

ISSN 1849-0700
ISSN 1330-0083
CODEN HMCAE7

Hrvatsko meteorološko društvo
Croatian Meteorological Society

HRVATSKI METEOROLOŠKI ČASOPIS CROATIAN METEOROLOGICAL JOURNAL

51

Hrv. meteor. časopis	Vol. 51	p. 1-72	ZAGREB	2016
-----------------------------	----------------	----------------	---------------	-------------

KARAKTERISTIKE ZRNA TUČE U SJEVEROZAPADNOM DIJELU HRVATSKE

Hail Characteristics in the Northwest Part of Croatia

DIANA KURAŽI, DAMIR POČAKAL

Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb, Hrvatska
diana.kurazi@cirus.dhz.hr

*Primljeno 18. svibnja 2016., u konačnom obliku 12. kolovoza 2016.
Received 18 May 2016, in final form 12 August 2016*

Sažetak: Mjerenje i registracija pojave zrna tuče na tlu zbog vremenskih i prostornih varijacija te kratkog trajanja vrlo je složeno. Potreba za točnijim podacima i objektivnim mjerenjem pojave tuče potaknula je znanstvenu zajednicu da konstruira i koristi jednostavni mjerni instrument - tučomjer. Postavljanjem mjernih instrumenta - tučomjera na generatorske/lansirne postaje obrane od tuče u kontinentalnom dijelu Hrvatske, kao i poligona tučomjera u 2002. godini na području Zagorja započelo je mjerenje točnih fizičkih parametara tuče u Hrvatskoj. U ovom radu prikazane su izmjerene fizičke karakteristike tuče na području poligona tučomjera u razdoblju 2002. - 2015. godine. Dobiveni rezultati pokazuju da su najveće vrijednosti parametara zrna tuče zabilježene u lipnju. Nađen je negativni trend udjela zrna najmanjeg promjera (5.0-7.5 mm) i porast zrna većeg promjera (7.6-15.0 mm), što ukazuje na moguće povećanje intenziteta grmljavinskih oluja na tom području. Analiza spektra zrna tuče pokazala je da dvoparameterska gama funkcija daje najbolju prilagodbu raspodjele zrna tuče na tlu. Ovi rezultati mogu se koristiti u procjenama eventualnih šteta na temelju izračuna odnosa kinetičke energije ili broja zrna tuče i intenziteta oštećenja na poljoprivrednim kulturama u određenim fenofazama razvoja. Tako se primjerice za osiguravajuća društva mogu izraditi detaljnije karte rizika pojave tuče za pojedina područja u svrhu kvalitetnije i objektivnije procjene štete od tuče.

Ključne riječi: parametri zrna tuče, tučomjer, poligon tučomjera

Abstract: Measuring and registration of hailstone parameters on the ground, because of their temporal and spatial variability and short duration, is very complicated. The necessity to obtain exact and objective hail data motivated the scientific community to construct and use a simple measuring device - hailpad. Installation of the measuring devices - hailpads on meteorological stations in the continental part of Croatia, as well as on the polygon in the northern region called 'Croatian Zagorje' in the year 2002, initiated measuring the exact physical parameters of hail in Croatia.

This analysis presents measured physical characteristics of hail on the polygon for the time period 2002-2015. The measured values show that the highest hail parameters are recorded in June. Negative trend of relative frequencies of the smallest hailstones diameters (5.0-7.5 mm) is revealed and increase of the highest diameters (7.6-15.0 mm), which indicates possible increase of intensity of thunderstorms over the polygon's area. Analysis of the hailstone spectrum showed that two-parametric gamma function is the best fit for the hailstones distribution on the ground. These results can be applied for assessment of possible hail damage based on calculation of kinetic energy or number of hailstones and intensity of damage on crop plants in their different phenophases development. For example, insurance companies can create more detailed risk maps of hail occurrence for particular area in order to have high-quality and objective hail damage assessment.

Key words: hailstone parameters, hailpad, polygon

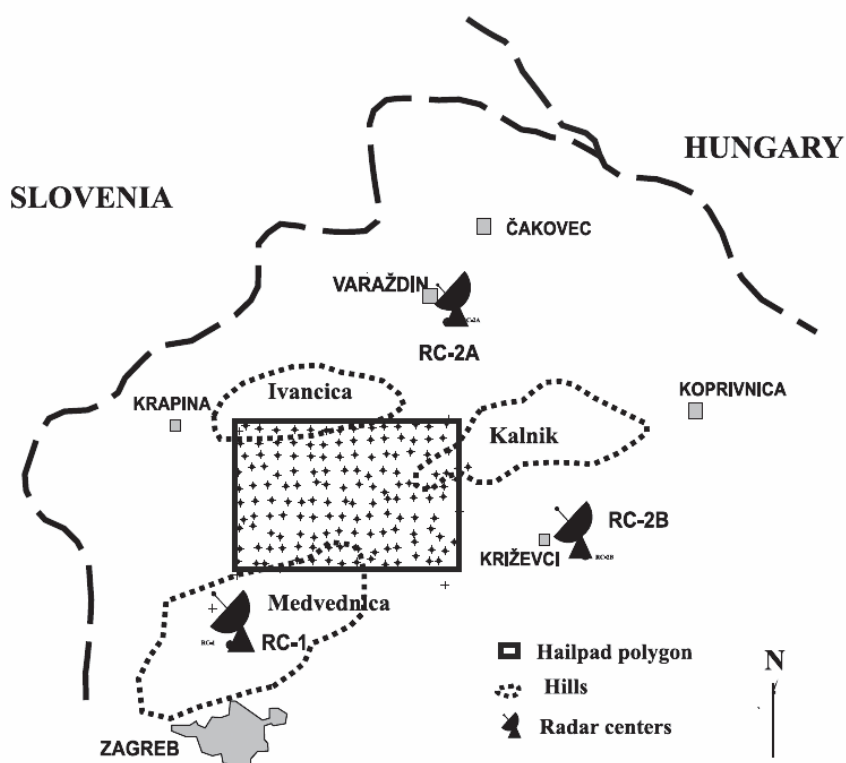
1. UVOD

Tuča je kruta oborina sastavljena od zrna ili komada leda čiji je promjer veći od 5 mm (WMO, 1992) i nastaje isključivo u konvektivnim oblacima jakog vertikalnog razvoja Kumulonimbusima (Cb). Područja s većom čestinom tuče nalaze se u umjerenim geografskim širinama sjeverne i južne hemisfere. Hrvatska se također nalazi u tom području te je naročito u toplom dijelu godine izložena čestim pojavama grmljavinskih oluja s tučom. Štete od tuče stvaraju važan ekonomski problem, kako u poljoprivredi, tako i u urbanim područjima na pokretnoj i nepokretnoj imovini.

Kvantitativni i kvalitativni opis svih meteoroloških pojava, pa tako i tuče, od osnovnog je značenja za meteorološka i druga istraživanja. Dok je za pojedine meteorološke varijable (temperatura, smjer i brzina vjetra, tlak zraka, itd.) način mjerenja i bilježenja odavno razvijen, to za pojavu tuče nije slučaj. Dosadašnji

podaci o tuči dobiveni s meteoroloških postaja i postaja obrane od tuče (OT) u Hrvatskoj, raspoložu samo s brojem dana s tučom u mjesecu/godini, dok se fizičke karakteristike zrna daju samo opisno na način da se uspoređuje veličina zrna tuče s dimenzijama drugih poznatih predmeta (npr. grašak, lješnjak, orah, jaje), a broj zrna se opisuje kao "gusta ili rijetka" tuča (Počakal, 2003).

Potreba za točnijim podacima i objektivnom registracijom, tj. za dobivanjem preciznih podataka o intenzitetu i fizičkim karakteristikama zrna tuče na tlu, potaknula je znanstvenu zajednicu da razvije odgovarajuće mjerne instrumente. U praksi se vrlo dobrim pokazao jednostavni mjerni instrument pod nazivom tučomjer (Schleusener i Jennings, 1960). Tučomjer se sastoji od tučomjerne ploče i stalka. Ploča je napravljena od mekog materijala dimenzija 25 cm x 25 cm x 2 cm, horizontalno je postavljena na stalak visine 1 m (Počakal, 2011). Parametri koji se mogu izmjeriti pomo-



Slika 1. Smještaj poligona tučomjera u sjeverozapadnom dijelu kontinentalne Hrvatske okružen planinama Medvednicom, Ivančicom i Kalnikom.

Figure 1. Position of the hailpad polygon situated in the northwestern continental part of Croatia surrounded by mountains Medvednica, Ivančica and Kalnik.

ću tučomjera su promjer i broj zrna tuče te kinetička energija (K.E.) koja se smatra osnovnim parametrom (mjera intenziteta tuče). Većina zemalja, u kojima je pojava jakih grmljavinskih oluja s tučom česta pojava, provode različita znanstvena istraživanja i evaluacijske studije karakteristika zrna tuče koja se temelje na podacima dobivenim s postavljene mreže tučomjera. Prve i danas aktivne mreže tučomjera u Europi postavljene su 1971. godine u Francuskoj (npr. Dessens i sur., 2007), 1981. u Austriji (Svabik, 1989) te 1984. godine u Grčkoj (Rudolf i sur., 1994). Nakon toga, dva poligona tučomjera postavljena su 2000. godine u Španjolskoj (Sanchez i sur., 2009).

Tijekom 2001. godine su na sve glavne meteorološke postaje i postaje OT u kontinentalnom dijelu Hrvatske postavljene tučomjeri. Udaljenosti između tučomjera u mreži postaja OT iznosile su 3-7 km što znači da je prosječna udaljenost bila oko 5.5 km. Nakon prethodne analize, postavljen je početkom 2002. godine poligon tučomjera na područje s najvećim prosječnim brojem dana s tučom u Hrvatskoj - Zagorju (slika 1). Poligon je gusta mreža tučomjera koja se nalazi u Hrvatskom zagorju između planina Ivančice (1059 m), Medvednice (1030 m), Kalnika (642 m) i slovenske granice. Dimenzije poligona su 30 km x 20 km i na njemu je postavljeno 150 tučomjera pri čemu je udaljenost između tučomjera 2 km (1 tučomjer na 4 km²). Cilj ovog rada je prikazati fizičke karakteristike i raspodjelu veličine zrna tuče na tom poligonu.

2. METODOLOGIJA MJERENJA PARAMETARA TUČE

2.1. Tučomjer

Tučomjer se sastoji od stalka i tučomjerne ploče. Materijal ploče s jedne strane treba biti mekan, da bi zrna tuče udarom u ploču ostavila na njoj trag, a s druge strane treba biti otporan na djelovanje različitih vanjskih utjecaja. Ploča se postavlja horizontalno na stalak postavljen na visini 1 m od tla. Zbog zaštite od ultraljubičastog zračenja, površina gornje ploče premazuje se tankom bijelom bojom. Princip mjerenja veličine zrna tuče temelji se na mjerenju dimenzija i broja otisaka koje zrna ostave nakon udara u ploču. S obzirom na to da se mogu koristiti ploče od materijala različite tvrdoće i elastičnosti, ploče je potrebno

baždariti kako bi se usporedbom traga kugle poznatog promjera i traga zrna tuče mogao odrediti stvarni promjer zrna tuče. Na temelju veličine otiska traga određuje se stvarna veličina zrna koja su pala te se izračunava njihova ukupna masa i K.E, koristeći metodu prema Mezeixa i Dorasa (1981).

Od svibnja do rujna u razdoblju 2002. - 2015., na poligonu je zabilježena tuča na 509 tučomjera. Dobiveni podaci o vremenu i fizičkim parametrima tuče dobiveni s jedne ploče tučomjera su sljedeći:

- a) datum
- b) vrijeme i trajanje padanja tuče
- c) maksimalni promjer zrna (mm)
- d) ukupni broj zrna/m² za svaki interval (2.5 mm) veličine:
5.0-7.5; 7.6-10.0; 10.1-12.5; ... 37.5-40.0 mm
- e) srednji promjer svih zrna (mm)
- f) masa (g/m²)
- g) K.E. (J/m²)
- h) oznaka tučomjera.

2.2. Raspodjela promjera zrna tuče

Raspodjela veličine promjera zrna tuče (histogram) je sastavni dio ukupnih fizičkih mjerenja parametara tuče na svim tučomjerima. Spektar zrna tuče je važan dio mnogih istraživačkih programa (npr. Mezeix i Doras, 1981; Desens i sur., 2007) i daje korisnu informaciju o regionalnoj klimatologiji padanja tuče, kao i o karakteristikama zrna tuče, čime se povećava i naše znanje o strukturi i mehanizmu procesa nastanka zrna tuče u grmljavinskim oblacima. U međunarodnoj praksi često se koristi pretpostavka da kišne kapi slijede eksponencijalnu raspodjelu uzimajući u obzir njihovu veličinu (Marshall i Palmer, 1948). Ta pretpostavka proširena je i na istraživanje parametara tuče (Crow i sur., 1979; Mezeix, 1990). Za opisivanje raspodjele promjera zrna tuče predložena je dvoparameterska gama funkcija koja je poseban slučaj eksponencijalne funkcije (Ulbrich, 1983; Wong i sur., 1988). Eksponencijalna funkcija može se prikazati kao:

$$N(d) = N_0 e^{-\lambda d} \quad (1)$$

(npr. Fraile i sur., 1999), pri čemu je λ parametar nagiba krivulje, N_0 parametar sjecišta kri-

vuļje i osi ordinate, a d veličina intervala promjera zrna pri čemu se on kreće u rasponu:

$$0.5 \text{ cm} \leq d \leq d_m. \quad (2)$$

$N(d)$ predstavlja broj zrna tuče po jedinici površine, a d_m je maksimalni promjer zrna tuče. Zrna tuče su klasificirana po promjeru zrna u intervale širine 2.5 mm (5.0-7.5 mm, 7.6-10.0 mm, 10.1-12.5 mm itd.). Kako je eksponencijalna funkcija jednoparameterska i monotono silazna funkcija kojoj brzina padanja ovisi o λ , za opisivanje raspodjele promjera zrna tuče korištena je i gama funkcija zvonkolikog oblika. Ona je dvoparameterska i ovisi o parametru oblika α i parametru veličine β s maksimumom u točki

$$x = \frac{\alpha-1}{\beta} \quad (3)$$

uz uvjet da je $\alpha > 1$. Gama funkcija se može prikazati jednadžbom:

$$N(d) = \beta^\alpha d^{\alpha-1} e^{-\beta d} / \Gamma(\alpha) \quad (4)$$

(Fraile, 1999) pri čemu je $\Gamma(\alpha)$ Eulerova funkcija faktorijela definirana na način:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt. \quad (5)$$

Očekivani broj zrna tuče $n_{1/2}$ čije se veličine nalaze u granicama između x_1 i x_2 iznosi:

$$n_{1/2} = N \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (6)$$

gdje je N ukupni broj zrna tuče. Ako vrijedi uvjet $\alpha=1$, tada gama funkcija prelazi u eksponencijalnu.

Treća funkcija kojom se u analizi opisuje raspodjela promjera zrna tuče je troparameterska Weibullova raspodjela. Ona je definirana kao:

$$N(d) = \frac{\delta}{\beta} \left(\frac{d-\gamma}{\beta} \right)^{\delta-1} e^{-\left(\frac{d-\gamma}{\beta} \right)^\delta} \quad (7)$$

pri čemu je $\delta > 0$ parametar oblika, $\beta > 0$ parametar skale, γ parametar lokacije i mora biti zadovoljen uvjet $d \geq \gamma$. U slučaju kada je $\gamma = 0$,

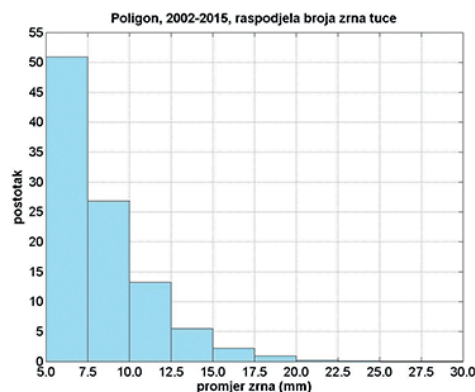
ova troparameterska funkcija prelazi u dvoparametersku. Analizom su se uspoređivale sve tri navedene funkcije kako bi se utvrdilo koja najbolje opisuje raspodjelu promjera zrna tuče za razne kriterije.

3. REZULTATI

3.1. Parametri zrna tuče

Analiza 509 ploča koje su registrirale tuču na poligonu tučomjera u razdoblju 2002. - 2015. dala je sljedeće rezultate: Izmjereni broj zrna tuče po metru kvadratnom bio je između 16 i 10 624 zrna. Veličina promjera svih zrna tuče kretala se u rasponu 5-30 mm, koji su podijeljeni u 10 intervala širine 2.5 mm (slika 2). U intervalu promjera zrna 5.0-7.5 mm palo je 50.9 % ukupnog broja zrna tuče. Najveći broj zrna (96.5 %) bio je veličine od 5.0 do 15.0 mm. Vrijednosti K.E. kretale su se između 0.1 i 560.6 J/m². Na području poligona zabilježeno je 71.2 % slučajeva tuče s K.E. do 25.0 J/m² (Počakal, 2015). U tablici 1 prikazane su vrijednosti K.E. i odgovarajuće štete procijenjene na biljnim kulturama u promatranom razdoblju.

Ako promatramo samo prva četiri intervala na koja otpada 96.5 % ukupnog broja zrna tuče, zanimljivo je prikazati višegodišnji hod udjela promjera zrna tuče pojedinog intervala u ukupnom broju zrna (slika 3). Vremenskom analizom za razdoblje 2002. - 2015. vidi se da



Slika 2. Raspodjela broja zrna tuče po intervalima izražena u postotnom udjelu zrna pojedinog intervala u odnosu na ukupan broj zrna.

Figure 2. Hailstone number distribution displayed by class intervals expressed as a percentage of hailstones for each interval relative to the total number of hailstones.

Tablica 1. Klase K.E. i šteta koju tuča uzrokuje na biljnim kulturama.

Table 1. Intervals of kinetic energy of hail stones based on the damage amount on plants.

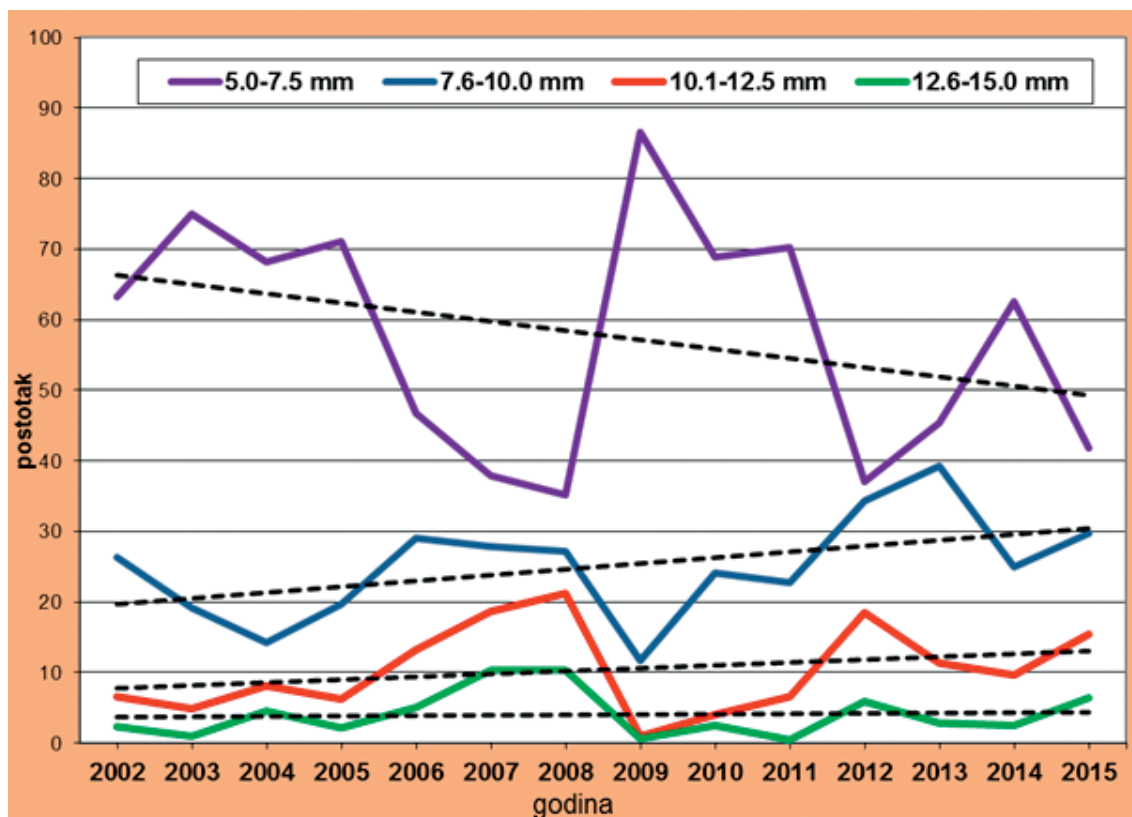
K.E. (J /m ²)	šteta
0.1-25.0	nema ili vrlo mala
25.1-50.0	mala do umjerena
50.1-100.0	umjerena do velika
100.1-200.0	velika
>200.1	vrlo velika

postoji negativan trend zrna najmanjeg promjera intervala 5.0-7.5 mm, a pozitivan trend zrna većih promjera u intervalima 7.6-15.0 mm. Tuča većih promjera zrna je rjeđe zabilježena, a zrna najvećeg promjera od 27.6 mm i 28.5 mm (iz intervala 27.6-30.0 mm) je zabilježena

na svega tri ploče (0.01 % ukupnog broja zrna) i to 11. lipnja 2004. te 29. lipnja 2006. godine.

Tablica 2 prikazuje najveće srednje mjesečne vrijednosti fizičkih parametara zrna tuče iz koje se vidi da mjesec lipanj ima najveće vrijednosti svih parametara, osim broja zrna tuče. Uz dodatni podatak da je u lipnju oštećeno ukupno više od 150 tučomjera, može se zaključiti da se u tom mjesecu javljaju najintenzivnije grmljavinske oluje s tučom na tom području.

Najveći promjer zrna od 28.5 mm zabilježen na poligonu 11.06.2004., a najveća K.E. od 560,6 J/m² je zabilježena 9.06.2015. Ove vrijednosti dodatno potvrđuju da su velike srednje vrijednosti parametara tuče (tablica 2) za mjesec lipanj kao razdoblje s najintenzivnijom pojavom tuče na području poligona. Suprotno od lipnja, rujna je mjesec u kojem je najmanje zabilježenih slučajeva tuče s malim srednjim vrijednostima svih parametara.



Slika 3. Višegodišnji hod i trend udjela promjera zrna tuče pojedinog intervala u ukupnom broju zrna za prva četiri intervala.

Figure 3. Multi-annual course and trend displayed by class intervals expressed as a percentage of hailstones for each interval relative to the total number of hailstones.

Tablica 2. Prosječne mjesečne vrijednosti parametara tuče izmjerene na poligonu tučomjera u razdoblju 2002. - 2015. godine.

Table 2. Mean monthly values of hail parameters at the hailpad polygon for the period 2002-2015.

	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan
N	171	151	85	83	19
d (mm)	7.4	9.4	8.2	7.5	7.5
d_m (mm)	10.7	14.8	12.8	11.4	11.4
n (m⁻²)	902	866	1086	1124	988
K.E. (J/m²)	14.7	45.4	28.3	23.3	23.1
t (min)	6.4	7.5	5.9	5.7	5.1

Legenda: N- broj ploča; d-srednji promjer svih zrna; d_m- promjer najvećih zrna; n- ukupni broj zrna na m²; K.E.- kinetička energija, t-dužina padanja tuče.

Kao dodatni podatak maksimalnih vrijednosti parametara tuče, navodimo podatke o najvećim dosad izmjerenim parametrima zrna tuče u svijetu. Prema objavljenim rezultatima, najveća dosad izmjerena K.E. od 2 588.3 J/m² zabilježena je u Argentini (područje Mendoza), s maksimalnim promjerom zrna tuče od 49.5 mm (Gil-Robles i sur., 2009). U Europi su zabilježena dva slučaja tuče s vrlo velikim iznosima K.E., oba u Španjolskoj. Prvi je izmjeren na

području Lleide s 1 664.3 J/m² i maksimalnom veličinom zrna od 36.5 mm (Sanchez, 2004), a drugi na području Pla d"Urgelle, s izmjerenih 1 567.0 J/m² i maksimalnim promjerom zrna od 56.4 mm (Farnell i sur., 2009). Ovdje još treba spomenuti i K.E. od 2 025.0 J/m² u Austriji (dr. Otto Svabik, privatna korespondencija). U Hrvatskoj je dosada izmjeren samo jedan slučaj tako velike K.E. i promjera zrna, koji je zabilježen 11. srpnja 2011. godine u vremenu 18:56-19:10 CET na tučomjeru neposredno uz samu slovensku granicu (izvan poligona). Vrijednost K.E. iznosila je 1 918.3 J/m² uz maksimalni promjer zrna od 44.0 mm (Slika 4).



Slika 4. Ploča tučomjera od 11. srpnja 2011. u periodu 18:56-19:10 CET

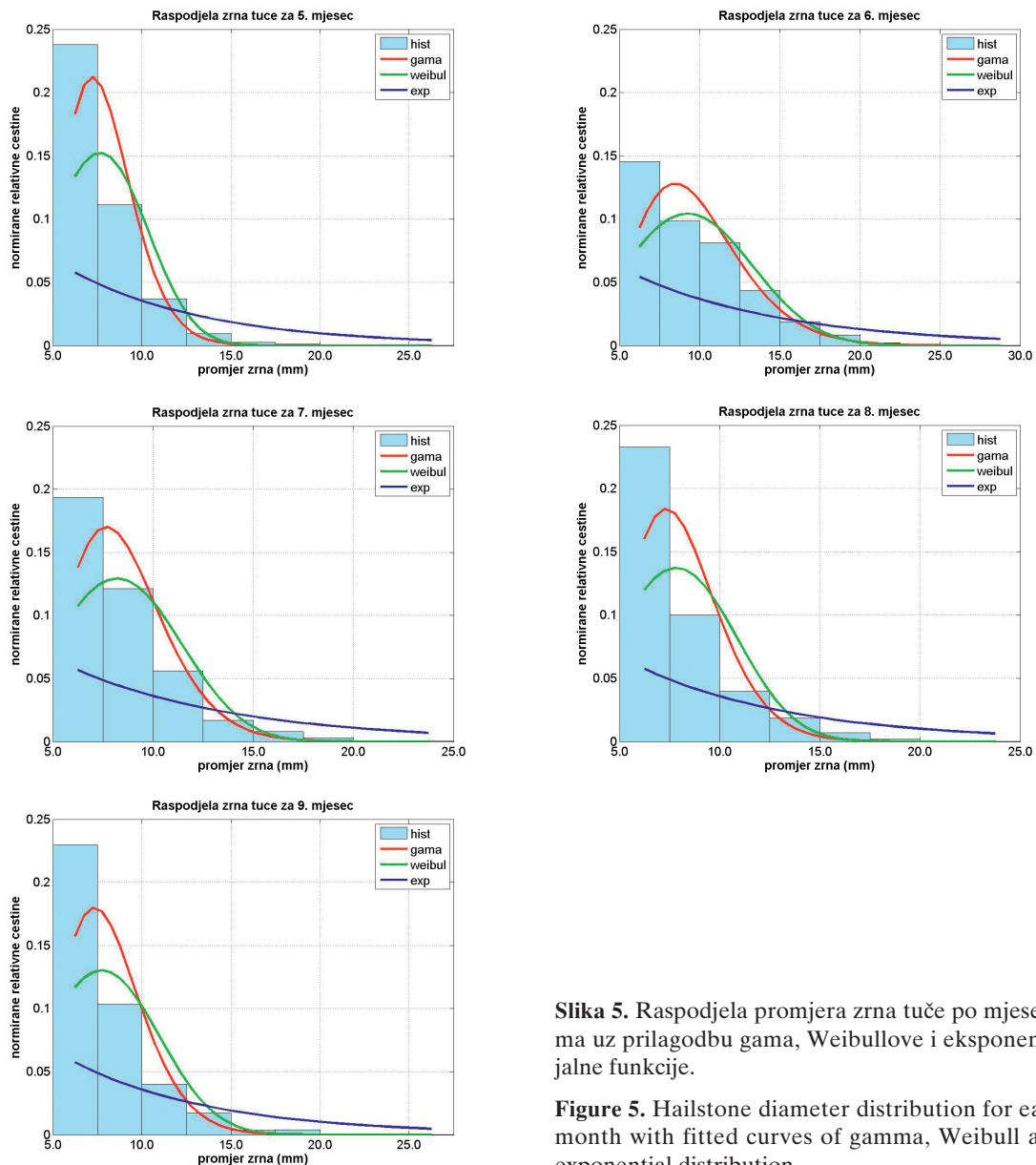
Figure 4. Hail plate from July 11, 2011 in period 18:56-19:10 CET

3.2. Raspodjela zrna tuče

Osim analize broja zrna tuče po intervalima, napravljena je i analiza promjera zrna tuče za isto razdoblje 2002. - 2015. U tom razdoblju prikazana je raspodjela promjera zrna tuče zasebno po mjesecima svibanj-rujan, a svakoj raspodjeli prilagođene su gama, Weibullova i eksponencijalna funkcija te je izračunat kvadrat koeficijenta korelacije koji pokazuje uspješnost prilagodbe (slika 5). Pokazalo se da je prilagodba u svim mjesecima najbolja gama funkcijom gdje se kvadrat koeficijenta korelacije kreće u intervalu 0.83-0.90 (tablica 3). Slijedi ju Weibullova funkcija sa iznosom 0.71-0.81, a najmanji kvadrat koeficijenta korelacije je za eksponencijalnu funkciju s iznosom 0.53-

Tablica 3. Kvadrat koeficijenta korelacije za gama, Weibullovu i eksponencijalnu funkciju po mjesecima.**Table 3.** The square correlation coefficient of gamma, Weibull and exponential function expressed by months.

mjesec	r^2_{gamma}	r^2_{weibull}	r^2_{eksp}
svibanj	0.9029	0.7946	0.5577
lipanj	0.8464	0.8067	0.6766
srpanj	0.8802	0.7900	0.5707
kolovoz	0.8261	0.7051	0.5296
rujan	0.8439	0.7342	0.5592

**Slika 5.** Raspodjela promjera zrna tuče po mjesecima uz prilagodbu gama, Weibullove i eksponencijalne funkcije.**Figure 5.** Hailstone diameter distribution for each month with fitted curves of gamma, Weibull and exponential distribution.

0.68. Iz histograma se također vidi da je u svibnju, kolovozu i rujnu veća relativna čestina zrna manjeg promjera, a zrna većeg promjera se češće pojavljuju u lipnju i srpnju (slika 5).

Analiza je napravljena i po mjesecima za svaku godinu zasebno (slike nisu prikazane). Tu se vidi kako je gama funkcija ponovno najprikladnija za prilagodbu raspodjele promjera zrna tuče, a ekspanzionalna najlošija. Ta prilagodba je najbolja za slučajeve kada je padala tuča koju svrstavamo u prva četiri intervala (promjer do 15 mm) te iznosi 0.99, a najčešća je u svibnju i kolovozu. Izuzetak čini lipanj 2008. godine uz prilagodbu gama funkcijom čiji je kvadrat koeficijenta korelacije 0.98 i tuču iz devet intervala s promjerom do 27.6 mm.

Ukoliko gledamo zasebno dane kad je tuča zabilježena nad poligonom, analizirali smo 73 dana. Njih 34 % može se opisati gama funkcijom uz prilagodbu čiji kvadrat koeficijenta korelacije iznosi ≥ 0.97 , dok za njih 80 % kvadrat koeficijenta gama funkcije iznosi ≥ 0.90 . Gama funkcija najbolje opisuje raspodjelu promjera zrna tuče, osim u 12 % slučajeva kada se boljom pokazala Weibullova funkcija.

4. ZAKLJUČAK

Mjerenje i registracija pojave zrna tuče na tlu zbog pripadnih vremenskih i prostornih varijacija te kratkog trajanja vrlo je složeno. Potreba za točnijim podacima i objektivnim mjerenjem pojave tuče potaknula je znanstvenu zajednicu da konstruira i koristi jednostavni mjerni instrument - tučomjer. Postavljanjem poligona tučomjera na području Zagorja u 2002. godini, započelo se s točnim mjerenjima fizičkih parametara tuče u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. U 14-godišnjem razdoblju (2002. - 2015.), 509 tučomjera zabilježilo je tuču na poligonu sa srednjim promjerom zrna od 8.2 mm i K.E. od 28.6 J/m². Rezultati pokazuju da su najčešći i najintenzivniji slučajevi tuče zabilježeni u lipnju kada je i nestabilnost atmosfere najveća (Počakal i sur., 2009). Analiza promjera zrna tuče pokazuje da je 95.7 % svih zrna palo u intervalu 5.0-15.0 mm. Zabilježen je i negativni trend zrna tuče najmanjeg promjera (5.0-7.5 mm) i pozitivni trend zrna promjera 7.6-15.0 mm. Detaljnom analizom potvrđeno je da spektar zrna tuče ne slijedi ekspanzionalnu

funkciju (pretpostavka za spektar kišnih kapi), nego najbolje odgovara dvoparameterska gama raspodjela. Odgovor na pitanje da li je porast parametara tuče vezan za promjenu regionalne klime, ili je u pitanju samo interna varijabilnost lokalne ili regionalne klime, mogu dati daljnja mjerenja.

5. LITERATURA

- Crow, E. L., A. B., Long, J. E., Dye, C. W., Ulbrich, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado-part III: Analysis of hailstone size distributions for seeding and yearly effects. *Journal of Applied Meteorology*, **18**, 1559-1568.
- Desens, J., C., Berthet, J. L., Sanchez, 2007: A point hailfall classification based on hailpad measurements: the ANELFA scale. *Atmospheric Research*, **83**, 132-288.
- Farnell, C., M., Busto, A., Aran, N., Pineda, M., Tora, 2009: Study of the hailstorm of 17 September at the Plad"Urgel, Part one: Field work and analysis of the hailpads. *Tet-hys*, **6**, 69-81.
- Fraile, R., J. L., Sanchez, J. L., de la Madrid, A., Castro, J., Macros, 1999: Some results from the hailpad network in Leon (Spain): Noteworthy correlations among hailfall parameters. *Theoretical and Applied Climatology*, **64**, 105-117
- Gil-Robles, B., J. L., Sanchez, E., Garcia-Ortega, J. L., Marcos, 2009: Signature of hail precipitation on the ground, 5th European Conference on Severe Storms, Landshut, Germany, extended abstract, 329-330.
- Jeromel, M., V., Malčić, J., Rakovec, 2009: Weibull distribution of bora and sirocco winds in the northern Adriatic Sea, *Geofizika*, **26**, 85-100.
- Marshall, J. S., W., Palmer, 1948: The distribution of raindrops with size, *Journal of Meteorology*, **5**, 165-166.
- Mezeix, J. F., 1990: Further exploratory evaluations of Grossversuch IV using hailpad data: Analysis of hail patterns and stratification by storm type for seeding effect, *Journal of Applied Meteorology*, **29**, 401-417.

- Mezeix, J. F., N., Doras, 1981: Various kinetic energy characteristics of hailpatterns in the Grossversuch IV experiment, *Journal of Applied Meteorology*, **20**, 179-186.
- Počakal, D., 2003: Comparison of hail characteristics in NW Croatia for two periods, *Natural Hazards*, **29**, 543-552.
- Počakal, D., 2011: Hailpad data analysis for the continental part of Croatia. *Meteorologische Zeitschrift*, **20**, 441-447.
- Počakal, D., 2015: Godišnje izvješće o karakteristikama tuče izmjerene pomoću tučomjera za 2015 godinu, DHMZ, 42.
- Počakal, D., Ž., Večenaj, J., Štalec, 2009: Hail characteristics of different regions in continental part of Croatia based on influence of orography, *Atmospheric Research*, **93**, 516-525.
- Rudolf, R.C., C.M., Sackiw, G.T., Riley, 1994: Statistical evaluation of the 1984. - 1988, Seeding Experiment in northern Greece, *Journal of Weather Modification*, **60**, 53-59.
- Sanchez, J. L., 2004: Severe storms in Spain, ECSS 2004, Workshop on Severe Convective Storms, Eumetsat and Universidad de Leon, Leon, Spain (CD-ROM), nn.
- Sanchez, J.L., B., Gil-Robles, J., Dessens, E., Martin, J.L., Marcos, C., Berthet, J.T., Fernandez, E., Garcia-Ortega, 2009: Characterization of hailstone size spectra in hailpad networks in France, Spain and Argentina, *Atmospheric Research*, **93**, 641-654.
- Scheusener, R. A., R. C., Jennings, 1960: An energy method for relative estimates of hail intensity. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **41**, 372-377.
- Svabik, O., 1989: Review of meteorological aspects on hail defence activities in Austria, *Theoretical and Applied Climatology*, **40**, 247-254.
- Ulbrich, C. W., 1983: Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution. *Journal of Climate Meteorology*, **22**, 1764-1775.
- WMO, 1995: Meeting of experts to review the present status of hail suppression, Golden Gate National Park, South Africa, WMO Report, 33.
- Wong, R. K. W., N. Chidambaram, L., Cheng, M., English., 1988: The sampling variations of Hailstone size distributions. *Journal of Applied Meteorology*, **27**, 254-260.