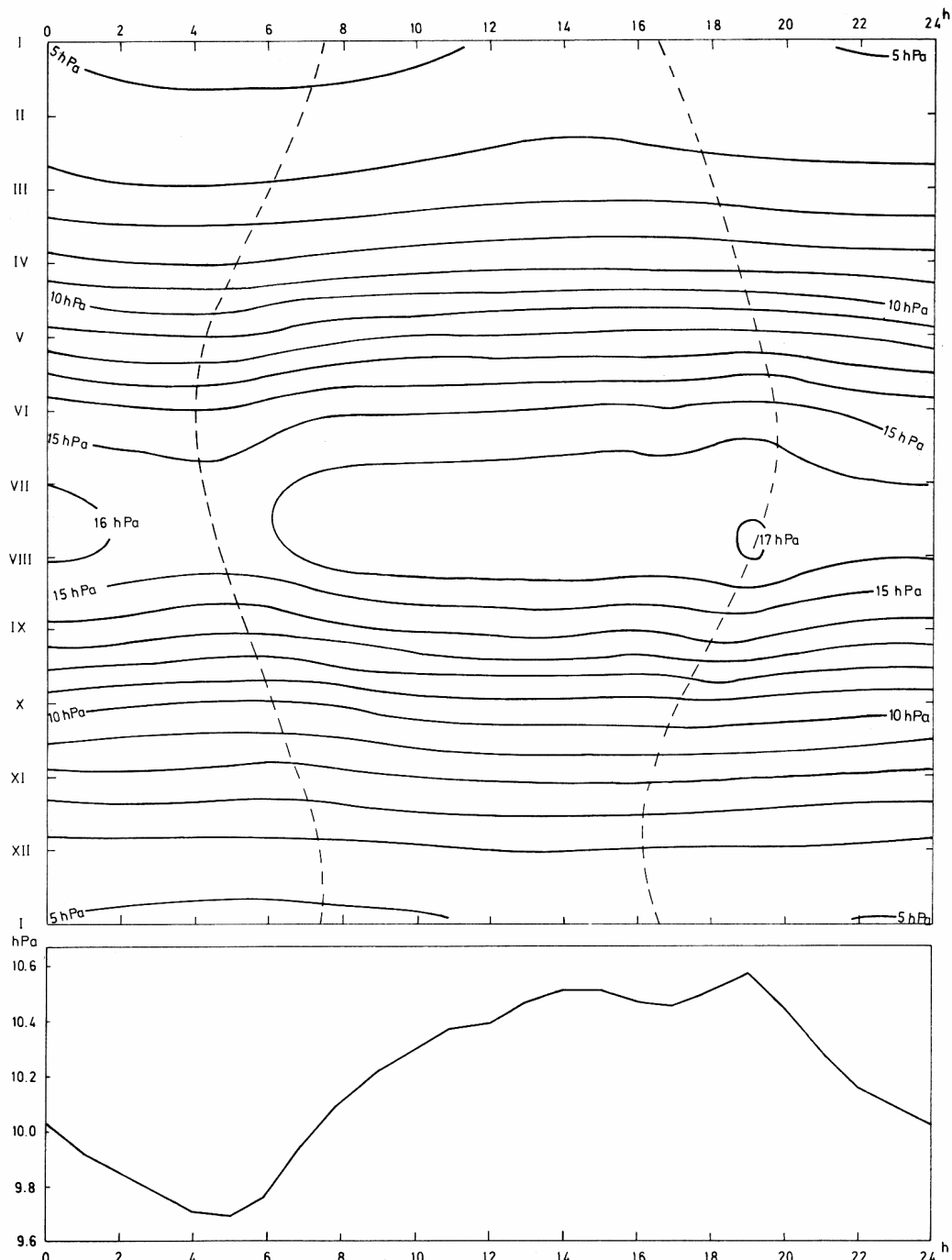
Table 3. Vapour pressure daily means, Zagreb–Grič, 1944–1978.

|                                  | I           | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI    | XII  |
|----------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| hPa                              | čestine (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| 0.1– 2.0                         | 1.4         | 1.5  | 0.5  | 0.1  |      |      |      |      |      |      | 0.1   | 0.4  |
| 2.1– 4.0                         | 27.6        | 21.3 | 10.4 | 0.7  |      |      |      |      |      | 0.2  | 2.7   | 14.7 |
| 4.1– 6.0                         | 38.2        | 34.4 | 32.0 | 12.8 | 0.4  |      |      |      |      | 3.3  | 17.0  | 40.4 |
| 6.1– 8.0                         | 27.2        | 31.6 | 33.8 | 26.8 | 4.2  | 0.9  |      |      | 1.8  | 15.4 | 31.9  | 30.5 |
| 8.1–10.0                         | 5.4         | 10.3 | 18.3 | 35.3 | 17.3 | 2.4  | 0.5  | 0.5  | 8.8  | 27.3 | 29.8  | 11.8 |
| 10.1–12.0                        | 0.1         | 0.8  | 5.0  | 19.4 | 30.0 | 11.1 | 4.2  | 4.0  | 16.6 | 25.9 | 14.4  | 2.1  |
| 12.1–14.0                        |             |      |      | 4.7  | 27.5 | 20.9 | 15.1 | 17.1 | 22.3 | 15.9 | 4.2   | 0.1  |
| 14.1–16.0                        |             |      |      | 0.3  | 15.6 | 27.8 | 24.6 | 26.0 | 24.3 | 8.3  |       |      |
| 16.1–18.0                        |             |      |      |      | 4.5  | 20.9 | 26.7 | 26.2 | 20.2 | 3.5  |       |      |
| 18.1–20.0                        |             |      |      |      | 0.6  | 13.0 | 21.1 | 18.2 | 4.9  | 0.3  |       |      |
| 20.1–22.0                        |             |      |      |      |      | 3.0  | 6.4  | 6.5  | 1.2  |      |       |      |
| 22.1–24.0                        |             |      |      |      |      | 0.1  | 1.2  | 1.3  |      |      |       |      |
| 24.1–26.0                        |             |      |      |      |      |      | 0.2  | 0.2  |      |      |       |      |
| 26.1–28.0                        |             |      |      |      |      |      |      | 0.2  |      |      |       |      |
| najveći (hPa) s datumom nastupa  |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                                  | 10.1        | 11.2 | 12.0 | 15.7 | 19.3 | 22.4 | 24.3 | 26.4 | 21.1 | 19.2 | 13.7  | 12.3 |
| godina                           | 1956        | 1978 | 1969 | 1950 | 1948 | 1961 | 1947 | 1972 | 1969 | 1975 | 1963  | 1961 |
| dan                              | 18.         | 27.  | 15.  | 21.  | 15.  | 22.  | 30.  | 14.  | 3.   | 2.   | 3,12. | 5.   |
| godina                           |             |      |      |      |      |      | 1955 |      |      |      |       |      |
| dan                              |             |      |      |      |      |      | 20.  |      |      |      |       |      |
| najmanji (hPa) s datumom nastupa |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                                  | 1.2         | 1.3  | 1.6  | 2.0  | 4.9  | 6.4  | 9.1  | 9.3  | 6.3  | 3.7  | 1.7   | 2.0  |
| godina                           | 1968        | 1963 | 1949 | 1956 | 1962 | 1962 | 1971 | 1949 | 1964 | 1947 | 1957  |      |
| dan                              | 13.         | 28.  | 3.   | 8.   | 1.   | 6,7. | 1.   | 13.  | 22.  | 21.  | 30.   |      |

Tablica 4. Najveći i najmanji terminski tlak pare, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

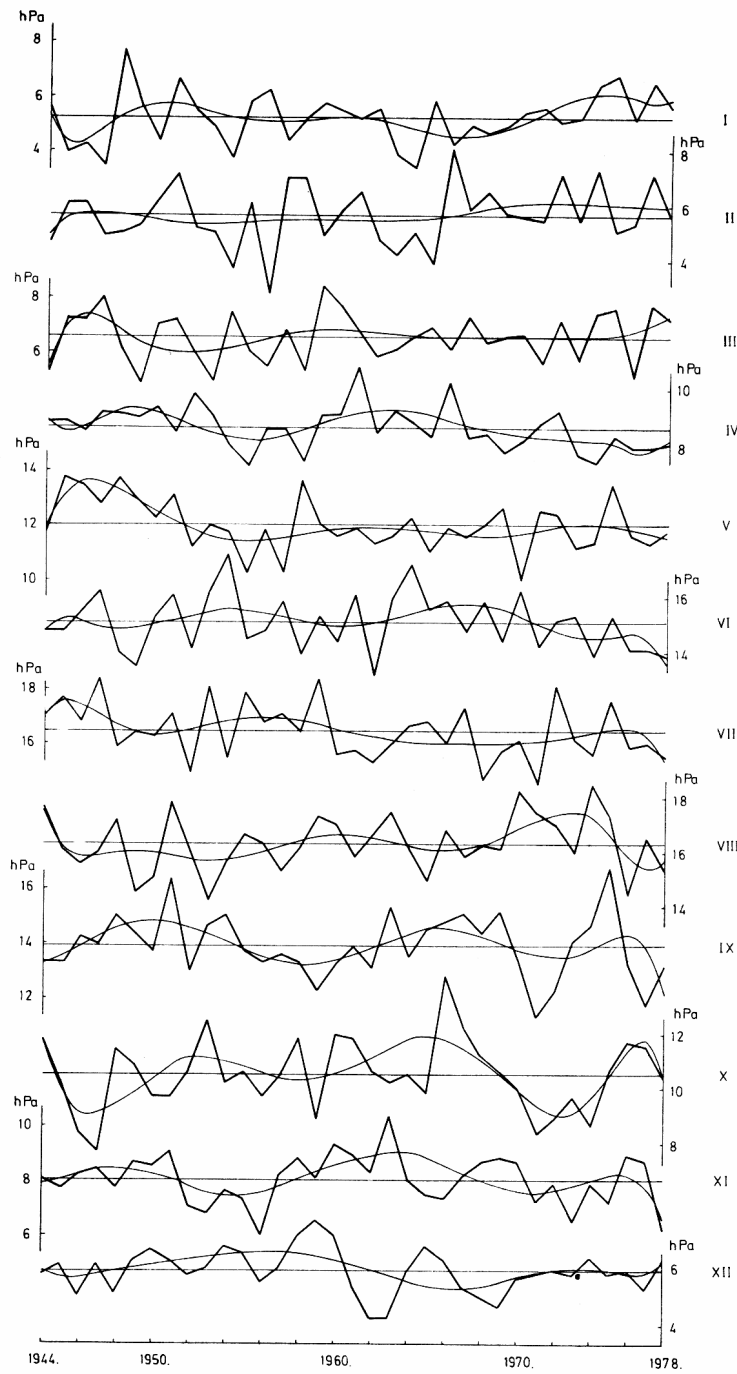
Table 4. Largest and smallest vapour pressure, Zagreb–Grič, 1944–1978.

|                                  | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| najveći (hPa) s datumom nastupa  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                  | 11.5 | 11.9 | 13.1 | 18.0 | 20.3 | 27.1 | 26.5 | 27.6 | 24.3 | 20.3 | 15.1 | 14.1 |
| godina                           | 1948 | 1977 | 1951 | 1950 | 1948 | 1975 | 1955 | 1972 | 1975 | 1975 | 1963 | 1961 |
| dan                              | 8.   | 25.  | 19.  | 21.  | 15.  | 16.  | 20.  | 15.  | 17.  | 2.   | 2.   | 5.   |
| godina                           |      |      | 1964 | 1968 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| dan                              |      |      | 30.  | 27.  |      |      |      |      |      |      |      |      |
| najmanji (hPa) s datumom nastupa |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                  | 0.9  | 1.2  | 1.3  | 1.6  | 4.5  | 5.6  | 7.7  | 8.0  | 5.3  | 3.1  | 1.1  | 1.5  |
| godina                           | 1968 |      | 1971 | 1956 | 1957 | 1962 | 1971 | 1949 | 1954 | 1947 | 1957 | 1962 |
| dan                              | 13.  |      | 6.   | 8.   | 8.   | 7.   | 9.   | 13.  | 30.  | 21.  | 30.  | 23.  |
| godina                           |      |      |      |      |      |      |      | 1968 |      |      |      |      |
| dan                              |      |      |      |      |      |      |      | 19.  |      |      |      |      |



Slika 4. Izoplete i srednji dnevni hod tlaka pare, Zagreb-Grič, razdoblje 1944-1978 (--- vrijeme Sunčeva izlaza i zalaza).

Figure 4. Isopleths and mean diurnal course of vapour pressure, Zagreb-Grič, 1944-1978 (--- sunrise and sunset time).



Slika 5. Mjesečni srednjaci tlaka pare, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.  
 Figure 5 Vapour pressure monthly means, Zagreb–Grič, 1944–1978.

Prosječno je tlak pare najmanji u siječnju između 4 i 6 sati. Tada iznosi 4.7 hPa. Najveću vrijednost 17.1 hPa tlak pare prosječno poprima u kolovozu u 19 sati. To je već šesti slučaj da neka karakteristika tlaka pare ima najveću vrijednost u kolovozu, a ne u najtoplijem srpnju, vjerojatno zbog slabijega vertikalnog miješanja zraka u kolovozu.

Za bilo koji dio dana može se reći da je srednji tlak pare najmanji u siječnju, a najveći u kolovozu ili rjeđe u srpnju.

### 2.5. Promjene mjesečnih srednjaka tlaka pare

Slika 5 prikazuje mjesečne srednjake tlaka pare. Tim srednjacima prilagođeni su metodom najmanje sume kvadrata polinomi osmoga stupnja. Grafovi tih polinoma ucrtani su također na slici 5.

Tlak pare nema izraziti trend ni u jednom mjesecu.

Mjesečni srednjaci tlaka pare prema slici 5 ne mijenjaju se često slično u susjednim mjesecima. Znači, ista tendencija tlaka pare ne zahvaća često susjedne mjesece. Prema grafovima polinoma tlak pare samo u rujnu i listopadu ima donekle slične promjene.

## 3. Relativna vlaga

### 3.1. Godišnji hod relativne vlage po mjesecima

Srednja relativna vlaga na Griču je u siječnju oko 2% viša, a u srpnju oko 7% niža od odgovarajuće srednje relativne vlage za geografsku širinu Zagreba prema Haurwitzu i Austinu (1944).

Inače je na Griču srednja relativna vlaga tijekom čitave godine niža nego u nizi ni oko grada. Prosječna razlika iznosi oko 7%. To je posljedica utjecaja grada i povišenog položaja Griča.

Srednja relativna vlaga najviša je u prosincu (tablica 5). To obilježje kontinentalnog dijela Jugoslavije (Škreb i suradnici, 1942; Milosavljević, 1978) uglavnom je posljedica najdužega noćnog hlađenja, te najkraćega i najslabijeg danjeg grijanja zraka u tom mjesecu. Sporedni lipanjski maksimum u vezi je s glavnom fazom evropskoga ljetnog monsunu. Srednja relativna vlaga najniža je u travnju.

Glavni minimum u srednjem godišnjem hodu relativne vlage javlja se u travnju na nizinskom kontinentalnom području Evrope koje leži zapadno od 20 °E, te između 45 i 50 °N. To pokazuju srednji godišnji hodovi relativne vlage evropskih stanica (WMO, 1962). Iz visinskih podataka relativne vlage Zagreba za 1 i 13 sati (Hrabak-Tumpa, 1972) može se zaključiti da se travanjski glavni minimum relativne vlage pojavljuje u sloju od tla do visine 1000 m.

Travanjski minimum relativne vlage može se objasniti pomoću izraza za relativnu vlagu

$$U = \frac{e}{E} 100$$

i jednadžbe stanja vodene pare

$$e = R_v \rho_v T$$



Tablica 5. Podaci o mjesečnim i godišnjim srednjacima relativne vlage, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Table 5. Monthly and annual relative humidity means, Zagreb–Grič, 1944–1978.

|                                | I           | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | God. |
|--------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| %                              | čestine (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 46-50                          |             |      | 3    | 3    |      |      | 3    |      |      |      |      |      |      |
| 51-55                          |             |      | 6    | 6    |      |      | 6    | 6    |      |      |      |      |      |
| 56-60                          |             |      | 14   | 31   | 9    | 17   | 11   | 9    | 3    | 3    |      |      |      |
| 61-65                          |             | 9    | 26   | 46   | 49   | 26   | 31   | 23   | 11   | 3    |      |      |      |
| 66-70                          |             | 23   | 31   | 14   | 37   | 46   | 43   | 31   | 31   | 9    |      |      | 43   |
| 71-75                          | 26          | 34   | 17   |      | 6    | 11   | 6    | 31   | 40   | 31   | 23   | 6    | 57   |
| 76-80                          | 29          | 26   | 3    |      |      |      |      |      | 14   | 43   | 37   | 29   |      |
| 81-85                          | 43          | 9    |      |      |      |      |      |      |      | 11   | 34   | 57   |      |
| 86-90                          | 3           |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 6    | 9    |      |
| srednji (%)                    | 79.2        | 72.7 | 65.0 | 61.1 | 64.7 | 65.6 | 64.7 | 66.9 | 70.7 | 75.4 | 79.3 | 81.3 | 70.6 |
| standardna devijacija (%)      | 4.4         | 5.1  | 6.2  | 4.1  | 4.0  | 4.2  | 5.3  | 5.8  | 5.0  | 5.2  | 4.6  | 3.4  | 2.0  |
| najveći (%) s godinom nastupa  | 89          | 83   | 76   | 88   | 73   | 72   | 73   | 74   | 78   | 84   | 89   | 88   | 74   |
|                                | 1974        | 1947 | 1964 | 1972 | 1978 |      | 1955 |      | 1968 | 1976 | 1962 | 1950 | 1978 |
|                                |             | 1969 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1964 |      |
| najmanji (%) s godinom nastupa | 71          | 62   | 60   | 60   | 56   | 57   | 60   | 53   | 56   | 60   | 71   | 74   | 66   |
|                                | 1949        | 1949 | 1953 | 1946 | 1973 | 1945 | 1952 | 1946 | 1947 | 1947 | 1969 | 1961 | 1946 |
|                                | 1976        |      |      |      |      | 1950 |      |      |      |      |      |      | 1949 |

Naime, pomoću ova dva izraza možemo:

- pokazati da relativna vlaga ovisi samo o temperaturi zraka i gustoći vodene pare,
- izračunati srednju gustoću vodene pare po mjesecima za razdoblje 1944–1978. uvrštavanjem višegodišnjih mjesečnih srednjaka relativne vlage i temperature zraka za to razdoblje; prema tablici 6 najveći porast srednje gustoće vodene pare je u svibnju, a srednje temperature zraka u travnju,
- pokazati da travanjskog minimuma relativne vlage ne bi uopće bilo kada bi u travnju srednja temperatura zraka bila niža za 1.0 °C, ili kad bi srednja gustoća vodene pare bila veća za 0.0004 kg m<sup>-3</sup>.

Navedene činjenice pokazuju da travanjski minimum relativne vlage nastaje zbog brzog zagrijavanja zraka i nedovoljnog porasta gustoće vodene pare u travnju. Brzo zagrijavanje zraka u travnju karakteristično je za nizinsko kontinentalno područje na kojem se upravo i javlja travanjski minimum relativne vlage. Nedovoljni porast gustoće vodene pare u travnju, barem djelomično, posljedica je smanjene transpiracije prije početka listanja polovinom travnja. Na taj zaključak upućuje podatak da iz osrednjega stabla u povoljnim prilikama dnevno ispari oko 11 litara vode.

Tablica 6. Srednje međumjesečne razlike u gustoći vodene pare i temperaturi zraka od siječnja do kolovoza, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Table 6. Mean intermonthly differences in water vapour density and air temperature, January to August, Zagreb–Grič, 1944–1978.

| II-I                                       | III-II | IV-III | V-IV   | VI-V   | VII-VI | VIII-VII |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| gustoća vodene pare ( $\text{kg m}^{-3}$ ) |        |        |        |        |        |          |
| 0.0003                                     | 0.0007 | 0.0016 | 0.0024 | 0.0022 | 0.0010 | 0.0000   |
| temperatura zraka ( $^{\circ}\text{C}$ )   |        |        |        |        |        |          |
| 2.4  | 4.1    | 5.2    | 4.2    | 3.4    | 1.7    | -0.6     |

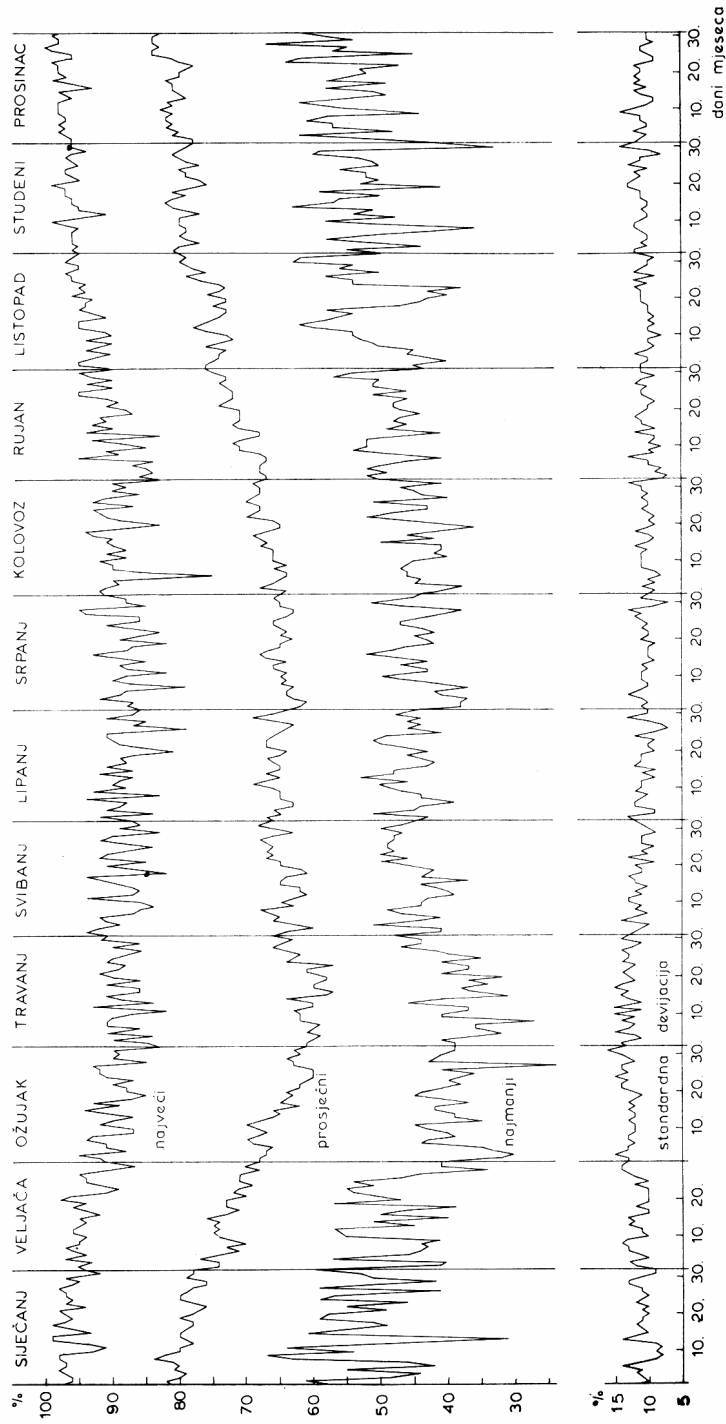
### 3.2. Godišnji hod relativne vlage po danima

Najveći, prosječni i najmanji dnevni srednjaci relativne vlage (slika 6) smanjuju se od početka godine do travnja, zatim rastu do svibnja ili lipnja. Ponovno opadaju otprilike do srpnja, a potom rastu prema svršetku godine. Takve promjene najvećega dnevnog srednjaka relativne vlage slabije su izražene. Najmanji dnevni srednjak relativne vlage ima izrazitije sniženje od siječnja do travnja. To pokazuje da je tendencija sniženja relativne vlage u travnju izrazitija pri suhom vremenu. A to je u skladu s tumačenjem te tendencije, jer je pri suhom vremenu zagrijavanje zraka jače i više dolazi do izražaja smanjenje transpiracije.

Standardna devijacija dnevnih srednjaka relativne vlage na slici 6 najveća je u ožujku, a najmanja u lipnju, srpnju i rujnu.

Do singularnosti relativne vlage dolazi se postupkom koji je analogan onom kod tlaka pare, s tim da uvjet A glasi: apsolutni iznos rasta ili opadanja veći je od 3%. Pet nizova datuma zadovoljava uvjete A, B, C i D (tablica 7). Kao i kod tlaka pare, ovi nizovi se produžuju susjednim datumima, a nakon toga detaljnije analiziraju. Dva susjedna niza u lipnju analiziraju se zajedno.

Na slici 7 ucrtani su prosječni dnevni srednjaci relativne vlage od 21. do 27. I za tri razdoblja. Tim srednjacima prilagođeni su metodom najmanje sume kvadrata polinomi četvrtog stupnja. Grafovi tih polinoma ucrtani su također na slici 7. Ostalo je kao na slici 2. Prosječni dnevni srednjaci relativne vlage mijenjaju se od 21. do 27. I u razdobljima 1862–1900. i 1901–1943. veoma slično, a u odnosu na razdoblje 1944–1978. samo u zaostatku od 1 dana. Period od 5 dana u sva tri razdoblja dovodi se u vezu s ritmom atmosferskih procesa. Sniženje relativne vlage oko 22. I uvjetovano je češćim suhim anticiklonalnim stanjima na početku treće dekade siječnja (Flohn, 1954). Stoga je prosječno 22. I tlak zraka povišen, dok su temperatura zraka, tlak pare, naoblaka i količina oborine smanjeni. Krajem siječnja češća je ciklonalna aktivnost sa strujanjem oceanskog zraka (Flohn, 1954). Padanje oborine, te hlađenje vlažnoga i toplog oceanskog zraka u dodiru s hladnim tlom povećavaju relativnu vlagu oko 25. I. Tada je prosječno tlak zraka snižen, dok su temperatura zraka, tlak pare i naoblaka povećani. Na slici 8 vidi se da je 25. I relativna vlaga u prosjeku tijekom dana stalno viša nego 22. I. Razlika je veća u posljepodnevnim satima.



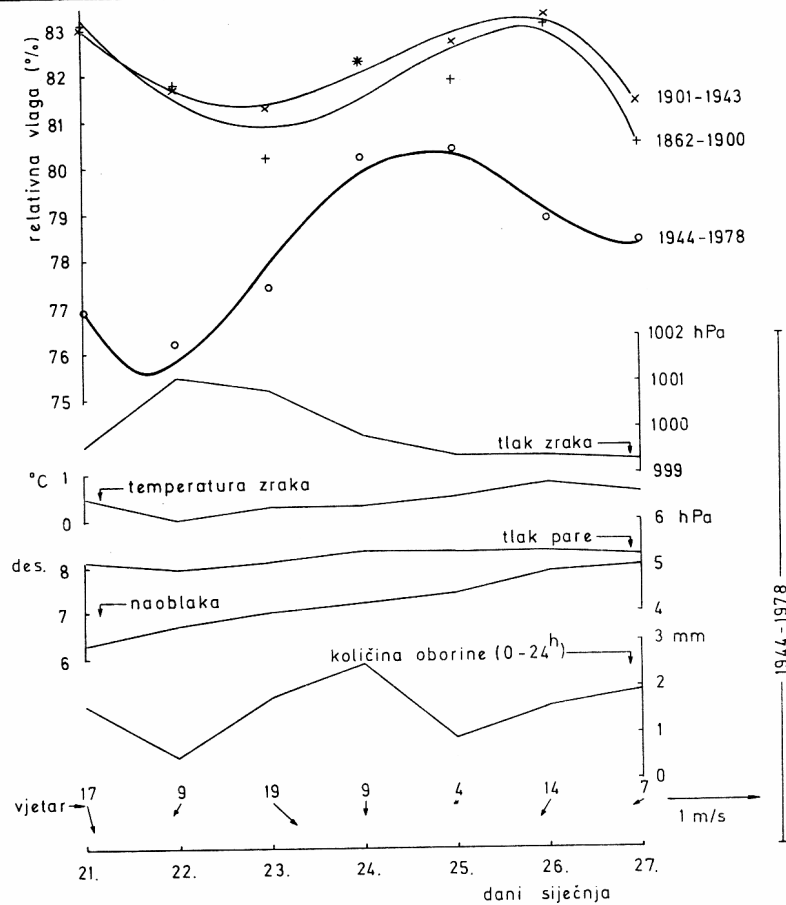
Slika 6. Najveći, prosječni i najmanji dnevni srednjaci relativne vlage, te standardne devijacije dnevnih srednjaka relativne vlage, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Figure 6 Largest, average and smallest daily means of relative humidity, and standard deviations of relative humidity daily means, Zagreb–Grič, 1944–1978.

Tablica 7. Podaci o slučajevima rasta i opadanja prosječnoga dnevnog srednjaka relativne vlage koji zadovoljavaju uvjete A, B, C i D, Zagreb-Grič.

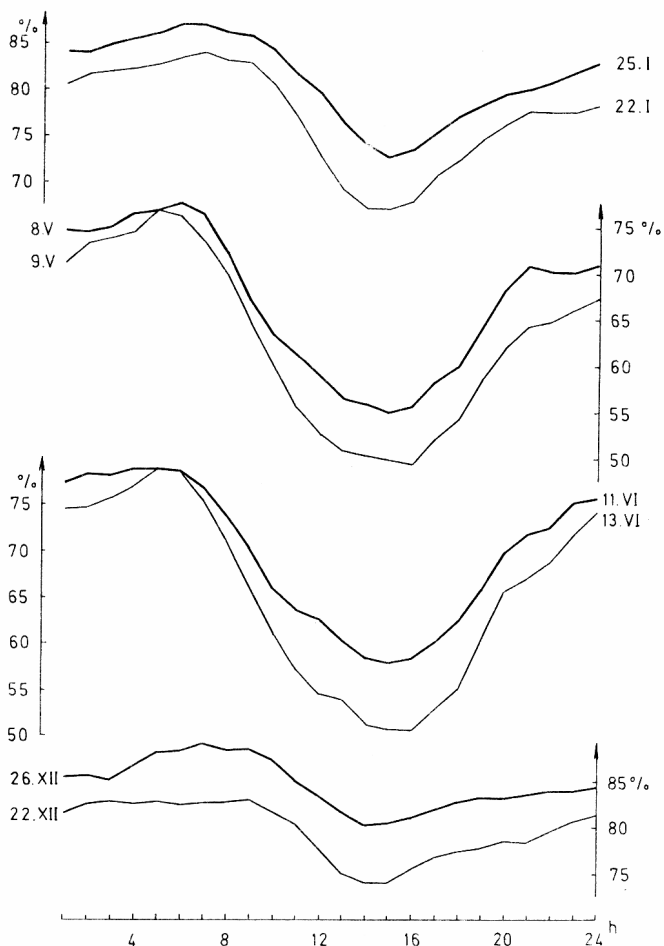
Table 7. Increases and decreases of relative humidity average daily mean satisfying conditions A, B, C and D, Zagreb-Grič.

| 1944 - 1978.                  |                                     |                              |     | 1862-1900. | 1901-1943. |
|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----|------------|------------|
| prvi datum rasta ili opadanja | posljednji datum rasta ili opadanja | iznos rasta ili opadanja (%) | M-N | M-N        | M-N        |
| 22. I                         | 24. I                               | 4                            | 13  | 2          | 2          |
| 8. V                          | 9. V                                | -5                           | -9  | -4         | -1         |
| 9. VI                         | 11. VI                              | 4                            | 3   | 8          | 5          |
| 11. VI                        | 13. VI                              | -4                           | -12 | -4         | -15        |
| 22. XII                       | 25. XII                             | 6                            | 13  | 3          | 4          |



Slika 7. Prosječni dnevni srednjaci meteoroloških elemenata od 21. do 27. I, Zagreb-Grič.

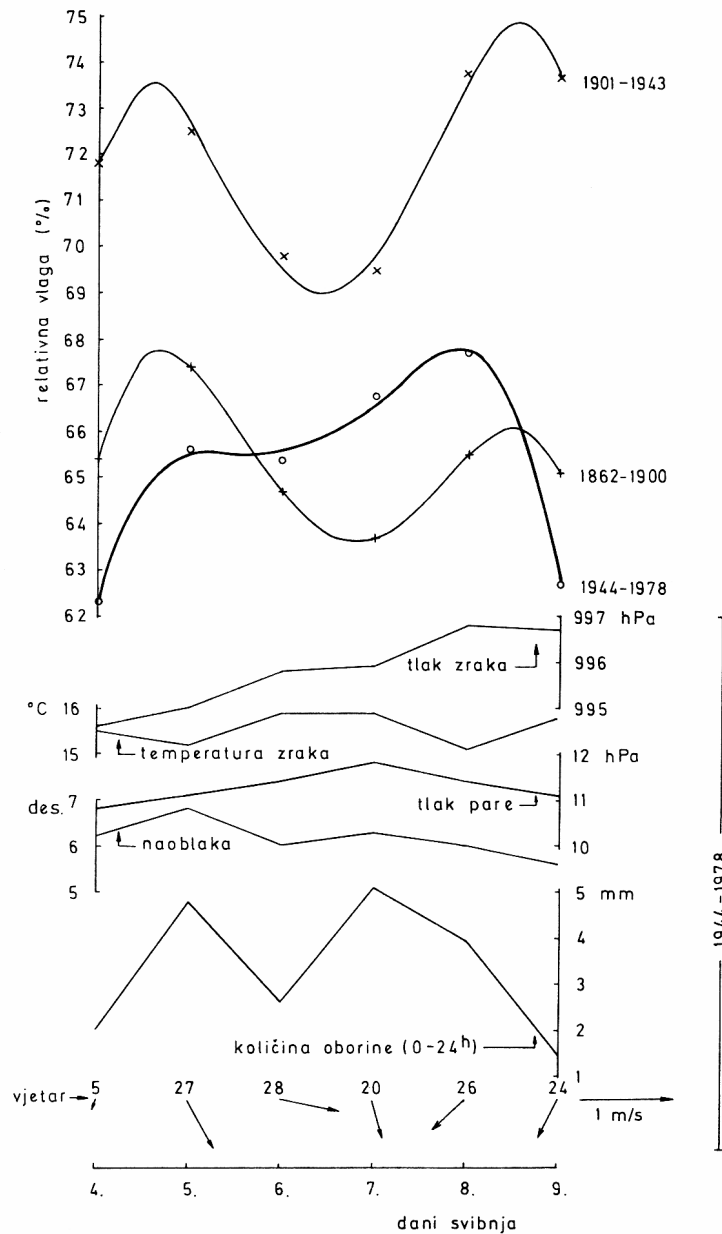
Figure 7. Average daily means of meteorological elements, January 21-27, Zagreb-Grič.



Slika 8. Srednji dnevni hod relativne vlage za datume s povišenom, odnosno sniženom relativnom vlagom, Zagreb-Grič, razdoblje 1944-1978.

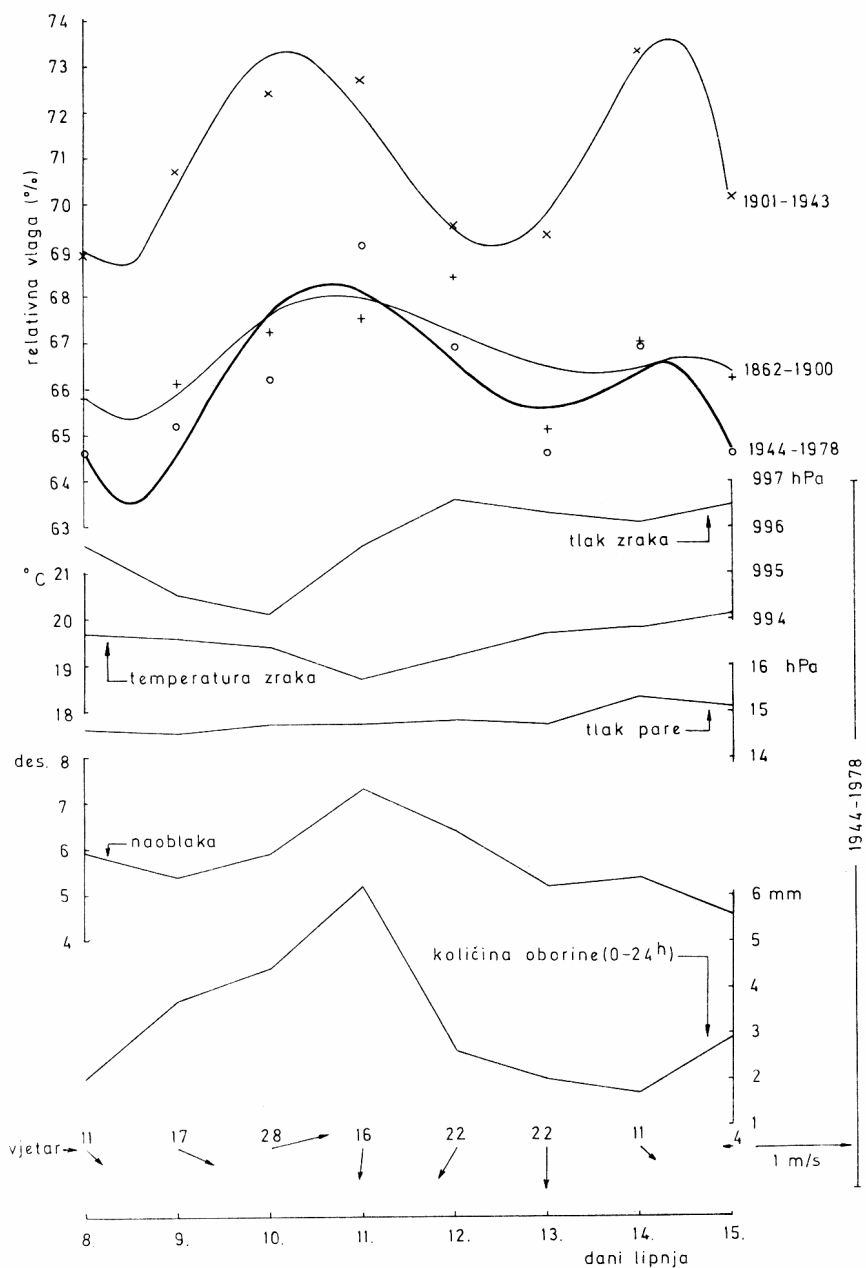
Figure 8 Mean diurnal course of relative humidity on days with its high viz. low values, Zagreb-Grič, 1944-1978.

Oznake i grafovi na slici 9 analogni su onima na slici 7. Od 4. do 9. V prosječni dnevni srednjaci relativne vlage slično se mijenjaju u sva tri razdoblja, te tvore dva maksimuma. Period od 3-4 dana u sva tri razdoblja također se dovodi u vezu s ritmom atmosferskih procesa. Tijekom ovih datuma tlak zraka u prosjeku raste. U prosjeku datumi povišene relativne vlage imaju uglavnom sniženu temperaturu zraka, a povećanu naoblaku i količinu oborine. To su datumi s češćim hladnim prodorima. Hladni prodori od 8. V odgovarali bi tzv. „ledenim svecima“. Naime, ovi prodori u posljednjih stotinjak godina ne nastupaju početkom druge dekade svibnja, već 3 do 4 dana ranije (Flohn, 1954). Prema slici 8 razlika između relativne vlage 8. i 9. V u prosjeku je veća od 11 do 22 sata, dok je u 5 sati jednaka nuli.



Slika 9. Prosječni dnevni srednjaci meteoroloških elemenata od 4. do 9. V, Zagreb–Grič.

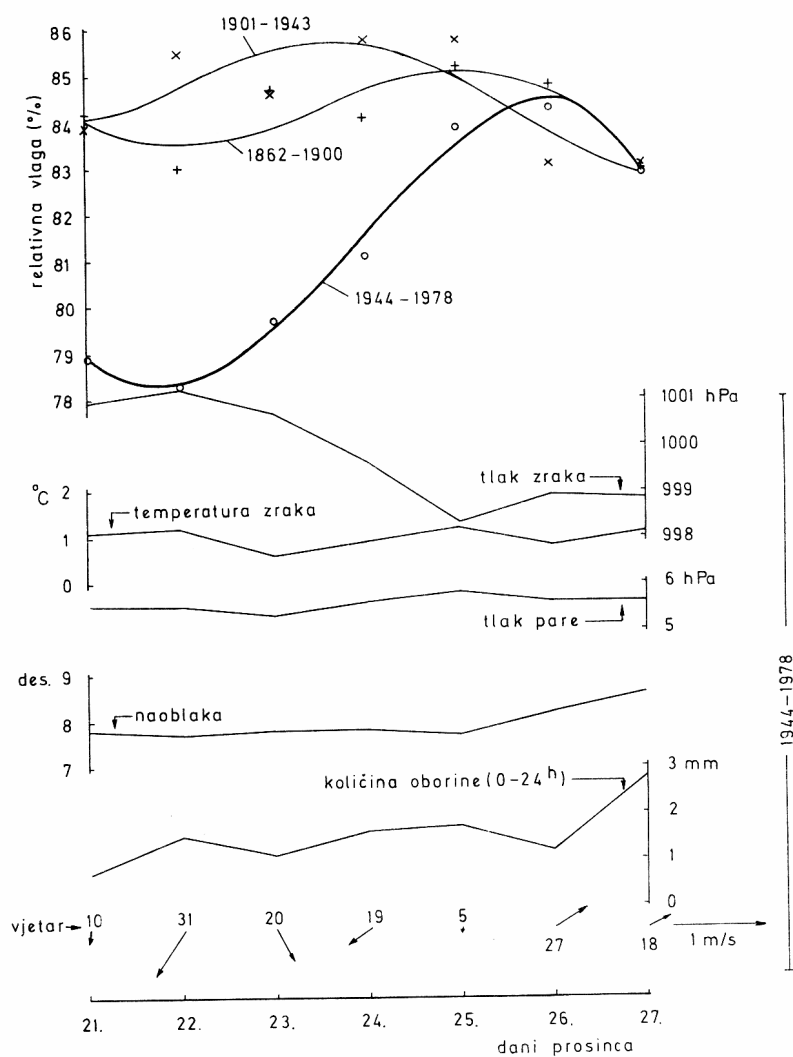
Figure 9. Average daily means of meteorological elements, May 4–9, Zagreb–Grič.



Slika 10. Prosječni dnevni srednjaci meteoroloških elemenata od 8. do 15. VI, Zagreb–Grič.

Figure 10 Average daily means of meteorological elements, June 8–15, Zagreb–Grič.

Slika 10 odnosi se na datume od 8. do 15. VI. Na gornjem dijelu slike su grafovi polinoma petog stupnja, ostalo je kao na slici 7. I u ovom nizu datuma pojavljuju se dva maksimuma relativne vlage. Period je 4 dana, a sličnost krivulja relativne vlage je velika. Od 8. do 10. VI tlak zraka u prosjeku opada, a vektorski srednjak vjetra ima zapadni smjer. Zatim tlak zraka raste, a vektorski srednjak vjetra ima sjeverni smjer. U odnosu na relativnu vlagu temperatura zraka pokazuje suprotne, a naoblaka i količina oborine slične tendencije. Ove promjene su u vezi s evropskim ljetnim monsunom, tj. s prodori-



Slika 11. Prosječni dnevni srednjaci meteoroloških elemenata od 21. do 27. XII, Zagreb-Grič.

Figure 11 Average daily means of meteorological elements, December 21-27, Zagreb-Grič.



ma svježega zraka s Atlantika. Analiza stogodišnjega niza temperature zraka opservatorija Zagreb-Grič pokazuje da su ti prodori češći 11. i 14. VI (Penzar, 1977 a). A to su upravo datumi povećane relativne vlage na slici 10. Prema slici 8 prosječna razlika između relativne vlage 11. i 13. VI veća je od 11 do 18 sati, dok je u 5 i 6 sati jednaka nuli.

Sličnost promjena prosječnih dnevnih srednjaka relativne vlage u tri razdoblja od 21. do 27. XII je mala. Period je 6 do 8 dana. To se vidi na slici 11. Oznake i grafovi na toj slici analogni su onim na slici 7. Ove promjene relativne vlage objašnjavaju se slično kao i one od 21. do 27. I. Naime, na početku treće dekade prosinca nad srednjom Evropom češća su anticiklonalna stanja, dok su pri kraju prosinca češća ciklonal-

Tablica 8. Podaci o dnevnim srednjacima relativne vlage, Zagreb-Grič, razdoblje 1944-1978.

Table 8. Relative humidity daily means, Zagreb-Grič, 1944-1978.

|                                | I           | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|--------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ‰                              | čestine (‰) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 21- 25                         |             |      | 0.1  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 26- 30                         |             |      | 0.1  | 0.1  |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 31- 35                         | 0.1         | 0.1  | 0.4  | 0.6  |      |      |      |      |      |      | 0.1  |      |
| 36- 40                         |             | 0.4  | 1.3  | 2.9  | 0.3  | 0.1  | 0.6  | 0.5  |      | 0.3  | 0.2  |      |
| 41- 45                         | 0.4         | 1.2  | 4.8  | 7.0  | 1.8  | 1.8  | 2.6  | 1.5  | 0.4  | 0.7  | 0.3  | 0.3  |
| 46- 50                         | 0.6         | 1.6  | 6.8  | 13.2 | 6.7  | 3.2  | 5.3  | 3.4  | 2.4  | 0.6  | 0.7  | 0.6  |
| 51- 55                         | 1.4         | 3.3  | 13.1 | 14.6 | 15.1 | 10.9 | 9.9  | 6.3  | 5.1  | 1.5  | 1.5  | 1.0  |
| 56- 60                         | 2.9         | 8.0  | 13.6 | 14.1 | 17.4 | 17.9 | 17.4 | 15.0 | 8.7  | 4.1  | 2.9  | 2.0  |
| 61- 65                         | 5.4         | 12.4 | 12.7 | 12.0 | 14.8 | 21.2 | 21.4 | 19.8 | 13.9 | 10.3 | 6.2  | 4.4  |
| 66- 70                         | 11.2        | 15.9 | 12.3 | 11.7 | 13.0 | 13.9 | 17.1 | 20.4 | 18.9 | 12.5 | 10.0 | 8.9  |
| 71- 75                         | 15.0        | 15.3 | 11.4 | 7.1  | 12.0 | 11.9 | 10.0 | 14.3 | 19.4 | 20.6 | 12.9 | 10.0 |
| 76- 80                         | 13.6        | 14.2 | 8.9  | 6.3  | 7.9  | 9.4  | 6.8  | 8.2  | 13.5 | 17.4 | 14.5 | 14.7 |
| 81- 85                         | 17.1        | 13.4 | 7.3  | 6.3  | 6.5  | 5.3  | 5.2  | 5.1  | 9.5  | 13.8 | 16.8 | 18.1 |
| 86- 90                         | 15.2        | 8.0  | 5.6  | 3.0  | 3.0  | 3.2  | 3.4  | 4.2  | 6.0  | 10.7 | 16.9 | 17.1 |
| 91- 95                         | 13.0        | 5.4  | 1.6  | 1.1  | 1.4  | 1.0  | 0.6  | 1.4  | 2.2  | 6.8  | 14.8 | 16.5 |
| 96-100                         | 4.0         | 0.8  |      |      |      |      |      |      |      | 0.6  | 2.5  | 6.3  |
| najveći (‰) s datumom nastupa  |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                | 99          | 98   | 95   | 93   | 94   | 94   | 95   | 94   | 95   | 97   | 99   | 100  |
| godina                         |             | 1950 | 1954 | 1962 |      | 1951 | 1976 | 1968 |      | 1944 | 1948 | 1957 |
| dan                            |             | 20.  | 3.   | 12.  |      | 7.   | 28.  | 18.  |      | 30.  | 20.  | 27.  |
| godina                         |             |      |      |      |      |      |      |      |      | 1967 | 1972 |      |
| dan                            |             |      |      |      |      |      |      |      |      | 27.  | 10.  |      |
| najmanji (‰) s datumom nastupa |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                | 31          | 34   | 24   | 27   | 37   | 39   | 37   | 36   | 41   | 38   | 33   | 43   |
| godina                         | 1968        | 1973 | 1953 | 1956 | 1963 | 1962 | 1950 | 1946 | 1945 | 1971 | 1957 | 1957 |
| dan                            | 13.         | 28.  | 27.  | 8.   | 16.  | 6.   | 4.   | 19.  | 7.   | 23.  | 30.  | 1.   |
| godina                         |             |      |      |      |      |      | 1952 |      | 1950 |      |      |      |
| dan                            |             |      |      |      |      |      | 7.   |      | 14.  |      |      |      |

na stanja sa strujanjem oceanskog zraka (Flohn, 1954). Najbolje se to vidi u opadanju srednjega tlaka zraka i promjeni smjera vektorskog srednjaka vjetra od NE 22. XII na SW smjer 26. i 27. XII. Prosječne razlike između relativne vlage 26. i 22. XII veće su sredinom dana (slika 8).

Tablica 8 daje još neke obavijesti o dnevnom srednjaku relativne vlage. U prosincu je najveća (100%), a u ožujku najmanja vrijednost toga srednjaka (24%).

### 3.3. Najniže vrijednosti relativne vlage

Najniže vrijednosti relativne vlage, koje je higrograf zabilježio u puni sat (tablica 9), pod osjetnim su utjecajem danjeg grijanja zraka. Izuzevši siječanj, sve te vrijednosti nastaju naime između 12 i 17 sati. Najniža satna vrijednost relativne vlage 10% zabilježena je u poslijepodnevnom satima u srpnju i listopadu.

Tablica 9. Najniže satne vrijednosti relativne vlage (%) i vremena njihovih nastupa, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Table 9. Lowest hourly values of relative humidity (%) and time of their onset, Zagreb–Grič, 1944–1978.

|        | I    | II   | III  | IV   | V     | VI   | VII  | VIII | IX   | X     | XI   | XII  |
|--------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|
| godina | 1976 | 1948 | 1953 | 1956 | 1947  | 1945 | 1950 | 1950 | 1958 | 1947  | 1957 | 1954 |
| dan    | 4.   | 7.   | 24.  | 8.   | 13.   | 5.   | 5.   | 7.   | 8.   | 18.   | 30.  | 24.  |
| sat    | 4    | 15   | 15   | 17   | 14,15 | 16   | 16   | 17   | 17   | 16,17 | 12   | 16   |
| godina |      | 1967 | 1957 |      |       |      |      |      |      |       |      |      |
| dan    |      | 24.  | 14.  |      |       |      |      |      |      |       |      |      |
| sat    |      | 14   | 15   |      |       |      |      |      |      |       |      |      |

### 3.4. Broj dana s određenim vrijednostima relativne vlage

Prema tablici 10 dani s relativnom vlagom  $\leq 30\%$  barem u jednom od tri termina prosječno su najčešći u travnju. Očito je tome isti uzrok kao i travanjskom minimumu relativne vlage. Prosječno je najmanje ovakvih dana u siječnju, studenom i prosincu. U godini ih prosječno ima 8.

Ovakvih je dana prema tablici 10 bilo 11 u listopadu 1947. godine. To je neobično mnogo za listopad. Osobitost je listopada 1947. godine i to što u njemu listopadski minimum postižu: mjesečni srednjak tlaka pare (tablica 1), dnevni srednjak tlaka pare (tablica 3), terminska vrijednost tlaka pare (tablica 4), mjesečni srednjak relativne vlage (tablica 5) i satna vrijednost relativne vlage (tablica 9). Sve je to posljedica pretežno suhoga anticiklonalnog vremena u prvih 25 dana listopada 1947. godine. Uz to su i zalihe vlage u tlu bile male, jer je oborine u srpnju i kolovozu bilo znatno ispod prosjeka, a u rujnu samo 5 mm, što je rujanski minimum u razdoblju 1862–1981. Stanje tla bilo je suho u svim terminima motrenja od 5. IX u 7 sati do 25. X u 13 sati. Termini motrenja stanja tla bili su 7, 13 i 19 sati.

U godini prosječno ima 67 dana s relativnom vlagom  $\geq 80\%$  u 14 sati (tablica 11). Najviše ih ima u prosincu, a najmanje u lipnju, srpnju i kolovozu. Očito jače danje gri-

Tablica 10. Podaci o broju dana s relativnom vlagom  $\leq 30\%$  barem u jednom od tri termina, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Table 10. Number of days with relative humidity  $\leq 30\%$  (at 7, 14 or 21 h), Zagreb–Grič, 1944–1978.

|                                     | I           | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI  | XII | God.      |
|-------------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----------|
| broj dana                           | čestine (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |           |
| 0                                   | 91          | 77   | 29   | 14   | 51   | 71   | 74   | 74   | 86   | 91   | 89  | 94  |           |
| 1-2                                 | 9           | 23   | 46   | 49   | 43   | 26   | 14   | 17   | 14   | 6    | 11  | 6   | 20        |
| 3-4                                 |             |      | 14   | 20   | 6    |      | 6    |      |      |      |     |     | 14        |
| 5-6                                 |             |      | 9    | 9    |      | 3    | 3    | 3    |      |      |     |     | 17        |
| 7-8                                 |             |      |      |      |      |      | 3    | 3    |      |      |     |     | 14        |
| 9-10                                |             |      |      | 9    |      |      |      | 3    |      |      |     |     | 3         |
| 11-12                               |             |      | 3    |      |      |      |      |      |      | 3    |     |     | 6         |
| 13-14                               |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     | 6         |
| 15-16                               |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     | 9         |
| 17-18                               |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |           |
| 19-20                               |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     | 6         |
| 21-22                               |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     | 3         |
| 23-24                               |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |           |
| 25-26                               |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     | 3         |
| srednji broj dana                   | 0.1         | 0.3  | 1.9  | 2.5  | 0.7  | 0.4  | 0.8  | 0.8  | 0.2  | 0.4  | 0.1 | 0.1 | 8.3       |
| najveći broj dana s godinom nastupa | 2           | 2    | 12   | 10   | 4    | 5    | 7    | 9    | 2    | 11   | 1   | 1   | 25        |
|                                     | 1968        | 1948 | 1953 | 1974 | 1947 | 1945 | 1950 | 1946 | 1947 | 1947 |     |     | 1945 1947 |
|                                     |             | 1971 |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     | 1970      |

janje zraka smanjuje mogućnost da relativna vlaga u 14 sati bude 80% ili još i viša. U travnju, mjesecu s najnižom srednjom relativnom vlagom, srednji broj ovakvih dana nema ni sporedni minimum. Ponovno dakle vidimo da je tendencija sniženja relativne vlage u travnju slabije izražena pri višoj vlazi.

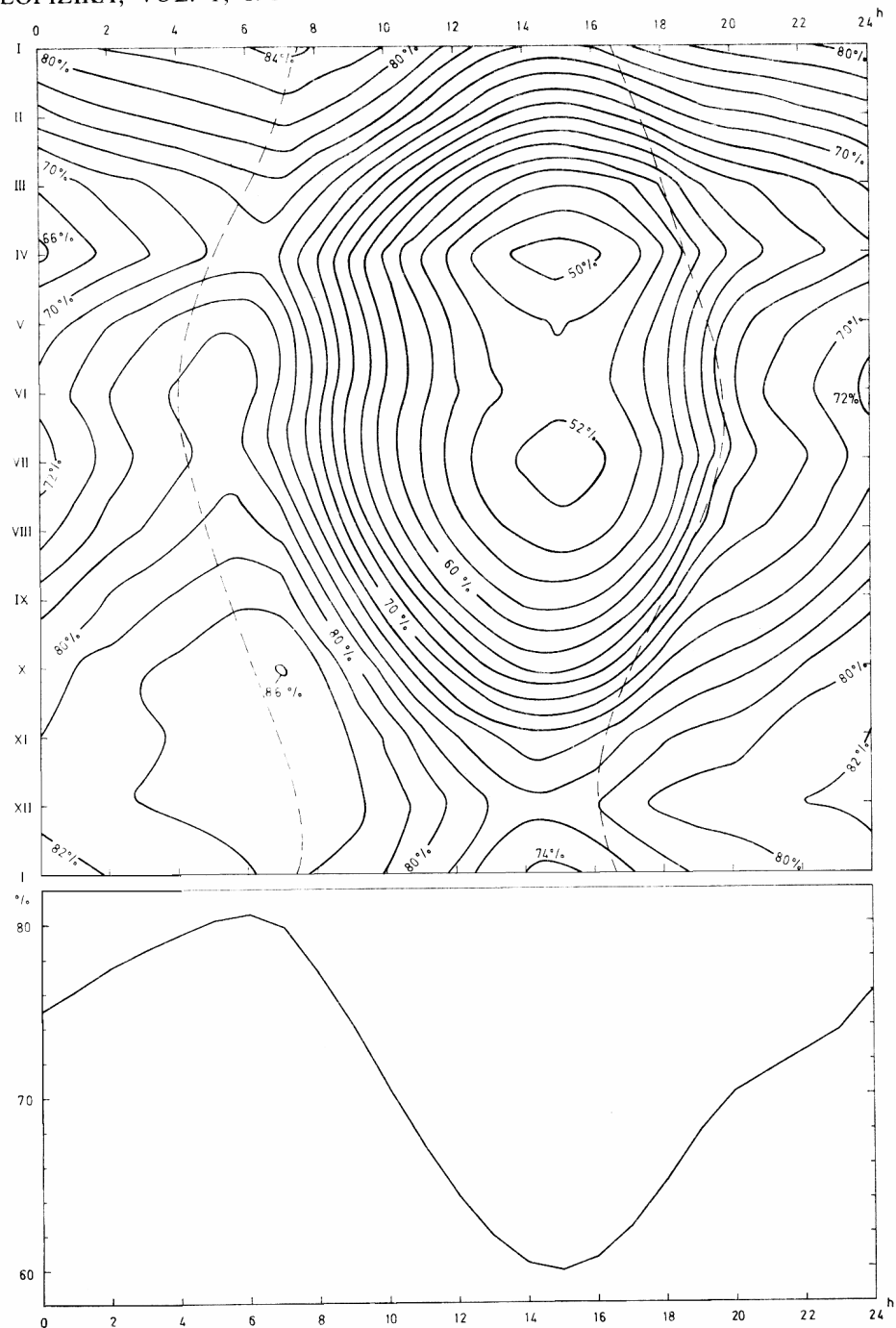
### 3.5. Dnevni hod relativne vlage

Srednji dnevni hod relativne vlage ima oblik jednostavnoga vala, koji je suprotan srednjem dnevnom hodu temperature zraka (slika 12). Od studenoga do veljače maksimum relativne vlage u prosjeku nastupa oko izlaza Sunca, a od ožujka do listopada oko 1 sat poslije izlaza Sunca. Minimum relativne vlage zaostaje u prosjeku 2 do 3 sata za kulminacijom Sunca.

U prosjeku je relativna vlaga najniža u travnju u 15 sati. Tada iznosi 49%. Položaj ovoga ekstrema uvjetuju danje grijanje zraka i tendencija sniženja relativne vlage u travnju.

Relativna vlaga prosječno je najviša u listopadu u 7 sati. Tada iznosi 86%. Ovaj ekstrem objašnjava se jačim noćnim hlađenjem zraka u tada čestim anticiklonalnim





Slika 12. Izoplete i srednji dnevni hod relativne vlage, Zagreb-Grič, razdoblje 1944-1978 (--- vrijeme izlaza i zalaza Sunca).

Figure 12 Isopleths and mean diurnal course of relative humidity, Zagreb-Grič, 1944-1978 (--- sunrise and sunset time).

situacijama. Povećana čestina tih situacija u listopadu (Penzar, 1963) ima za posljedicu, da srednji tlak zraka postiže maksimum u tome mjesecu (slika 14). Iznijeto tumačenje potvrđuju i podaci o relativnoj vlazi iznad Zagreba za 1 sat (Hrabak-Tumpa, 1972, slika 1.1.): srednji godišnji hod relativne vlage pri tlu ima u listopadu glavni maksimum, a na plohama od 850 do 500 milibara glavni minimum. Očito je dakle snižena vlaga na visini pogodovala jačem noćnom hlađenju zraka pri tlu.

Za bilo koji dio dana vrijedi da je srednja relativna vlaga najniža u travnju. Tendencija sniženja relativne vlage u travnju prisutna je dakle tijekom čitavoga dana.

Za dio dana od 4 do 7 sati srednja relativna vlaga najviša je u listopadu zbog već spomenutoga jačeg noćnog hlađenja zraka. Međutim, u ovom mjesecu još je jako danje grijanje zraka, te je za preostali dio dana srednja relativna vlaga najviša uglavnom u prosincu, kada je danje grijanje zraka naslabije i najkraće, a noćno hlađenje najduže.

Sniženje relativne vlage od jutarnjega maksimuma do posljepodnevnog minimuma u prosjeku je najizraženije u kolovozu.

### 3.6. Promjene mjesečnih srednjaka relativne vlage

Kao i kod tlaka pare, mjesečnim srednjacima relativne vlage prilagođeni su metodom najmanje sume kvadrata polinomi osmog stupnja. Mjesečni srednjaci relativne vlage i grafovi tih polinoma ucrtani su na slici 13.

U kolovozu je u razdoblju 1944–1978. izrazit trend povećanja relativne vlage. U tom mjesecu i razdoblju postoji također i trend smanjenja temperature zraka ( $0.1^{\circ}\text{C}$  na godinu), te trend povećanja količine oborine (1.4 mm na godinu). Slično je i u rujnu. Prema tome, kolovoz i rujna tijekom razdoblja 1944–1978. postaju hladniji i vlažniji. Vlažniji postaju s obzirom na relativnu vlagu i količinu oborine, ali ne i s obzirom na tlak pare.

Mjesečni srednjaci relativne vlage češće se slično mijenjaju u susjednim mjesecima nego mjesečni srednjaci tlaka pare. Pored već spomenutoga trenda u kolovozu i rujnu, mjesečni srednjaci relativne vlage slično se mijenjaju na primjer i od svibnja do kolovoza u razdoblju 1949–1954. Promjene relativne vlage prema grafovima polinoma slične su u rujnu i listopadu. Ove promjene slične su štaviše i onima u prosincu.

## 4. Atmosferski procesi i vlaga zraka

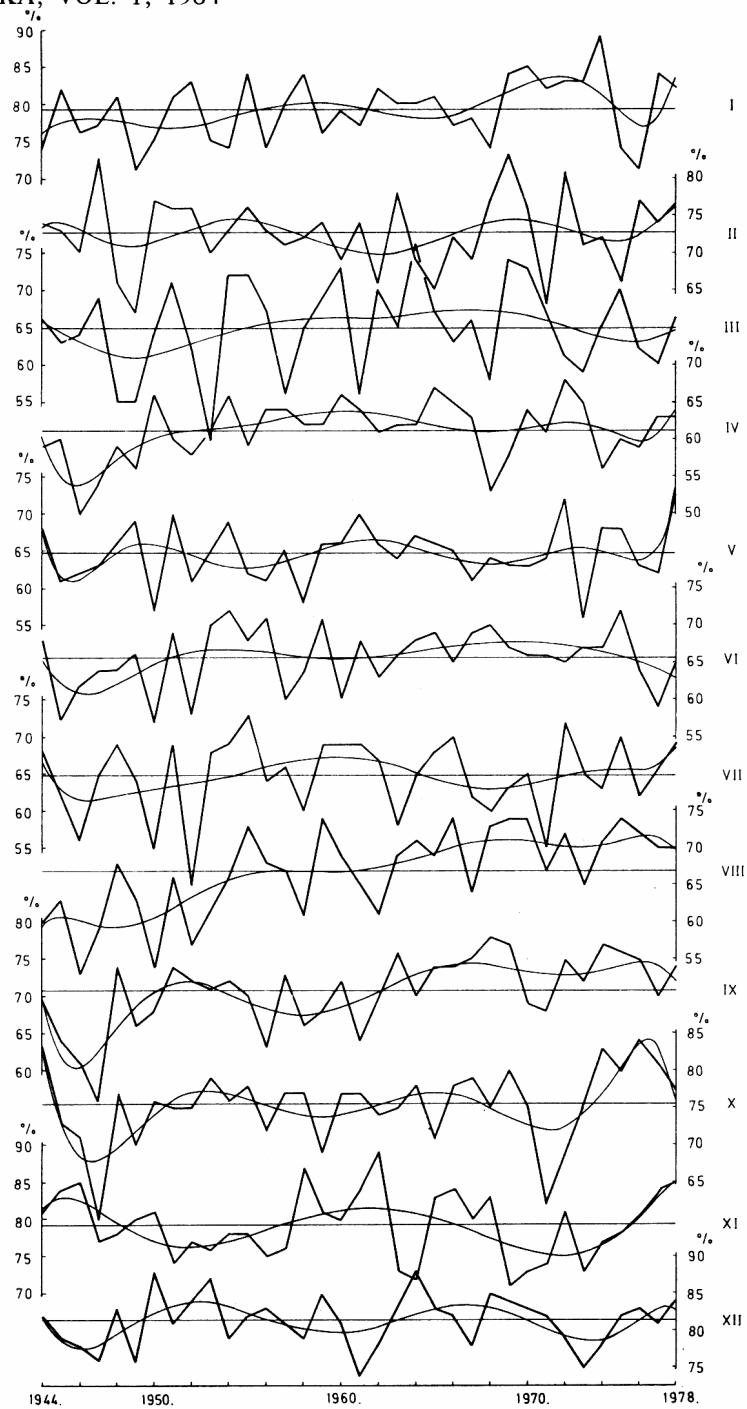
### 4.1. Definicije karakterističnih dana

Za datum 1. I u razdoblju 1944–1978. raspolaze se s 35 dnevnih srednjaka tlaka pare. Dan kojemu pripada najveći među tim srednjacima, označava se simbolom  $E_{\max}$ , a dan kojemu pripada najmanji, simbolom  $E_{\min}$ . Na isti način su određeni  $E_{\max}$  i  $E_{\min}$  dani ostalih datuma godine za razdoblje 1944–1978. Nekom datumu može pripasti više  $E_{\max}$  ili  $E_{\min}$  dana ako ima više jednakih ekstremnih dnevnih srednjaka tlaka pare. Stoga se, na primjer, za siječanj nije dobilo 31 već 33  $E_{\max}$  dana.

Slično su prema najvećim dnevnim srednjacima relativne vlage određeni  $U_{\max}$  dani, odnosno prema najmanjim dnevnim srednjacima relativne vlage  $U_{\min}$  dani.

$E_{\max}$  dan koji je ujedno i  $U_{\max}$  dan, označava se simbolom  $EU_{\max}$ , a  $E_{\min}$  dan ako je ujedno i  $U_{\min}$  dan, simbolom  $EU_{\min}$ .

Analiza podataka za tih šest tipova karakterističnih dana treba da pokaže, koji atmosferski procesi doprinose nastanku ekstrema dnevnoga srednjaka tlaka pare ili relativne vlage u tim danima.



Slika 13. Mjesečni srednjaci relativne vlage, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.  
 Figure 13 Relative humidity monthly means, Zagreb–Grič, 1944–1978.

#### 4.2. Meteorološki elementi na opservatoriju Zagreb-Grič u karakterističnim danima

Slika 14 prikazuje srednjake meteoroloških elemenata, a slika 15 čestine oborine i magle po mjesecima za  $E_{\max}$ ,  $E_{\min}$ ,  $U_{\max}$  i  $U_{\min}$  dane. Na slikama 14 i 15 kružićem su označene vrijednosti za sve dane zajedno, tj. uključivši i dane koji nisu karakteristični. Čestina oborine za  $E_{\max}$  dane u siječnju je broj  $E_{\max}$  dana s kišom, snijegom ili su-snježicom u mjesecima siječanj razdoblja 1944–1978, izražen u postocima ukupnoga broja  $E_{\max}$  dana u tim mjesecima. Analogno vrijedi za ostale mjesece u godini, za ostale karakteristične dane i sve dane, te čestinu magle.

Usporedba vrijednosti za neki tip karakterističnih dana s odgovarajućim vrijednostima za sve dane na slici 14 ili 15 može ukazati koji procesi uvjetuju ekstreme dnevnoga srednjaka tlaka pare ili relativne vlage u tim karakterističnim danima. Ta usporedba i njihovi rezultati predmet su narednoga teksta.

##### 4.2.1. Tlak zraka

Od svibnja do rujna srednji tlak zraka u  $E_{\max}$  i svim danima je podjednak. Tada je, naime, dnevni srednjak tlaka pare često povećan zbog veće evapotranspiracije na području Zagreba. To je posljedica općenito većeg utjecaja danjega grijanja u odnosu na noćno hlađenje zraka u tom dijelu godine. U  $E_{\max}$  danima tada ima dosta sijanja Sunca, ali nije odviše suho. Osrednji tlak zraka odgovara takvim situacijama. Međutim, od listopada do travnja srednji je tlak zraka za  $E_{\max}$  dane manji nego za sve dane zbog često bliske ciklone na zapadu. SW strujanje na njenoj prednjoj strani donosi povećanje dnevnoga srednjaka tlaka pare u  $E_{\max}$  danima.

U  $E_{\min}$  i  $U_{\min}$  danima srednji tlak zraka je pretežno veći, jer izrazito suho vrijeme u tim danima prati povišeni tlak zraka.

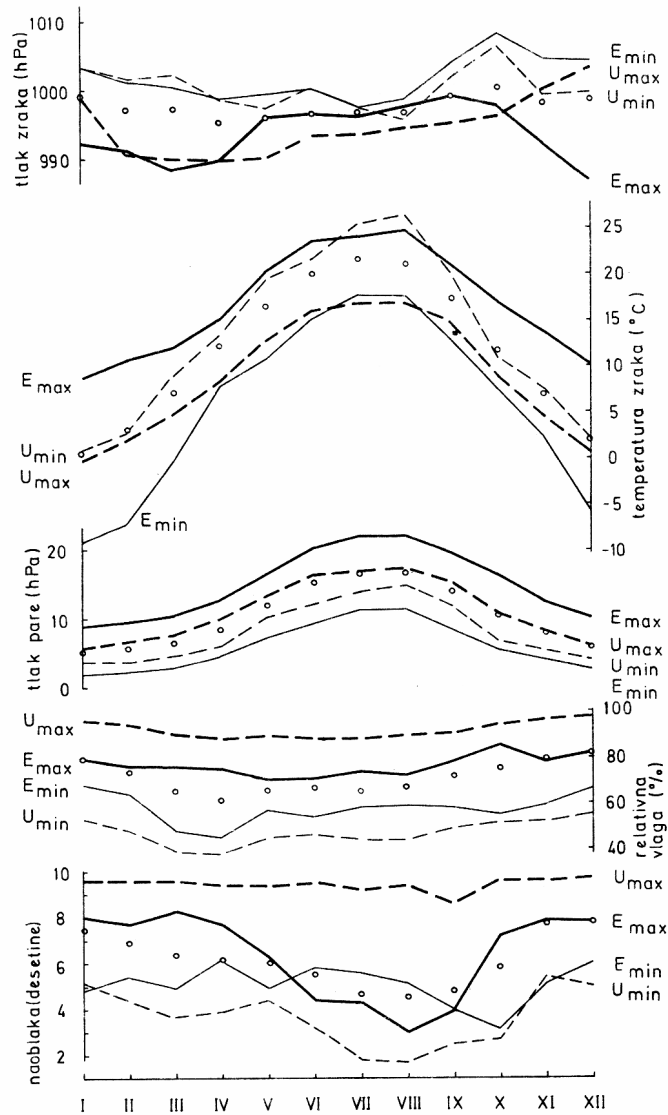
Povećanje dnevnoga srednjaka relativne vlage u  $U_{\max}$  danima od veljače do listopada češće je povezano s padanjem oborine. Stoga je tada srednji tlak zraka u  $U_{\max}$  danima manji nego u svim danima. Povećana relativna vlaga u  $U_{\max}$  danima s padanjem oborine može biti posljedica vlaženja zraka oborinom, slabijega danjega grijanja zraka zbog povećane naoblake itd., ali može biti i jedan od uzroka za padanje oborine. Međutim, u studenom i prosincu srednji tlak zraka u  $U_{\max}$  danima je veći. Naime, u tim mjesecima utjecaj dugotrajnoga noćnog hlađenja zraka općenito prevladava nad utjecajem danjega grijanja zraka, te se uz viši tlak zraka dnevni srednjak relativne vlage često povećava do vrijednosti koja je potrebna da bi dotični dan bio  $U_{\max}$  dan.

##### 4.2.2. Temperatura zraka

Viša temperatura zraka povoljna je za veći tlak pare, te je u  $E_{\max}$  danima srednja temperatura zraka viša nego u svim danima. Povišenje je izrazitije zimi, kada je ono često posljedica tople SW struje. U  $E_{\min}$  danima je srednja temperatura zraka dakako niža. Sniženje je izrazitije zimi zbog smanjene naoblake i jačega noćnog hlađenja zraka.

Niža temperatura zraka pogodna je za višu relativnu vlagu, te je u  $U_{\max}$  danima srednja temperatura zraka niža. Sniženje je izrazitije ljeti, jer je u  $U_{\max}$  danima ljeti češća sjeverna, a zimi južna advekcija (tablica 17). Osim toga, uslijed povećane naoblake u  $U_{\max}$  danima nema jačega ljetnog danjega grijanja zraka. U  $U_{\min}$  danima je srednja temperatura zraka pretežno viša. Povišenje je izrazitije ljeti zbog smanjene naoblake i jačega danjega grijanja zraka.





Slika 14. Mjesečni srednjaci meteoroloških elemenata za  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$  i sve dane, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Figure 14 Monthly means of meteorological elements for  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$  and all days. Zagreb–Grič, 1944–1978.

#### 4.2.3. Tlak pare

U  $E_{\max}$  danima srednji tlak pare znatno je veći, a u  $E_{\min}$  danima znatno manji nego u svim danima. To je u skladu s definicijama  $E_{\max}$  i  $E_{\min}$  dana.

Srednji tlak pare veći je u  $U_{\max}$  danima iako je srednja temperatura zraka niža. To znači da je, prema jednadžbi stanja vodene pare, u tim danima srednja gustoća vodene pare veća nego u svim danima.

Slično se može zaključiti da je u  $U_{\min}$  danima srednja gustoća vodene pare manja nego u svim danima.

#### 4.2.4. Relativna vlaga

Srednja relativna vlaga u  $E_{\max}$  danima viša je nego u svim danima od ožujka do listopada. Međutim, od studenoga do veljače srednja relativna vlaga u  $E_{\max}$  danima tek je podjednaka onoj u svim danima. Ta relativno snižena srednja relativna vlaga posljedica je fenskog utjecaja Dinarida u nekim  $E_{\max}$  danima sa SW strujanjem. Fenski utjecaj smanjuje i dnevni srednjak tlaka pare, ali i takav smanjeni srednjak je za Zagreb ekstremno visok.

U  $E_{\min}$  danima zrak je suh, te je srednja relativna vlaga niža.

Srednja relativna vlaga znatno je viša u  $U_{\max}$  danima, a niža u  $U_{\min}$  danima. To je u skladu s definicijama tih dana.

U  $E_{\max}$  danima nema uopće travanjskog minimuma relativne vlage, a u  $U_{\max}$  danima taj minimum je tek slabo izražen. Na slici 14 se također vidi da u  $E_{\max}$  i  $U_{\max}$  danima srednja temperatura zraka u travnju sporije raste. Međutim, u  $E_{\min}$  i  $U_{\min}$  danima, tj. u danima sa suhim vremenom, travanjski minimum je izrazit. Sve te činjenice potvrđuju raniji zaključak da tendencija sniženja relativne vlage u travnju dolazi više do izražaja pri suhom vremenu.

#### 4.2.5. Naoblaka

$E_{\max}$  dani imaju od lipnja do rujna manju, a u ostalim mjesecima pretežno veću srednju naoblaku nego svi dani. Naoblaka dakle uglavnom omogućuje jače danje grijanje i noćno hlađenje zraka u mjesecima kad prevladava danje grijanje zraka, a slabije danje grijanje i noćno hlađenje zraka u mjesecima kad prevladava noćno hlađenje zraka. Tako naoblaka povećava dnevni srednjak temperature zraka, a time i dnevni srednjak tlaka pare u  $E_{\max}$  danima tijekom većega dijela godine. Povećanju naoblake u hladnom dijelu godine doprinosi ciklona na zapadu.

U  $E_{\min}$  danima srednja naoblaka je od lipnja do kolovoza veća, a u ostalim mjesecima manja nego u svim danima. To je gotovo suprotno nego u  $E_{\max}$  danima, te je i suprotan učinak na temperaturu zraka i tlak pare. Tako naoblaka tijekom većeg dijela godine smanjuje dnevni srednjak tlaka pare u  $E_{\min}$  danima.

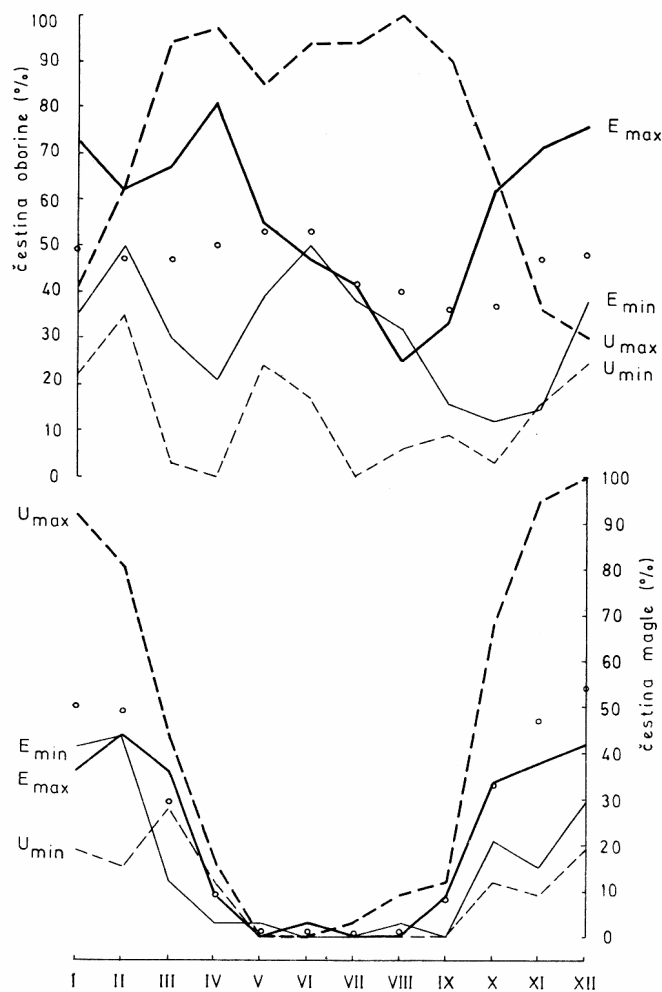
Srednja naoblaka znatno je veća u  $U_{\max}$  danima zbog kiše, snijega ili magle. Zbog veće naoblake ljeti dolazi do povećanja dnevnog srednjaka relativne vlage jer veća naoblaka slabi danje grijanje zraka.

Zrak je u  $U_{\min}$  danima suh te je i srednja naoblaka manja. Smanjena naoblaka ljeti pogoduje smanjenju dnevnog srednjaka relativne vlage jer omogućuje jače danje grijanje zraka.

## 4.2.6. Čestina oborine

Od lipnja do rujna čestina oborine je u  $E_{\max}$  danima manja nego u svim danima. Tada je, naime, u  $E_{\max}$  danima značajna evapotranspiracija. U ostalim mjesecima oborina je češća zbog utjecaja ciklone.

U  $E_{\min}$  i  $U_{\min}$  danima vrijeme je suho te je čestina oborine pretežno manja. Smanjenje čestine oborine u travnju ponovno ukazuje na znatan utjecaj činilaca travanjskog minimuma relativne vlage u tim danima.



Slika 15. Čestine oborine i magle za  $E_{\max}$ ,  $E_{\min}$ ,  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$  i sve dane, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Figure 15. Precipitation and fog frequencies for  $E_{\max}$ ,  $E_{\min}$ ,  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$  and all days, Zagreb–Grič, 1944–1978.

Od veljače do listopada čestina oborine u  $U_{max}$  danima znatno je veća jer je tada povećanje dnevnoga srednjaka relativne vlage češće povezano s padanjem oborine. U ostalim mjesecima dnevni srednjak relativne vlage češće je povećan dugotrajnim noćnim hlađenjem zraka, te je čestina oborine manja.

#### 4.2.7. Čestina magle

U  $E_{max}$  danima od studenoga do veljače magle je manje nego u svim danima. To je povezano s fenskim utjecajem Dinarida pri SW strujanju.

Čestina magle pretežno je manja u  $E_{min}$  i  $U_{min}$  danima zbog snižene, a veća u  $U_{max}$  danima zbog povišene relativne vlage. Čestina magle osobito je povećana u  $U_{max}$  danima hladnog dijela godine; to je zbog većeg utjecaja noćnoga hlađenja zraka.

Tablica 12. Čestine i srednje brzine smjerova vjetra za  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $U_{max}$  i  $U_{min}$  dane, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Table 12. Frequencies and mean velocities of wind directions for  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $U_{max}$  and  $U_{min}$  days, Zagreb–Grič, 1944–1978.

| mjesec            | N<br>% m/s | NE<br>% m/s | E<br>% m/s | SE<br>% m/s | S<br>% m/s | SW<br>% m/s | W<br>% m/s | NW<br>% m/s | C<br>% |
|-------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|--------|
| $E_{max}$ d a n i |            |             |            |             |            |             |            |             |        |
| XII-II            | 4 1.6      | 14 1.7      | 10 1.6     | 8 1.0       | 5 2.2      | 22 3.2      | 30 3.1     | 5 3.2       | 2      |
| III-V             | 11 1.5     | 20 2.1      | 13 1.5     | 6 1.7       | 9 1.8      | 11 3.0      | 18 2.4     | 9 2.1       | 3      |
| VI-VIII           | 16 1.7     | 19 1.9      | 11 1.6     | 13 1.9      | 13 1.9     | 8 1.8       | 7 1.7      | 9 1.8       | 4      |
| IX-XI             | 15 1.3     | 18 1.6      | 10 1.6     | 8 1.7       | 8 1.6      | 10 3.0      | 19 2.5     | 8 1.5       | 4      |
| I-XII             | 11 1.6     | 18 1.8      | 11 1.6     | 9 1.6       | 9 1.8      | 13 2.9      | 19 2.6     | 8 2.0       | 3      |
| $E_{min}$ d a n i |            |             |            |             |            |             |            |             |        |
| XII-II            | 8 2.7      | 34 3.0      | 19 2.1     | 8 1.5       | 6 1.4      | 8 1.8       | 8 1.3      | 4 1.9       | 4      |
| III-V             | 26 3.1     | 38 3.0      | 11 2.2     | 3 1.6       | 5 1.8      | 4 2.3       | 5 2.1      | 6 2.8       | 2      |
| VI-VIII           | 26 2.5     | 20 2.3      | 9 2.1      | 4 1.9       | 7 1.7      | 6 1.8       | 8 1.6      | 17 2.4      | 2      |
| IX-XI             | 27 3.0     | 30 2.9      | 10 2.1     | 9 1.8       | 5 1.5      | 3 1.6       | 7 1.4      | 4 2.0       | 4      |
| I-XII             | 21 2.9     | 31 2.9      | 12 2.1     | 6 1.7       | 6 1.6      | 5 1.9       | 7 1.5      | 8 2.4       | 3      |
| $U_{max}$ d a n i |            |             |            |             |            |             |            |             |        |
| XII-II            | 5 0.8      | 19 1.4      | 20 1.1     | 11 0.9      | 11 1.0     | 14 1.0      | 11 1.1     | 2 1.1       | 7      |
| III-V             | 8 1.5      | 28 2.0      | 21 1.7     | 6 1.4       | 7 1.5      | 6 1.7       | 15 1.8     | 7 1.4       | 2      |
| VI-VIII           | 9 1.6      | 21 2.0      | 10 1.7     | 5 1.5       | 10 1.2     | 12 1.6      | 18 1.9     | 12 1.8      | 3      |
| IX-XI             | 7 0.9      | 17 1.6      | 16 1.2     | 7 1.2       | 14 1.0     | 11 1.0      | 16 1.4     | 8 1.0       | 4      |
| I-XII             | 7 1.2      | 21 1.8      | 17 1.4     | 8 1.2       | 11 1.1     | 11 1.2      | 15 1.6     | 7 1.4       | 4      |
| $U_{min}$ d a n i |            |             |            |             |            |             |            |             |        |
| XII-II            | 18 3.3     | 32 3.1      | 8 3.0      | 2 1.8       | 5 1.5      | 9 3.1       | 13 2.8     | 12 3.8      | 1      |
| III-V             | 18 3.2     | 26 3.0      | 9 2.7      | 3 2.0       | 6 2.2      | 10 4.0      | 17 3.2     | 8 3.7       | 4      |
| VI-VIII           | 23 2.3     | 18 2.1      | 10 2.5     | 9 1.9       | 7 2.2      | 8 2.7       | 7 2.3      | 11 2.5      | 6      |
| IX-XI             | 22 2.9     | 24 2.8      | 12 2.3     | 7 2.1       | 5 3.0      | 5 3.0       | 9 3.2      | 10 2.4      | 6      |
| I-XII             | 20 2.9     | 25 2.8      | 9 2.5      | 5 2.0       | 6 1.9      | 8 3.1       | 12 2.8     | 11 2.9      | 4      |

#### 4.2.8. Vjetar

Prema tablici 12 topla SW struja u  $E_{\max}$  danima najčešća je zimi. To pokazuju povećane čestine SW i W smjerova. Ljeti je zbog smanjene naoblake i blizine Medvednice u  $E_{\max}$  danima čest vjetar obronka. Na Griču on noću ima N, a danju SE ili S smjer (Lisac, 1977). Stoga su čestine smjerova N, SE i S u  $E_{\max}$  danima najveće ljeti.

U  $E_{\min}$  i  $U_{\min}$  danima povećana je čestina NE i N smjera, jer su u tim danima česti sjeverni advektivni tipovi vremena (tablica 17). U  $U_{\min}$  danima čestine smjerova N, SE i S također su najveće ljeti zbog vjetra obronka.

U  $U_{\max}$  danima je najčešći NE vjetar. On obično predstavlja prodor hladnoga zraka pri tlu. Iznad je južna struja koja daje oborinu i vlaži hladni zrak. U  $U_{\max}$  danima brzine su smanjene. To je zimi povoljno za noćno hlađenje zraka, odnosno za povišenje dnevnoga srednjaka relativne vlage.

Povećane brzine SW, W i NW smjerova u  $U_{\min}$  danima pojedinih godišnjih doba ukazuju na mogućnost fenskog utjecaja Dinarida i Alpa. Ipak, ne treba precjenjivati učestalost ovog utjecaja u  $U_{\min}$  danima. Naime, on je zanemariv ili ga nema u vrijeme tišine i kada vjetar ima NE, E ili SE smjer (u ovim smjerovima nema u blizini veće orografske prepreke). Čestina ovakvih slučajeva u  $U_{\min}$  danima iznosi čak 43%.

Slika 16 daje dodatne obavijesti o prizemnom vjetru. U  $E_{\max}$  danima SW strujanje prevladava od studenoga do ožujka, a danji vjetar obronka u 14 sati, odnosno noćni vjetar obronka u 21 sat od travnja do listopada. U  $E_{\min}$  danima prevladava NE strujanje. U  $U_{\max}$  danima NE prodori hladnoga zraka dolaze više do izražaja u ožujku, travnju i svibnju, a NW prodori evropskoga ljetnog monsuna u lipnju. Strujanje iz N kvadranta prevladava u  $U_{\min}$  danima. Zbog male naoblake, u tim danima u svibnju, srpnju i kolovozu očituje se utjecaj danjega SE vjetra obronka u 14 sati.

#### 4.3. Višinski vjetar nad Zagrebom u karakterističnim danima

U ovom poglavlju koriste se radiosondažni podaci Zagreb-Maksimira ( $H_s = 123$  m) za 13 sati. Podaci za ovaj termin odnose se na središnji dio dana, te bolje prikazuju stanje u karakterističnom danu. Ovi podaci raspoloživi su samo za dio razdoblja 1960–1978.

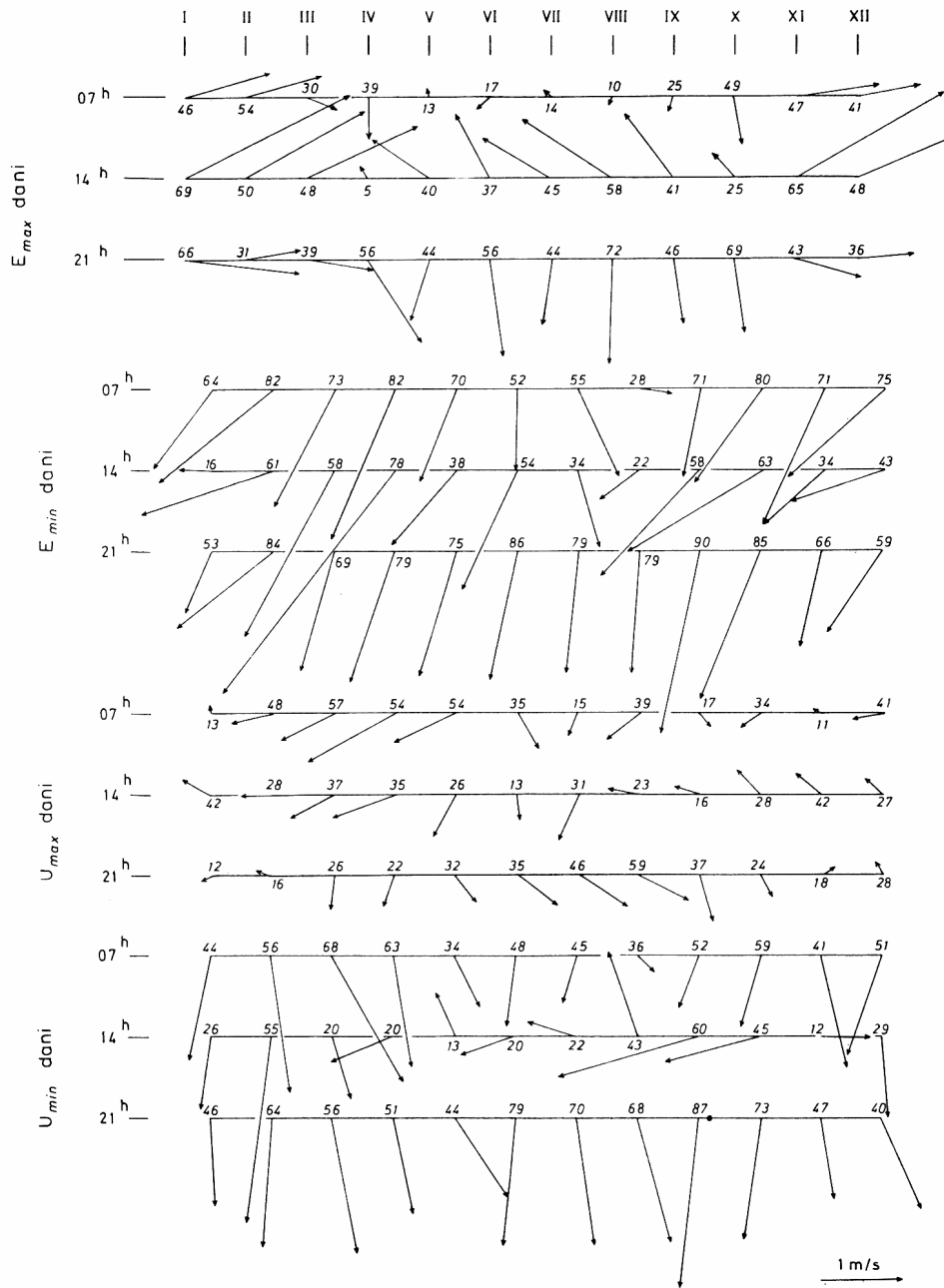
Za siječanj se raspolaze podacima samo za četiri  $E_{\max}$  dana. Jako SW strujanje prevladava u tim danima od tla do visine 5500 m (tablica 13). U 11  $E_{\max}$  dana srpnja situacija je sasvim drukčija: SW strujanje ne dolazi do izražaja, a danji vjetar obronka daje vektorskom srednjaku vjetra pri tlu komponentu prema Medvednici.

U 16  $E_{\min}$  dana u siječnju i 16  $E_{\min}$  dana u srpnju prevladava strujanje iz N kvadranta. U siječnju su intenzitet i stalnost vektorskog srednjaka vjetra u  $E_{\min}$  danima osjetno smanjeni u prvih 1000 m. To je posljedica različitih oblika strujanja zraka u zavjetrini Medvednice pri općem sjevernom strujanju.

Srednjaci tlaka pare i temperature zraka za  $E_{\max}$  dane znatno su veći od srednjaka za  $E_{\min}$  dane na svim nivoima do 5500 m i u siječnju i u srpnju.

$U_{\max}$  dani u siječnju mogu se podijeliti na grupu od 7 dana s padanjem oborine između 7 i 19 sati i veću grupu od 14 dana bez padanja oborine u istom vremenskom razmaku.

U  $U_{\max}$  danima u siječnju s padanjem oborine hladni zrak prodire pri tlu iz NE kvadranta ispod vlažne i tople SW struje (tablica 14). Oborina iz SW struje vlaži hladni zrak i povisuje mu relativnu vlagu. Relativna vlaga je u prosjeku znatno povišena od tla do 3000 m. Stalnost vektorskog srednjaka vjetra smanjena je na visini 500 m, tj. na



Slika 16. Terminski vektorski srednjaci vjetra za  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $U_{max}$  i  $U_{min}$  dane, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978 (pokraj vektora ispisana je njegova stalnost u %).

Figure 16 Wind vector means for  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $U_{max}$  and  $U_{min}$  days, Zagreb–Grič, 1944–1978 (steadiness of wind vector mean in % is marked beside the vector).

Tablica 13. Smjer, intenzitet i stalnost vektorskog srednjaka vjetra, te srednji tlak pare, temperatura zraka i relativna vlaga iznad Zagreba u siječnju i srpnju u 13 sati za  $E_{max}$  i  $E_{min}$  dane, razdoblje 1960–1978.

Table 13. Direction, intensity and steadiness of wind vector mean, and the means of vapour pressure, air temperature and relative humidity over Zagreb in January and July at 13 h for  $E_{max}$  and  $E_{min}$  days, 1960–1978.

| visina nad morem (m) | $E_{max}$ d a n i |                  |              |                 |                        |                     | $E_{min}$ d a n i |                  |              |                 |                        |                     |
|----------------------|-------------------|------------------|--------------|-----------------|------------------------|---------------------|-------------------|------------------|--------------|-----------------|------------------------|---------------------|
|                      | smjer (stupanj)   | intenzitet (m/s) | stalnost (%) | tlak pare (hPa) | temperatura zraka (°C) | relativna vlaga (%) | smjer (stupanj)   | intenzitet (m/s) | stalnost (%) | tlak pare (hPa) | temperatura zraka (°C) | relativna vlaga (%) |
| s i j e č a n j      |                   |                  |              |                 |                        |                     |                   |                  |              |                 |                        |                     |
| tlo                  | 233               | 3.0              | 91           | 9.2             | 9.9                    | 76                  | 47                | 0.5              | 23           | 2.0             | -9.2                   | 70                  |
| 500                  | 247               | 7.1              | 81           | -               | -                      | -                   | 18                | 1.1              | 25           | -               | -                      | -                   |
| 1000                 | 261               | 9.0              | 73           | -               | -                      | -                   | 21                | 2.9              | 39           | -               | -                      | -                   |
| 1500                 | 260               | 11.5             | 76           | 6.3             | 3.6                    | 80                  | 24                | 6.0              | 63           | 1.1             | -12.9                  | 56                  |
| 2000                 | 256               | 13.5             | 82           | -               | -                      | -                   | 17                | 8.3              | 71           | -               | -                      | -                   |
| 2500                 | 258               | 14.5             | 95           | -               | -                      | -                   | 15                | 9.2              | 77           | -               | -                      | -                   |
| 3000                 | 254               | 14.9             | 96           | 3.2             | -3.7                   | 72                  | 11                | 9.3              | 69           | 0.5             | -19.3                  | 49                  |
| 4000                 | 252               | 16.9             | 97           | -               | -                      | -                   | 355               | 9.0              | 62           | -               | -                      | -                   |
| 5500                 | 250               | 19.3             | 96           | 0.7             | -22.3                  | 64                  | 328               | 11.2             | 58           | 0.1             | -34.2                  | 41                  |
| s r p n a n j        |                   |                  |              |                 |                        |                     |                   |                  |              |                 |                        |                     |
| tlo                  | 73                | 1.3              | 70           | 22.5            | 26.3                   | 66                  | 21                | 2.6              | 70           | 11.9            | 19.6                   | 52                  |
| 500                  | 59                | 1.3              | 53           | -               | -                      | -                   | 9                 | 4.1              | 76           | -               | -                      | -                   |
| 1000                 | 29                | 1.4              | 40           | -               | -                      | -                   | 14                | 4.8              | 75           | -               | -                      | -                   |
| 1500                 | 4                 | 1.6              | 38           | 12.3            | 16.3                   | 66                  | 3                 | 5.5              | 77           | 7.1             | 6.7                    | 72                  |
| 2000                 | 346               | 1.9              | 35           | -               | -                      | -                   | 354               | 6.5              | 75           | -               | -                      | -                   |
| 2500                 | 331               | 2.0              | 34           | -               | -                      | -                   | 349               | 7.9              | 75           | -               | -                      | -                   |
| 3000                 | 324               | 2.8              | 44           | 5.6             | 6.2                    | 59                  | 347               | 8.0              | 76           | 5.1             | 3.0                    | 67                  |
| 4000                 | 315               | 2.9              | 50           | -               | -                      | -                   | 334               | 7.8              | 73           | -               | -                      | -                   |
| 5500                 | 289               | 2.9              | 50           | 0.9             | -12.3                  | 47                  | 330               | 8.4              | 68           | 0.5             | -17.4                  | 39                  |

srednjoj visini granice između NE i SW struje. Ta visina upadljivo je niska. Objašnjenje se nalazi u činjenici da srednju dnevnu relativnu vlagu u siječnju može znatno povećati i noćno hlađenje zraka. Međutim, to se uglavnom ne događa u danima s oborinom. Stoga, sama oborina može dati ekstremni dnevni srednjak relativne vlage jedino ako je dovoljno djelotvorna. A takva je dok je sloj hladnoga zraka tanji.

U grupi  $U_{max}$  dana u siječnju bez padanja oborine relativna vlaga je u prosjeku znatno povišena samo pri tlu. To djelomice može biti ostatak učinka noćnog hlađenja zraka, a djelomice posljedica hlađenja tople južne struje u dodiru s hladnim tlom.

U srpnju je u svim  $U_{max}$  danima s raspoloživim radiosondažnim podacima padala oborina između 7 i 19 sati. I to pokazuje da je tada maksimalni dnevni srednjak relativne vlage jače povezan s padanjem oborine. Tada naime samo noćno hlađenje zraka

Tablica 14. Smjer, intenzitet i stalnost vektorskog srednjaka vjetra, te srednja relativna vlaga iznad Zagreba u siječnju i srpnju u 13 sati za  $U_{max}$  i  $U_{min}$  dane, razdoblje 1960–1978.

Table 14. Direction, intensity and steadiness of wind vector mean and mean relative humidity over Zagreb in January and July at 13 h for  $U_{max}$  and  $U_{min}$  days, 1960–1978.

| visina nad morem (m)   | $U_{max}$ d a n i   |                  |              |                     |   |                  |              |                     | $U_{min}$ d a n i |                  |              |                     |
|------------------------|---|------------------|--------------|---------------------|---|------------------|--------------|---------------------|-------------------|------------------|--------------|---------------------|
|                        | na Zagreb-Griču je bilo padanja oborine izmedju 7 i 19 sati |                  |              |                     | na Zagreb-Griču nije bilo padanja oborine izmedju 7 i 19 sati |                  |              |                     |                   |                  |              |                     |
|                        | smjer (stupanj)   | intenzitet (m/s) | stalnost (%) | relativna vlaga (%) | smjer (stupanj)   | intenzitet (m/s) | stalnost (%) | relativna vlaga (%) | smjer (stupanj)   | intenzitet (m/s) | stalnost (%) | relativna vlaga (%) |
| <b>s i j e č a n j</b> |   |                  |              |                     |   |                  |              |                     |                   |                  |              |                     |
| tlo                    | 50  | 0.9              | 91           | 95                  | 159   | 0.8              | 66           | 96                  | 39                | 2.6              | 57           | 48                  |
| 500                    | 133   | 1.3              | 45           | -                   | 217   | 2.4              | 76           | -                   | 20                | 4.6              | 69           | -                   |
| 1000                   | 192   | 4.0              | 60           | -                   | 229   | 3.6              | 65           | -                   | 13                | 6.8              | 73           | -                   |
| 1500                   | 192   | 5.6              | 66           | 91                  | 241   | 4.2              | 68           | 54                  | 16                | 11.4             | 89           | 50                  |
| 2000                   | 217   | 6.4              | 62           | -                   | 257   | 4.6              | 66           | -                   | 17                | 14.2             | 91           | -                   |
| 2500                   | 220   | 7.1              | 65           | -                   | 270   | 4.9              | 64           | -                   | 13                | 14.4             | 92           | -                   |
| 3000                   | 217   | 8.0              | 76           | 87                  | 279   | 5.1              | 59           | 52                  | 12                | 14.9             | 92           | 40                  |
| 4000                   | 216   | 11.0             | 81           | -                   | 295   | 5.8              | 64           | -                   | 6                 | 16.5             | 95           | -                   |
| 5500                   | 217   | 12.5             | 79           | 58                  | 294   | 8.7              | 70           | 34                  | 360               | 18.4             | 85           | 33                  |
| <b>s r p a n j</b>     |   |                  |              |                     |   |                  |              |                     |                   |                  |              |                     |
| tlo                    | 32  | 1.8              | 76           | 83                  |   |                  |              |                     | 51                | 2.7              | 64           | 38                  |
| 500                    | 30  | 3.4              | 76           | -                   |   |                  |              |                     | 31                | 3.0              | 62           | -                   |
| 1000                   | 28  | 4.5              | 66           | -                   |   |                  |              |                     | 21                | 3.1              | 59           | -                   |
| 1500                   | 12  | 4.2              | 56           | 88                  |   |                  |              |                     | 9                 | 3.8              | 64           | 57                  |
| 2000                   | 341   | 2.9              | 39           | -                   |   |                  |              |                     | 2                 | 4.9              | 69           | -                   |
| 2500                   | 286   | 2.5              | 29           | -                   |   |                  |              |                     | 358               | 5.9              | 67           | -                   |
| 3000                   | 268   | 4.0              | 41           | 88                  |   |                  |              |                     | 5                 | 6.5              | 66           | 32                  |
| 4000                   | 247   | 6.3              | 51           | -                   |   |                  |              |                     | 356               | 7.1              | 69           | -                   |
| 5500                   | 247   | 8.8              | 57           | 59                  |   |                  |              |                     | 357               | 7.1              | 67           | 24                  |

ne može značajno povećati dnevni srednjak relativne vlage. Ali to može postići već i samo povećanje naoblake. Dakle, u srpnju je i slabija oborina dovoljno djelotvorna. Stoga je srednja debljina hladnog sloja zraka s NE strujanjem za 20  $U_{max}$  dana u srpnju znatno veća nego u siječnju. Srednja granica između NE i SW struje nalazi se u srpnju čak na visini 2500 m, gdje su intenzitet i stalnost vektorskog srednjaka vjetra smanjeni.



U 12  $U_{\min}$  dana u siječnju i u 11  $U_{\min}$  dana u srpnju prevladava N strujanje u većem dijelu promatranoga sloja. Srednja relativna vlaga je na svim nivoima niža nego u  $U_{\max}$  danima. U siječnju su intenzitet i stalnost vektorskog srednjaka vjetera u  $U_{\min}$  danima smanjeni do visine 1000 m kao i u  $E_{\min}$  danima, također zbog različitih oblika strujanja zraka u zavjetrini Medvednice pri općem sjevernom strujanju.

#### 4.4. Neke osobitosti $EU_{\max}$ i $EU_{\min}$ dana

$EU_{\min}$  dana ima četiri puta više od  $EU_{\max}$  dana (tablica 15). U Zagrebu je dakle izrazito i istodobno smanjenje dnevnih srednjaka tlaka pare i relativne vlage znatno češće od izrazitoga i istodobnog povećanja tih srednjaka.

Tablica 15. Srednji broj  $EU_{\max}$  i  $EU_{\min}$  dana, Zagreb–Grič, razdoblje 1944–1978.

Table 15. Mean number of  $EU_{\max}$  and  $EU_{\min}$  days, Zagreb–Grič, 1944–1978.

| dani        | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | God. |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $EU_{\max}$ | .    | 0.03 | 0.20 | 0.14 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.06 | 0.09 | .    | .    | .    | 0.63 |
| $EU_{\min}$ | 0.14 | 0.14 | 0.20 | 0.37 | 0.11 | 0.23 | 0.14 | 0.09 | 0.14 | 0.46 | 0.34 | 0.26 | 2.63 |

Broj  $EU_{\max}$  i  $EU_{\min}$  dana smanjen je zimi i ljeti. Noćno hlađenje zraka daje doprinos zimskom, a danje grijanje zraka ljetnom smanjenju. Naime, kada prevladavaju oba procesa imaju suprotan učinak na dnevne srednjake tlaka pare i relativne vlage.

Tablica 16. Vrijednosti meteoroloških elemenata 16. XI 1963. u 7 sati.

Table 16. Values of meteorological elements, November 16, 1963 at 7 h.

| stanica     | $H_s$<br>(m) | tempe-<br>ratura<br>zraka<br>(°C) | potenci-<br>jalna<br>tempera-<br>tura(°C) | tlak<br>pare<br>(hPa) | rela-<br>tivna<br>vlaga<br>(%) | smjer i<br>jačina<br>(bofor)<br>vjetra | naob-<br>laka<br>(0-10) |
|-------------|--------------|-----------------------------------|---|-----------------------|--------------------------------|--|-------------------------|
| Pula        | 30           | 18.2                              | 18.0                                      | 16.9                  | 81                             | SSE 3                                  | 10                      |
| Krk         | 12           | 17.8                              | -   | 15.6                  | 76                             | SSE 4                                  | 8                       |
| Crikvenica  | 2            | 19.2                              | 18.7                                      | 16.5                  | 75                             | NW 1                                   | 9                       |
| Ogulin      | 325          | 19.7                              | 22.8                                      | 13.2                  | 58                             | SW 5                                   | 8                       |
| Karlovac    | 112          | 20.0                              | 20.9                                      | 14.4                  | 62                             | SW 3                                   | 4                       |
| Zagreb–Grič | 157          | 18.8                              | 20.2                                      | 14.0                  | 65                             | WSW 4                                  | 9                       |

Broj  $EU_{\max}$  i  $EU_{\min}$  dana smanjen je u hladnom dijelu godine i zbog toga što SW strujanje često donosi Zagrebu relativno veći tlak pare, ali zbog fenskog utjecaja Dinarida nekad i sniženu relativnu vlagu. Takvo stanje bilo je i 16. XI 1963. Taj dan je čak ujedno i  $E_{\max}$  i  $U_{\min}$ , što je jedinstven slučaj u razdoblju 1944–1978. Iako pada u drugu polovinu studenoga, tog dana je na Griču zabilježen apsolutni maksimum temperature zraka za studeni u razdoblju 1862–1981. Iznosio je 25.0 °C. Očite su fenske osobine jugozapadnjaka u 7 sati tog dana u Ogulinu, Karlovcu i Zagrebu (tablica 16). Na tim stanicama temperatura zraka i potencijalna temperatura bile su općenito više,

a tlak pare i relativna vlaga niži nego u Puli, Krku i Crikvenici. Ovakvi odnosi i temperature zraka i relativne vlage upravo su suprotni uobičajenima.

Za  $EU_{\max}$  ili  $EU_{\min}$  dan nije povoljan ni prodor hladnoga zraka ako ga prate povećanje relativne vlage i smanjenje tlaka pare. Te opreke osobito ljeti mogu biti velike. Tako je bilo 5. VII 1962. Bio je to relativno vrlo hladan, oblačan i kišoviti dan. To je također i jedini  $U_{\max}$  dan u razdoblju 1944 - 1978, koji je ujedno i  $E_{\min}$  dan.

#### 4.5. Tipovi vremena u karakterističnim danima

Kalendar tipova vremena za sjeverozapadni dio Jugoslavije i razdoblje 1949–1962. (Penzar, 1963) omogućuje da se na još jedan način sagledaju odnosi između atmosferskih procesa i vlage zraka na području Zagreba u karakterističnim danima. Pokazalo se prikladnim smanjiti broj tipova vremena ovako: NW, N i NE advekcije te polovinu slučajeva E i W advekcije smatramo sjevernom (N) advekcijom, a SE, S i SW advekcije te polovinu slučajeva E i W advekcije južnom (S) advekcijom. Sjeverna i južna advekcija može biti anticiklonalna (a), ciklonalna (c) ili indiferentna (i). I broj različitih konvektivnih tipova vremena je smanjen: razlikuju se samo anticiklonalni, ciklonalni i indiferentni tipovi. Uočimo neke činjenice u tablici 17.

**$E_{\max}$  dani.** Zimi i u jesen najčešća je južna indiferentna advekcija, a česta je i južna ciklonalna advekcija. One predstavljaju ono već spomenuto SW strujanje toploga zraka u  $E_{\max}$  danima. U proljeće prevladavaju ciklonalni konvektivni tipovi. Ljeti su najčešći anticiklonalni konvektivni tipovi u kojima je dnevni srednjak tlaka pare povećan zbog jačeg danjeg grijanja zraka, odnosno veće evapotranspiracije na području Zagreba. Općenito je u  $E_{\max}$  danima južna advekcija češća od sjeverne, jer je zrak s juga topliji i bogatiji vodenom parom. Izuzetno češća sjeverna indiferentna advekcija ljeti objašnjava se prevladavajućom ljetnom razdiobom tlaka zraka nad Evropom.

**$E_{\min}$  dani.** Zimi i u jesen najčešći su anticiklonalni konvektivni tipovi vremena u kojima suhoća zraka i noćno hlađenje zraka uvjetuju smanjeni dnevni srednjak tlaka pare. U proljeće i ljeti u tim bi tipovima došla do većega izražaja evapotranspiracija na području Zagreba. Stoga tada prevladavaju anticiklonalni sjeverni advektivni tipovi, tj. pritjecanje hladnoga zraka sa sjevera koji je siromašan vodenom parom. Zbog toga svojstva hladnoga zraka sa sjevera u  $E_{\min}$  danima općenito je sjeverna advekcija češća od južne.

**$U_{\max}$  dani.** Zimi prevladavaju anticiklonalni konvektivni tipovi u kojima jače i dugotrajno noćno hlađenje zraka povećava dnevni srednjak relativne vlage. U ostalim godišnjim dobima najčešći su ciklonalni konvektivni tipovi. Tada je povećanje dnevnoga srednjaka relativne vlage najčešće povezano s padanjem oborine. Južna advekcija u  $U_{\max}$  danima općenito je češća od sjeverne, jer se zrak s juga hladi, a zrak sa sjevera grije. Izuzetno češće sjeverne advekcije ljeti objašnjavaju se prevladavajućom ljetnom razdiobom tlaka zraka i evropskim ljetnim monsunom.

**$U_{\min}$  dani.** Zimi i u jesen najčešća je sjeverna anticiklonalna advekcija, tj. pritjecanje hladnoga i suhog zraka. U proljeće i ljeti prevladavaju konvektivni anticiklonalni tipovi u kojima suhoća zraka, danje grijanje i supsidencija smanjuju dnevni srednjak relativne vlage. Sjeverna advekcija općenito je u  $U_{\min}$  danima češća od južne, jer se zrak sa sjevera grije, a s juga hladi. Mala čestina S advekcije ukazuje na relativno rijedak fenski utjecaj Dinarida u ovim danima.

Prema tablici 17 zimi su anticiklonalni tipovi česti i u  $U_{\max}$  i u  $U_{\min}$  danima. Povišeni tlak zraka može dakle zimi donijeti povišenje relativne vlage ( $U_{\max}$  dani), ali i njeno sniženje ( $U_{\min}$  dani, singularnosti oko 22. I i 22. XII). Povišenje je više povezano

Tablica 17. Čestine (%) tipova vremena za  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $U_{max}$  i  $U_{min}$  dane, Zagreb-Grič, razdoblje 1949-1962.

Table 17. Frequencies (%) of weather types for  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $U_{max}$  and  $U_{min}$  days, Zagreb-Grič, 1949-1962.

|                  | $E_{max}$ dani    |    |                    | $E_{min}$ dani    |    |                    | $U_{max}$ dani    |    |                    | $U_{min}$ dani    |   |                    |
|------------------|-------------------|----|--------------------|-------------------|----|--------------------|-------------------|----|--------------------|-------------------|---|--------------------|
|                  | advektivni tipovi |    | konvektivni tipovi | advektivni tipovi |    | konvektivni tipovi | advektivni tipovi |    | konvektivni tipovi | advektivni tipovi |   | konvektivni tipovi |
|                  | N                 | S  |                    | N                 | S  |                    | N                 | S  |                    | N                 | S |                    |
| zima (XII-II)    |                   |    |                    |                   |    |                    |                   |    |                    |                   |   |                    |
| a                | .                 | .  | 10                 | 16                | 16 | 24                 | 3                 | 10 | 59                 | 38                | 2 | 16                 |
| c                | 4                 | 33 | 8                  | 13                | 7  | 2                  | 3                 | 3  | 13                 | 4                 | 4 | 2                  |
| i                | 2                 | 43 | .                  | 13                | 7  | 2                  | .                 | 10 | .                  | 26                | 8 | .                  |
| proljeće (III-V) |                   |    |                    |                   |    |                    |                   |    |                    |                   |   |                    |
| a                | 8                 | 11 | 6                  | 40                | 5  | 14                 | .                 | 3  | .                  | 22                | 6 | 44                 |
| c                | 6                 | 22 | 28                 | 12                | .  | 7                  | 13                | 29 | 45                 | .                 | . | 6                  |
| i                | 3                 | 8  | 8                  | 16                | .  | 7                  | 6                 | 3  | .                  | 12                | 3 | 6                  |
| ljetno (VI-VIII) |                   |    |                    |                   |    |                    |                   |    |                    |                   |   |                    |
| a                | .                 | .  | 39                 | 34                | .  | 24                 | 3                 | .  | 3                  | 28                | 6 | 43                 |
| c                | 3                 | 6  | 19                 | 12                | .  | 5                  | 21                | 3  | 41                 | .                 | . | 2                  |
| i                | 16                | .  | 16                 | 24                | .  | .                  | 15                | .  | 15                 | 6                 | 2 | 13                 |
| jesen (IX-XI)    |                   |    |                    |                   |    |                    |                   |    |                    |                   |   |                    |
| a                | 7                 | 17 | 7                  | 28                | 6  | 36                 | .                 | 11 | 17                 | 35                | 8 | 23                 |
| c                | .                 | 19 | 19                 | 8                 | .  | 6                  | 3                 | 14 | 39                 | 8                 | . | 8                  |
| i                | 2                 | 26 | 2                  | 17                | .  | .                  | .                 | 17 | .                  | 19                | . | .                  |

s konvektivnim tipovima, a sniženje sa sjevernim advektivnim tipovima. Slično vrijedi za  $E_{max}$  i  $E_{min}$  dane ljeti.

Dodajmo, da u  $EU_{max}$  danima prevladavaju ciklonalni, a u  $EU_{min}$  danima anticiklonalni tipovi.

Pridružimo li čestine istih tipova vremena dviju grupa dana iz tablice 17, dobivamo devet pari brojeva. Koeficijente korelacije za takve parove prikazuju tablice 18 i 19. Pretpostavlja se da koeficijent korelacije u tim tablicama ukazuje na sljedeće:

- ako je koeficijent korelacije 0.70 ili veći, tj. ako su čestine tipova vremena slično raspodijeljene, da su atmosferski procesi karakteristični za obje grupe pretežno isti,
- ako se koeficijent korelacije kreće oko nule, tj. ako su čestine različito raspodijeljene, da u jednoj grupi prevladavaju jedni, a u drugoj drugi karakteristični atmosferski procesi.
- ako je koeficijent korelacije -0.70 ili manji, tj. ako su čestine suprotno ras-

podijeljene, da u jednoj grupi prevladavaju jedni, a u drugoj suprotni karakteristični atmosferski procesi.

Vrijednosti  $\pm 0.70$  su prema pravilu Pearsona granične vrijednosti značajnoga koeficijenta korelacije za nizove od 9 članova.

Niz činjenica u narednom tekstu potvrđuje prednju pretpostavku. Prema toj pretpostavci i tablici 18 u  $E_{\max}$  danima su samo zimi i u jesen pretežno isti karakteristični atmosferski procesi. Takav proces je SW advekcija.

Koeficijenti korelacije koji se odnose na čestine tipova vremena u  $E_{\max}$  danima ljeta ne razlikuju se znatno od nule, čak su i negativni. To pokazuje da su u  $E_{\max}$  danima karakteristični atmosferski procesi ljeti pretežno različiti od onih u ostalim godišnjim dobima. I zaista, evapotranspiracija na području Zagreba, koja je čest karakterističan proces u  $E_{\max}$  danima ljeta, nema sličnosti sa SW advekcijom koja je čest karakterističan proces u  $E_{\max}$  danima jeseni i zime.

Tablica 18. Koeficijenti korelacije između čestina tipova vremena istih karakterističnih dana ali različitoga godišnjeg doba, Zagreb–Grič, razdoblje 1949–1962.

Table 18. Correlation coefficients between frequencies of weather types of same characteristic days in different seasons, Zagreb–Grič, 1949–1962.

| dani       | godišnje doba | proljeće | ljetno | jesen |
|------------|---------------|----------|--------|-------|
| $E_{\max}$ | zima          | 0.26     | -0.19  | 0.82  |
|            | proljeće      |          | -0.01  | 0.59  |
|            | ljetno        |          |        | -0.28 |
| $E_{\min}$ | zima          | 0.46     | 0.65   | 0.73  |
|            | proljeće      |          | 0.89   | 0.73  |
|            | ljetno        |          |        | 0.90  |
| $U_{\max}$ | zima          | -0.15    | -0.17  | 0.38  |
|            | proljeće      |          | 0.69   | 0.73  |
|            | ljetno        |          |        | 0.45  |
| $U_{\min}$ | zima          | 0.54     | 0.53   | 0.89  |
|            | proljeće      |          | 0.96   | 0.73  |
|            | ljetno        |          |        | 0.71  |

Slično je i u  $U_{\max}$  danima. Samo su u proljeće i jesen pretežno isti karakteristični procesi. Zima i ljetno imaju specifične karakteristične procese koji pretežno povećavaju dnevni srednjak relativne vlage. Zimi je to noćno hlađenje zraka, a ljeti evropski monsun.

Za  $E_{\min}$  i  $U_{\min}$  dane većina koeficijenata korelacije u tablici 18 doseže vrijednost 0.70. To pokazuje da su karakteristični procesi koji smanjuju dnevni srednjak tlaka pare ili relativne vlage manje ograničeni na pojedino godišnje doba, nego karakteristični procesi koji povećavaju te srednjake.

Koeficijenti korelacije između čestina tipova vremena  $E_{\max}$  i  $E_{\min}$  dana u tablici 19 veći su, istina, od  $-0.70$ , ali su ipak pretežno negativni. Stoga bi se moglo reći da su karakteristični procesi u  $E_{\max}$  danima često suprotni onima u  $E_{\min}$  danima. To uostalom potvrđuju i suprotne osobine tlaka pare u  $E_{\max}$  i  $E_{\min}$  danima. Suprotni procesi su: sjeverna i južna advekcija, procesi u ciklonalnim i procesi u anticiklonalnim tipovima vremena itd. Slično vrijedi za  $U_{\max}$  i  $U_{\min}$  dane.

Tablica 19. Koeficijenti korelacije između čestina tipova vremena različitih karakterističnih dana ali istoga godišnjeg doba, Zagreb–Grič, razdoblje 1949–1962.

Table 19. Correlation coefficients between frequencies of weather types of different characteristic days in the same season, Zagreb–Grič, 1949–1962.

| dani                    | zima  | proljeće | ljetno | jesen |
|-------------------------|-------|----------|--------|-------|
| $E_{\max}$ , $E_{\min}$ | -0.27 | -0.36    | 0.26   | -0.42 |
| $U_{\max}$ , $U_{\min}$ | 0.04  | -0.40    | -0.34  | -0.26 |
| $E_{\max}$ , $U_{\max}$ | 0.05  | 0.91     | 0.25   | 0.68  |
| $E_{\min}$ , $U_{\min}$ | 0.51  | 0.50     | 0.66   | 0.91  |

Za čestine tipova vremena u  $E_{\max}$  i  $U_{\max}$  danima zime koeficijent korelacije približno je jednak nuli. Zimi, dakle, pretežno jedni procesi povećavaju dnevne srednjake tlaka pare u  $E_{\max}$  danima, a drugi dnevne srednjake relativne vlage u  $U_{\max}$  danima. Malo je vjerojatno da bi ti različiti procesi, vezani za različite tipove vremena, imali veći učinak u istom danu. Stoga zimi gotovo i nema  $EU_{\max}$  dana (tablica 15).

Međutim, za čestine tipova vremena u  $E_{\max}$  i  $U_{\max}$  danima proljeća koeficijent korelacije iznosi čak 0.91. U proljeće, dakle, pretežno isti karakteristični procesi povećavaju dnevne srednjake tlaka pare u  $E_{\max}$  danima i dnevne srednjake relativne vlage u  $U_{\max}$  danima. Takvi procesi povoljni su za  $EU_{\max}$  dane. I zaista, ovih dana u proljeće ima najviše (tablica 15). Spomenuti procesi povećavaju prvenstveno gustoću vodene pare, a djeluju u ciklonalnim tipovima.

Koeficijent korelacije 0.91 za čestine tipova vremena u  $E_{\min}$  i  $U_{\min}$  danima jeseni ukazuje da tada pretežno isti karakteristični procesi smanjuju dnevne srednjake tlaka pare u  $E_{\min}$  danima i dnevne srednjake relativne vlage u  $U_{\min}$  danima, smanjujući u prvom redu gustoću vodene pare. Takvi procesi povoljni su za  $EU_{\min}$  dane, koji su u jesen doista najčešći (tablica 15). Spomenuti procesi djeluju u anticiklonalnim tipovima. Ovi procesi došli su naročito do izražaja u listopadu 1947. godine. Tada su uvjetovali ekstremno niske vrijednosti tlaka pare i relativne vlage. O tome je bilo govora u poglavlju 3.4. Sada se može dodati da 24%  $E_{\min}$  dana, 41%  $U_{\min}$  dana, a čak 44%  $EU_{\min}$  dana za mjesec listopad u razdoblju 1944–1978. pada u listopad 1947. godine.

#### 4.6. Pregled odnosa atmosferskih procesa i vlage u zraku

Atmosferski procesi djeluju na tlak pare ili relativnu vlagu preko temperature zraka i gustoće vodene pare. Vidjeli smo da na tlak pare i relativnu vlagu na Griču mogu

djelovati: advekcija zraka, danje grijanje i noćno hlađenje zraka, evapotranspiracija, kondenzacija, sublimacija, difuzija vodene pare, vertikalno miješanje zraka, supsidencija, ciklonalna aktivnost (padanje oborine, povećanje naoblake), evropski monsun, fenski utjecaj Dinarida i Alpa te utjecaj grada. Često više navedenih procesa zajednički povećava, odnosno smanjuje tlak pare ili relativnu vlagu. Utjecaj ovih procesa obično se mijenja tijekom godine.

Neki od navedenih procesa više dolaze do izražaja o ovom radu. To donekle može biti posljedica i primijenjenih metoda. O tim istaknutijim procesima može se više reći.

**Advekcija zraka** je općenito značajan proces jer dovodi zračnu masu određenih svojstava. Neke vrsti advekcije zraka ističu se posebnim djelovanjem na tlak pare ili na relativnu vlagu.

Tako južna advekcija donosi povećanje dnevnoga srednjaka tlaka pare, jer topliji zrak s juga sadrži više vodene pare. Posebno se ističe SW strujanje na prednjoj strani ciklone. Ono često povećava dnevni srednjak tlaka pare u Zagrebu od studenoga do ožujka, jer dovodi zrak koji je relativno bogat vodenom parom, iako se jedan dio vode izluči u toku fenskog procesa na Dinaridima. U takvim prilikama relativna vlaga može biti snižena, što umanjuje mogućnost magle. Tip vremena je ciklonalna ili indiferentna južna advekcija.

Južna advekcija često povećava i dnevni srednjak relativne vlage, prvenstveno jer se zrak s juga hladi. To više dolazi do izražaja zimi, u proljeće i jesen.

Sjeverna advekcija djeluje na tlak pare i relativnu vlagu općenito suprotno nego južna. U proljeće i ljeti anticiklonalna sjeverna advekcija češće snižava dnevni srednjak tlaka pare. To pritjecanje hladnoga i suhog zraka drži tlak pare na niskoj razini, usprkos tada inače značajnom utjecaju danjega grijanja zraka i evapotranspiracije. Ta ista vrst advekcije češće u jesen i zimi snižava dnevni srednjak relativne vlage. Naime, pritjecanje suhog i hladnog zraka koji se grije podržava nisku relativnu vlagu usprkos inače značajnom utjecaju noćnoga hlađenja zraka u ovom dijelu godine.

**Danje grijanje zraka** osobito od svibnja do rujna često povećava dnevni srednjak tlaka pare, jer omogućuje, uz manju naoblaku i dovoljno vlage u tlu, veću evapotranspiraciju na području Zagreba. U takvim prilikama manja je mogućnost oborine, a prevladava anticiklonalni konvektivni tip vremena. Zbog blizine Medvednice popratna pojava je vjetar obronka.

U ljetnim danima povećana naoblaka smanjuje dnevni srednjak tlaka pare, smanjujući inače tada značajno danje grijanje zraka.

Danje grijanje zraka češće u proljeće i ljeti smanjuje dnevni srednjak relativne vlage. To osobito dolazi do izražaja u anticiklonalnim konvektivnim tipovima vremena. Popratna pojava tada je vjetar obronka.

**Noćno hlađenje zraka** često zimi i u jesen u anticiklonalnim konvektivnim tipovima vremena smanjuje dnevni srednjak tlaka pare.

Od listopada do travnja povećana naoblaka može povećati dnevni srednjak tlaka pare, smanjujući tada inače značajan utjecaj noćnoga hlađenja zraka.

Zimi noćno hlađenje zraka češće povećava dnevni srednjak relativne vlage. U takvim prilikama obično je tlak zraka povišen, brzina vjetra smanjena, mogućnost magle povećana a oborine smanjena. Najčešći je anticiklonalni konvektivni tip vremena.

**Ciklonalna aktivnost** češće povećava dnevni srednjak tlaka pare u proljeće a dnevni srednjak relativne vlage u proljeće, ljeto i u jesen.

**Fenski utjecaj Dinarida i Alpa** može u pojedinim slučajevima znatno sniziti dnevni srednjak relativne vlage. Međutim, takav utjecaj nije čest.

**Zahvala**

Srdačno se zahvaljujem dr Ingi Lisac, dr Branki Penzar, mr Nadi Pleško i prof. Josipu Velebitu za pomoć u ovom radu.

**Literatura**

1. Flohn, H. (1954): Witterung und Klima in Mitteleuropa, Stuttgart.
2. Haurwitz, B. i J. M. Austin (1944): Climatology, New York, London.
3. Hrabak-Tumpa, G. (1972): Razdioba relativne vlage zraka nad Zagrebom, VIII Savetovanje klimatologa Jugoslavije, Referati, Beograd, 295–316.
4. Lisac, I. (1977): Prilog poznavanju strukture prizemnog strujanja zraka u Zagrebu, Doktorska disertacija, Zagreb.
5. Makjanić, B. (1977): Kratak prikaz klime Zagreba, Prilog poznavanju klime grada Zagreba, I, Radovi Geofizičkog zavoda, Zagreb, ser. III, br. 18, 123–175.
6. Milosavljević, K. (1978): Vlažnost vazduha, Prilozi poznavanju vremena i klime SFRJ, Beograd, Sveska 4, 1–62.
7. Penzar, B. (1963): Neki podaci o tipovima vremena uz istočnu obalu Jadrana, Hidrografski godišnjak, Split, 111–157.
8. Penzar, B. (1977 a): Temperatura zraka, Prilog poznavanju klime grada Zagreba I, Radovi Geofizičkog zavoda, Zagreb, ser. III, br. 18, 33–57.
9. Penzar, B. (1977 b): Značajne meteorološke pojave, Prilog poznavanju klime grada Zagreba, I, Radovi Geofizičkog zavoda, Zagreb, ser. III, br. 18, 97–121.
10. Škreb, S. i suradnici (1942): Klima Hrvatske, Zagreb.
11. Vernić, R. (1952): Termodinamičke karakteristike zračnih masa, Rasprave Odjela za matematičke, fizičke i tehničke nauke JAZU, Zagreb, svezak I, broj 3.
12. WMO, (1962): Climatological normals (CLINO) for CLIMAT and CLIMAT SHIP stations for the period 1931–1960, Geneva.