

## TOČA IN SODRA V SLOVENIJI HAIL AND GRAUPEL IN SLOVENIA

Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ  
Univerza E. Kardelja v Ljubljani  
VDO Biotehniška fakulteta, VTOZD za agronomijo  
Katedra za tla, prehrano rastlin in ekologijo

Jože RAKOVEC  
Univerza E. Kardelja v Ljubljani  
Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, VTOZD Fizika  
Katedra za meteorologijo

551.578.72 (497.12)

### SUMMARY

The occurrence of hail and of graupel, observed on meteorological stations in Slovenia is studied for a long term period 1951-1986.

Hail data for 31 stations (published in *Annales Meteorologiques of Jugoslavia*) are used to compute mean point frequency of the hailfall, as well as some other statistical descriptors (variance, coefficient of variability, modus, maximum); all are presented on a table. Mean values (given also in a figure) show that half of the stations have 1 - 2 days with hail in long term average, for other stations mean values are below 1, and only one of the stations exhibit mean value of 2.6. Variability is great: more than half stations have variance over 1.5. Great variability is evident also from the fact, that two thirds of stations exhibit modal value of 0, and that half of maxima reach 5 or more.

Hail and/or graupel together are studied for the vegetation period from May to September, while in that time they cause damages in agriculture. Here we use the data from 57 stations, which have at least 30 years with observation (selected stations from the data archives of the Hydrometeorological Institute of Slovenia). With such observational density, beside presentation of the results on a table, also some regionalisations of phenomena are presented on geographical charts.

There are some, mostly mountainous regions with mean value over 1.5 days with hail and/or graupel in vegetation period. Modal value show that there is a great region where in most years there was no hail and/or graupel in vegetation period, but also regions where modus is 2 or more. Maxima are rather high: in several regions over 5, and in one region even over 10. Kredarica (2514 m above MSL) is an exception, showing the high mountainous conditions.

Hail and/or graupel are in vegetation period most frequent in June or in July. As regards the number of days with hail and/or graupel in separate years, the

distribution can in most cases be fitted with the Poisson's distribution (falling from modus to the maximum).

As hail and graupel are spatially limited to relatively small belts it is difficult to draw strong conclusions on their climatological characteristics from the point observations. Still we may conclude that in Slovenia there is quite a lot of hail and graupel: in long term average most stations observe the hail more than once per year and the hail and/or graupel more than once in vegetation period. In extreme years, and in some regions (on approx. half of the stations) over 5 days with hail is observed in a single year, and the same holds also for hail and/or graupel together in vegetation period from May to September. Maximum occurrence is observed at the Alpine-Dinaric ridge, separating the Mediterranean part of Slovenia from the more continental one, and high values are observed also in mountainous regions of the northern Slovenia.

## POVZETEK

Preučevali smo pogostnost pojavljanja toče, kot jo je zabeležilo 31 meteoroloških postaj v obdobju 1951-1986. Posebej smo preučevali pogostnost toče in/ali sodre skupaj v vegetacijskem obdobju od maja do septembra na 57 postajah v Sloveniji. Rezultati so podani v tabelah in prostorsko na slikah. Na večini postaj je v dolgoletnem povprečju več kot enkrat letno toča oz. več kot enkrat v vegetacijskem obdobju toča in/ali sodra. Modus je največkrat 0, maksimalna pogostnost pa tudi prek 5, kar tudi kaže na veliko spremenljivost pojava. Toča in sodra sta najpogostnejši ob Alpsko-Dinarski gorski pregradi ter v hribih severne Slovenije.

## UVOD

Toča nastaja v nevihtnih oblakih, in to v tistih področjih oblakov, kjer je temperatura nižja od 0 °C, in če so ta področja bogata s podhlajeno tekočo vodo v obliki manjših ali večjih kapljic (v premeru od nekaj mikrometrov do nekaj milimetrov). Te kapljice ob trkih primrzujejo na zametke toče ali pa jih oblivajo, če v času trkov ni ugodnih pogojev za hitro zmrzovanje, in zmrznejo kdaj pozneje.

V laboratorijskih pogojih najdemo drobcene (velike okrog enega mikrometra) nezmrznjene kapljice čiste vode tja do temperature okrog -40 °C, v ozračju, kjer vsebujejo vodne kapljice tudi primesi (saj so nastale s kondenzacijo na aerosolu), pa večina kapljic zmrzne pri temperaturi okrog -20 do -25 °C (Prupacher and Klett, 1978).

Ta temperatura je torej že ena od meja za rast toče. Po drugi strani pa se ob zmrzovanju kapljice sprošča talilna toplota, ki bi povzročila ogrevanje te kapljice, če se ne bi porazgubila v njeno okolico. Ta difuzija toplote v okolico je tem učinkovitejša, čim nižja je temperatura okolice kapljice. Zato zmrzovanje ni učinkovito, če je temperatura premalo pod lediščem ali pa če je priletavanje kapljic vode na zrno toče zelo intenzivno. Vendar lahko tedaj kapljice, ki trčijo z zametkom toče, oblijejo ta

zametek in ga povečajo, do zmrzovanja pa pride šele pozneje, ko zrno rastoče toče zaide v drug predel oblaka, kjer je zmrzovanje omogočeno (ali je temperatura dosti nižja ali pa ni več močnega dotoka novih kapljic). Tako je za rast toče najugodnejši tisti predel oblaka med izotermama od nekaj stopinj pod ničlo do približno -25 °C.

Toča pada v pasovih, ki pa so delno prekinjeni. V Alberti v Kanadi so ugotovili (Wojtiw, 1975, cit. v EKT 2), da so v 35% primerov ti pasovi dolgi med 15 in 50 km, v naslednjih 32% so ti pasovi dolgi med 50 in 80 km, itd., daljših od 145 km pa je že manj kot 9% pasov. Zato lahko govorimo o pogostnosti pojava toče na nekem mestu ali pa v neki pokrajini. Če obravnavamo razmerje med točkovo pogostnostjo in pogostnostjo toče na večjem območju, lahko rečemo, da se pojavlja toča na površini 10000km<sup>2</sup> nakajkrat letno. Npr. za površino 7500km<sup>2</sup> v okolici Stuttgarta navaja Mueller (1987) za obdobje 1908-1986 v povprečju na letno prek 13 dni s točo (največ v maju in juniju).

Trajanje padanja toče na neki izbrani lokaciji je po svetu dokaj enako: padanje toče traja največkrat med 5 in 15 minut (Morgan v EKT 2, 1982), pri čemer pa so tudi zabeleženi zelo dolgi časi: 90 minut v Franciji (po Sulakvelidzeju, 1967, cit. v EKT 2). Čim dalj časa pada toča, tem bolj je verjetno, da so vmes tudi časovni presledki.

Za Jugoslavijo so v Atlasu klime SFRJ objavljeni podatki o številu dni s točo, zabeleženimi na meteoroloških postajah za obdobje 1951-1970 (Radičević). Spet prednjačijo gorski predeli (Kredarica 12 dni letno, Zavižan in Crkvice 9), mediteranski pas (Dubrovnik in Ulcij 6, Split 5, Šibenik, Mali Lošinj in Pazin 4, Rijeka in Koper 3), sicer pa sta zabeležena v tem dvajsetletnem povprečju v celinskem delu države od 1 do 2 dneva s točo na leto.

V Srbiji so postaje zabeležile v obdobju 1951-1980 (v povprečju za celo Srbijo brez pokrajin) 1.2 dneva s točo letno, vendar z velikimi nihanji: od 0.7 do 1.9, posamezne postaje pa kako leto tudi 5 ali 6 dni s točo na leto (Opra, 1985).

Za severovzhodni del Slovenije je podatke po meteoroloških postajah obdelal Furlan (1980) in dobil skupaj za sodro in točo, da so postaje v tem istem obdobju v povprečju zabeležile od 0.5 do 0.7 dni s točo, sodro ali obojim v okolici Murske Sobote, pa tja do 4 dni nad Pohorjem. Meseci z najpogostnejšim številom toče varirajo od maja do avgusta. Za isto dvajsetletno obdobje (1951-1970) je toča v Sloveniji raziskoval tudi Kranjc (1980); nekaj informacij za izbrane, zlasti sinoptične postaje, pa nudi Atlas klime Jugoslavije (1980). Med objavljenimi deli ne zasledimo statističnih obdelav pojava toče niti študij o časovni porazdelitvi dni s točo. To področje je v primerjavi z objavljenimi deli, ki zadevajo pojav neviht (Petkovšek 1966, Petkovšek 1987 itd.), praktično povsem "novo" in odprto.

## POGOSTNOST TOČE IN SODRE V SLOVENIJI

### Toča v Sloveniji

Ker so na magnetnih trakovih Hidrometeorološkega zavoda SR Slovenije podatki o toči in sodri združeni, smo podatke samo o toči zajeli iz letnih poročil Zveznega hidrometeorološkega zavoda (ZHMZ, 1949-1983). V tem viru podatkov niso zajete vse klimatološke postaje v Sloveniji, zato bomo kasneje podrobneje obravnavali tudi točo in sodro skupaj.

Za obravnavo pojavljanja toče v Sloveniji upoštevamo podatke tistih opazovalnih postaj, za katere so na voljo vsaj 25-letni nizi. Edina izjema je Brnik, ki ima podatke za 21 let - upoštevamo jo zato, ker je to glavna meteorološka postaja s 24-urnimi kvalitetskimi opazovanji. Zakaj nismo izbrali 30-letnega niza, je razvidno iz tabele 1, ki kaže, da bi imeli ob tako dolgem nizu le podatke iz 21 postaj.

Tabela 1: Porazdelitev števila opazovalnih postaj s podatki o toči glede na dolžino opazovalnega niza

Table 1: The distribution of number of observation stations with data on hail according to the period of observation

število let opazovanj number of observ. years	število postaj number of stations
21 - 25	1
26 - 30	11
31 - 35	10
36	10
	32

Za teh 31 postaj smo izračunali nekatere statistične količine, ki opisujejo letno število dni s točo. Prikazane so v tabeli 2. V tej tabeli pa je podan tudi podatek o razliki ( $\Delta$ ) med dnevi s točo in sodro v času od maja do septembra (kar obravnavamo v naslednjem poglavju) in celoletno pogostnostjo samo toče na omenjenih 31 postajah:

$\Delta$  = povprečno število dni s točo in/ali sodro od maja do septembra minus povprečno letno število dni s točo.

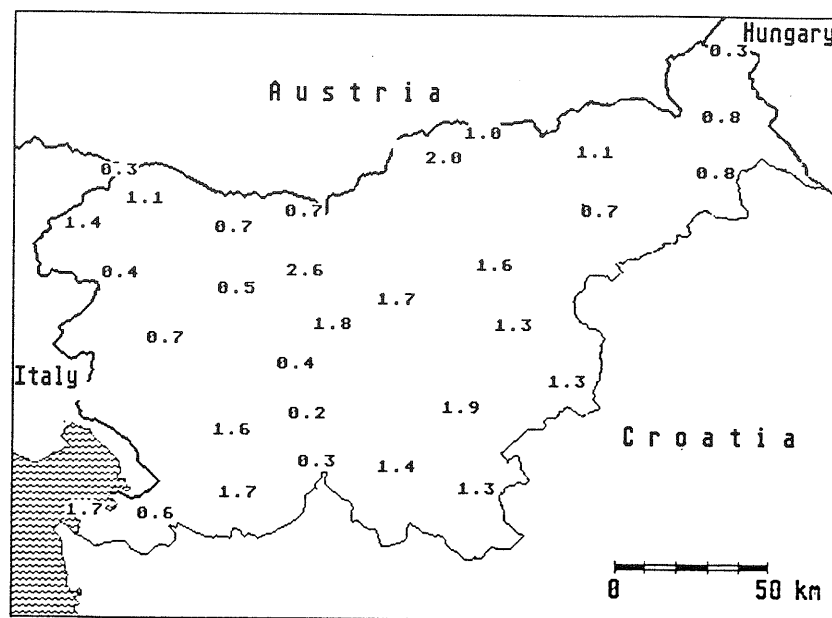
Te razlike so velike na visoko ležečih postajah (Kredarica, Vojsko, Rakitna) pa tudi na Brniku, sorazmerno velike pa še na nekaterih postajah (Tolmin, Javorje, Nova vas na Blokah, Veliki Dolenci). Za omenjene postaje torej velja, da pada toča pogosto tudi pozimi ali pa da sodra pogosto pada tudi poleti.

Povprečna števila dni s točo so vnesena tudi na sliko 1, ki ponazarja geografsko razporeditev pojava. Zaradi sorazmerno redkih podatkov na tej sliki niso izrisane

Tabela 2: Nadmorska višina postaje (h), povprečna letna pogostnost dni s točo (x), razlike ( $\Delta$ ) glede na točo in sodro od maja do septembra, najpogostnejša vrednost - modus (Mo), varianca letne pogostnosti ( $s^2$ ), koeficient variabilnosti (KV%) in maksimalna letna pogostnost ( $x_{max}$ ) v obdobju 1951-1986. Primeri, ko je maksimum večji od maksimuma dni s točo in/ali sodro od maja do septembra, so označeni z (\*).

Table 2: Height of stations m.s.l., mean annual number of days with hail (x), differences ( $\Delta$ ) to the days with hail and/or graupel for may to september, modus (Mo), coefficient of variability, variance ( $s^2$ ), and maximal number of days with hail ( $x_{max}$ ) for the period 1951-1986. Cases with maximum greater than the one for hail and/or graupel from May to September are marked with (\*).

ime postaje	h(m)	x	$\Delta$	Mo	$s^2$	KV%	$x_{max}$
Babno polje	756	0.3	0.1	0	0.4	186	2
Bovec	425	1.4	-0.2	0	3.7	142	6(*)
Brnik	384	2.6	-0.1	1	4.4	82	7(*)
Celje	244	1.6	-0.2	0	2.8	107	5
Črnomelj	196	1.3	-0.2	0	1.8	106	5(*)
Gornji Lenart	150	1.3	-0.2	0	1.5	99	5(*)
Ilirska Bistrica	414	1.7	0.0	1	1.9	80	6(*)
Javorje nad Poljanami	695	0.5	0.3	0	0.8	158	3
Jeruzalem	345	0.8	0.0	0	1.2	141	5
Jezerško	894	0.7	0.0	0	0.9	143	3
Klenik pri Vačah	550	1.7	-0.3	2	1.8	78	5(*)
Kočevje	461	1.4	-0.1	0	1.6	91	5
Koper/Portorož	33	1.7	-0.3	1	2.4	93	6(*)
Kredarica	2514	1.1	3.1	0	2.5	138	6
Kubed	262	0.6	0.0	0	0.7	126	3
Ljubljana	299	1.8	-0.1	0	2.9	94	6
Maribor	275	1.1	-0.1	1	1.3	99	4
Murska Sobota	184	0.8	-0.1	0	0.9	117	3(*)
Nova vas na Blokah	722	0.2	0.4	0	0.1	239	1
Novo mesto	220	1.9	-0.2	1	1.8	91	8(*)
Pragersko	251	0.7	0.0	0	0.8	134	3
Postojna	533	1.6	0.0	1	1.8	85	5
Radlje ob Dravi	365	1.0	0.0	0	1.2	112	3
Radovljica/Lesce	495	0.7	0.1	0	0.8	125	3
Rakitna	787	0.4	1.0	0	0.3	131	2
Rateče-Planica	864	0.3	0.0	0	0.3	161	2
Sela pri Sevnici	550	1.3	-0.1	1	1.6	98	5
Šmartno pri Slov.Gr.	452	2.0	-0.1	2	2.0	69	7(*)
Tolmin	180	0.4	0.3	0	0.2	125	1
Veliki Dolenci	308	0.3	0.3	0	0.3	197	2
Vojsko	1070	0.7	1.4	0	0.7	129	2



Slika 1: Povprečno letno število dni s točo (1951-86)

Figure 1: Mean number of days with hail per year (1951-86)

izolinije pogostnosti. Povprečno število dni s točo je za Slovenijo kot celoto okrog 1: najmanjše vrednosti so 0.2 ali 0.3, največje pa tja do 2.6 na Brniku in 2.0 v Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Šele v povezavi s sliko 2, ki ima več podatkov, bo mogoče podati približno regionalno opredelitev pojava.

Prav Brnik, ki izstopa, ima največjo razliko  $\Delta$ , zato smo jo posebej preverili: toče v vsem letu je tu v povprečju več kot toče in/ali sodre v času od maja do septembra, kar je nenavadno za nižinsko postajo, kjer sta oba pojava v splošnem omejena na topli del leta. Pokaže pa se, da ima Brnik v povprečju v času od oktobra do aprila res 0.6 dni s točo letno. Kakšne vremenske situacije so vzrok za ta, precej izjemni pojav, nismo preučevali.

Najpogosteje se pojavljajoča vrednost - modus je največkrat nič, doseže pa tudi vrednost 2 (Šmartno, Klenik pri Vačah). Ta karakteristika je pri redko pojavljajočih se dogodkih morda tudi najbolj zanimiva.

Seveda je zanimiv tudi podatek v maksimalnem številu dni s točo v letu: zabeležene so vrednosti 8 v Novem mestu, 7 na Brniku in v Šmartnem, 6 dni s točo letno pa so doživeli v obdobju 1951-86 v Ljubljani, Ilirski Bistrici, v Kopru oz. Portorožu in na višinski Kredarici.

Varianca je mera za razlike iz leta v leto: ta je največja na Brniku, v Bovcu in v Šmartnem. Koeficient variabilnosti pa primerja povprečje z variabilnostjo:

izračunan je kot kvocient med povprečjem in standardno deviacijo (korenom variance), podan pa v odstotkih. Ta koeficient je mera za to, kako dobro povprečje opisuje dejanske razmere.

Majhne vrednosti (torej bolj zanesljivo določena povprečja) imajo Šmartno, Klenik, Ilirska Bistrica in tudi Brnik (kjer je veliko povprečje, a tudi varianca). Največje vrednosti pa imajo Nova vas na Blokah, Veliki Dolenci, Babno polje itd.

Podatki o toči so na splošno med seboj slabo primerljivi. To je sicer v tem primeru z redkimi postajami težko zanesljivo utemeljiti. Vidi pa se, da imajo največje ekstreme zabeležene na splošno glavne postaje z bolj ali manj nepretrganimi opazovanji in s stalnimi opazovalci. Te postaje imajo tudi na splošno manjši koeficient variabilnosti.

## TOČA IN/ALI SODRA V SLOVENIJI OD MAJA DO SEPTEMBRA

Točo in/ali sodro od maja do septembra obravnavamo zato, ker oba pojava v tem času povzročata škode v kmetijstvu. Sodra je v splošnem v primerjavi s točo za rastlinstvo manj nevarna, saj imajo njena zrna bistveno manjšo kinetično energijo kot zrna toče, poleg tega pa je pojav sodre vezan predvsem v nižinah praviloma na hladno polovico leta, ko tudi kulturnim rastlinam ni škodljiva. Vendar pa je npr. za intenzivno sadjarstvo tudi sodra, če pada po oploditvi, zelo škodljiva, saj lahko toliko poškoduje sadeže, da je sadje zaradi lepotnih napak uvrščeno v nižji kvalitetni razred.

### a) Razpoložljivi podatki

Število postaj v Sloveniji pri katerih imamo večletne nize opazovanj pojava toče in/ali sodre skupaj, in za katere so ti podatki na ustreznem računalniškem mediju, je bilo 105 v letu 1987. Omenjene postaje so razmeroma enakomerno prostorsko porazdeljene po vsej Sloveniji, vendar pa vse nimajo enako dolgega niti enotnega časovnega niza opazovanj. Poseben problem je tudi neenotna kvaliteta oziroma zanesljivost podatkov; to bomo obravnavali ob rezultatih statističnih obdelav v nadaljevanju.

Ker bi želeli obdelati pojav toče in sodre za čimdaljše časovno obdobje in s tem čim natančneje zajeti veliko časovno variabilnost tega pojava, smo pregledali 36-letno obdobje 1951-1986. V tabeli 3 je podana porazdelitev postaj glede dolžine opazovanega obdobja v okviru 36-letnega niza.

Upoštevajoč različnost dolžine opazovalnega obdobja vidimo, da nam za prostorsko primerjavo ostane bistveno manj postaj, saj ima le slaba četrtnina postaj popoln 36-letni niz. Z rezervo lahko vključimo v obravnavo tudi postaje z vsaj 30-letnim nizom, kar pomeni 59 postaj. Nekaterim postajam, katerih lokacija se je le malo spremenila (manj kot 5 km zračne razdalje), lahko časovne nize združimo (s tem

Tabela 3: Porazdelitev števila opazovalnih postaj s podatki o toči in/ali sodri od maja do septembra glede na dolžino opazovalnega niza

Table 3: The distribution of number of observation stations with data on hail and/or graupel from May to September according to the period of observation

število let opazovanj number of observ. years	število postaj number of stations
11 - 15	21
16 - 20	11
21 - 25	12
26 - 30	10
31 - 35	26
36	25
	105

smo v obravnavo vnesli neko napako) in tako dobimo torej 57 postaj, ki jih lahko obravnavamo v prostorski primerjavi.

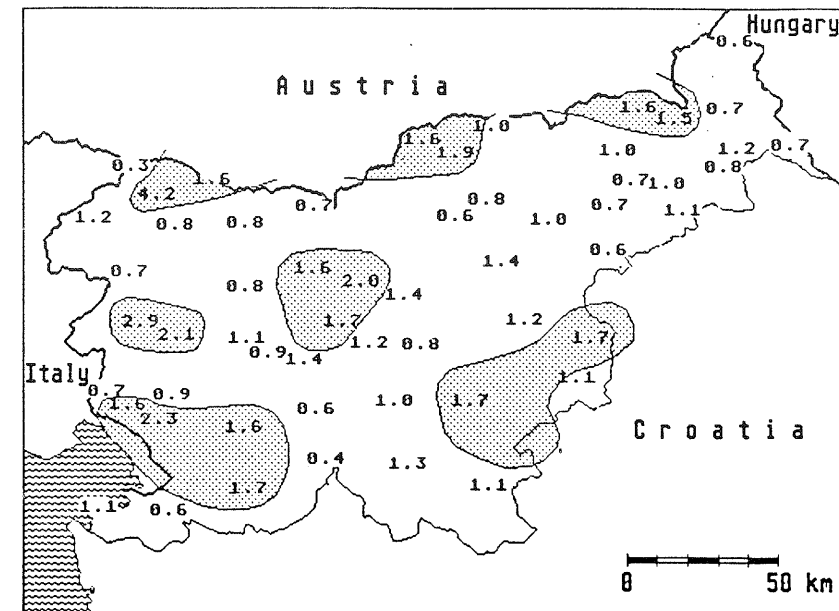
Precej podobno lahko ugotovimo za obravnavanja časovne porazdelitve, kjer zaradi velike časovne variabilnosti ne pridejo v obravnavo postaje z manj kot 30-letnim nizom.

#### b) Kvaliteta in reprezentativnost podatkov

Toča spada v kategorijo meteoroloških vremenskih pojavov, pri katerih opazovalec ob padanju toče zabeleži "dan s točo", nimamo pa podatka o njeni intenziteti, kar je v navadi pri nekaterih drugih pojavih. Problem pri opazovanjih je dnevni čas pojava toče. Na sinoptičnih postajah s profesionalnimi opazovalci in celodnevni opazovanji lahko predvidevamo, da je zabeležen res vsak posamičen pojav toče, medtem ko to ni mogoče pričakovati na klimatoloških postajah.

Posebna značilnost pojava toče je, da je razporejen zelo neregularno in nezvezno po površini. Površine so lahko ozki 100 m široki in dolgi trakovi ali pa tudi široki (30 km) in dolgi (nekaj 100 km) pasovi. Opazovalci opazujejo pojav toče le na postaji in zato je reprezentativnost teh podatkov za širše območje vprašljiva. S tem v zvezi so tudi praktično nepremostljive težave pri interpolaciji podatkov med postajami.

Poleg tega se opazovalci v toliko letih menjavajo, kar verjetno tudi vpliva na kvaliteto podatkov. V ilustracijo navedenega si oglejmo najočitnejši primer Kredarice, kjer je bilo povprečje letne vsote števila dni s točo ali sodro za obdobje 1956-1967 kar 11.4 dni, v primerjavi z povprečjem obdobja 1968-1986, ko je bilo samo 0.7 dni. Najverjetneje gre za povsem drug način vrednotenja opazovanj, na račun ločevanja zmrznjenega snega in sodre. Podobna situacija je s postajo



Slika 2: Povprečno število dni s točo in/ali sodro v vegetacijskem obdobju od maja do septembra (1951-86)

Figure 2: Mean number of days with hail and/or graupel in vegetation period from May to September (1951-86)

Vojsko, kjer niz prav tako ni homogen. Možno je sicer, da je vsaj del neenotnosti posledica naravne variabilnosti pojava, vendar bi se v tem primeru to moglo pokazati tudi na še kaki od postaj.

Zaključimo lahko, da kvaliteto podatkov, ki jih bomo analizirali za posamezne lokacije, zmanjšujejo naslednji vzroki:

- nekompletni oz. neenotni časovni nizi,
- različna kvaliteta opazovalcev,
- omejena prostorska reprezentativnost podatkov.

#### c) Prostorska porazdelitev števila dni s točo in sodro od maja do septembra

Povprečna letna pogostnost toče in/ali sodre ima v Sloveniji od maja do septembra razpon od 0.3 do 2.9 dneva. Razmerje med obema ekstremnima pogostnostima je kar 9.7, kar le redko srečamo v klimatologiji raznih meteoroloških pojavov. Absolutni razpon (tabela 4) pa glede na veliko variabilnost toče ni velik in zato je grafična predstavitev z izolinijami precej vprašljiva (slika 2). Predvsem pojav

toče ni "zvezen", saj vemo, da toča pada v pasovih, dolgih nekaj deset km, ki pa so relativno zelo ozki, in zato je sklepanje iz točkovne pogostnosti toče na pogostnost toče na večjem območju zelo subjektivno. Isto velja za interpolacijo med posameznimi točkami, ki jo še dodatno zaplete razgibanost reliefa v Sloveniji.

Kljub temu smo se odločili analizirati karto letnih povprečnih pogostnosti, pri čemer smo zaradi preglednosti vrisali eno samo izolinijo, ki ločuje kraje z več kot 1.5 dneva s točo od tistih, kjer je takih dni manj.

Največjo pogostnost toče zasledimo v Sloveniji na 4 geografsko ločenih območjih. Prvo je območje med Čepovanom in Vojskim, kjer dobimo v dolgoletnem povprečju skoraj 3 dni s točo v letu, drugo območje je Kras z več kot 2 dnevoma s točo, tretje je severni del Ljubljanske kotline z 2 dnevoma in četrto Kozjansko in Bizeljsko z nekaj manj kot 2 dnevoma s točo.

Območja z najmanj toče je nekoliko težje določiti. V severovzhodni Sloveniji sta to območji Prekmurja in vzhodnega Podravja, na Gorenjskem en del ravninskega sveta in v južni Sloveniji del Notranjske, vzhodno od Dinarske gorske pregrade. V navedenih območjih je letna pogostnost manjša kot 0.8 dneva s točo.

Večina preostale Slovenije ima povprečno letno pogostnost med 1 in 2 dnevoma (slika 2). To je območje Julijcev, Savinjskih Alp, zahodni in vzhodni del Ljubljanske kotline, Pohorje in Dravsko polje, Dolenjska in Bela Krajina, Brkini ter Primorje z dolino Soče. Posebno za gorski svet pa so te ocene manj zanesljive.

Druga statistična karakteristika, ki poenostavljeno opiše srednjo vrednost pojavljanja toče, je modus, ki podaja najpogostejšo vrednost letnega števila dni s točo. Obravnavane postaje lahko razdelimo glede na razpon modusa (od 0 do 3) v štiri kategorije. Na več kot pol (58%) postajah največ let toče in/ali sodre ni, na treh desetinah (30%) je bil najpogosteje 1 dan v času od maja do septembra s tema pojavoma, na eni desetini (10%) se toča ali sodra pojavi najpogosteje 2-krat, Godnje pri Tomaju pa imajo edine modus kar 3 dni s točo in/ali sodro v petih toplih mesecih leta.

Geografsko porazdelitev modusa prikazuje slika 3, ki smo jo, podobno kot slika 2, analizirali z le eno izolinijo. Interpretacija je možna seveda le v povezavi s sliko 2 in vidimo, da sta si sliki v podobni. Razlike so le na območju med Čepovanom in Vojskim, ki pri modalnih vrednostih ne kaže izrazitega maksimuma. To pa pomeni, da gre maksimum na tem območju, ki je viden pri povprečnih vrednostih (na sliki 2), pripisati določenim izjemnim letom, ki močno (morda celo neupravičeno?) povečajo povprečno vrednost, medtem ko na modus ne vplivajo. Prav zaradi takih primerov je karta modalnih vrednosti pri pojavih, kot je toča, zelo koristna.

Variabilnost letne pogostnosti toče je ogromna. Primerjavo variabilnosti po posameznih lokacijah podaja koeficient variabilnosti (KV%), ki je izražen v odstotkih. Za obravnavane postaje ima razpon od 54 (Godnje pri Tomaju) do 200 (Rateče-Planica). Na večini postaj presega 100 odstotkov. Zanimiva ugotovitev je, da je toča najmanj variabilna tam, kjer sta povprečje in modus največja. Tam KV% pade pod 85% (Čepovan, Godnje, Ilirska Bistrica, Komen, Postojna, Ravne, in Šmartno pri Slovenj Gradcu). Ravno nasprotno je s kraji, kjer je toče najmanj,

Tabela 4: Nadmorska višina postaje (h), povprečna pogostnost dni s točo in/ali sodro od maja do septembra (x), najpogostnejša vrednost - modus (Mo), koeficient variabilnosti (KV%), varianca pogostnosti ( $s^2$ ), maksimalna letna pogostnost ( $x_{max}$ ) in največja mesečna pogostnost (m) v mesecu (M), ko je pojavov največ v obdobju 1951-1986.

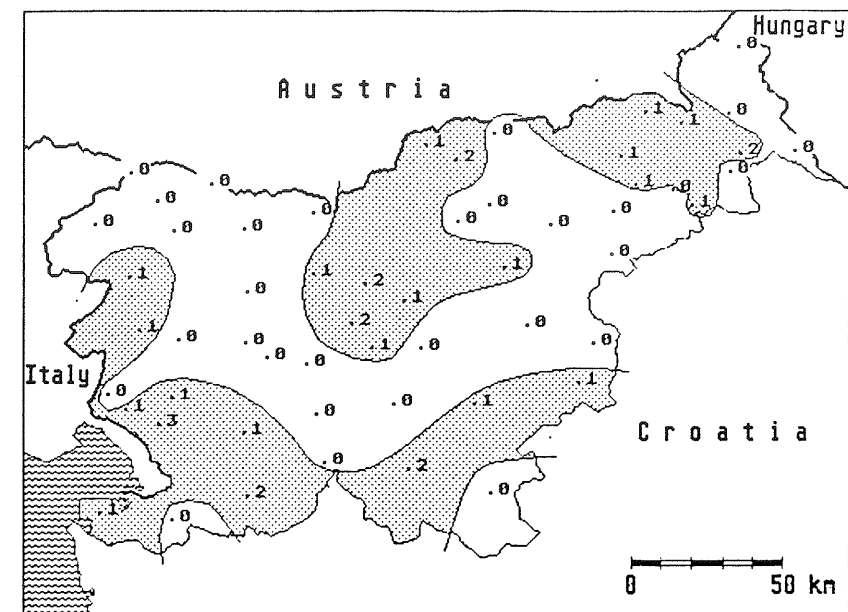
Table 4: Height of stations m.s.l.(h), mean number of days with hail and/or graupel from May to September (x), modus (Mo), coefficient of variability (KV%), variance ( $s^2$ ), maximal number of days with hail ( $x_{max}$ ), and maximal monthly occurrence (m) for the month (M) in which hail and/or graupel are most frequent; for the period 1951-1986.

ime postaje	h(m)	x	Mo	$s^2$	KV%	$x_{max}$	m(M)
Ambrus	346	1.0	0	1.1	102	3	0.4(5)
Babno polje	756	0.4	0	0.6	174	3	0.2(6)
Bizeljsko	170	1.7	1	2.1	84	7	0.6(7)
Bovec	425	1.2	0	2.0	114	6	0.5(7)
Brnik	384	1.6	1	2.2	91	6	0.5(7)
Celje	244	1.4	0	2.4	113	5	0.4(6,7)
Čepovan	607	2.9	1	5.4	81	10	0.7(6)
Črnomelj	196	1.1	0	1.1	100	3	0.3(6,7)
Godnje pri Tomaju	295	2.3	3	1.5	54	5	0.6(6)
Gornja Radgona	205	1.5	1	1.5	85	5	0.4(6,7)
Gornji Lenart	150	1.1	1	1.2	97	4	0.4(5)
Ilirska Bistrica	414	1.7	2	1.2	63	4	0.5(7)
Javorje nad Poljanami	695	0.8	0	1.2	132	3	0.3(7)
Jeruzalem	345	0.8	0	1.2	133	5	0.3(6)
Jezerško	894	0.7	0	1.0	134	4	0.3(7)
Klenik pri Vačah	550	1.4	1	1.3	78	4	0.5(7)
Kočevje	461	1.3	2	1.5	95	5	0.4(6,7)
Koper/Portorož	33	1.1	1	1.3	101	5	0.3(6,8)
Komen na Krasu	289	1.6	1	1.3	73	4	0.6(7)
Kredarica	2514	4.2	0	38.9	142	21	1.3(6)
Kubed	262	0.6	0	1.0	163	4	0.2(6)
Lendava	195	0.7	0	0.7	123	3	0.2(6,7)
Lipoglav	524	1.2	1	1.9	118	6	0.4(5)
Ljubljana	299	1.7	2	2.6	94	6	0.6(7)
Maribor	275	1.0	1	1.2	105	4	0.3(6,8)
Mestni Vrh pri Ptuj	260	1.0	0	1.5	122	5	0.3(5,7)
Mozirje	347	0.6	0	0.5	116	2	0.2(5,6)
Murska Sobota	184	0.7	0	0.5	103	2	0.2(6,7)
Nova vas na Blokah	722	0.6	0	0.8	148	3	0.3(7)
Novo Mesto	220	1.7	1	1.9	82	6	0.5(7)
Novelo pri Temnici	350	0.7	0	0.5	110	2	0.3(7)
Planina pod Golico	970	1.6	0	2.1	91	5	0.4(5,7)
Pragersko	251	0.7	0	0.9	137	4	0.2(5,8)
Podgradje	217	1.1	2	1.0	89	4	0.4(7)
Postojna	533	1.6	1	1.6	81	5	0.4(6,7)
Radlje ob Dravi	365	1.0	0	1.3	113	4	0.3(6,7)
Radovljica/Lesce	495	0.8	0	0.8	107	3	0.3(7)

Tabela 4 (nadaljevanje): Nadmorska višina postaje (h), povprečna pogostnost dni s točo in/ali sodro od maja do septembra (x), najpogostnejša vrednost - modus (Mo), koeficient variabilnosti (KV%), varianca pogostnosti ( $s^2$ ), maksimalna letna pogostnost ( $x_{max}$ ) in največja mesečna pogostnost (m) v mesecu (M), ko je pojav največ v obdobju 1951-1986.

Table 4 (continue): Height of stations m.s.l.(h), mean number of days with hail and/or graupel from May to September (x), modus (Mo), coefficient of variability (KV%), variance ( $s^2$ ), maximal number of days with hail ( $x_{max}$ ), and maximal monthly occurrence (m) for the month (M) in which hail and/or graupel are most frequent; for the period 1951-1986.

ime postaje	h(m)	x	Mo	$s^2$	KV%	$x_{max}$	m(M)
Rakitna	787	1.4	0	2.8	123	6	0.4(7)
Rateče-Planica	864	0.3	0	0.3	200	2	0.1(7,8)
Ravne na Koroškem	410	1.6	0	1.8	83	4	0.6(7)
Rogaška Slatina	235	0.6	0	0.8	136	3	0.2(6,7)
Rovte	705	1.1	0	1.6	117	4	0.4(6)
Slovenske Konjice	332	1.0	0	1.2	113	4	0.5(7)
Sela pri Sevnici	550	1.2	0	2.0	112	6	0.4(6,7)
Starše	240	1.2	1	1.2	88	3	0.4(7)
Sevno na Dolenjskem	515	0.8	0	1.2	136	4	0.2(6,7)
Slap pri Vipavi	137	0.9	1	0.9	102	3	0.3(7)
Stara Fužina	547	0.8	0	0.9	119	4	0.3(7)
Šmartno pri Slov.G.	452	1.9	2	1.6	67	6	0.6(6)
Titovo Velenje	420	0.8	0	1.0	122	4	0.3(7)
Tolmin	180	0.7	1	0.5	107	3	0.3(7)
Turški vrh pri Z.	280	1.1	1	0.9	81	4	0.4(6,7)
Veliki Dolenci	308	0.6	0	0.8	148	3	0.3(7)
Vojsko	1070	2.1	0	7.9	133	10	0.7(5,7)
Volčji Potok	360	2.0	2	2.9	85	6	0.6(5)
Vrhnika	293	0.9	0	0.9	106	3	0.3(6,7)
Zgornja Ščavnica	358	1.6	1	1.8	86	5	0.5(6)



Slika 3: Najpogostejše število dni (modus) s točo in/ali sodro v vegetacijskem obdobju od maja do septembra (1951-86)

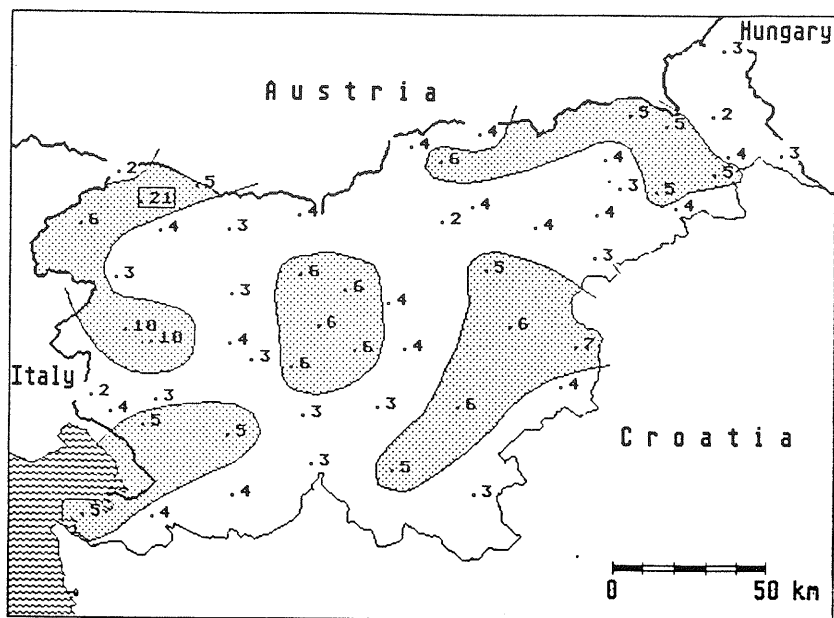
Figure 3: Most frequent number of days (modus) with hail and/or graupel in vegetation period from May to September (1951-86)

njena variabilnost pa je največja.

Na veliko variabilnost kaže tudi variacijska širina pojava, ki jo pri toči lahko brez izjeme enačimo kar z maksimalno pogostnostjo (slika 4). Če izvezemo Kredarico, je variacijska širina od 2 dni (Murska Sobota, Mozirje, Rateče, Novolet) do 10 dni (Čepovan in Vojsko). Karta maksimalne pogostnosti, ki smo jo analizirali tako, da smo Slovenijo razdelili v dve kategoriji (v dele z več in dele z manj kot maksimalno 5 dni s točo v letu), daje skupaj s slikama 1 in 2 še celovitejšo sliko po geografskih značilnostih pojava toče. Še vedno so vidna vsa že v začetku omenjena območja z največjo pogostnostjo toče.

#### d) Značilnosti časovne porazdelitve

Letni hodi povprečnega mesečnega števila dni s točo so si na obravnavanih postajah podobni, ločijo se le po tem, da nastopi na nekaterih postajah maksimum pogostnosti junija, na drugih julija, na nekaterih pa so največje pogostnosti junija enake julijskim. Razlike niso bistvene, saj je možno, da imamo npr. junijski maksimum konec meseca, julijski pa v začetku. Je pa nekaj postaj, kjer je časovni potek nepravilen. Nekateri primere prikazuje slika 5.



Slika 4: Maksimalno število dni s točo in/ali sodro v vegetacijskem obdobju od maja do septembra (1951-86)

Figure 4: Maximum number of days with hail and/or graupel in vegetation period from May to September (1951-86)

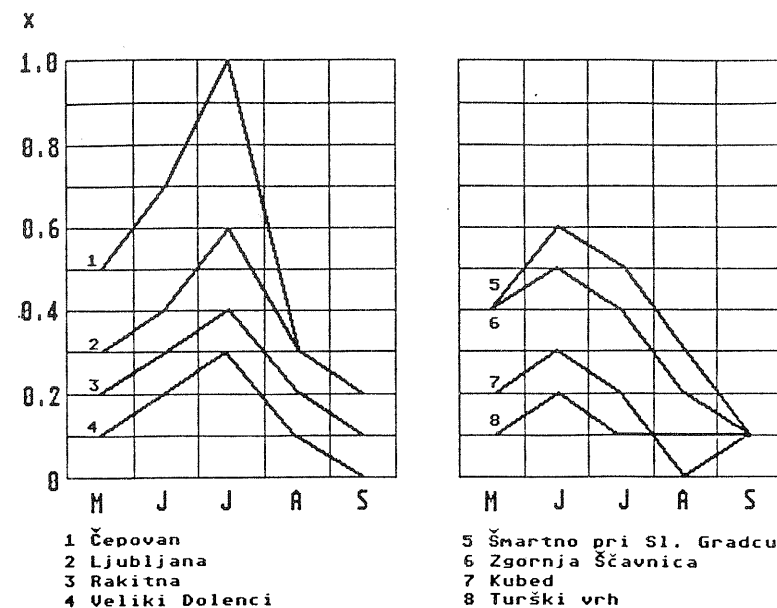
Pri opisani razdelitvi ne gre za kakršno koli geografsko pripadnost, razen delno v zadnji skupini nepravilnih časovnih potekov pogostnosti, kjer prevladujejo postaje iz severovzhodne Slovenije, ki jih v skupini z julijskim maksimum praktično ni.

V tuji literaturi najdemo kar nekaj poskusov opisa časovne analize pojavljanja toče. Gre za problem, kako se statistično gledano porazdeljuje verjetnost nastopa toče na neki lokaciji in se večinoma obravnavajo letne pogostnosti.

Pri prilagajanju teoretičnih porazdelitev opazovanim podatkom moramo razpolagati s čimdaljšimi časovnimi nizi opazovanj, ki so lahko tudi prekinjena, saj lahko imamo pojav toče na neki lokaciji za povsem neodvisen dogodek glede na predhodni ali naslednji pojav toče. Za dogodek "dan s točo" sicer res ne velja zakon velikih števil, vendar večina avtorjev kljub temu uspešno uporablja za izračune verjetnosti nastopa toče prilagojene ustrezne teoretične porazdelitve.

Pri izboru teoretičnih porazdelitev imamo na voljo predvsem razne diskretne porazdelitve (Schoenwiese 1985), s primerno transformacijo podatkov v razrede pa lahko uporabljamo tudi razne zvezne porazdelitve.

Izmed diskretnih porazdelitev sta na prvem mestu Poissonova in negativna binomska, lahko omenimo še eksponentno verjetnostno porazdelitev. Med zveznimi pa



Slika 5: Nekaj povprečnih mesečnih števil (x) dni s točo in/ali sodro (1951-86)

Figure 5: Some of the mean monthly numbers (x) of days with hail and/or graupel (1951-86)

so primerne logaritemsko normalna in gama porazdelitev ter bolj zamotane kapa porazdelitve (Ikeda et al. 1980).

Računsko je daleč najpreprostejša Poissonova teoretična porazdelitev, kjer ima spremenljivka z zalogo vrednosti (0,1,2,...) verjetnostno funkcijo

$$P(X; A) = \frac{e^{-A} A^X}{X!} \quad (1)$$

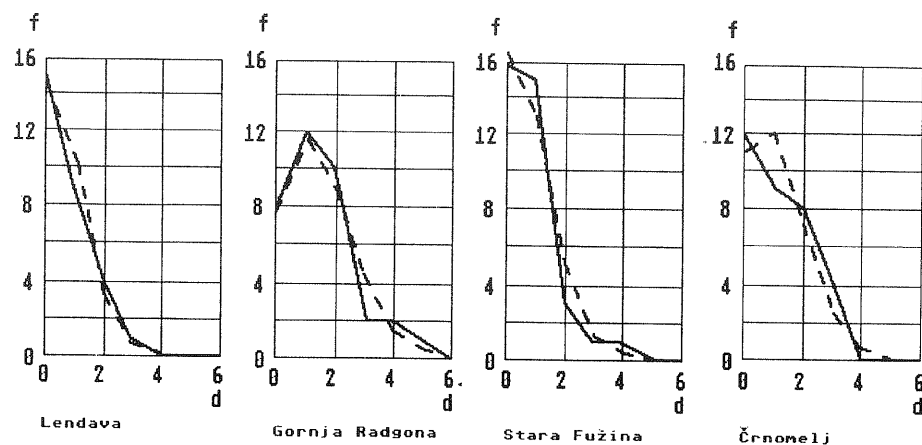
kjer parameter  $A$  ( $A > 0$ ) ocenimo s povprečno vrednostjo  $\bar{x}$ . Če želimo kar se da dobro opisati dano porazdelitev dni s točo, pa mora biti izpolnjen še en pogoj, in sicer varianca mora biti približno enaka povprečni vrednosti pojava:

$$\bar{x} \approx s^2 \quad (2)$$

V tuji literaturi (Cox and Armstrong, 1980) najdemo, da v ZDA, glede na dolgoletna opazovanja pogostnosti toče, uporabljajo za aproksimacijo večinoma Poissonovo porazdelitev. Nekateri pa uporabljajo še računsko nekoliko zamotanejšo negativno binomsko porazdelitev.

S hi-kvadrat testom, s katerim smo preverjali statistično značilnost ujemanja opazovanih in teoretično dobljenih frekvenc letne pogostnosti, smo izločili lokacije, za katere lahko uporabimo Poissonovo porazdelitev s stopnjo tveganja 0.05. Takih





Slika 6: Nekatere empirične in Poissonove porazdelitve ( $f$ ) števila dni s točo in/ali sodro ( $d$ ) v vegetacijskem obdobju od maja do septembra (1951-86)

Figure 6: Some empirical and Poisson's distribution ( $f$ ) of the number of days with hail and/or graupel ( $d$ ) in vegetation period from May to September (1951-86)

je kar 48 postaj (86%) v Sloveniji, torej velika večina. Nekaj zelo značilnih porazdelitev pogostnosti toče na lokacijah, kjer sprejmemo hipotezo o ujemanju frekvenc s tveganjem celo manjšim od 0.05, prikazuje slika 6, primer nekaterih izračunov pa tabela 5.

Izjeme, torej postaje, kjer Poissonova porazdelitev ni dovolj dobra za opis pojava toče in/ali sodre od maja do septembra, so naslednje: Celje, Čepovan, Godnje pri Tomaju, Ilirska Bistrica, Kredarica, Ljubljana-Bežigrad, Rakitna in Vojsko. Lahko sicer, da bi pri daljšem časovnem nizu (okrog 50 let) tudi pri teh postajah dobili Poissonovo porazdelitev. Na omenjenih postajah smo preiskusili tudi prilagajanje negativne binomske porazdelitve, vendar tudi v tem primeru  $\chi^2$  test ovrže ujemanje frekvenc ipd.

Tabela 5: Nekatere opazovane ( $f_{op}$ ) in izračunane ( $f_{Poisson}$ ) frekvence letne pogostnosti toče ter izračunani  $\chi^2$ .

Table 5: Some observed ( $f_{op}$ ) and computed ( $f_{Poisson}$ ) frequencies of yearly occurrence of hail and the computed  $\chi^2$  value.

št. dni s točo	Postojna		Maribor		Ilirska Bistrica	
	$f_{op}$	$f_{Poisson}$	$f_{op}$	$f_{Poisson}$	$f_{op}$	$f_{Poisson}$
0	8	7.565	13	12.852	5	6.446
1	11	11.801	14	13.238	9	11.088
2	9	9.205	6	6.817	16	9.535
3	6	4.786	1	2.341	3	5.467
4	1	1.867	2	0.603	3	2.351
5	1	0.582	0	0.124	0	0.809
6	0	0.151	0	0.021	0	0.232
$\chi^2$	0.54**		0.13**		6.10	

## SKLEP

Če na kratko povzamemo najpomembnejše ugotovitve klimatološke analize pojava toče, so to naslednje:

- Analiza je potekala na osnovi podatkov 31 izbranih postaj samo za točo in 57 postaj za točo in sodro skupaj, ki so imele zadosti dolg časovni niz opazovanj.
- Kvaliteta podatkov je problematična zaradi nekaterih nehomogenosti v nizih (menjava načina opazovanj ali opazovalcev) in ker so v arhivu HMZS združene informacije o sodri in toči.
- Reprezentativnost podatkov s postaj za širšo okolico je zaradi neregularnega in nezveznega pojava toče in sodre zelo majhna in interpolacija v prostoru težko izvedljiva.
- Pojav toče in sodre je izjemno variabilen in zato nam samo povprečna dolgoletna vrednost ne pove veliko. Nujna je zato vzporedna analiza modalnih in maksimalnih vrednosti. Geografska razporeditev pogostnosti toče in sodre v Sloveniji nam pokaže nekaj območij, kjer sta le-ti precej bolj pogosti kot drugod, vendar je točnejša opredelitev teh območij zaradi relativno redke opazovalne mreže in reliefne razgibanosti zelo subjektivna. Prav tako težko je določiti območja, kjer je toče v Sloveniji najmanj, saj so glede na veliko variabilnost tudi časovni nizi prek 30 let še vedno prekratki. Vendar pa podatki nakazujejo, da sta toča in sodra zelo pogosti ob Alpsko-Dinarski pregradi in tudi sicer v hribovskih predelih, predvsem severne Slovenije.
- Letni hodi pogostnosti toče in sodre na večini postaj kažejo logičen maksimum v poletnih mesecih (zlasti junij in julij), ki sovpada tudi z največjo pogost-

nostjo neviht s katerimi je združen pojav toče. Le nekaj postaj kaže specifične oblike letnega hoda, ki so najverjetneje posledica prekratkega niza opazovanj.

- Porazdelitev verjetnosti nastopa toče v Sloveniji na večini lokacij lahko aproksimiramo s Poissonovo porazdelitvijo, kar nam omogoča izračun verjetnosti pojavljanja.

## LITERATURA

Arhiv HMZ SRS , Ljubljana

Cox, M. and P.R. Armstrong, 1981 : A statistical model for the incidence of large hailstones on solar collectors, Solar energy 26, 97-111.

EKT 2, 1982 : Kessler, E. (ed.), Thunderstorms: A Social, Scinetific, & Technological Documentary. Boulder, U.S. Dept. of Commerce, NOAA, 603 pp.

Furlan, D., 1980 : Klimatski prikaz SV Slovenije s posebnim poudarkom na padavinah, Ljubljana, HMZ SRS, 158-165.

Ikeda, S. et al.(eds.),1980 : Statistical Climatology. Developments in Atmosph. Sci. 13., Amsterdam, Elsevier, 388 pp.

Kranjc, A., 1980 : Predlog določitve branjenih območij v SR Sloveniji s strokovnimi obrazložitvami, Ljubljana, HMZ SRS, 30 str.

Mueller, W., 1987 : Hail climatology in Stuttgart area. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Hail Suppression, Ljubljana Oct 1-2, 1987, Proceedings 16-24.

Opra, A., 1985 : Prispevek v: Prilozi za stručno-naučno raspravu na okrogлом stolu SFRJ o dostignutom stepenu naučne zasnovanosti protivgradne zaštite u svetu i u nas. Beograd, ZHMZ.

Petkovšek, Z.,1966 : Nevihtna karta in nevihtna pogostnost v Sloveniji, Razprave-Papers 7, 3-20.

Petkovšek, Z., 1987 : Topographic influences on thunderstorms. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Hail Suppression, Ljubljana Oct 1-2, 1987, Proceedings 25-30.

Pruppacher, H. R. and J. D. Klett, 1978 : Microphysics of clouds and precipitation. Dordrecht, D. Reidel, 714 pp.

Radičević, D : Srednji godišnji broj dana sa gradom, period 1951-1970. Karta v Atlasu klime Jugoslavije, Beograd, ZHMZ.

Schoenwiese, C.D., 1985 : Praktische statistik fur Meteorologen und Geowissenschaftler, Berlin, Gebruder Borntraeger, 231 s.

ZHMZ : Meteorološki godišnjak I, letniki 1949-1983. Beograd, ZHMZ.