



Републички
хидрометеоролошки
 завод СР Србије

Republic
Hydrometeorological
Institute
of the SR of Serbia

САВЕТОВАЊЕ О ЗАШТИТИ
ОД АТМОСФЕРСКИХ
ЕЛЕМЕНТАРНИХ НЕПОГОДА

1st conference on protection
against atmospheric storms

BORIVOJ ČAPKA, dipl.inž.
BOJAN LIPOVŠČAK, dipl.inž.
Republički hidrometeorološki zavod
SR Hrvatske, Zagreb

PRILOG UPOZNAVANJU KARAKTERISTIKA POJAVA GRMLJAVINE I TUČE NA PODRUČJU SJEVEROZAPADNE HRVATSKE

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF CHARACTERISTICS OF THUNDERSTORM AND HAIL OCCURRENCE IN THE REGION OF NORTHEAST CROATIA

Kratak sadržaj:

Analizirane su pojave grmljavine i tuče u 1975. godini na području sjeverozapadne Hrvatske. Pokazano je da je navedena godina bila grmljavinski vrlo aktivna.

Izračunate su vjerojatnosti pojave grmljavine za Whitingov i Similä indeks nestabilnosti. Analizirana je također vertikalna brzina kao indikator pojave nestabilnosti. Na kraju je izvršena klasifikacija vremenskih situacija u kojima je došlo do pojave grmljavine i tuče.

Summary

The occurrences of thunderstorm and hail in 1975 are analysed for the region of northwestern Croatia. It is shown that the considered year was very active in respect to thunderstorms.

The probabilities of thunderstorm occurrence are evaluated for the instability-indicies of Whiting and Similä. The vertical velocity is also analysed, as an indicator of instability occurrence. Finally, the classification of weather situation with the occurrence of thunderstorm and hail, is given.

Radovi za Savetovanje su štampani u dostavljenom obliku
bez jezičke, tehničke i stručne recenzije.

1. UVOD

Svrha je ovog rada, da se odrede osnovne karakteristike pojave grmljavine i tuče na području sjeverozapadne Hrvatske, tokom sezone obrane od tuče 1975. godine. Njihovim sagledavanjem žele se odrediti osnovni pravci za iznalaženje novih, odnosno poboljšanje postojećih metoda za prognozu pojave nestabilnosti.

Pri izradi su korišteni podaci iz 1975. god. koje je arhivirala radna grupa za prognozu tuče RHMZ-a SRH, kao i podaci Centra obrane od tuče Puntijarka (u dalnjem tekstu RC 1). Ovaj centar izabran je zbog velikog broja vremenskih izvještaja lansirnih stanica (u dalnjem tekstu LS), te zbog radiosondažnih mjerena koja su vršena na njegovom području djelovanja.

RC 1 je smješten na Zagrebačkoj gori na visini 988 m, a geografski položaj odredjen je s $\lambda = 15^{\circ}58'$, $\phi = 45^{\circ}54'$. Branjeno područje proteže se na općine: Dugo Selo, Donja Stubica, Jastrebarsko, Klanjec, Krapina, Sesvete, Velika Gorica, Zaprešić, Zabok, Zelina, Zlatar Bistrica i Zagreb. Promatrano razdoblje obrane od tuče obuhvaća period od 15. 04. do 15. 10. 1975. godine.

2. ANALIZA POJAVA GRMLJAVINE I TUČE

Na području RC 1 nalazi se meteorološki opservatorij Zagreb-Grič, s višegodišnjim nizom motrenja, radi usporedbe grmljavinske aktivnosti korišteni su podaci ove stanice. Tabelom 1. prikazan je broj dana s grmljavinom u promatranom razdoblju na području RC 1, na opservatoriju Zagreb-Grič i na sinoptičkoj stanici Puntijarka.

Mjesec	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ
RC 1	1	19	14	15	19	10	3	81
Zagreb-Grič	0	6	8	11	11	2	0	38
Puntijarka	0	8	13	13	13	5	3	55

Tabela 1. Broj dana s grmljavinom na području RC 1, opservatorija Zagreb-Grič i na sinop. stanici Puntijarka, za period 15.04. - 15.10.1975. god.

Table 1. Number of days with thunderstorm at the centre RC1, observatory Zagreb-Grič, and synoptic station Puntijarka, for the period 15 April to 15 October 1975.

Najveći broj dana s grmljavinom na cijelom području RC 1 zabilježen je u V i VIII mjesecu i iznosi 19 dana. Radi usporedbe grmljavinske aktivnosti u 1975. godini s prethodnim godinama, usporedjeni su podaci 1975. godine s višegodišnjim srednjacima za opservatorij Zagreb-Grič (Tabela 2).

Mjesec	5.	6.	7.	8.	9.	Σ
1931 - 1960.	6.4	8.5	7.4	5.7	2.8	30.8
Odstupanja	-.4	-.5	3.6	5.3	-.2	7.8

Tabela 2. Klimatološki srednjak broja dana s grmljavinom, na opservatoriju Zagreb - Grič, odstupanja od klimatološkog srednjaka u 1975. godini.

Table 2. Climatological average number of days with thunderstorm at the observatory Zagreb-Grič, deviation from climatological mean in 1975.

Najveće odstupanje od klimatološkog srednjaka iznosi 5,3 dana u VIII i 3,6 dana u VI mjesecu, zaključujemo da su ta dva mjeseca bila grmljavinski aktivni. Podatak od 38 dana s grmljavinom na stanici Zagreb - Grič u 1975. godini, u usporedbi sa sumom 30 godišnjih srednjaka navodi na zaključak da je 1975. godina bila grmljavinski aktivna.

Na području RC 1 u promatranom razdoblju zabilježen je 81 dan s pojavom grmljavine. Za određivanje broja dana s grmljavinom na području RC 1 pregledano je oko 3000 izvještaja LS. Od tog broja odbačeno je oko 5% radi nepotpunosti ili sumnjivosti podataka.

Tabela 3 prikazuje neke karakteristike pojave grmljavine na području RC 1. Prvi redak prikazuje broj izvještaja LS-a o pojavi grmljavine. Najveći broj izvještaja vezan je uz VI mjesec. U drugom redku prikazano je vrijeme trajanja grmljavine, koje je određeno iz vrjemenskih izvještaja LS na taj način što se promatralo vrijeme početka i završetka grmljavine za područje u cjelini. U 19 dana s grmljavinom u VIII mjesecu grmljavina je trajala 172 sata, a u V mjesecu uz isti broj dana s grmljavinom 127 sati. U trećem redku prikazan je omjer broja sati s grmljavinom i broja dana s grmljavinom i ta veličina nazvana je "srednji" broj sati trajanja grmljavine u dane s grmljavinom. Najduži grmljavinski dan bio je u VI mj. s prosječno 11.1 sati grmljavine. U promatranom razdoblju grmljavina je trajala 7.4 sati u danu s grmljavinom.

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
(1)	11	490	829	719	743	205	95
(2)	3	127	155	127	172	56	24
(3)	3.	6.7	11.1	8.5	9.1	5.6	8.0
(4)	11.	25.8	59.2	47.9	59.4	20.5	31.7

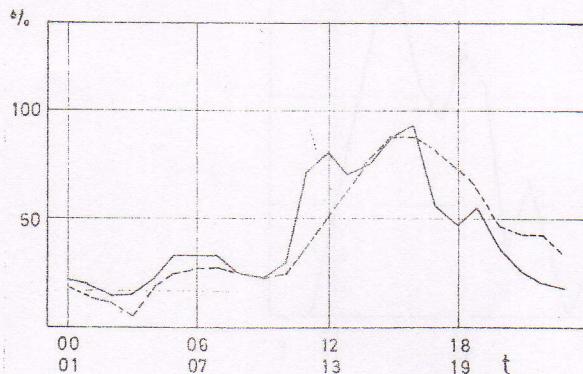
Tabela 3. Broj izvještaja LS o pojavi grmljavine (1), broj sati s grmljavinom (2), srednji broj sati trajanja grmljavine (3), prostorna rasporedjenost grmljavine (4).

Table 3. Number of reports LS of thunderstorm occurrence (1), number of hours with thunderstorms (2), average number of hours of thunderstorm duration (3), space distribution of thunderstorms (4).

Omjerom broja LS i broja dana s grmljavinom pokazana je prostorna razdioba grmljavine na području RC 1. Vidi se da se grmljava pojavila na najvećem području u VI a odmah slijedi VII mjesec.

Iz navedenih podataka uočljivo je da je u VII i V mjesecu bilo najviše dana s pojmom grmljavine, a u VI je grmljava bila prostorno najrasprostranjenija i najdužeg trajanja.

Da bi se odredilo vrijeme pojave grmljavine tokom dana, iz svakog vremenskog izvještaja LS određen je početak i završetak grmljavine. Podaci su grupirani unutar jednostanih intervala. Određena je vjerojatnost početka odnosno završetka grmljavine po satima i prikazana je Slikom 1. Puna linija prikazuje vjerojatnost u % za početak a isprekidana za završetak pojave grmljavine. Najveća vjerojatnost za pojavu grmljavine je u poslijepodnevnim satima, izmedju 15 i 17 sati, sa sekundarnim maksimumom u ranim jutarnjim satima.



Sl. 1. Vjerojatnost u % početka i završetka grmljavine po satima

Fig. 1 Probability (in %) of initial and final thunderstorm by hours.

U slučaju tuče promatrane su pojave koje su uzrokovale štetu, kao i slučajevi u kojima su na LS opaženi tragovi sugradice.

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
(1)	0	1	1	0	3	0	0
(2)	0	4	12	9	9	4	0
(3)	0	13	43	37	42	9	0
(4)	0	3.3	2.4	4.1	4.7	2.3	0

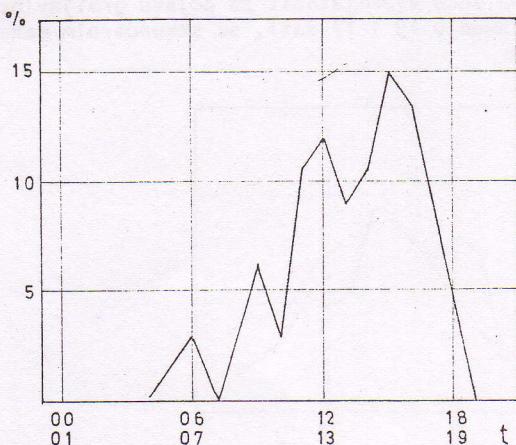
Tabela 4. Broj dana s tučom na sinop. stanici Puntijarka (1), broj dana s tučom napodručju RC 1 (2), broj izvještaja LS o pojavi tuče (3), prostorna rasprostranjenost tuče (4).

Table 4. Number of days with hail at synoptic station Puntijarka (1), number of days with hail at RC 1 (2), number of reports LS of hail occurrence (3), spatial distribution of hail (4).

Uspoređujući tabele 1 i 4 vidi se da je u VI mj. tuča zabilježena u gotovo svim slučajevima kada je zabilježena i pojava grmljavine. Naime od 14 dana s grmljavinom u 12 dana zabilježena je i pojava tuče.

U VI mj. je tuča zabilježena u 12 dana na 43 LS, a u VIII mj. u 9 dana na 42 LS. Prostorno je tuča bila najrasprostranjenija u VII i VIII mj.

Na Slici 2. prikazana je vjerovatnost pojave grmljavine u satnim terminima. Budući da je tuča vremenski kratkotrajna pojava, početak i završetak tuče zabilježeni su uglavnom u istim satnim intervalima. Kao i grmljavina, tuča je najčešća u poslijepodnevnim i podnevnim satima. Uočljiv je sekundarni maksimum pojave tuče u ranim jutarnjim satima.



S1. 2. Vjerovatnost (u %) pojave tuče u satnim terminima

Fig. 2 Probability (in %) of hail occurrence in hourly intervals.

3. ANALIZA INDEKSA NESTABILNOSTI KAO IZDRAZNIKA POJAVE GRMLJAVINA

U promatranom periodu svakodnevno su računate vrijednosti Whitingovog (K) i Similä(S) indeksa, na temelju radiosondažnog mjerjenja aerološke stanice Zagreb - Maksimir od 01 i 13 SEV. Od ukupnog broja od 368 radiosondaža u 184 dana sezone obrane od tuče u 3 termina radiosondaža nije izvršena zbog kvara uređaja.

Prema definiciji odredjenim vrijednostima K indeksa odgovaraju vjerovatnosti pojave grmljavine. Izvršeno je grupiranje K indeksa po klasama u 01 i 13 sati, zasebno u dane s pojavom i bez pojave grmljavine, Tabela 5.

Iz tabele 5 je vidljivo da se u danima bez pojave nestabilnosti u oba termina, gotovo polovina K indeksa nalazi u klasi koja isključuje mogućnost grmljavine. Uspoređimo li čestine K indeksa po klasama u 01 i 13 sati, uočava se u terminu 13 sati veća koncentracija K indeksa u nižim klasama nego u terminu 01 sat.

(A)

01 SEV	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ	13 SEV	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ
K≤20	12	2	6	4	4	13	8	49		11	3	5	3	4	14	7	47
20<K≤25	2	4	3	0	0	3	2	14		4	6	5	6	1	2	4	28
25<K≤30	1	5	3	5	1	1	1	17		0	2	6	7	5	1	1	22
30<K≤35	0	1	3	5	5	3	1	18		0	1	0	0	2	1	0	4
35<K	0	0	1	2	2	0	0	5		0	0	0	0	0	0	0	0

(B)

01 SEV	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ	13 SEV	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ
K≤20	0	2	0	0	1	0	1	4		0	2	1	1	3	1	0	8
20<K≤25	1	2	1	0	3	0	0	7		0	3	1	1	2	1	1	9
25<K≤30	0	5	4	5	2	3	1	20		1	8	4	9	7	5	0	34
30<K≤35	0	10	8	9	8	7	1	43		0	5	8	2	5	3	1	24
35<K	0	0	1	0	5	0	0	6		0	0	0	1	2	0	0	3

Tabela 5. Čestine K indeksa, po klasama, za dane bez pojave grmljavine (A), i za dane s pojavom grmljavine (B), prema radiosondaži od 01 i 13 sati SEV, opservatorija Zagreb - Maksimir.

Table 5. Frequencies of K-index (A), by classes, for the thunderstorm occurrence (B), according to sounding Zagreb - Maksimir 01 and 13 SEV.

U dane s pojavom grmljavina raspored K indeksa po klasama u oba je termina zadovoljavajući. U terminu 01 sat uočena je veća koncentracija K indeksa u višim klasama nego u terminu 13 sati. U terminu 01 sat samo 4 puta javlja se vrijednost K indeksa koja isključuje mogućnost pojave grmljavine, za razliku od 8 puta u terminu 13 sati.

Kao i vrijednosti K indeksa i vrijednosti S indeksa grupirane su po klasama, posebno za dane bez pojave grmljavine te za dane s pojavom (Tabela 6).

Kao prvo se uočava, da u danima bez pojave grmljavine oko 90% S indeksa leži unutar klase koje isključuju odredjenu vjerovatnosc za njenu pojавu. Međutim u danu s pojavom grmljavine nije zabilježena niti jedna vrijednost S indeksa koji isključuje njenu pojавu. Drugo u svim slučajevima S indeksi su grupirani u klasi male vjerovatnosti za pojавu grmljavine. U oba slučaja veća je koncentracija S indeksa u višim klasama nego u terminu od 01 sat nego u terminu od 13 sati.

Na temelju tabele 5 i 6 izračunate su vjerovatnosti za pojавu grmljavina u ovisnosti o vrijednosti K i S indeksa. Korištena je formula

$$P = \frac{x_i}{x_i + y_i} \quad (1)$$

gdje je x_i - broj dana s grmljavinom za određena vrijednost K i S indeksa

y_i - broj dana bez grmljavine za istu vrijednost i i S indeksa

(A)

C1 SEV	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ	13 SEV	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ
S≤055	3	1	1	1	0	0	5	11		3	0	4	0	0	0	7	14
055<S≤111	2	1	8	2	2	6	3	24		7	9	3	8	4	6	2	39
111<S≤222	7	8	2	6	8	14	1	46		4	3	8	6	5	12	3	41
222<S≤333	3	1	5	5	2	0	1	17		1	0	1	1	2	0	0	5
333<S≤444	0	0	0	0	0	2	2	2		0	0	0	1	1	0	0	2
444<S	0	1	0	2	0	0	0	3		0	0	0	0	0	0	0	0

(B)

C1 SEV	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ	13 SEV	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ
S≤055	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
055<S≤111	0	4	1	1	1	0	1	8		1	2	1	2	1	1	1	9
111<S≤222	1	6	3	8	7	3	2	30		0	10	5	8	9	6	0	38
222<S≤333	0	4	4	1	1	2	0	12		0	3	6	1	0	1	0	11
333<S≤444	0	3	4	3	5	5	0	20		0	2	2	4	7	2	1	18
444<S	0	2	2	2	5	0	0	11		0	1	0	0	2	0	0	3

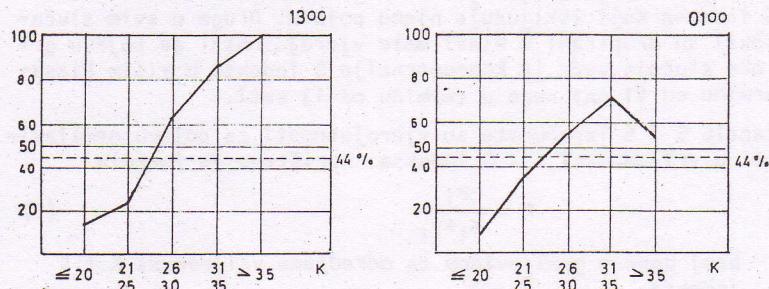
Tabela 6. Čestina S indeksa, po klasama, za dane bez pojave grmljavine (A), i za dane s pojavom grmljavine (B), prema radiosondaži od 01 i 13 sati SEV, opservatorija Zagreb - Maksimir

Table 6. Frequencies of S - index, by classes, for the days without thunderstorm (A), and with thunderstorm (B), according to sounding Zagreb - Maksimir, 01 and 13 SEV.

Klimatološka vrijerojatnost pojave grmljavine definirana je s

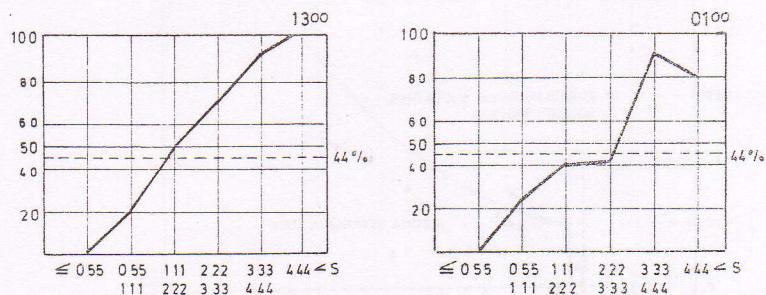
$$P_k = \frac{\sum x_i}{\sum (x_i + y_i)} \quad (2)$$

Vrijednosti izračunate formulom (2) za K i S prikazane su grafički slikom 3 i 4.



Sl. 3. Vjerodost pojave grmljavine za određene vrijednosti K indeksa. Horizontalna crtačna linija - klimatološka vjerodost

Fig 3. Probability of thunderstorm occurrence for specific values of K-index. Horizontal dashed line is climatological probability.



S1. 4. Vjerojatnost pojave grmljavine za određene vrijednosti S indeksa.
Horizontalna crkana linija - klimatološka vjerojatnost.

Fig 4. Probability of thunderstorm occurrence for specific values of S - index. Horizontal dashed line is climatological probability.

Ukoliko je $K \leq 20$ vjerojatnost za pojavu grmljavine je u oba termina manja od 20%. S porastom veličine indeksa, vjerojatnost se povećava pravilnije u terminu od 13 sati. Za vrijednosti K indeksa između 25 i 35 porast vjerojatnosti je skoro linearan, a iznad ovih vrijednosti se porast vjerojatnosti nešto usporava, dok u terminu od 01 sat dolazi čak i do pada vjerojatnosti.

Ako se usporede vjerojatnosti koje daje metoda S s vjerojatnostima do- bivenim iz čestina stvarnih pojava grmljavina, dobije se u terminu 13 SEV gotovo linearno poklapanje. Kao i kod K indeksa u terminu od 01 sat pojavljuje se kod vrlo velike vrijednosti indeksa pad vjerojatnosti pojave grmljavine.

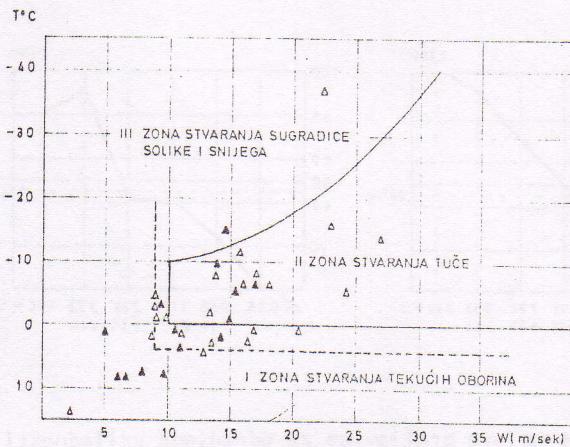
4. ANALIZA VERTIKALNIH BRZINA

Pored već iznjetih faktora nestabilnosti svakodnevno su metodom Gluškove računate vrijednosti vertikalne brzine iz radiosondažnih mjeranja. Navedena je samo analiza vrijednosti maksimalne vertikalne brzine (w_{max}), i pripadne temperature (t_{max}), za sondaž 13 SEV.

Na slici 5 prikazane su vrijednosti parametara w_{max} i t_{max} u dane s pojmom tuče na području RC 1. Samo u dva slučaja s pojavom tuče iznos vertikalne brzine bio je manji od nule. Izuzevši spomenuta dva slučaja, vrijednosti parametara w_{max} i t_{max} reprezentativni su pokazatelji za pojavu tuče. 30 od ukupno 36 vrijednosti parametra w_{max} i t_{max} nalaze se unutar područja određenog vrijednostima $w_{max} \geq 9 \text{ m/sek}$ i $t_{max} \leq 4^\circ\text{C}$.

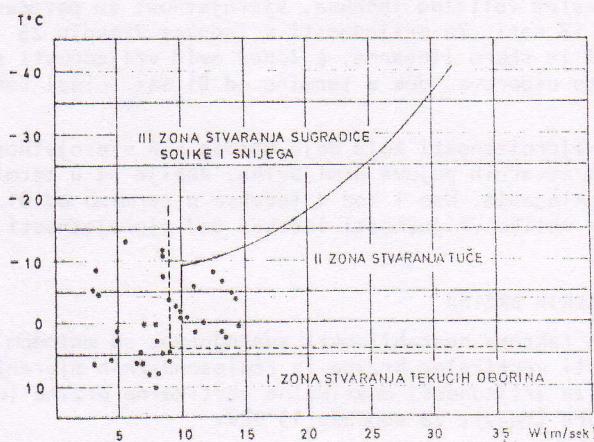
U promatranom razdoblju na području RC 1 bilo je 103 dana bez pojava nestabilnosti, od tog broja u 57 slučajeva w_{max} je negativan, a u 3 slučaja nije izračunavan. U preostala 43 slučaja w_{max} je veći od nule, a njihova vrijednost i pripadni t_{max} prikazani su slikom 6.

Možemo uočiti da su zabilježeni i slučajevi kad su vrijednosti w_{max} i t_{max} zadovoljavali kriterije stvaranja tuče ili sugradice, ali nije osmotrena niti pojava grmljavine.



S1. 5. Vrijednosti w_{\max} i t_{\max} u dane s pojavom tuče,

Fig 5. Values of w_{\max} and t_{\max} on days with hail appearance.



S1. 6. Vrijednosti w_{\max} i t_{\max} u dane bez pojava nestabilnosti.

Fig 6. Values of w_{\max} and t_{\max} on days without the instability condition.

5. TIPOVI VREMENA KARAKTERISTIČNI ZA POJAVU GRMLJAVINE I TUČE

Izvršena je klasifikacija tipova vremena na temelju prizemne karte Europe od 07 SEV za svaki dan promatranog razdoblja, (Poje).

U promatranom razdoblju najčešći su bili tipovi vremena bezgradijentnog karaktera; i to tip Ba 38, a tip Bc 30 puta. Tip V₁ zabilježen je 17, a tip V₂ 16 puta. Navedena četiri tipa zabilježena su ukupno 101 od promatrana 184 dana. Prema čestini pojave slijedi tip N₁ i Dol₁ 11, te tip V₂ 10 puta.

Pojave grmljavine najčešće su kod bezgradijentnih tipova vremena. Od ukupno 81 grmljavinska dana, 21 puta javila se kod tipa Bc, a 19 puta kod tipa Ba, što ukupno čini 49,4 % broja dana s grmljavinom. Slijede ciklonski tipovi vremena, prije svega oni, kod kojih se naši krajevi nalaze na prednjoj strani ciklone, 17,3 % slučaja. Kod tipa Dol grmljavina se javlja u 13,6 % slučaja, a kod tipova grebena 8,6 %, kod tipa visokog tlaka u 7,4 %, i na kraju u 3,7 % slučajeva grmljavina je zabilježena u tipu Zodol.

Tabelom 7 prikazane su vjerojatnosti za pojavu grmljavine i tuče za pojedine tipove vremena, kao i čestina pojedinih tipova vremena kod kojih su opažene nestabilnosti.

	Tip vremena								ostali
	B _a	B _c	N	DOL	g	V	Zodol		
broj dana	38	30	25	19	24	36	3	9	
broj dana s grmljavinom	19	21	14	11	7	6	3	0	
broj dana s tučom	7	10	6	7	4	2	2	0	
vjer. % za grmljavinu	50	70	59	58	29	17	100	0	
vjer. % za tuču	18	33	24	37	17	6	67	0	

Tabela 7. Čestina tipova vremena, vjerojatnost pojave grmljavine i tuče za pojedini tip vremena.

Table 7. Frequencies of weather types, probability of thunderstorm and hail occurrence for specific weather type.

Ne uzimajući u obzir tip Zodol, koji je od ukupno 184 dana zabilježen samo u tri slučaja, najveća je vjerojatnost pojave grmljavine kod tipa Bc (70%). Slijedi tip doline i ciklonski tip sa 58 odnosno 56%. U tipu vremena Ba grmljavina se pojavila u 50% slučajeva. Najmanja vjerojatnost za pojavu grmljavine je kod tipa grebena i visokog tlaka sa 29 odnosno 17%.

Analogno s pojavom grmljavine i tuče je najčešće zabilježena kod bezgradijentnih tipova vremena. Od ukupno 38 dana s pojavom tuče, u 10 dana tuča je opažena kod tipa Bc, a u 7 dana kod tipa Ba. Kod ciklonskog tipa vremena, tuča je opažena u 6, a kod tipa doline u 7 dana. U tipu grebena tuča se pojavila 4 puta, a kod tipa Zodol i tipa visokog tlaka zabilježena su po 2 slučaja pojave tuče.

Kao i za grmljavinu najveća vjerojatnost za pojavu tuče je kod tipa Zodol, slijedi tip doline sa 37%, a zatim tip Bc sa 33%. Najmanja vjerojanost za pojavu tuče, isto kao i grmljavine je u tipovima visokog tlaka.

6. ZAKLJUČAK

Ovo istraživanje pokazalo je da je neophodno vršiti analizu podataka dobivenih s gусте mreže LS stanica, da bi se bolje upoznale karakteristike pojave nestabilnosti nad područjem Jugoslavije.

Analiza K i S indeksa nestabilnosti, koji se upotrebljavaju u operativnoj službi RHMZ-a SRH, ukazala je na veću težinu indeksa izračunavanog na temelju sondaže od 13 sati SEV.

Kod analize tipova vremena kod kojih se javlja grmljavina i tuča potvrđeno se empirički stečeno iskustvo da su nestabilnosti povezane uz bezgradjentne tipove vremena.

Analiza w_{max} i t_{max} dovele je do zaključka da su na području sjeverozapadne Hrvatske za stvaranje tuče dovoljni kriteriji $w_{max} \geq 9$ m/sek i $t_{max} \leq 4^{\circ}\text{C}$.

7. LITERATURA

1. Poje D. 1965: Glavni tipovi vremena u Jugoslaviji i njihova ovisnost o visinskim strujanjima. Zagreb, 1965., (Doktorska disertacija)