

УДК 911.2 : 551.5

Оригинални научни рад

Београд, – Облачност

Осунчавање

M = 9974

Мирослава Ункашевић \*

Ивана Тошић

## АНАЛИЗА ВИШЕГОДИШЊИХ НИЗОВА ОБЛАЧНОСТИ И РЕЛАТИВНОГ ОСУНЧАВАЊА У БЕОГРАДУ

*Извод:* У раду се анализирају вишегодишње средње месечне вредности облачности (1920-1994.), релативног осунчавања (1925-1994.) и релативне влажности (1925-1994.), мерене на Метеоролошкој опсерваторији у Београду. Израчунат је коефицијент корелације између средњих децембарских вредности облачности и релативног осунчавања, и између средњих децембарских вредности облачности и релативне влажности. Ради утврђивања могућих трендова и промена, коришћене су следеће статистике: стандардизовани коефицијенти асиметрије и куртозиса, von Neumann-ов однос и Студентов  $t$ -тест.

*Кључне речи:* облачност, релативно осунчавање, релативна влажност, статистички тест, корелација.

*Abstract:* Records of monthly averaged cloudiness (1920-1994), relative sunshine (1925-1994) and relative humidity (1925-1994) in Belgrade area, are analyzed on a temporal basis to discern long-term trends and indications. The following statistical procedures are used: the standardized coefficients of skewness and kurtosis, the von Neumann ratio and the Student  $t$ -test. The correlation coefficients between the mean December cloudiness and relative sunshine, as well as between the mean December cloudiness and relative humidity are calculated.

*Key words:* cloudiness, relative sunshine, relative humidity, statistics, correlation

### Увод

Постоји све већи интерес за испитивањем промена облачности и осунчавања у хемисферским и локалним размерама. Овај интерес за промене облачности настаје делом услед  $\text{CO}_2$ , који је индукован загревањем Земље, и могућом негативном повратном спрегом кроз повећану облачност и смањено осунчавање. Односно, могућност да загревање доведе до повећаног испаравања, проузрокује повећану

\* др Мирослава Ункашевић, Ивана Тошић, Институт за метеорологију, Физички факултет, Београд.

рефлексијом долазећег Сунчевог зрачења (Ункашевић М., 1989). Проблем је утолико компликован чињеницом да облаци такође загревају Земљу емитовањем дуготаласног зрачења. Врста и висина облака су фактори који одређују нето ефекат пораста облачности у загревању или хлађењу Земљине површине, као и осунчаност. Manabe (1983) је дискутовао укупни утицај  $\text{CO}_2$  на климатске промене. Angell и сарадници (1984) уочили су пораст облачности од 3,7 % и пад осунчавања од 0,9 % за целокупну територију САД у периоду 1950-82. године.

Тачнија процена промена облачности и осунчавања у хемисферским или глобалним размерама може се добити једино коришћењем сателитских осматрања (Saunders R. W., 1985). У том смислу корисно је испитати промене облачности у микро-размерама каква је територија Београда. Ово се може постићи помоћу приземних осматрања и мерења у Београду.

### Коришћени подаци

Анализирани подаци су типични за градску локацију Београда, јер су забележени на Метеоролошкој опсерваторији Београд смештеној у центру Београда, Врачар. Станица је лоцирана на надморској висини од 131,6 м са географским координатама  $\varphi = 44^\circ 48' \text{ N}$  и  $\lambda = 20^\circ 28' \text{ E}$ . Стога је ова метеоролошка станица погодна за испитивање климе и њених промена у циљу прављења модела који прогнозирају климатске промене и модификације настале услед човекових активности.

Облачност је мерена визуелно од 1920. (1/10), док су мерења осунчавања отпочела 1. јануара 1925. користећи хелиограф. Осматрања су вршена три пута дневно, у 7, 14 и 21 сат по локалном времену. Обрађени подаци се састоје од средњих месечних вредности облачности и осунчавања, при чему није прављена разлика између ниске, средње и високе облачности. Да би подаци трајања осунчавања и облачности били конзистентни, коришћени су дневно осунчавање и облачност, јер постоје тешкоће у процени облачности током ноћи.

У раду су коришћене средње месечне вредности релативног осунчавања  $S$  које су одређене односом трајања дневног осунчавања и могућег осунчавања за сваки дан током месеца (Резултати осматрања Метеоролошке опсерваторије у Београду у периоду 1887-1986. године, 1987.).

## Аналитички методи

## Статистички тестови

У овом одељку користимо следеће аналитичке поступке за идентификацију варијансе у 75-годишњем низу месечних вредности облачности и 70-годишњем низу месечних вредности релативног осунчавања (WMO, 1966).

Стандардизовани коефицијент асиметрије,  $K_1$ , и стандардизовани коефицијент куртозиса,  $K_2$ , су одређени за сваки месец у посматраним низовима следећим једначинама:

$$K_1 = \left\{ \left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3 / N \right] / \left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 / N \right]^{3/2} \right\} / (6/N)^{1/2} \quad (1)$$

$$K_2 = \left\{ \left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4 / N \right] / \left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 / N \right]^2 \right\} - 3 \left( / (24/N)^{1/2} \right) \quad (2)$$

где су  $x_i$  средње месечне вредности облачности и релативног осунчавања.  $\bar{x}$  је средња вишегодишња вредност облачности и релативног осунчавања и  $N$  је број година низова облачности и релативног осунчавања, односно 75 и 70, респективно. Ове статистике су коришћене за тестирање нулте хипотезе по којој индивидуални временски узорци долазе из популације са нормалном (Гаусовом) расподелом (Siegel S., 1956; Вукадиновић С., 1991). Ако је апсолутна вредност  $K_1$  или  $K_2$  већа од 1,96, постоји значајна девијација од нормалне расподеле са нивоом значајности од 0,95. У случају да подаци атмосферске облачности или релативног осунчавања нису нормално расподељени, примењују се различите трансформације (Mitchell J. M. and Chairman J., 1971) за временске низове.

Претпостављајући да је низ података нормално расподељен, користимо von Neumann-ов однос,  $V$ , као тест случајности (Mitchell J. M. and Chairman J., 1971). Ова статистика је представљена односом средњег квадрата узастопних разлика и варијансе, и дефинисана је помоћу израза:

$$V = (N/(N-1)) \left\{ \left[ \sum_{i=1}^{N-1} (x_i - x_{i+1})^2 \right] / \left[ \sum_{i=1}^N x_i^2 - (1/N) \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right] \right\} \quad (3)$$

Ова вредност  $V$  је упоређена са статистиком,  $(V)_t$ ,

$$(V)_t = \left[ 2N - 2t_g(N-2)^{1/2} \right] / (N-1), \quad (4)$$

где је  $t_g$  дефинисано као 1,65 за тест на нивоу значајности 0,95. Ако је  $V$  веће од  $(V)_t$ , прихватамо нулту хипотезу да је временска серија случајна.

Пошто је највероватнија алтернатива случајности неки облик тренда у подацима (линеаран или нелинеаран), коришћена је Kendall-ова статистика,  $\tau$ . Ова статистика је добијена као:

$$\tau = \left[ 4 \left( \sum_{i=1}^{N-1} n_i \right) / N(N-1) \right] - 1, \quad (5)$$

где  $n_i$  представља број узастопних чланова (од  $x_{i+1}$  до  $x_N$ ) у временској серији који су већи од  $x_i$ . Добијене вредности  $\tau$  су упоређене са следећом статистиком:

$$(\tau)_t = 0 \pm t_g [(4N + 10) / 9N(N - 1)]^{1/2}. \quad (6)$$

Ако  $\tau$  лежи изван граница за  $(\tau)_t$ , можемо закључити да постоји неки облик тренда у коришћеним подацима.

Такође смо користили Студентов  $t$ -тест да би одредили да ли средње вредности облачности и осунчавања показују значајне промене са временом током периода јаке урбанизације града Београда (1971-1994. године).  $T$ -тест је дефинисан као:

$$t = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\left\{ (N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2) / (N_1 + N_2 - 2) \right\} \left[ 1/N_1 + 1/N_2 \right]^{1/2}} \quad (7)$$

где 1 означава периоде 1920-1969. (облачност), 1925-1969. (осунчавање), а 2 означава период 1970-1994. (облачност, осунчавање).  $\bar{X}_2 - \bar{X}_1$  представља разлику у средњим вредностима.  $N_1$  и  $N_2$ ,  $S_1$  и  $S_2$  су бројеви година и стандардне девијације у изабраним узорцима података. Када је апсолутна вредност  $t$  већа од статистике једнаке 1,96, узима се да постоји значајна промена у средњим вредностима посматраних величина у периоду 1970-1994. године.

### Анализа облачности

Примењена статистика је показала да десет месеци у годишњем низу средњих месечних вредности облачности показују нормалну расподелу (Табела 1). Наиме, стандардизовани коефицијенти асиметрије и куртозиса имају вредности испод критичне вредности статистичког теста једнаког 1,96. Изузетак представљају вредности асиметрије за месеце јун и август и куртозиса за месеце јул и август.

Природна логаритамска трансформација података (Mitchell J. M. and Chairman J., 1971) за јун, јул и август, производи временски низ

који је нормално расподељен са  $K_1$  и  $K_2$  испод критичног нивоа статистичког теста (бројеви у заградама).

Von Neumann-ова статистика,  $V$ , указује да све средње месечне вредности облачности у посматраном низу показују случајну расподелу. Изузетак представља месец децембар у коме је вредност von Neumann-ове статистике мања од статистичког теста ( $V$ ), (Табела 1).

Таб. 1. - Резултати примењене статистике на временски низ средње месечне облачности у периоду 1920-1994. године.

Tab. 1. - Cloudiness time series descriptive statistics in the period 1920-1994.

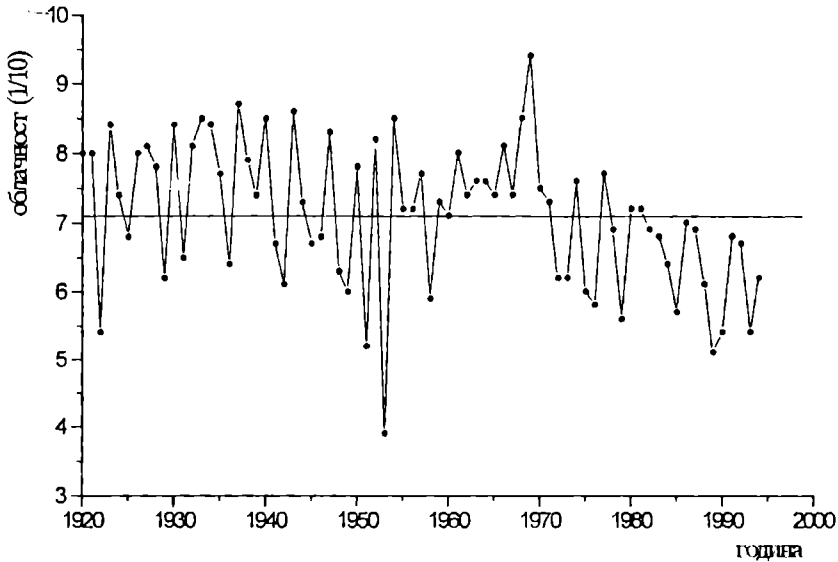
Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\bar{X}$	6,93	6,58	5,93	5,79	5,52	4,97	8,36	3,65	4,01	4,84	6,64	7,15
$S$	0,89	0,98	1,10	0,86	0,96	0,84	0,85	0,98	1,06	1,14	1,06	1,03
$K_1$	-1,05	0,04	-1,32	-1,09	1,33	2,50 (0,54)	0,05	2,93 (0,78)	0,34	1,72	-0,46	-1,71
Ст. тест	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
$K_2$	1,34	-0,46	-1,64	0,99	0,60	1,27	2,31 (0,51)	3,21 (1,50)	-1,11	-0,09	-1,54	-0,07
$V$	1,93	1,75	2,43	1,74	1,83	1,77	1,80	1,91	2,21	2,30	1,87	1,50
Ст. тест	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
$\tau$	-0,11	-0,09	-0,08	0,10	0,12	0,07	0,06	0,09	0,04	-0,05	-0,15	-0,27
Ст. тест	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
$\bar{u}$ -тест	-0,95	-0,60	-0,71	0,82	1,25	0,27	0,59	0,96	0,52	-0,34	-1,92	-3,30

Значење симбола:  $\bar{X}$  - средња вишегодишња вредност,  $S$  - стандардна девијација,  $K_1$  - стандардизовани коефицијент асиметрије, St. test - статистички тест,  $K_2$  - стандардизовани коефицијент куртозиса,  $V$  - von Neumann-ов однос,  $\tau$  - Kendall-ова статистика,  $t$  ТЕСТ - Студентов  $t$ -тест.

Релативно велико одступање између децембарске вредности и статистичког теста указује на јачи извор неслучајности у подацима облачности.

Kendall-ова статистика,  $\tau$ , указује на низлазне трендове облачности током хладније половине године. Овај низлазни тренд је довољно јак тако да децембарски подаци представљају статистички значајан извор неслучајности у временској серији средње месечне облачности.

Због брзе урбанизације Београда након 1970. г., коришћен је Студентов  $t$ -тест за дефинисање разлика у средњим вредностима облачности за периоде 1920-1969. и 1970-1994. године. Овај тест такође указује да месец децембар карактерише нагли пад облачности у периоду 1970-1994. године у односу на вишегодишњу средњу вредност од 7,11 (сл. 1).



Сл. 1. - Облачност (1/10) током децембра, у периоду 1920-1994. године. Права линија представља вишегодишњу средњу вредност.

Fig. 1. - December cloudiness levels (1/10) in Belgrade, 1920-1994. The solid line represents long-term mean.

### Анализа релативног осунчавања

Статистичком анализом асиметрије релативног осунчавања је утврђено да свих дванаест месеци не показују нормалну расподелу, тако да различите трансформације као природна логаритамска треба да буду примењене на временске низове (Mitchell J. M. and Chai:man J., 1971). Стандардизовани коефицијенти куртозиса су негативни (осим за јануар) и мањи од критичне вредности 1,96 (Табела 2).

Како је von Neumann-ова статистика,  $V$ , за једанаест испитаних месеци релативног осунчавања већа од статистичког теста једнаког 1,63, прихватимо нулту хипотезу да су временске серије случајне. Изузетак је месец децембар у којем постоји извор неслучајне варијансе података.

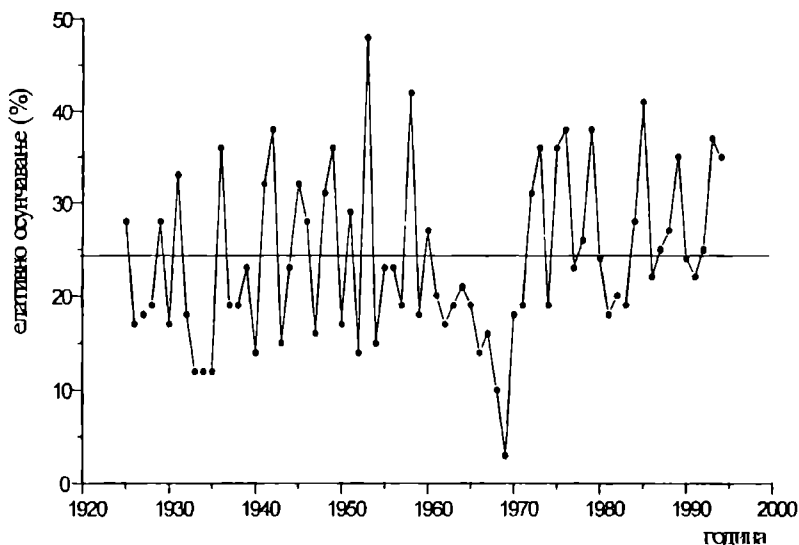
Kendall-ова статистика,  $\tau$ , показује да узлазни тренд постоји у подацима релативног осунчавања током децембра, док статистички значајне промене у подацима релативног осунчавања нису нађене у другим месецима.

**Таб. 2.-** Резултати примене статистике на временски низ средњег месечног релативног осунчавања у периоду 1925-1994. године.

Tab. 2. - Relative sunshine time series descriptive statistics in the period 1925-1994.

Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\bar{X}$ (%)	25	32	41	47	50	55	63	64	58	49	31	23
$S$	5,29	5,40	8,49	9,38	10,11	15,16	18,13	16,21	14,1	10,29	7,33	4,15
$K_1$	4,17	6,16	3,51	3,51	3,51	3,51	4,44	2,22	3,51	3,51	3,03	4,17
Ст. тест	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
$K_2$	1,15	-0,75	-0,1	-1,2	-1,61	-1,66	-1,57	-1,70	-1,63	-1,53	-1,91	-1,42
	2,34	1,98	3,15	2,94	2,26	2,55	4,30	1,98	2,46	1,76	1,91	1,30
Ст. тест	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63
$\tau$	0,00	-0,03	-0,0	-0,06	-0,05	-0,07	-0,10	-0,07	-0,09	-0,08	-0,02	0,20
Ст. тест	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
$\bar{m}$ -тест	0,00	-0,78	-0,38	-1,50	-1,46	-1,30	-1,95	-1,66	-1,50	-1,14	-0,25	2,27

ознаке као у табели 1.



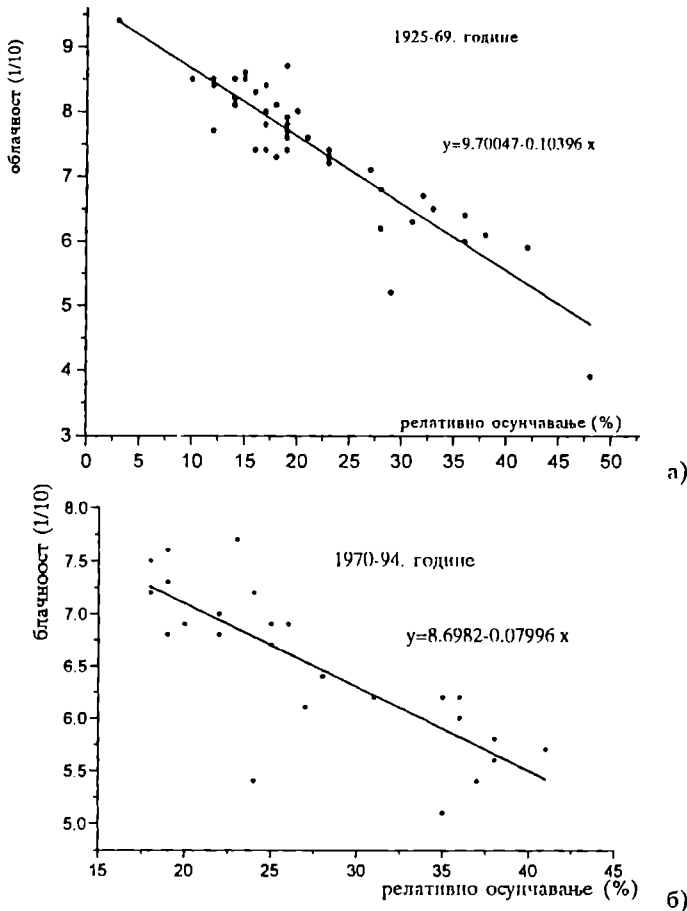
Сл 2. - Релативно осунчавање (%) током децембра, у периоду 1925-1994. године. Права линија представља вишегодишњу средњу вредност.

Fig. 2. - December relative sunshine levels (%) in Belgrade, 1925-1994. The solid line represents long-term mean.

Употребљен Студентов  $t$ -тест указује да су средње месечне вредности релативног осунчавања генерално непромењене током периода проучавања осим за децембар, у којем је дошло до наглог пораста релативног осунчавања у периоду 1970-1994. године у односу на вишегодишњу средњу вредност од 23,94 % (сл. 2).

### Узроци промена облачности

Израчунати су коефицијенти корелације између средњих децембарских вредности облачности и релативног осунчавања за периоде 1925-1969. године (сл. 3а) и 1970-1994. године (сл. 3б). Као што се види са сл. 3, корелација између облачности и релативног осунчавања у периоду 1970-1994. године је у паду ( $r = -0,804$ ), у односу на корелацију у периоду 1925-69. године ( $r = -0,913$ ).



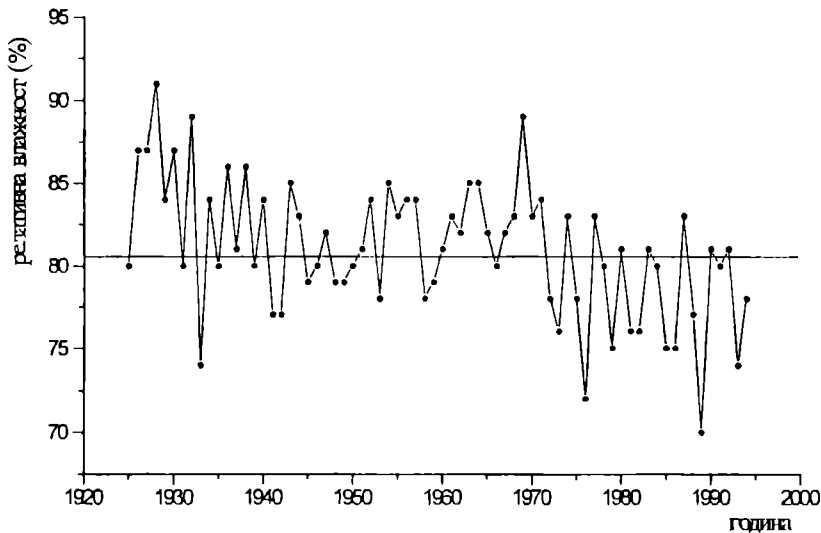
Сл. 3. - Корелација између средњих децембарских вредности облачности и релативног осунчавања у периоду: а) 1925-69., б) 1970-94. године на Метеоролошкој опсерваторији Београд.

Fig. 3. - Linear regression lines between the mean December cloudiness (1/10) and relative sunshine (%) in: a) 1925-69., b) 1970-94. periods at the Belgrade Observatory.

Анализа облачности сугерише да је израђен пад облачности (пораст релативног осунчавања) током децембра за 25-то годишњи



период урбанизације (Табела 1), повезан са падом релативне влажности у приземљу у периоду 1970-94. године у односу на вишегодишњу средњу вредност од 80,99 % (сл. 4).



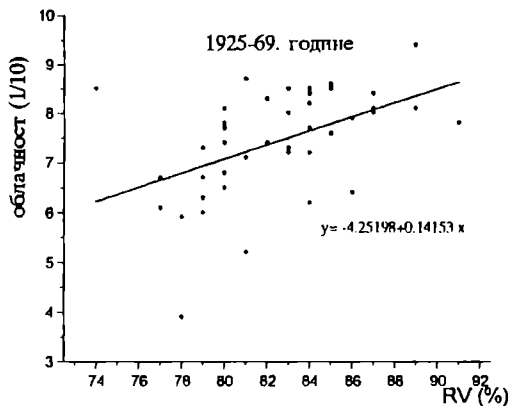
Сл. 4. - Релативна влажност у приземљу (%) током децембра, у периоду 1925-1994. године на Метеоролошкој опсерваторији Београд. Права линија представља вишегодишњу средњу вредност.

Fig. 4. - December relative humidity levels (%) at the Belgrade Observatory, 1925-1994. The solid line represents long-term mean.

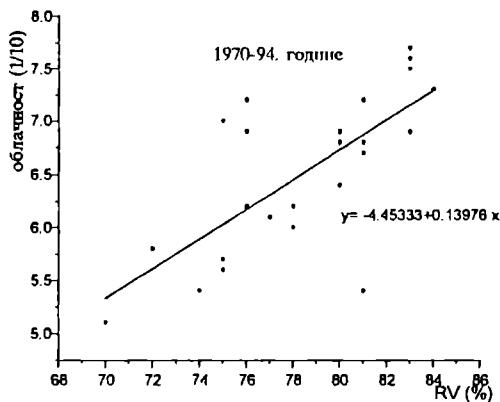
У испитиваном периоду (1970-1994. године) за Метеоролошку опсерваторију у Београду је уочена значајна корелациона зависност између средњих децембарских вредности облачности и релативне влажности у приземљу (сл. 5б). Добијена је следећа линеарна регресија:

$$O = 4,453 + 0,139RV,$$

где је  $O$  средња месечна облачност (1/10), а  $RV$  је средња месечна релативна влажност (%).



а)



б)

Сл. - Линеарна регресија између средњих децембарских вредности облачности (1/10) и релативне влажности у приземљу (%) у периоду: а) 1925-69., б) 1970-94. године на Метеоролошкој опсерваторији Београд.

Fig. 5. - Linear regression lines between the mean December cloudiness (1/10) and relative humidity RV (%) in: a) 1925-69., b) 1970-94. periods at the Belgrade Observatory.

Коефицијент корелације има вредност од  $r = 0,704$ , што указује на значајну линеарну везу између испитаних вредности, док је у периоду 1925-69. корелација између средњих децембарских вредности облачности и релативне влажности у приземљу мања и износи  $r = 0,482$  (сл. 5а).

Пораст релативног осунчавања и пад средње облачности током децембра у периоду 1970-94. године, имао је за последицу смањење средњих укупних падавина за око 20 % у односу на период 1888-1969. године.

Други ефекат смањења облачности је пораст средње децембарске температуре од 1970. године за око  $0,9^{\circ}\text{C}$  у односу на период 1888-1969. године. Ови ефекти сугеришу на могуће промене уобичајених синоптичких процеса (Changnon S. A., 1981; Angell и сарадници, 1984) током децембра у атмосфери изнад Београда.

### Закључак

Анализом вишегодишњих низова података облачности и релативног осунчавања у Београду утврђено је следеће:

1) Облачност опада током зимских месеци, али је само у децембру статички значајна. Смањење облачности је повезано са порастом релативног осунчавања, (порастом средње температуре) и наглим смањењем релативне влажности у приземљу (смањењем укупних падавина).

2) Релативно осунчавање генерално није промењено током периода регистровања, осим у децембру током последњих 25 година.

3) Средње децембарске вредности облачности и релативне влажности у Београду указују на значајну корелацију током последњих 25 година.

### Литература

Angell J.K., J. Korshover and G. Colton: *Variation in United States Cloudiness and Sunshine, 1950-1982*. J. Appl. Meteorol., 23, 752-761; 1984.

Changnon S.A.: *Midwestern cloud, sunshine and temperature trends since 1901: Possible evidence of jet contrail effects*. J. Appl. Meteorol., 20, 496-508, 1981.

Manabe S.: *Carbon dioxide and climatic change*. Advances in Geophysics, 25, 39-82, 1983.

Mitchell J.M. and Jr. Chairman: *Climatic Change*. Tech. Note No. 79, Geneva, WMO, 1971.

Резултати осматрања метеоролошке опсерваторије у Београду у периоду 1887-1986, Републички хидрометеоролошки завод, Београд 1987, 131 стр.

Saunders R.W.: *Monthly mean cloudiness observed from METEOSAT-2*. J. Appl. Meteorol., 24, 114-127, 1985.

Siegel S.: *Non-parametric statistics*. London, McGraw-Hill, 312 pp, 1956.

Unkasevic M.: *Some improvements in calculating the plant stand surface albedo and its influence on ground surface temperature*. Int. J. Biometeorol., 22, 184-195, 1989.

Вукадиновић С.: *Елементи теорије вероватноће и математичке статистике*, Привредни преглед, Београд, 467 стр, 1991.

WMO: *Climatic Change*. Techn. Note 79, Geneva, WMO, 1966.

Miroslava UNKAŠEVIĆ  
Ivana TOŠIĆ

## Summary

### Temporal analysis of long-term cloudiness and relative sunshine in Belgrade

Records of monthly averaged cloudiness (1920-1994) and relative sunshine (1925-1994) in Belgrade area were analyzed on a temporal basis to discern long-term trends and indications. The following statistical procedures were used: the standardized coefficients of skewness and kurtosis, the von Neumann ratio and the Student t-test.

The cloudiness data decrease in winter, particularly in December, during the recent 25 years. Relative sunshine is generally unchanged in examined period, except in December, since 1970. There has been an appreciate tendency for December cloudiness to be below average and sunshine above average in the period 1970-1994. These changes were related to a decrease in relative humidity and precipitation as well as an increase in the mean monthly temperatures in the same period.