

## VREMENSKE PROMJENE POJAVE TUČE I GRMLJAVINE NA PODRUČJU BJELOVARA, KRIŽEVACA I ČAZME

### Time variations of hail and thunderstorm over the area of Bjelovar, Križevci and Čazma

MARJANA GAJIĆ-ČAPKA I KSENIIJA ZANINOVIĆ

Državni hidrometeorološki zavod  
Grič 3, 41000 Zagreb, Hrvatska

*Primljeno 8. siječnja 1993. u konačnom obliku 9. rujna 1993.*

**Sažetak** - Analizirani su osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija), empiričke i pridružene teorijske razdiobe i jedna od karakteristika vremenskih nizova (trend) broja dana s tučom i grmljavinom za postaje Bjelovar, Križevci i Čazma u razdoblju 1951-1990.

*Ključne riječi:* Tuča, grmljavina, razdiobe vjerojatnosti, trend.

**Abstract** - This paper deals with the empirical and theoretical distributions and a trend analysis of days with hail and thunderstorm at Bjelovar, Križevci and Čazma during the period 1951-1990.

*Key word index:* Hail, thunderstorm, probability distribution, trend.

#### UVOD

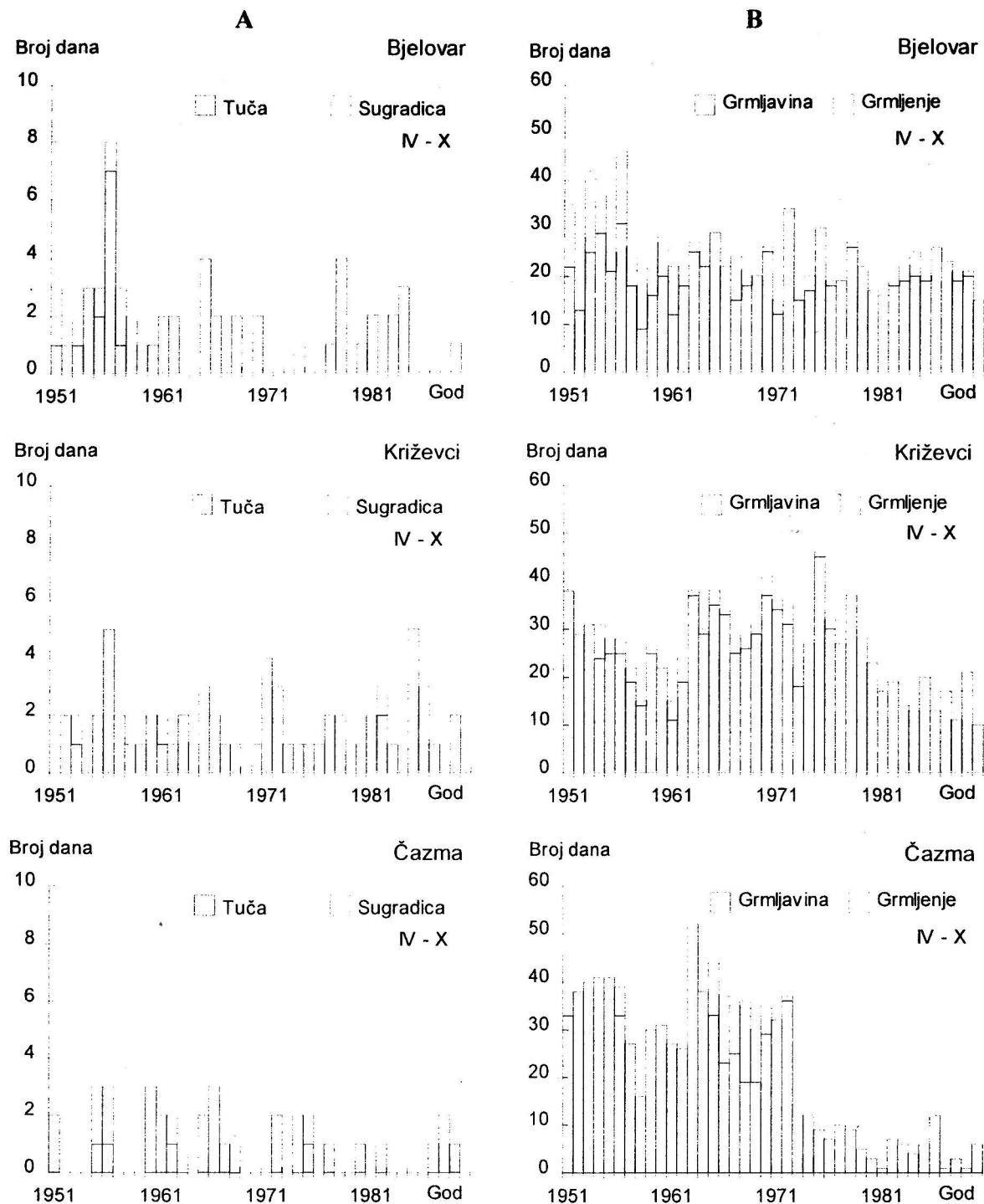
Potreba upoznavanja karakteristika pojave tuče i grmljavine na području s razvijenom poljoprivredom, kako ratarstvom, povrtlarstvom tako i vinogradarstvom, gdje je upravo zbog toga organizirana i obrana od tuče, uputila je na ispitivanje učestalosti tih pojava i njihovih promjena na svakoj pojedinoj postaji te na utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika.

Za područje Hrvatske provedeno je nekoliko klimatoloških analiza pojave tuče i grmljavine. Peko-Kačić (1955) i B.Penzar (1977) razmatraju pojavu tuče i grmljavine na opservatoriju Zagreb-Grič u dugogodišnjem nizu. Gajić (1974) analizirala je pojavu tuče na području Hrvatske sjeverno od Save i to za razdoblje 1956-1970, dakle u vremenu prije uspostavljanja sustava obrane od tuče na tom području. I.Penzar i B.Penzar (1991) promatrali su vjerojatnost pojave tuče pri grmljavinskim nepogodama, također za poljoprivredno područje Hrvatske sjeverno od Save u vegetacijskom periodu za dva petogodišnja razdoblja 1955-1959. i 1985-1989. U radu Gerbera (1991) obrađeni su podaci o pojavama grmljavine i tuče na području sjeveroistočne Slavonije iz mreže lansirnih postaja RC Osijek u razdoblju 1981-1990.

Zbog velike prostorne i vremenske varijabilnosti pojave tuče i grmljavine, idealno bi bilo prostornu analizu provoditi na temelju podataka guste mreže postaja. Međutim, prije početka organizirane obrane od tuče, ovi su se podaci motrili samo na redovnoj mreži meteoroloških postaja. Stoga je radi utvrđivanja općih klimatskih karakteristika pojava tuče i grmljavine provedena analiza samo za tri reprezentativne postaje s tri područja obrane od tuče u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, u predjelu između Kalnika, Bilogore i Moslavačke gore.

#### PODACI I METODA

Opažanje pojave tuče i sugradice kao i pojave grmljavine i grmljenja može sadržavati subjektivnost motritelja u ocjeni pojave. Na Slici 1. vidi se da u jedinim razdobljima pojava sugradice i grmljenja uopće nije bilježena. Zbog toga, radi povećanja pouzdanosti rezultata komparacije podataka o pojavi tuče i grmljavinske aktivnosti na različitim lokacijama, u analizu nisu uključeni podaci o sugradici i grmljenju, već su korišteni samo podaci o broju dana s tučom i broju dana s grmljavinom. Podaci su dobiveni prema motrenjima na tri meteorološke postaje: Bjelovar, smje-



Slika 1. Broj dana s pojavom tuče i sugradice (A) i broj dana s pojavom grmljavine i grmljenja (B). Razdoblje: 1951-1990.

Figure 1. Days with hail and ice pellets (A) and days with thunderstorm and thunder (B). Period: 1951-1990.

šten jugozapadno od Bilogore, Križevci, u južnom području Kalnika i Čazma, sjeveroistočno od Moslavačke gore. Bjelovar je glavna meteorološka postaja s profesionalnim motriteljem, a Križevci i Čazma su obične meteorološke postaje s podučenicima, neprofesionalnim motriteljima. U skladu s tim je i kvaliteta i pouzdanost

podataka: s glavnih postaja su kvalitetniji, dok se na postajama nižeg ranga mogu javiti manjkavosti u kvaliteti rada, što se možda najčešće može javiti upravo kod motrenja pojava, koje je najviše ovisno o subjektivnosti motritelja. Neke od karakteristika vremenskih nizova promatranih parametara tuče i grmljavine, u-

tvrdjenih u ovoj analizi, upravo su vezane uz navedene konstatacije.

Analiza je provedena za razdoblje od travnja do listopada, tj. za sezonu obrane od tuče, za zajednički niz podataka 1951-1990. Gdje je to bilo moguće, provedena je analiza i za dva podniza 1951-1972. i 1973-1990. budući da se na području Bjelovara, Križevaca i Čazme obrana od tuče provodi od početka sedamdesetih godina, pa su promatrane karakteristike razdoblja prije i za vrijeme provođenja obrane od tuče.

Izračunata je osnovna statistika nizova i podnizova oba parametra i testirane su razlike prosječne učestalosti pojave tuče i grmljavine između dva podniza pomoću Studentovog *t*-testa za razliku srednjaka (Brooks i Carruthers, 1953). Ispitana je mogućnost pridruživanja teorijskih razdioba empiričkim razdiobama učestalosti broja dana s tučom i grmljavinom za cijelo razdoblje (Brooks i Carruthers, 1953), a vremenske promjene u sezonskom broju dana s tučom i grmljavinom u posljednjih 40 godina ispitane su analizom trenda (Mann-Kendallov neparametarski test).

## OSNOVNA STATISTIKA I RAZDIOBE

**Tuča** kao rijetka pojava može se očekivati u prosjeku u sezoni (IV-X) u 1.5 dana u Križevcima, 1.1 dan u Bjelovaru i 0.6 dana u Čazmi (Tab. 1). Zorniju sliku o pojavi tuče tijekom proteklih 40 godina daje Slika 1. U Križevcima tuča se javila gotovo svake godine, u Bjelovaru pojava tuče je u pojedinim godinama izostala, dok se u Čazmi javljala najrjeđe i 80-tih godina nije opažena 8 godina uzastopno. Prema podacima koeficijenta varijacije najveća promjenljivost u pojavljivanju tuče od godine do godine bila je u Čazmi, a najmanja u Križevcima. Maksimalni broj dana s tučom u sezoni zabilježen je 1956. godine u Bjelovaru (7 dana), 1985. godine u Križevcima (5 dana) i 1960. i 1966. godine u Čazmi (3 dana).

Testiranje pomoću *t*-testa razlika srednje učestalosti tuče u razdoblju 1951-1972, u kojem nije provedena obrana od tuče i u razdoblju 1973-1990, kada se pristupilo organiziranoj obrani od tuče, pokazalo je da se srednji broj dana po sezoni ne razlikuje značajno na 95 postotnoj razini povjerenja u oba razdoblja u Bjelovaru i Križevcima, dok se u Čazmi smanjio. Međutim, ustanovljeno je da je 1. lipnja 1972. stanica u Čazmi premještena, a kako to ujedno znači i promjenu motritelja, vrlo je vjerojatno da su ove razlike posljedica razlike u načinu motrenja, tim više što na susjednim postajama tog područja takve promjene nisu uočene.

Empiričkim razdiobama učestalosti dana s tučom za sve tri postaje u razdoblju 1951-1990. pridružene su teorijske razdiobe učestalosti čije karakteristike odgovaraju pojavljivanju rijetkih događaja u koje spada tuča. Statistički najbolje pridruživanje postignuto je za Bjelovar i Čazmu geometrijskom razdiobom i za Križevce binomnom razdiobom (Sl. 2).

Matematički oblik ovih razdioba je:

*geometrijska razdioba:*

$$f(x) = p(1-p)^x$$

gdje je  $x$  broj dana s tučom, a parametar  $p$  funkcija srednjeg broja dana s tučom  $\bar{x}$

$$p = 1 / (1 + \bar{x})$$

*binomna razdioba:*

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

gdje je  $x$  broj dana s tučom, a parametar  $p$  funkcija srednjeg broja dana s tučom  $\bar{x}$  i maksimalno mogućeg  $n$

$$p = \bar{x} / n$$

Parametri razdiobe učestalosti dana s tučom navedeni su uz osnovnu statistiku nizova za svaku od tri postaje

Tablica 1. Osnovna statistika i parametri razdioba učestalosti dana s tučom ( $\bar{x}$  - srednjak;  $\sigma$  - standardna devijacija;  $C_v$  - koeficijent varijacije;  $m$  - minimum;  $M$  - maksimum;  $p$ ,  $n$  - parametri razdioba;  $\alpha$  - razina povjerenja prema  $\chi^2$  - testu).

Table 1. Elementary statistics and parameters of frequency distribution of days with hail ( $\bar{x}$  - average;  $\sigma$  - standard deviation;  $C_v$  - coefficient of variation;  $m$  - minimum;  $M$  - maximum;  $p$ ,  $n$  - distribution parameters.  $\alpha$  - significant level according to  $\chi^2$  - test).

	1951-1972	Bjelovar	Čazma	Križevci
$\bar{x}$		1.4	0.8	1.6
$\sigma$		1.7	1.1	1.3
$C_v$		1.21	1.38	0.81
$M$		7	3	5
1973-1990				
$\bar{x}$		0.8	0.2	1.4
$\sigma$		1.2	0.4	1.2
$C_v$		1.50	2.00	0.86
$M$		4	1	5
1951-1990				
$\bar{x}$		1.1	0.6	1.5
$\sigma$		1.5	0.9	1.2
$C_v$		1.36	1.50	0.80
$M$		7	3	5
razdioba	geometrijska	geometrijska	binomna	
$p$	0.471	0.645	0.007	
$n$			214	
$\alpha$	0.38	0.56	0.50	

u Tablici 1. Kvantili za 10, 25 (donji kvartil), 50 (medijan), 75 (gornji kvartil), 90 i 95% izračunati su iz pridruženih teorijskih razdioba i navedeni u Tablici 2. Moguće je npr. očitati da je vjerojatnost za pojavu više od 2 dana s tučom u Čazmi manja od 5%, a u Bjelovaru i Križevcima manja od 25% (Tab. 2).

Analiza *grmljavinske aktivnosti* u posljednjih 40 godina (1951-1990) na području Bjelovara, Križevaca i Čazme ukazala je u prvom koraku na značajne razlike koje postoje u broju dana s grmljavinom u sezoni IV-X (Sl. 1). Naime, na postaji Križevci uočava se smanjeni broj dana s grmljavinom u odnosu na Bjelovar. Ta se razlika vjerojatno može pripisati promjeni motritelja i subjektivnosti u opažanju. Još drastičnije promjene u vremenskom nizu broja dana s grmljavinom javljaju se u Čazmi. Od 1973. opaženo je najviše 10 takvih dana u pojedinoj sezoni s prosjekom od 6.3 dana, dok je prosjek za prethodno razdoblje 1951-1972. iznosio 31.3 dana. Kako je ranije navedeno, i u Čazmi je tijekom 1972. godine promijenjen položaj postaje i motritelj. Osim toga, u navedenim problematičnim nizovima podataka uopće nije bilježena pojava grmljenja (Sl. 1). Zbog navedenih sumnji u kvalitetu podataka o broju dana s grmljavinom posljednjih 10 godina u Križevcima i 18 godina u Čazmi, podaci osnovne statistike komparirani su za sve tri postaje samo za niz 1951-1972. (Tab. 3). U tom razdoblju grmljavina se u prosjeku najčešće javljala u Čazmi, a najrjeđe u Bjelovaru gdje je kolebanje pojave grmljavine iz godine u godinu bilo najveće. Zbog sumnje u kvalitetu podataka cjelokupna analiza za razdoblje 1951-1990. godine provedena je za pojavu grmljavine samo za postaju Bjelovar (Tab. 3).

Vjerojatnost za pojavu grmljavine u Bjelovaru ravna se po Poissonovoj razdiobi (Sl. 2):

$$f(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

gdje je  $x$  broj dana s grmljavinom u sezoni, a  $m$  je parametar čija je najbolja procjena srednjak niza ( $m = \bar{x}$ ). Iz ove relacije za vjerojatnost pojavljivanja grmljavine i izračunatih parametara (Tab. 3) slijedi npr. da će se u 50% slučajeva (interkvartilni raspon) pojaviti 17-23 dana s grmljavinom u sezoni IV-X te da je vjerojatnost za pojavu više od 30 dana s grmljavinom manja od 2% (Tab. 4).

Tablica 2. Kvantili razdioba broja dana s tučom iz pridruženih teorijskih razdioba. Razdoblje: 1951-1990.

Table 2. Quantiles of the distribution of days with hail according to fitted theoretical distributions. Period: 1951-1990.

Kvantili (%)	10	25	50	75	90	95	razdioba
Bjelovar	0	0	1	2	3	4	geometrijska
Čazma	0	0	0	0	1	2	geometrijska
Križevci	0	1	1	2	3	4	binomna

Tablica 3. Osnovna statistika broja dana s grmljavinom; ( $\bar{x}$ -srednjak;  $\sigma$ -standardna devijacija;  $C_v$ -koeficijent varijacije;  $m$ -minimum;  $M$ -maksimum;  $\alpha$ -razina povjerenja prema  $\chi^2$ -testu za Poissonovu razdiobu).

Table 3. Elementary statistics and parameters of frequency distribution of days with thunderstorm ( $\bar{x}$ -average;  $\sigma$ -standard deviation;  $C_v$ -coefficient of variation;  $m$ -minimum;  $M$ -maximum;  $\alpha$ -significant level according to  $\chi^2$ -test.

razdoblje	1951-1990		1951-1972		
	postaja	Bjelovar	Bjelovar	Čazma	Križevci
$\bar{x}$		20.4	20.7	31.3	27.2
$\sigma$		5.5	6.7	8.5	7.3
$C_v$		0.27	0.32	0.27	0.27
$m$		9	9	16	11
$M$		34	34	52	38
$\alpha$		0.70			

Tablica 4. Kvantili razdiobe dana s grmljavinom iz pridružene Poissonove razdiobe za Bjelovar. Razdoblje: 1951-1990.

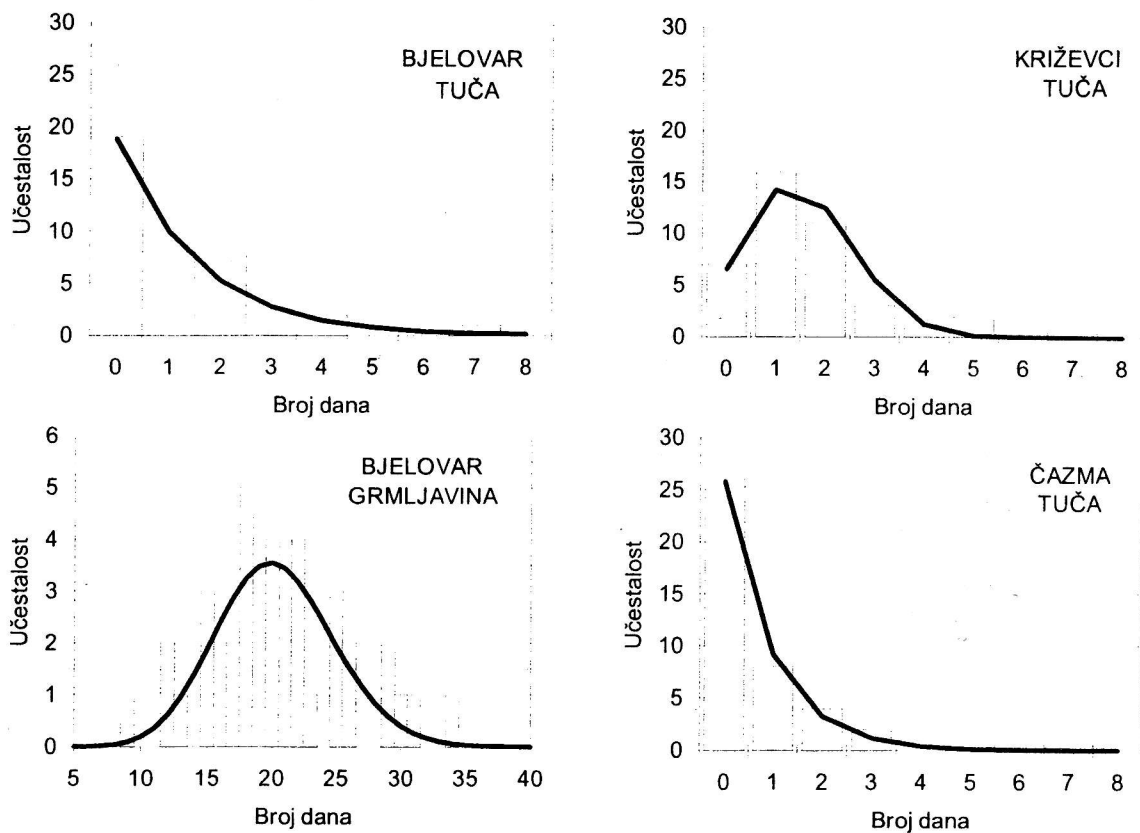
Table 4. Quantiles of the distribution of days with thunderstorm according to fitted theoretical distributions. Period: 1951-1990.

Kvantili (%)	10	25	50	75	90	95	97	98	99
dani	15	17	20	23	26	28	29	30	32

## ANALIZA TRENDA

Radi utvrđivanja kolebanja sezonske (IV-X) pojave tuče i grmljavine iz godine u godinu u proteklom 40-godišnjem razdoblju, primijenjen je linearni trend koji je testiran neparametarskim Mann-Kendallovim testom za trend, koji ističe dugoperiodične promjene i neovisan je o osnovnoj razdiobi elemenata (Mitchell et al., 1966; Sneyers, 1990). Test se temelji na vrijednosti pojedinog člana niza i položaja tog člana u nizu. Ako postoji trend, onda bi se vrijednosti trebale kronološki uglavnom povećavati ili smanjivati, a postojanje trenda provjerava se Kendallovim koeficijentom korelacije. Pozitivne vrijednosti koeficijenta korelacije znače trend porasta, a negativne trend pada vrijednosti u kronološkom nizu. Što su vrijednosti koeficijenta korelacije bliže 0, to je sigurnije da se analizirane vrijednosti kronološki značajno ne povećavaju niti ne smanjuju. Nasuprot tome obično se smatra da postoji signifikantan trend ako prelazi razinu signifikantnosti  $\alpha < 0.05$ .

Pridruživanje linearnih trendova podacima cijelog razdoblja A (1951-1990) i podrazdoblja B (1951-1972) i C (1973-1990) prikazano je na Slici 3. a jednakžbe linearne ovisnosti sezonskih (IV-X) brojeva dana s



Slika 2. Razdiobe učestalosti broja dana s tučom i grmljavinom i pridružene teorijske razdiobe. Razdoblje: 1951-1990.

Figure 2. Empirical and theoretical frequency distributions of days with hail and thunderstorm. Period: 1951-1990.

Tablica 5. Mann-Kendalova statistika ranga i pripadna razina signifikantnosti  $\alpha$ . Razdoblje: 1951-1990.

Table 5. Mann-Kendall rank statistics and its significance level  $\alpha$ . Period: 1951-1990.

	Broj dana s tučom		Broj dana s grmljavinom	
	$\tau$	$\alpha$	$\tau$	$\alpha$
Bjelovar	-0.206	0.09	-0.012	0.92
Križevci	-0.039	0.75		

tučom ( $T$ ) i grmljavinom ( $G$ ) o vremenu ( $t$ -godine) glase:

<b>Bjelovar</b>	<b>Bjelovar</b>
<i>A</i> $T=1.8-0.0344 t$	<i>A</i> $G=20.8-0.02 t$
<i>B</i> $T=2.1-0.0627 t$	<i>B</i> $G=20.0+0.06 t$
<i>C</i> $T=1.0-0.0062 t$	<i>C</i> $G=21.0-0.03 t$

#### Križevci

<i>A</i> $T=1.6-0.0025 t$
<i>B</i> $T=1.7+0.0327 t$
<i>C</i> $T=1.0+0.0134 t$

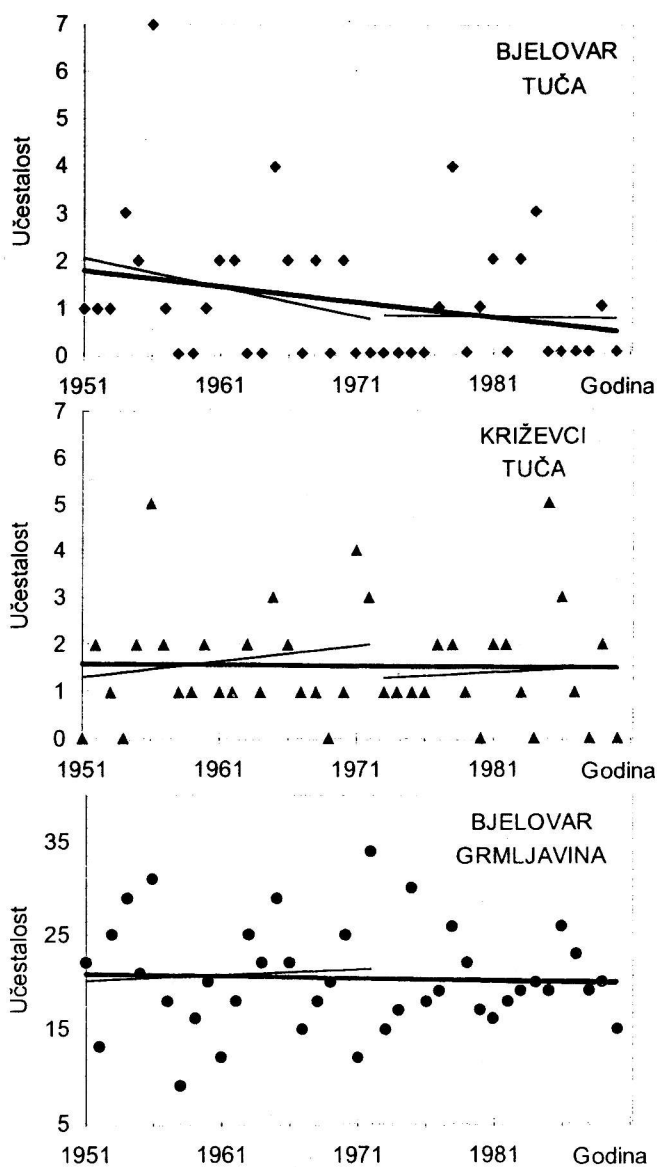
Svi pravci imaju vrlo blagi nagib, tj. malu promjenu učestalosti pojave s vremenom. Bez obzira da li se radi o blagom porastu ili padu broja dana s tučom ili grmljavinom u podrazdobljima, kroz cijelo razdoblje 1951-1990 postoji blago smanjenje tučonosne i grmljavinske aktivnosti (Sl. 3). Međutim, Mann-Kendalova statistika ranga pokazuje da svi analizirani trendovi nisu signifikantni na 95% razini povjerenja ( $\alpha > 0.05$ ) (Tab. 5).

## ZAKLJUČAK

U analiziranom 40-godišnjem razdoblju (1951-1990) ustanovljeno je blago smanjenje tučonosne i grmljavinske aktivnosti na području Bjelovara i Križevaca. Međutim, ustanovljeni trendovi u statističkom smislu nisu signifikantni.

Provedena analiza nije ukazala na postojanje statistički značajnih razlika u učestalosti pojavljivanja tuče u razdoblju s organiziranom obranom (1973-1990) u odnosu na ranije razdoblje (1951-1972).

S obzirom na osnovni princip djelovanja obrane od tuče zasijavanjem radi smanjenja zrna tuče, pretpostavljamo da bi za utvrđivanje njezine efikasnosti bilo prikladnije provesti komparativnu analizu veličine zrna



Slika 3. Linearni trendovi broja dana s tučom i grmljavinom u razdoblju 1951-1990. i podrazdobljima 1951-1972. i 1973-1990.

Figure 3. Linear trend of days with hail and thunderstorm in the period 1951-1990 and the subperiods 1951-1972 and 1973-1990.

tuče. Međutim, zbog nedostatka podataka takvu je analizu bilo praktički nemoguće provesti.

#### LITERATURA

Brooks C.E.P., Carruthers N. (1953) Handbook of statistical methods in meteorology. Meteorological office, London, str. 412.

Gajić M. (1974) O tuči i njejoj razdiobi u sjevernoj Hrvatskoj. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, str. 66.

Gerber Z. (1991) Prostorna i vremenska razdioba grmljavine i tuče na području sjeveroistočne Slavonije u

razdoblju 1981-1990. godine. *II Jugoslavenska konferencija o modifikaciji vremena*, Mavrovo. 223-226.

Mitchell, J.M.Jr. et al. (1966) Climatic Change. *WMO Tech. Note 79*, Geneve, str. 79.

Peko-Kačić B. (1955) O grmljavinama, *Almanah Bošković*, 192-198.

Penzar B. (1977) Značajne meteorološke pojave, Klima grada Zagreba, br. 1, *Radovi Geofizičkog zavoda III/XVIII*, 99-121.

Penzar I., Penzar B. (1991) Raspodjela tuče u sjevernoj Hrvatskoj-klimatološki prikaz. *II Jugoslavenska konferencija o modifikaciji vremena*, Mavrovo. 177-186.

Sneyers R. (1990) On the statistical analysis of series of observations, *Technical Note*, No 143., WMO-No. 415. Geneve, str. 192.