

Obilježja tuče u priobalnom dijelu Jadrana

Blašković, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:469995>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Lucija Blašković

OBILJEŽJA TUČE U PRIOBALNOM DIJELU
JADRANA

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ FIZIKA-GEOFIZIKA
SMJER: METEOROLOGIJA I FIZIČKA OCEANOLOGIJA

Lucija Blašković

Diplomski rad

**Obilježja tuče u priobalnom dijelu
Jadrana**

Voditeljica diplomskog rada:
izv. prof. dr. sc. Maja Telišman Prtenjak

Neposredni voditelj diplomskog rada:
Damjan Jelić, mag. phy.-geophy.

Zagreb, 2021.

Ovim putem bih se htjela zahvaliti državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim opaženim podacima o tuči. Ovaj rad djelomično je financiran u okviru Hrvatsko-švicarskog istraživačkog programa Hrvatske zaklade za znanost i Švicarske nacionalne zaklade za znanost putem sredstava švicarsko-hrvatskog programa suradnje zahvaljujući projektu Severe weather over the Alpine-Adriatic region in a changing climate; SWALDRIC (Br. IZHRZO-180587). Zahvaljujem Barbari Malečić, neposrednom voditelju rada Damjanu Jeliću te mentorici izv. prof. dr. sc. Maji Telišman Prtenjak na strpljenju, pomoći i savjetima pri izradi diplomskog rada. Hvala i svim mojim bližnjima koji su mi bili neizmjerena podrška kroz cijeli studij.

Sažetak

Tuča je ekstremna pojava koja može uzrokovati velike materijalne štete. Iako je proces nastanka tuče poznat, o toj pojavi se i dalje ne zna dovoljno. Iz tog razloga su zadnjih nekoliko godina u svijetu napravljena brojna istraživanja o klimatologiji tuče, a upravo je to tema i ovog rada. Preciznije, proučava se klimatologija tuče na području hrvatskog priobalja, isključujući Istru za koju je ovakvo istraživanje već napravljeno. Rezultati se baziraju na podacima o tuči s 55 postaja iz dnevnika motrenja za razdoblje od 1973. do 2019. godine, te ERA 5 podacima za indekse nestabilnosti. Rezultati su pokazali značaju međugodišnju i prostornu varijabilnost, zbog koje je bilo potrebno napraviti razdiobu i na četiri poddomene. Pokazalo se kako je na cijeloj obali najveća aktivnost tuče prisutna u hladnijem dijelu godine, a smanjena aktivnost u toplijem dijelu godine. Dnevni hodovi pokazali su tri dnevna maksimuma – jutarnji, podnevni i poslijepodnevni, a za trajanje je najčešće zabilježeno 5 minuta. Izdvojene su 3 postaje kao one na kojima je godišnje bilo najviše dana s tučom, a to su Senj, Drniš i Gračac. Analizirani su i indeksi nestabilnosti (KI, CAPE, DLS i visina 0. izoterme) koji bi mogli pojasniti kakvi atmosferski uvjeti potiču nastanak tuče.

Ključne riječi: tuča, jadranska obala, indeksi nestabilnosti

Characteristics of hail in the coastal part of the Adriatic

Abstract

Hail is an extreme phenomenon that can cause great material damage. Although the process of hail formation is known, there is still insufficient knowledge about this topic. For this reason, numerous researches on hail climatology around the world have been made in the last few years, and this exactly is the topic of this paper. More precisely, the climatology of hail on the coastal part of Adriatic is being studied, excluding Istria, for which such research has already been done. The results are based on hail data from 55 stations from the observation log for the period from 1973 to 2019, and ERA 5 data for instability indices. The results showed significant interannual and spatial variability, due to which it was necessary to make a division into 4 subdomains. It was shown that on the entire coast, the highest hail activity is present in the colder part of the year, and reduced activity in the warmer part of the year. Daily patterns showed 3 daily highs – morning, noon and afternoon, and the duration was usually 5 minutes. Three stations were singled out as the ones with the most hail days a year: Senj, Drniš and Gračac. Finally, instability indices were studied (KI, CAPE, DLS and freezing level height), which could explain the atmospheric conditions in which hail occurs.

Keywords: hail, Adriatic coast, instability indices

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1 Teorijska pozadina	1
1.2 Dosadašnja istraživanja u Europi i Hrvatskoj.....	4
1.3 Motivacija i cilj istraživanja.....	10
2. Podaci i metode	12
2.1 Opažanja tuče	12
2.2 Indeksi nestabilnosti i podaci reanalize.....	14
2.3 Metode analize	14
2.3.1 Kreiranje baze podataka iz digitalnih zapisa	14
2.3.2 Statističke metode	15
2.3.3 Metode obrade indeksa nestabilnosti.....	16
3. Rezultati i diskusija	17
3.1 Obilježja baze podataka o tuči	17
3.2 Analiza događaja tuče i dana s tučom	20
3.2.1 Godišnji i dnevni hodovi za istraživano područje	20
3.2.2 Frekvencije dana s tučom	28
3.2.3 Prostorne razlike u čitavoj istraživanoj domeni.....	29
3.2.4 Područje 1	32
3.2.5 Područje 2	33
3.2.6 Područje 3	35
3.2.7 Područje 4.....	37
3.3 Analiza indeksa nestabilnosti	39
4. Zaključak	42
5. Literatura	44
Dodatak A	47

1. Uvod

1.1 Teorijska pozadina

Tuča je po definiciji oborina prozirne, djelomično prozirne ili potpuno neprozirne čestice leda obično sfernog, stožastog ili nepravilnog oblika s promjerom većim od 5 mm (WMO, 2017.). Nastaje isključivo u kumulonimbusima koji pak nastaju u procesu konvekcije. Studije su pokazale da se tuča javlja uglavnom u područjima umjerenih geografskih širina; npr. na Sjevernoj hemisferi između 30° i 50° (Baldi i sur., 2014.; Eccel i sur., 2012.; Hand i Cappelluti, 2011.). Budući da je ovaj zemljopisni pojas prilično širok te uvažavajući nadmorsku visinu kao i izmjenu kopna i mora, tuča se javlja u različitim klimatskim uvjetima. Geografski pojasevi sjevernije i južnije od navedenog, znače nepovoljne atmosferske uvjete zbog prehladne ili pretople klime. U hladnoj klimi, ograničena visina kumulusnih oblaka ometa stvaranje tuče; dok, u toploj klimi, prisutnost toplog zraka slabi šanse za razvoj tuče.

Do konvekcije dolazi kada se masa fluida zagrije ili ohladi s obzirom na njegovu okolinu i time nastaje razlika u temperaturi. Ta temperaturna razlika tada uzrokuje pomicanje masa jer se toplije i rjeđe mase podižu, a hladnije i gušće mase tonu¹. Atmosferska konvekcija se dijeli na suhu i mokru, te plitku i duboku (Davidson, 1999.). U suhoj konvekciji horizontalne i vertikalne skale konvektivnih elemenata su usporedive veličine. Isto tako, gibanja prema gore i prema dolje su usporediva po snazi. S druge strane, u mokroj konvekciji uzlazna gibanja su znatno snažnija od silaznih, osim u nekim organiziranim oblačnim sustavima (Stevens, 2005.)². Plitka konvekcija označuje gibanje mase zraka do visine koja odgovara 500 hPa plohi, a duboka konvekcija podiže zrak i iznad te visine. Oblaci nastali plitkom konvekcijom ne proizvode oborine, a moguće sitne kapljice budu odnesene zrakom. Duboka mokra konvekcija je dakle ona koja je u ovom radu od interesa jer je ona ta koja stvara vertikalno razvijene kumulonimbe koji mogu proizvoditi olujno nevrijeme s mogućnošću razvoja tuče.

Za razvoj konvektivnih oblačnih oluja potrebna su tri osnovna čimbenika: sadržaj vlage u nižim slojevima atmosfere, nestabilnost atmosfere te utjecaj sinoptičke, mezoskalne ili orografske prisile (Počakal, 2012.). Kako se zrak podiže u atmosferi, podvrgava se dekompresiji, a u nedostatku izvora ili ponora topline hladi se po suhoadijabatičkoj stopi ohlađivanja. Ako uzorak sadrži vodenu paru, na kraju se

¹ <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/how-weather-works/what-is-convection> [dostupno 01.09.2021.]

² https://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/~roger/Lectures/Moist%20Convection/Review%20of%20moist_convection_Bjorn_Ste_vens.pdf [dostupno 01.09.2021.]

postiže točka u kojoj je uzorak toliko hladan da se para počinje kondenzirati u tekuću vodu ili led (Smith, 1997.)³. U uzorku s danim termodinamičkim svojstvima tlak pri kojem bi se to dogodilo naziva se *nivo kondenzacije*. Da bi došlo do kondenzacije potrebne su i jezgre kondenzacije. Velika količina ovako oformljenih kapljica čini oblak, a baza kumulusa prikazuje nivo kondenzacije. Zasićeni zrak se nastavlja dizati iznad razine kondenzacije, a oslobođena latentna toplina omogućava da se taj zrak hladi sporije od okolnog zraka po mokroadijabatičkoj stopi ohlađivanja. Ako je atmosfera dovoljno nestabilna i ovaj proces traje dovoljno dugo nastat će kumulonimbus prolazeći kroz tri stadija razvoja:

- 1) stadij kumulusa
- 2) zreli stadij
- 3) stadij raspadanja.

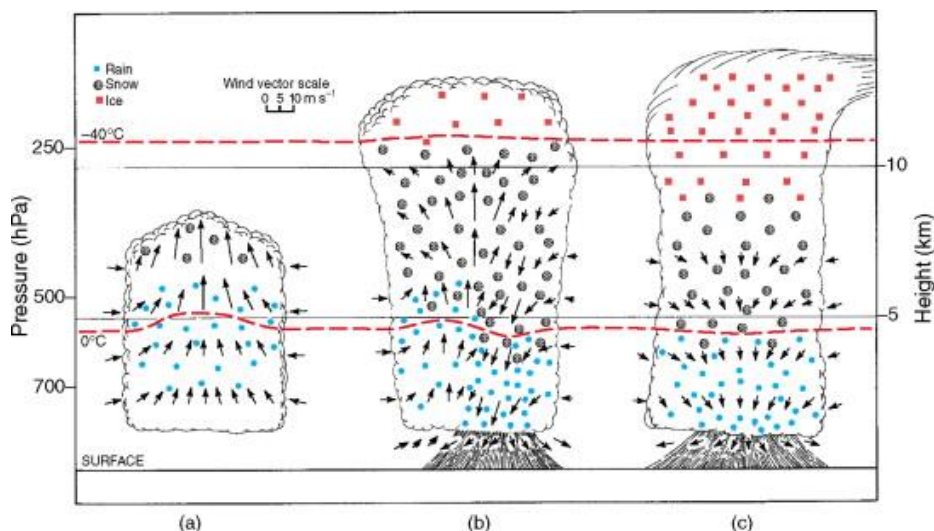
Prema McMurdie i Houze (2006.) u fazi kumulusa oblak se u cijelosti sastoji od tople uzdižuće česti zraka. Brzina uzlaznog toka naglo raste s visinom u oblaku (pri vrhu i do 10 m/s) i dolazi do značajnog uvlačenja zraka kroz bočne granice oblaka (Slika 1.1a). Zbog velikih brzina uzlaznog strujanja, pothlađene kapljice kiše (vodene kapljice pri temperaturama od -40 °C do 0 °C) mogu biti prisutne znatno iznad razine smrzavanja što je potencijalno vrlo opasno za avione zbog naglog zaleđivanja.

Zrelu fazu karakterizira razvoj snažnog silaznog strujanja kao dijela uspostavljene cirkulacije unutra oblaka koje se poklapa s područjem najintenzivnije oborine (Slika 1.1b). Silazno strujanje unutar oblaka pokreće oborina (silom povlačenja) koja pada prema tlu. Suhi okolni zrak koji se miješa sa silaznim strujanjem unutar oblaka te nezasićeni zrak ispod baze oblaka se hlade uslijed isparavanja oborine koja je usmjerena prema površini Zemlje. U nekim slučajevima rezultirajuće hlađenje isparavanjem sposobno je uvelike povećati negativni uzgon uzdižućeg zraka. U zreloj fazi, pothlađene kapi kiše još uvijek postoje znatno iznad razine smrzavanja u uzlaznom toku, dok se snježne pahuljice ili mekanija zrna tuče mogu nalaziti ispod razine smrzavanja u silaznom strujanju. Maksimalne uzlazne vertikalne brzine javljaju se u sredini oblaka te se one smanjuju prema njegovom vrhu.

Vrh oblaka se približava tropopauzi i počinje se horizontalno širiti u obliku nakovnja u fazi raspadanja (Slika 1.1c). Kako se oborina razvija u cijelom oblaku, silazno strujanje postaje sve intenzivnije i u ovoj fazi dominira unutar gotovo cijelog oblaka. Na taj način se smanjuje daljnje dizanje toplog zasićenog zrak čime kapljice

³https://books.google.hr/bookshl=hr&lr=&id=xgHxCAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=atmospheric+convection+&ots=5eKvs48MyG&sig=PqMigmB6TiHLBEHCtMdF-w_nbzk&redir_esc=y#v=onepage&q=atmospheric%20convection&f=false [08.09.2021.]

oblaka više ne mogu rasti te za posljedicu ima zamiranje oborine. Samo oko 20% vodene pare kondenzirane u uzdižućoj struji zraka dopijeva na tlo u obliku oborine. Ostatak vodene pare se isparava u silaznom strujanju ili ostaje u nakupinama raspadajućeg oblaka koje pak onda ispare u okolni zrak.



Slika 1.1: Shematski prikaz stadija kumulonimbusa (iz McMurdie i Houze, 2006.). Lijevo (a) je prikazan stadij kumulusa, u sredini (b) je zreli stadij, a desno (c) stadij raspadanja.

Na mezoskali postoje tri osnovna tipa konvektivnih ćelija: jedinične, multi- i superćelije. Ako je vertikalno smicanje u donja 4 km atmosfere relativno malo, mogu se pojaviti samo jedinične ćelije (Grisogono i Belušić, 2008). Obično traju 20-30 minuta i mogu izazvati pljuskove, tuču, obilne oborine, i rijetko slaba tornada. Kada je vertikalno smicanje u donja 4 km umjereno jako, stvaraju se multićelije. Sastavljene su od više jediničnih kumulonimbusa kratkoga vijeka, ali u cjelini traju više sati, recimo 6 do 10 sati. Grupa multićelija može stvoriti olujnu mezoskalnu frontu, s izuzetno jakim horizontalnim smicanjem vjetrova, grmljavinom i jakim pljuskovima; takve olujne formacije se često nazivaju "squall line" (Grisogono i Belušić, 2008). Superćelije su definirane kao grmljavinska oluja s rotirajućim uzlaznim strujanjem. Ove oluje mogu proizvesti jake pljuskove, veliku tuču, povremene poplave te tornada⁴.

Tuča raste u glavnoj uzlaznoj struji zraka unutar olujnog oblaka, gdje je većina oblaka u obliku pothlađene vode. Na temperaturama višim od -40 °C, pothlađenoj kapljici vode potrebno je nešto na čemu se može smrznuti ili ostaje tekuća. Kristali leda, smrznute kapi kiše, prašina i sol iz oceana također su prisutni u oblaku. Prilikom sudara, pothlađena voda će se smrznuti na bilo kojem od ovih kondenzacijskih jezgri, stvarajući nova zrna tuče ili povećavajući one koji već postoje (UCAR, 2010.). Poprečni presjeci tuče često otkrivaju slojeve koji su uzrokovani različitim brzinama

⁴ University of Illinois: Types of Thunderstorms (1997). Dostupno na: [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/wwhlpr/terms.rxml?hret=/guides/mtr/svr/type/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/wwhlpr/terms.rxml?hret=/guides/mtr/svr/type/home.rxml) [10.09.2021.]

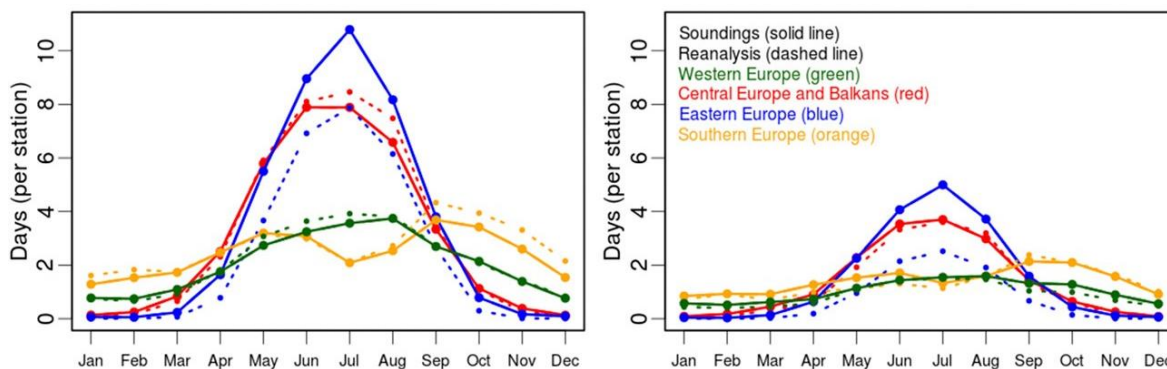
nakupljanja i smrzavanja pothlađene vode. Kad u zraku postoji velika količina pothlađene tekućine kroz koju pada tuča, voda se nakuplja brže nego što se može smrznuti, pa nastaje sloj tekućine. To postaje sloj čistog leda kada se smrzne. Kad tuča padne kroz zrak s manjim brojem vodenih kapljica, voda se smrzne u dodiru s tučom, tvoreći male mjehuriće zraka u neprozirnim slojevima. Sa što više ohlađene vode, zrno tuče postaje sve veće i sve teže. Kad tuča postane toliko teška da je uzdižuća struja više ne može podržati, pada prema tlu.

1.2 Dosadašnja istraživanja u Europi i Hrvatskoj

S obzirom da je tuča dosta lokalna pojava te uvažavajući činjenice o vrlo kompleksnom terenu/topografiji **u Europi** kao i o različitoj zastupljenosti mjerenja tuče diljem Europe, o tuči se još uvijek nedovoljno zna. Zbog toga se često pokušavaju procijeniti obilježja tuče posredno bilo preko indeksa nestabilnosti koji upućuju na potencijalni razvoj duboke konvekcije (npr., Taszarek i sur., 2018.) bilo preko sinoptičkih uvjeta koji pogoduju njenom razvoju kroz tipizaciju vremena (npr., Santos i Belo-Pereira, 2018.; Jelić i sur., 2020.). Također je sve veći broj studija (npr., Taszarek i sur., 2018.; Schär i sur., 2020.) koje analiziraju dugoročne trendove u konvektivnim parametrima radi utvrđivanja kako promjene klime utječu na pojavu jakih oluja (s intenzivnim oborinama, tučom, grmljavinom i/ili munjama i jakim smicanjima vjetra). Podaci iz ERA-Interim reanalize pokazuju povećanje vlažnosti najnižeg sloja atmosfere (Pistotnik i sur., 2016.), kao jednog od najvažnijih „sastojaka“ termodinamičke nestabilnosti atmosfere što svakako može doprinijeti intenziviranju duboke konvekcije. Viceto i sur. (2017.) su na temelju klimatskih simulacija za najekstremniji scenarij uočili povećanje broja intenzivnih oluja prema kraju stoljeća za Pirinejski poluotok.

U usporedbi radiosondaža s ERA-Interim reanalizom za 38-godišnje razdoblje od 1979. do 2016., Taszarek i sur. (2018.) su istraživali preduvjete za nastanak duboke vlažne konvekcije diljem Europe. Područje Europe su podijelili u četiri regije (zapadna Europa, južna Europa, istočna Europa te središnja Europa s područjem Balkana). Hrvatska je u spomenutoj studiji podijeljena u dvije regije; priobalni dio nalazi se unutar južne Europe, a kontinentalni unutar središnje Europe s područjem Balkana. Kao jedan od parametara koji se analizirao je konvektivna raspoloživa potencijalna energija (CAPE) i konvektivna energija inhibicije (CIN). Postavljeni su sljedeći pragovi vrijednosti kao mjera nastanka duboke konvekcije s nekim svojim produktom, npr. munjama (Westermayer i sur., 2017.); CAPE bi trebao biti veći od 100 J/kg, a CIN veći od -50 J/kg. Također su naglasili važnost (i) smicanja vjetra (DLS) u donjem dijelu atmosfere i (ii) termodinamičke nestabilnosti donje atmosfere kao mjere hazarda konvektivne aktivnosti. Njihovi rezultati su pokazali razlike godišnjih hodova u konvektivnoj aktivnosti; od rujna do travnja najčešći uvjeti koji podržavaju grmljavinu, munje i jake oluje su uglavnom nad južnom i zapadnom Europom (Slika

1.2). Od svibnja do kolovoza glavna se olujna aktivnost razvija dublje nad europskim kontinentom, u području središnje i istočne Europe. Za južnu Europu je pokazano da je najveća učestalost oluja u rujnu dok je u srpnju i kolovozu konvektivna aktivnost potisnuta zbog značajnog CIN -a.

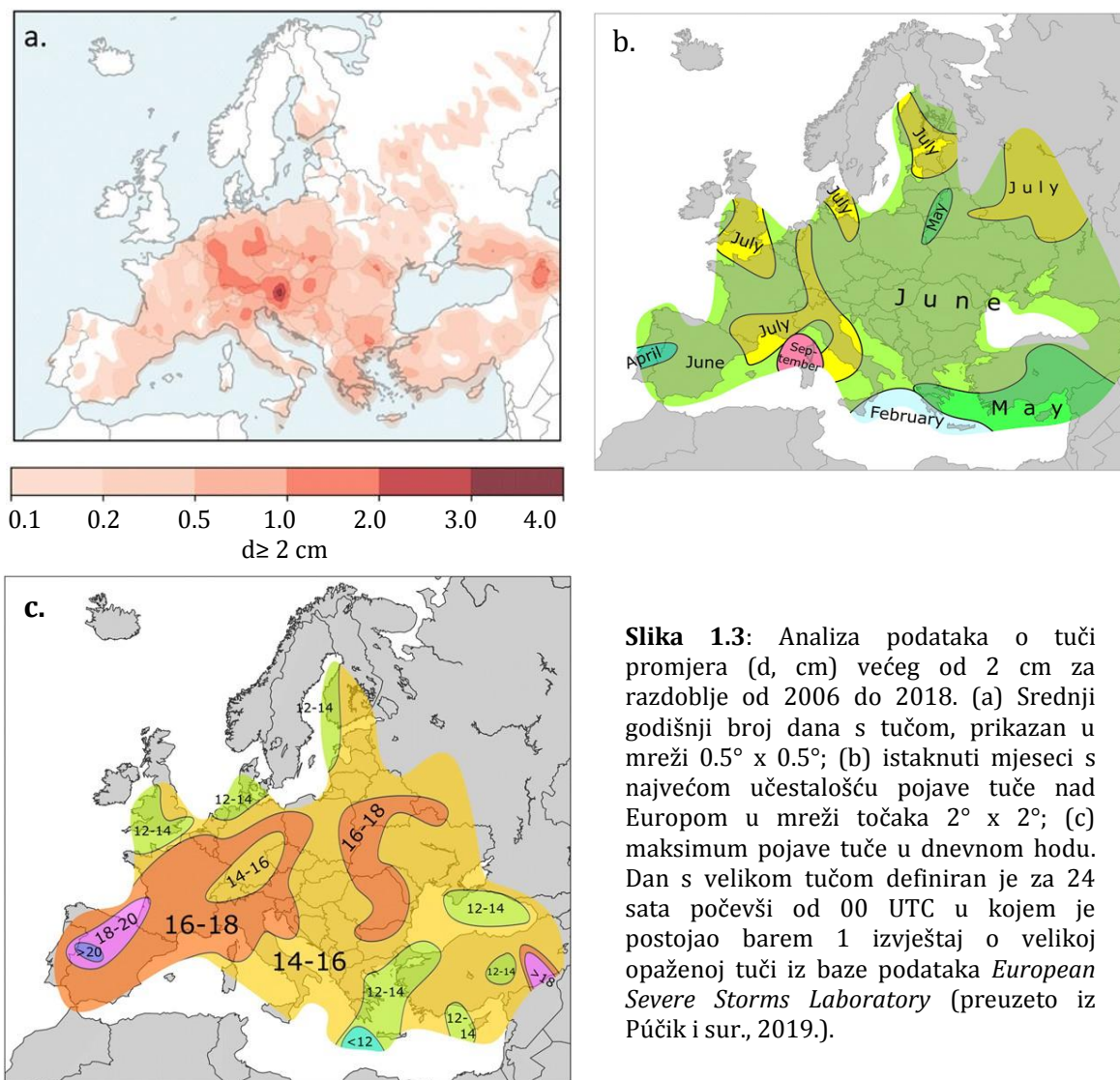


Slika 1.2: Srednji godišnji broj dana s potencijalnim olujnim događajima u više istraživanih domena gledajući (a) dva parametra, CAPE i CIN te (b) tri parametra CAPE, CIN i DSL. Boje znače: zapadna Europa (zeleno), središnja Europa s područjem Balkana (crveno), istočna Europa (plavo) i južna Europa (žuto). Područje hrvatskog priobalja dio je južne Europe, a kontinentalni dio pripada domeni koja je nazvana središnja i jugoistočna Europa. Pune linije odgovaraju podacima radiosondaža iz navedenih domena, a isprekidane ERA-Interim reanalizi (preuzeto iz Tazarek i sur., 2019.).

Iako su pojave oluja i tuče visoko korelirane, pojava duboke mokre konvekcije ne mora nužno rezultirati pojavom tuče. Time su istraživanja podataka o tuči i dalje nužno potrebna. Neke studije obrađuju sve podatke koje imaju o tuči dok se neke fokusiraju na ekstremnije događaje. Tako Púčik i sur. (2019.) navode kako nad Europom nedostaju vremenski i prostorno homogeni zapisi o velikoj tuči (promjera zrna ≥ 2 cm). Klimatološke studije provedene za veliku tuču u Europi su Dressens (1986.) za Francusku, Burcea i sur. (2016.) za Rumunjsku, Touvinen i sur. (2009.) za Finsku te Kahraman i sur. (2016.) za Tursku. To je zato što se na europskim meteorološkim postajama obično ne evidentira veličina tuče. Procjene učestalosti se dobivaju iz staničnih mjerenih i opaženih podataka o tuči s meteoroloških postaja i tučomjera, a uzimaju u obzir i izvedene informacije o tuči daljinskih mjerenja kao što su radari i sateliti te koristeći podatke osiguravajućih društava o isplati osiguranja. Unatoč boljoj pokrivenosti nekog područja daljinskim mjerenjima zadnjih godina, procjena kinetičke energije tuče iz radarskih mjerenja još uvijek ne predstavlja dovoljno pouzdan podatak te ga je potrebno kombinirati s drugim metodama mjerenja (Púčik i sur., 2019.).

Istraživanja su pokazala da je srednja Europa visoko izložena opasnosti od tuče (Slika 1.3a) u toplom dijelu godine. Učestalost tuče se smanjuje od zapada prema istoku i od juga prema sjeveru (Punge i Kunz, 2016.; Púčik i sur., 2019.). Autori ističu da kontinentalnost doprinosi učestalosti tuče jer dovodi do nižeg sadržaja vlage i manje frontalnih sustava, a time i do nepovoljnijih uvjeta za konvektivnu aktivnost.

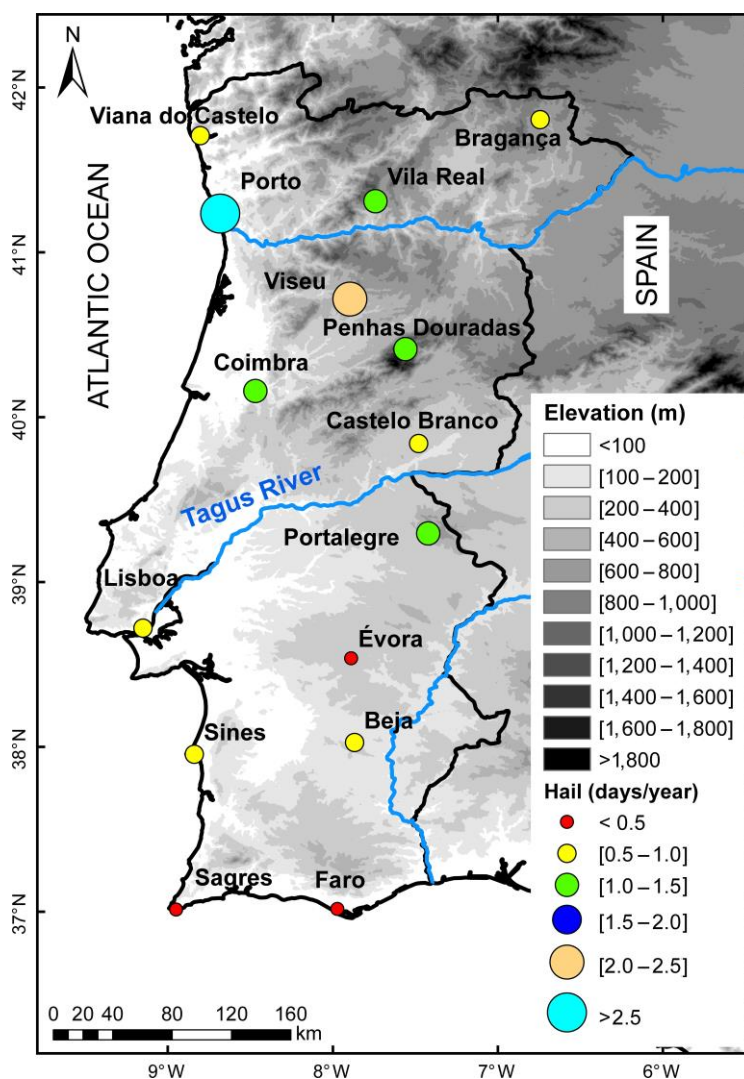
Pokazalo se kako orografija (osobito u blizini mora) ima znatan utjecaj na razvoj tuče, npr. u predalpskim regijama Švicarske, Austrije te Slovenije prisutna je povećana učestalost tuče (do 4 dana s tučom godišnje). Pojava tuče povećana je i na jugu istočne Europe, također zbog utjecaja orografije (npr. južna Bugarska). Na učestalost tuče u zapadnoj Europi uglavnom utječe blizina Atlantskog oceana, a u južnoj utječe visoka insolacija i blizina Sredozemnog mora. U sjevernoj Europi tuča je rjeđa u odnosu na većinu drugih dijelova Europe, uglavnom zbog prevladavajuće hladnije klime (Punge i sur., 2014.)



Slika 1.3: Analiza podataka o tuči promjera (d, cm) većeg od 2 cm za razdoblje od 2006 do 2018. (a) Srednji godišnji broj dana s tučom, prikazan u mreži 0.5° x 0.5°; (b) istaknuti mjeseci s najvećom učestalošću pojave tuče nad Europom u mreži točaka 2° x 2°; (c) maksimum pojave tuče u dnevnom hod. Dan s velikom tučom definiran je za 24 sata počevši od 00 UTC u kojem je postojao barem 1 izvještaj o velikoj opaženoj tuči iz baze podataka *European Severe Storms Laboratory* (preuzeto iz Púčik i sur., 2019.).

Najčešća pojava tuče javlja se tijekom ljetnih mjeseci u većini Europe (na oko 75% teritorija) s maksimumom u lipnju (Slika 1.3b) u skladu s konvektivnom aktivnošću (Slika 1.2). Uz obale Sredozemlja, ovaj maksimum se mijenja te se uočava i u drugim sezonama, proljetnim i jesenskim ovisno o lokaciji. Nad Korzikom javlja se u rujnu, nad Kretom i otocima južnog Jonskog mora u veljači, nad južnom Grčkom,

Turskom, i Ciprom u svibnju. Detaljnija analiza opažanja na postajama u južnoj i zapadnoj Grčkoj pokazala je vrlo veliku učestalost zimskog maksimuma (Kotinis-Zambakas, 1988.). Tijekom dana velika tuča se obično događa u popodnevnim satima između 14-18 h po lokalnom vremenu; ipak ranije u istočnoj Europi od zapadne Europe (Slika 1.3c). Rezultati ovih studija također ukazuju na velike razlike u godišnjim/dnevnim hodovima tuče ovisno o lokalitetu i udaljenosti od mora.

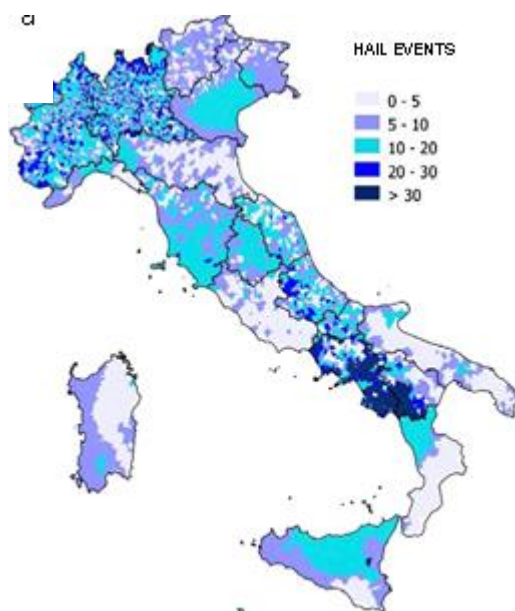


Slika 1.4. Srednji godišnji broj dana s tučom na 15 istraživanih meteoroloških postaja. Nadmorska visina prikazana je sivom skalom a veličina i boja kruga odgovaraju učestalosti pojavi tuče prema legendi.

Nad područjem Portugala uočen je maksimum u travnju (Slika 1.3b), a detaljniju klimatologiju tuče proveli su nedavno Santos i Belo-Pereira (2018.). Njihovi rezultati ukazuju da klimatologija tuče može biti izuzetno varijabilna u prostoru s obzirom na kompleksan teren i blizinu oceana (Slika 1.4). Srednja godišnja frekvencija tuče u unutrašnjosti Portugala je relativno mala, što naglašava činjenicu da je tuča na tom

području rijedak meteorološki događaj, osobito na jugu zemlje. Najviše vrijednosti su sjeverno od rijeke Tagus, uglavnom u Portu (2.6 dana s tučom godišnje) i Viseu (2.1 dana s tučom godišnje), dok je na jugu učestalost tipično ispod 1 dana s tučom godišnje. Veća učestalost tuče sjeverno od rijeke Tagus najvjerojatnije proizlazi iz više razloga: (i) orografija na sjevernoj polovici zemlje je složenija i (ii) jača je izloženost sjeverozapadnog Portugala sjevernoatlantskim frontalnim sustavima.

Srednje mjesečne frekvencije tuče u kontinentalnom dijelu Portugala otkrivaju jaku sezonalnost, s izraženim maksimumom u razdoblju od veljače do travnja (od kasne zime do ranog proljeća; oko 0.2 dana s tučom mjesečno) i izraženim minimumom (gotovo nula dana s tučom mjesečno) u periodu od srpnja do kolovoza. Uzimajući u obzir prostornu varijabilnost i sezonalnost, unatoč nekim značajnim razlikama među postajama, dani s tučom uvelike su ograničeni na razdoblje od prosinca do svibnja na većini od 15 odabranih meteoroloških postaja. Pojave tuče rijetke su u srpnju i kolovozu, uglavnom zbog trajnog utjecaja Azorske anticiklone, koja se tipično proteže nad kopnom Portugala kao greben visokog tlaka zraka (Martins i sur., 2016.), čime se favoriziraju uvjeti supsidencije i suzbijanja konvekcije. U drugim regijama koje su pod značajnim utjecajem Atlantskog oceana, kao što je Irska, također se opaža najveća učestalost tuče zimi i u rano proljeće (Walsh, 2012.) umjesto ljeti, što se obično događa u srednjoj Europi (Burcea i sur., 2016.; Punge i Kunz, 2016.).

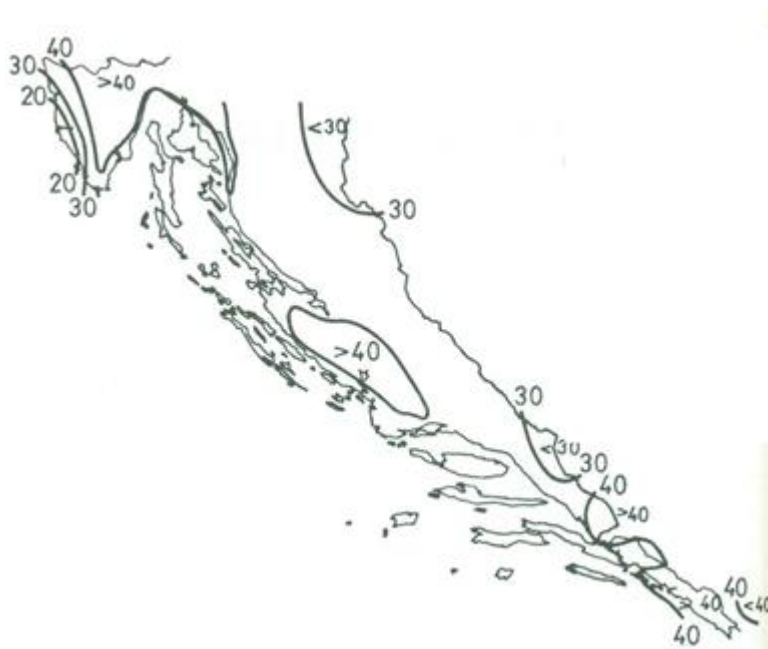


Slika 1.5. Prostorna raspodjela događaja tuče u 10 godina za područje Italije (preuzeto iz Baldi i sur., 2014.).

Analizom obilježja tuče u susjednoj Italiji koja je između ostalog i pod utjecajem Jadrana bavilo se više autora, npr. Manzato (2011.) te Baldi i sur. (2014.).

Uočeno je da je tuča je češća u njezinom sjevernom dijelu (npr. Baldi i sur., 2014.), ali su događaji tuče prilično lokalizirani i pokazuju veliku prostornu i vremensku varijabilnost (Slika 1.5). Velika područja poput doline rijeke Po i nekih jugoistočnih regija imaju manji broj događaja s tučom (manje od 0.5 događaja godišnje) dok na primjer određena područja na jugozapadu Italije registriraju više od 2 događaja tuče godišnje u razdoblju 1971.–2009. Zaključeno je da su među čimbenicima koji najviše utječu na raspodjelu tuče kombinacija geografskih obilježja s dinamičkim uvjetima atmosfere nad nekom regijom. Pa ipak, iako autori smatraju da je međudjelovanje strujanja zraka i orografije jedan od glavnih razloga nastanka tuče u blizini Alpa, na sjeveroistoku zemlje vrijednosti su niže od očekivanih unatoč prisutnosti planina. Time se otvara pitanje potrebe za daljnjim analizama.

U *Hrvatskoj* analiza konvektivne aktivnosti (Penzar i sur., 2001.; Mikuš i sur., 2012.) potvrđuje njenu veliku prostornu i vremensku varijabilnost, a posljedično se isto uočava i u obilježjima opažene tuče (npr. Počakal, 2012.; Jelić i sur., 2020.). Mjerenje i registracija pojave zrna tuče na tlu se u kontinentalnom dijelu Hrvatske dobiva najčešće pomoću tučomjera. Podaci o tuči uz obalu su manje informativni; za veći dio obale sadrže samo broj dana s tučom u mjesecu/godini te podatke o mjestu i vremenu pojave tuče (Slika 1.6.). Same fizičke karakteristike daju se samo opisno – uspoređujući veličinu zrna tuče s dimenzijama drugih poznatih predmeta (npr. grašak, lješnjak, orah, jaje) (Počakal, 2012.).



Slika 1.5. Prostorna godišnja raspodjela dana s grmljavinom u razdoblju 1948.-1966. (preuzeto iz Penzar i sur., 2001.).

Analiza mjerenja je ukazala na podjelu na dva različita područja u kontinentalnom dijelu Hrvatske (26 800 km²): zapadni (brdoviti) dio s većim brojem dana s tučom te istočni (općenito ravni) dio koji ima uglavnom malen broj dana s

tučom (Počakal, 2012.). Rad se temelji na podacima o tuči prikupljenim u razdoblju od 1981. do 2006. za jednu sezonu (svibanj-listopad). Dodatne analize fokusirane na sjeverozapadni dio Hrvatske (Počakal i sur., 2018.) koje su uključivale podatke poligona tučomjera između tri planine: Medvednice na jugu, Ivančice na sjeveru i Kalnika na sjeveroistoku. Pokazano je kako orografija ima utjecaj na tuču jer su učestalost i intenzitet bili veći u blizini planina. Godišnji hodovi učestalosti tuče u kontinentalnom dijelu pokazuju maksimum u lipnju (Počakal, 2012.), kada je i nestabilnost atmosfere najveća te se dobro podudaraju s onima na Slici 1.3b. Općenito, obilježja tuče u kontinentalnom dijelu su takva da imaju godišnje i dnevne hodove u potpunosti usporedive s podacima za središnju Europu, bez vidljivog utjecaja Jadranskog mora.

Za razliku od kontinentalnog dijela, područje uz Jadran vrlo slabo je pokriveno analizama podataka o tuči. Za sada jedna od rijetkih studija koja se time bavila je ona koju su napravili Jelić i sur. (2020.). Autori su analizirali podatke kako bi identificirali prostorne i vremenske aspekte tuče u Istarskoj regiji te su istražili koji tipovi vremena pogoduju razvoju tuče. U skladu s drugim studijama, dobivena je velika prostorna i vremenska varijabilnost pojavljivanja tuče u Istri. Identificirana su tri područja povećane učestalosti, s 1.75 do 2.8 dana s tučom godišnje i nekoliko područja relativno zaštićena od tuče s 0.5 dana s tučom godišnje. Analiza trenda, iako nije pokazala povećanje broja slučaja/dana po dekadama, otkrila je preraspodjelu tuče među sezonama, kao i razlike u učestalosti i dnevnim hodovima između postaja uz obalu i u unutrašnjosti Istre. Usporedba godišnjih i dnevnih hodova pokazuje da unutrašnjost Istre ima sličan hod kao i kontinentalni dio Hrvatske s maksimumom u toplom dijelu godine (od travnja do rujna) te u popodnevnim satima (od 12-18 h). Ipak, postoje i neke razlike. (i) Udio tuče u hladnom dijelu godine je puno veći u odnosu na unutrašnjost, s lokalnim maksimumom u studenom koji nije uočen nad kontinentom. (ii) Dnevni hodovi obalnih postaja nemaju tako izražene razlike u pojavi tuče između popodnevni i ostalih sati tijekom dana. (iii) U dnevnim hodovima obalnih postaja uočava se lokalni maksimum oko 8 sati ujutro.

1.3 Motivacija i cilj istraživanja

U Hrvatskoj, poznavanje obilježja tuče je ograničeno na neke njene dijelove; kontinentalni dio i Istru. Dosadašnje analize su pokazale da postoje područja gdje tuča pada u prosjeku 2 puta godišnje te time može biti uzrok velikih ekonomskih šteta (i u poljoprivredi, ali i u energetici i prometu). Postoje područja koja uopće nisu bila zahvaćena analizama i o obilježjima tuče se vrlo malo zna. U ta područja spada veliki dio obale Jadrana (od Kvarnera prema Dubrovniku) sa zaleđem te planinsko područja Like i Gorskog kotara. Podaci o munjama sugeriraju da pojedini dijelovi neispitanog područja imaju veliku konvektivnu aktivnost čime je potreba za poznavanjem obilježja tuče velika. Zbog toga se postavljaju sljedeća pitanja:

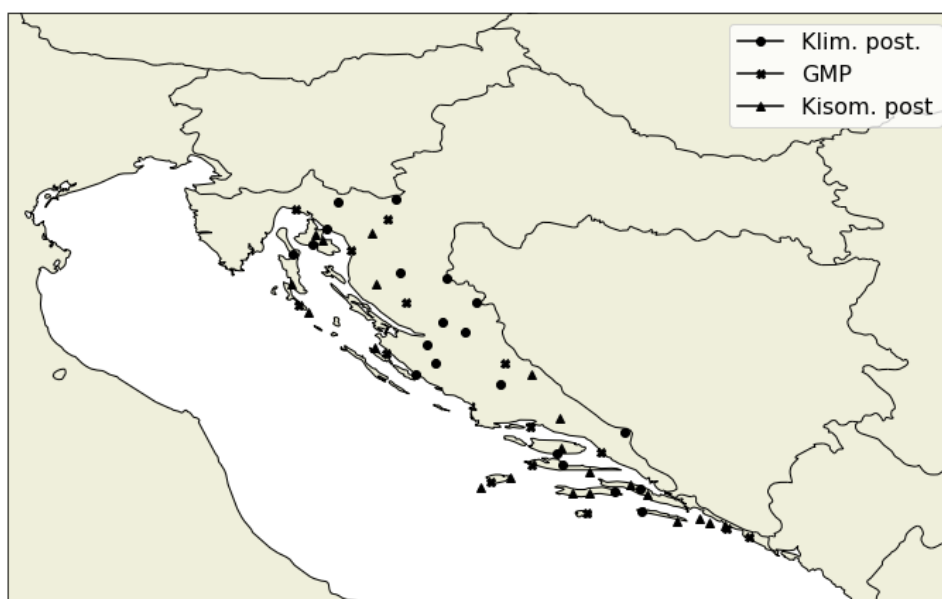
1. Kako izgledaju godišnji i dnevni hodovi dana s tučom na postajama duž obale Jadrana i zaleđa?
2. Ima li razlike u podacima obalnih postaja i onih u zaleđu? Ako su hodovi različiti, koji bi bili uzroci tome?
3. Jesu li tipovi vremena ili mezoskalni konvektivni uvjeti (procijenjeni iz indeksa nestabilnosti) slični ili različiti u odnosu na one dobivene za Istru?

Rezultati analize doprinjet će poznavanju obilježja tuče duž Jadrana te time pridonijeti kompletiranju nacionalne klimatologije tuče (koja još uvijek ne postoji). Ujedno ona pomaže u daljnjem radu na zaštiti od ove ekstremne pojave.

2. Podaci i metode

2.1 Opažanja tuče

Podaci o tuči potječu iz mjesečnih izvještaja ili tzv. dnevnika motrenja opaženih u mreži postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a). Korišteni dnevni motrenja dobiveni su s 55 postaja – 14 glavnih meteoroloških, 20 klimatoloških i 21 kišomjernih postaja smještenih duž priobalja. Položaji postaja prikazani su na Slici 2.1, a njihov detaljan popis nalazi se u Dodatku A. Obrađivani su zapisi u razdoblju od 47 godina, od 1973. do 2019. godine. S obzirom da podaci nisu u potpunosti digitalizirani, nizovi se ponešto razlikuju od postaje do postaje. Za glavne meteorološke postaje nizovi su u potpunosti bili dostupni za navedeno razdoblje. Kod klimatoloških postaja postojao je određeni manjak podataka, tako da je dio postaja imao kraći niz s dostupnim zapisima od 1984. do 2019. godine. Kišomjerne postaje imaju zasada najmanje digitaliziranih podataka - od 1973. do 1990.



Slika 2.1: Karta analiziranih postaja; simbolom kruga su prikazane klimatološke postaje, x-om su prikazane glavne meteorološke postaje (GMP), a trokutom kišomjerne postaje.

Zbog slabije dostupnosti podataka u digitalnoj formi, za potrebe ovog rada korišteni su svi dostupni digitalni skenovi te dio papirnate arhive kako bi se popunile veće praznine vremenskih nizova po postajama s ciljem što detaljnije analize tuče. Tuča se u izvještajima označuje kao ispunjeni trokut (Slika 2.2). Podaci o tuči sadrže informacije o godini, mjesecu i danu kada se dogodila tuča, zatim o početku i kraju padanja te intenzitetu tuče. Umjesto informacije o kraju padanja tuče, u radu se koristi informacija o razlici kraja i početka, tj. o trajanju. Vrijeme se zapisuje prema univerzalnom koordiniranom vremenu (UTC) koje zaostaje prema srednjoeuropskom

vremenu (SEV) za jedan sat, dakle standardno se zapisuje kao UTC+1 h. Intenzitet može označavati tuču u tragovima te tuču intenziteta 0, 1 ili 2. Tuča u tragovima je

POSTAJA SPLIT-MARJAN		MJESEC LIPANJ 1061		GODINA 2001	
DAN	P O J A V E				
1	0-1-2 35; 07-12 35; R ₂₀ ⁰⁻¹ JE 08-12 30; F _{UNE} 08 ¹⁰ -10 ¹⁰ 30; F _{UNE} 21 ⁰⁰ -23 ¹⁰ 30; pov;				
2					
3	R ₀ ⁰⁻² 05 35; R _{JE} 02 ⁰⁰ -05 ³⁰ 30; 05 ⁰⁸ -05 ¹⁷ 30; 05 ¹⁰ -05 ¹⁷ 30; 17 ¹⁵ -21 ³⁰ 30; R _{JE} 17 ³⁰ -20 ¹⁵ 30; F ₁₈ ⁴⁰ 50; 18 ²⁰ -20 ¹⁰ 30; 22 ²⁰ -23 ⁴⁰ 30;				

Slika 2.2: Primjer dnevnika motrenja s opaženom tučom.

najslabija, a ona intenziteta 2 najjača i često zbog nje nastaju velike štete. U dnevniku motrenja mogu nedostajati zapisi za cijelu godinu ili za određene mjeseci. U tom slučaju ne možemo znati je li u tom razdoblju došlo do tuče ili nije. Takve "rupe" treba izbjegavati prilikom proučavanja međugodišnjeg hoda tuče. Ako su godine, mjeseci i dani zapisani, znamo da je tada sigurno došlo do tuče. Podaci o početku, trajanju i intenzitetu mogu biti poznati ili nepoznati. Ako postaja ima redovite zapise za svaku godinu, te sve navedene podatke poznate, možemo reći da je ta postaja ima vrlo kvalitetan niz mjerenja tuče.

Tablica 2.1: Korišteni indeksi nestabilnosti s odgovarajućim definicijama i formulama.

Indeks nestabilnosti	Definicija	Formula
CAPE	Količina goriva na raspolaganju za razvoj oluja; opisuje nestabilnost atmosfere i daje približnu snagu uzlaznog strujanja u grmljavinskoj oluji. ⁵	$CAPE = \int g \left(\frac{T_{v,parcel} - T_{v,env}}{T_{v,env}} \right) dz$
K-indeks (KI)	Mjera potencijala za razvoj grmljavinskog nevremena koja se temelji na vertikalnoj stopi promjene temperature, sadržaju vlage u nižoj troposferi i visini vlažnog sloja.	$KI = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700})$
Indeks smicanja (DLS)	Razlika brzine vjetra na 6 km visine i na 10 m visine.	$V = V_{6km} - V_{10m}$
Visina nulte izoterme	Visina na kojoj je temperatura jednaka 0.	

⁵ <https://www.weather.gov/ilx/swop-severetopics-CAPE>

2.2 Indeksi nestabilnosti i podaci reanalize

Indeksi nestabilnosti uvelike pomažu u proučavanju tuče jer nam daju informacije o (nestabilnom) stanju atmosfere za pojedini dan. Indeksi se dobivaju iz numeričkih prognostičkih modela ili na temelju radiosondažnih mjerenja. Na temelju profila temperature, specifične vlažnosti, tlaka, visine i komponenti vjetra iz polja (ERA5) reanalize izračunati su K-indeks (KI), indeks smicanja (DLS) i visina nulte izoterme korištenjem programskog paketa SHARPPy⁶ (Marsh i Hart, 2012.). Konventivna raspoloživa potencijalna energija (CAPE) preuzeta je direktno iz ERA5 podataka.

2.3 Metode analize

2.3.1 Kreiranje baze podataka iz digitalnih zapisa

Digitalizacija podataka i pregled podataka po postajama omogućio je izradu baze podataka o tuči. Baza podataka za potrebe ovog rada kreirana je u obliku tablice kao CSV datoteka. U prvom stupcu nalaze se podaci o godini kada je došlo do tuče, drugi stupac sadrži podatak o mjesecima, a treći o danima. U četvrtom se zapisuje kada je tuča počela padati. Početak se bilježi kao četveroznamenasti broj gdje prva dva broja označavaju sat, a iduća dva minute (npr. 0015 za 0 sati i 15 minuta, 0720 za 7 sati i 20 minuta...). Ako je bilo 2 ili više događaja tuče unutar 2 sata zapisivao se samo onaj događaj koji je imao: a) najjači intenzitet ili b) ako su intenziteti jednaki, onaj koji je najduže trajao. Ako pak nije poznato točno vrijeme kada je tuča počela padati zapisivalo se '9999'. Ako je poznato u kojem dobu dana je počela padati, no ne i točno vrijeme, zapisivalo se sljedeće:

- 1) ako je počela padati rano ujutro šifra je '9991',
- 2) ako je počela padati prijepodne šifra je '9992',
- 3) ako je počela padati poslijepodne šifra je '9993',
- 4) ako je počela padati kasno navečer šifra je '9994',
- 5) ako je počela padati u noći šifra je '9995'.

Sljedeći stupac je trajanje. Ako ono nije poznato, ili ako je zapisano da je pojava trajala duže od 90 minuta, zapisuje se '99'. Svako trajanje iznad 30 minuta je dvojbeno, postoji mogućnost da motritelj nije naglasio da je to tuča s prekidima. U posljednjem stupcu se nalazi podatak o intenzitetu tuče. Ako je u dnevniku motrenja zapisano da je tuče bilo u tragovima, u tablicu se zapisuje vrijednost 0. Ako pak piše vrijednosti između 0 i 1 ili između 1 i 2, zapisuje se 0.5, odnosno 1.5. Primjer kako ovi zapisi izgledaju prikazan je na Slici 2.3.

⁶ <http://www.github.com/metpy/sharppy>

	A	B	C	D	E	F
1	Year	Month	Day	Start	Duration	Intensity
2	1973	11	26	825	5	1
3	1974	2	6	2104	3	2
4	1974	4	28	2330	12	1
5	1974	5	22	2100	7	1
6	1974	8	11	550	6	2
7	1974	10	16	858	7	0.5
8	1974	11	19	1810	2	0
9	1976	5	31	1602	3	1

Slika 2.3: Primjer CSV tablice s podacima za glavnu meteorološku postaju Senj.

2.3.2 Statističke metode

Baza podataka omogućava lakšu statističku obradu opažanja tuče, a analiza se vrši u programskom jeziku Python 3.7.5. Radi se vremenska i prostorna analiza cijele domene, a zatim i manjih područja koja su odabrana prema obliku godišnjeg hoda postaje ili prema lokaciji postaje. Vremenska analiza obuhvaća izrade međugodišnjih, godišnjih, dnevnih i sezonskih hodova tuče te međugodišnjih trendova. Trendovi se računaju pomoću neparametarskog Mann Kendall-ovog testa za koji postoji gotovi paket u Pythonu. Prilikom izrade trenda međugodišnjeg hoda potrebno je pripaziti da obrađeni niz bude bez "rupa", tj. bez prekida. Za tu analizu izabrano je 23 postaja s neprekidnim podacima od 1973. do 2019. U dnevnom hodu su vrijednosti grupirane na puni sat radi preglednosti i na dva sata radi usporedbe s dnevnim hodom tuče u Istri. Sezonski hod obuhvaća četiri sezone:

- 1) DJF– zimska sezona, tu ulaze prosinac, siječanj i veljača,
- 2) MMA – proljetna sezona, tu ulaze ožujak, travanj i svibanj,
- 3) JJA– ljetna sezona, tu ulaze lipanj, srpanj i kolovoz,
- 4) SON – jesenska sezona, tu ulaze rujanj, listopad i studeni.

U radu analiza je uključivala i izradu godišnjih i dnevnih hodova tuče prema intenzitetima. Dogovoreno je da se prikazuju samo intenziteti 0, 1 i 2 što znači da se decimalni brojevi moraju zaokružiti na cijele brojeve. Zaokružuju se na veći broj – znači 0.5 u analizu ulazi kao intenzitet 1, a 1.5 ulazi kao intenzitet 2. Trajanje se prikazuje pomoću histograma tako da jedan stupac u histogramu prikazuje učestalost jedne vrijednosti, odnosno učestalost jedne minute. Svi navedeni nizovi se spremaju u *NetCDF* datoteke kojima je lako upravljati. Definira se i razlika između '*dana s tučom*' i '*dogadaja tuče*'. Dan je podskup od događaja, odnosno ako je neki dan tuča

zabilježena, onda je to događaj tuče i taj dan je dan s tučom. Ako je zabilježeno da je tuča pala npr. 3 puta, to su 3 događaja tuče, no to je i dalje 1 dan s tučom.

2.3.3 Metode obrade indeksa nestabilnosti

Podaci za indekse se nalaze u nekoliko *NetCDF* datoteka. Njih je bilo potrebno spojiti kako bi imali jednu veliku datoteku iz koje onda možemo vaditi vrijednosti varijabli za svako područje i za svaki dan u godini. Njih se prvo spojilo pomoću CDO programa, a zatim se za cijeli niz (od 1984. do 2019. godine) napravile dnevni srednjaci varijabli. Dakle, svaka kombinacija (g. širina, g. dužina) koordinata je za svaki dan sadržavala dnevni srednjak svakog indeksa nestabilnosti. Ako je na nekoj glavnoj ili klimatološkoj postaji zabilježena tuča, program bi pročitao koje su geografske koordinate te postaje, na mreži bi uzeo točku koja je najbliža tim koordinatama, pročitao bi vrijednost željenog indeksa u toj točki, te bi uzeo i vrijednosti 8 susjednih točaka i sve te vrijednosti bi usrednjio. Dakle vrijednosti indeksa se usrednjavaju dva puta – dnevno i prostorno.

3. Rezultati i diskusija

3.1 Obilježja baze podataka o tuči

Zbroj zabilježenih slučajeva tuče na svim ispitivanim postajama je 2262 (Slika 3.1). Postoci nad crvenim stupcima naznačuju koliki udio od ukupnog broja slučajeva tuče (znači od 2262) imaju određene postaje. Ako pogledamo Sliku 3.1 vidimo da glavne meteorološke postaje imaju najviše zabilježenih slučajeva tuče; njih 1130 ili 50%. Sljedeće su po broju podataka klimatološke s 852 zabilježena događaja (ili s oko 37,7%), a posljednje su kišomjerne postaje sa zabilježenih 280 događaja tuče ili 12.4% uz napomenu da su podaci s kišomjernih postaja preuzeti samo za razdoblje od 1973. do 1990. Na slici je također prikazano i koliko ima događaja tuče za koje su svi podaci evidentirani. Postoci iznad tih stupaca označuju koliki je udio slučajeva sa svim poznatim podacima u ukupnom broju događaja na postajama. Tu ponovno prednjače glavne meteorološke postaje s 86.5%, dok od svih kišomjernih postaja samo 20.4% njih imaju zapisane sve podatke. Prema tome bi najkvalitetniji podaci bili oni s glavnih meteoroloških postaja. To je i za očekivati jer su to postaje s 2 do 5 profesionalnih meteoroloških motritelja koje imaju ograđeno motrište i radni prostor i obavljaju motrenja ili registraciju svih meteoroloških elemenata tijekom 24 sata, prema propisima Svjetske meteorološke organizacije i DHMZ-a⁷.

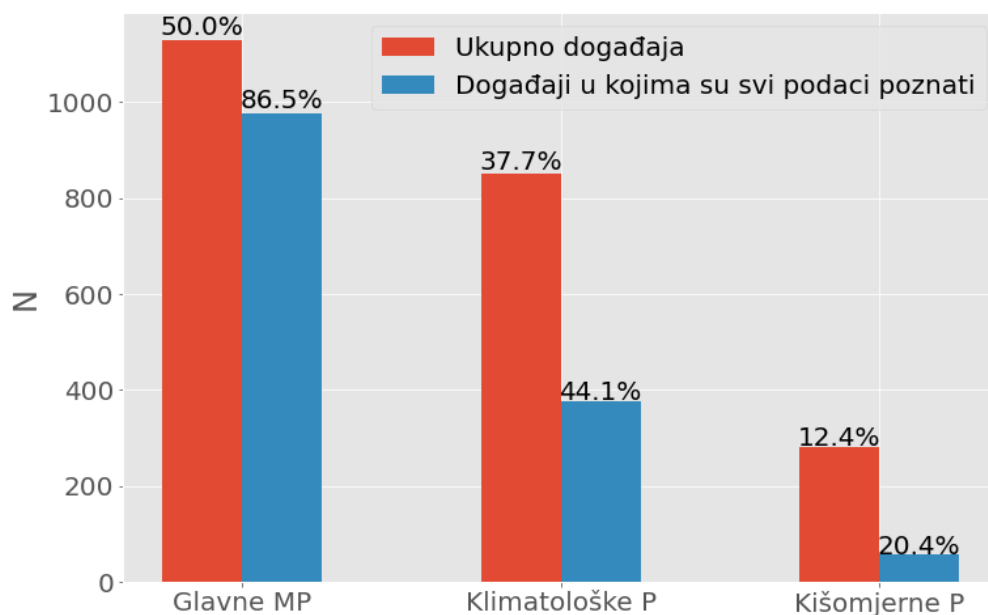
Sljedeće po kvaliteti su klimatološke postaje⁸, a na njima se obavljaju motrenja u 07, 14 i 21 h po srednjoeuropskom vremenu (SEV-u) i prate meteorološke pojave tijekom dana. Motrenja obavljaju neprofesionalni motritelji, a postaje su najčešće smještene unutar privatnih posjeda. Prema analizi slučajeva za koje su svi podaci poznati, najlošije su kišomjerne postaje⁹ na kojima motritelji-amateri obavljaju mjerenja količine oborine (npr. kiše, zrna tuče, magle, snijega, ...) i visine snježnog pokrivača. Motritelj će uz mjerenje količine oborine odrediti i zapisati u kojem se obliku oborina javila (kiša, snijeg, tuča, solika, ...), kojim intenzitetom (slaba, umjerena, jaka) i koliko je oborina trajala.

Na Slici 3.2 prikazana je daljnja analiza podataka s navedenih postaja, odnosno prikazan je stupanj (ne)dostupne informacije o događajima tuče. Takvih slučajeva ima 851. Na Slici 3.3a vidimo detaljnije udjele događaja na postajama koje imaju poznat intenzitet i početak tuče, a nepoznato trajanje. Sve postaje su približno slične, a najveći postotak ovdje imaju klimatološke postaje. Na Slici 3.3b prikazan je udio slučajeva s

⁷ https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja¶m=pmm&el=glavne [03.09.2021]

⁸ https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja¶m=pmm&el=klimatoloske [03.09.2021]

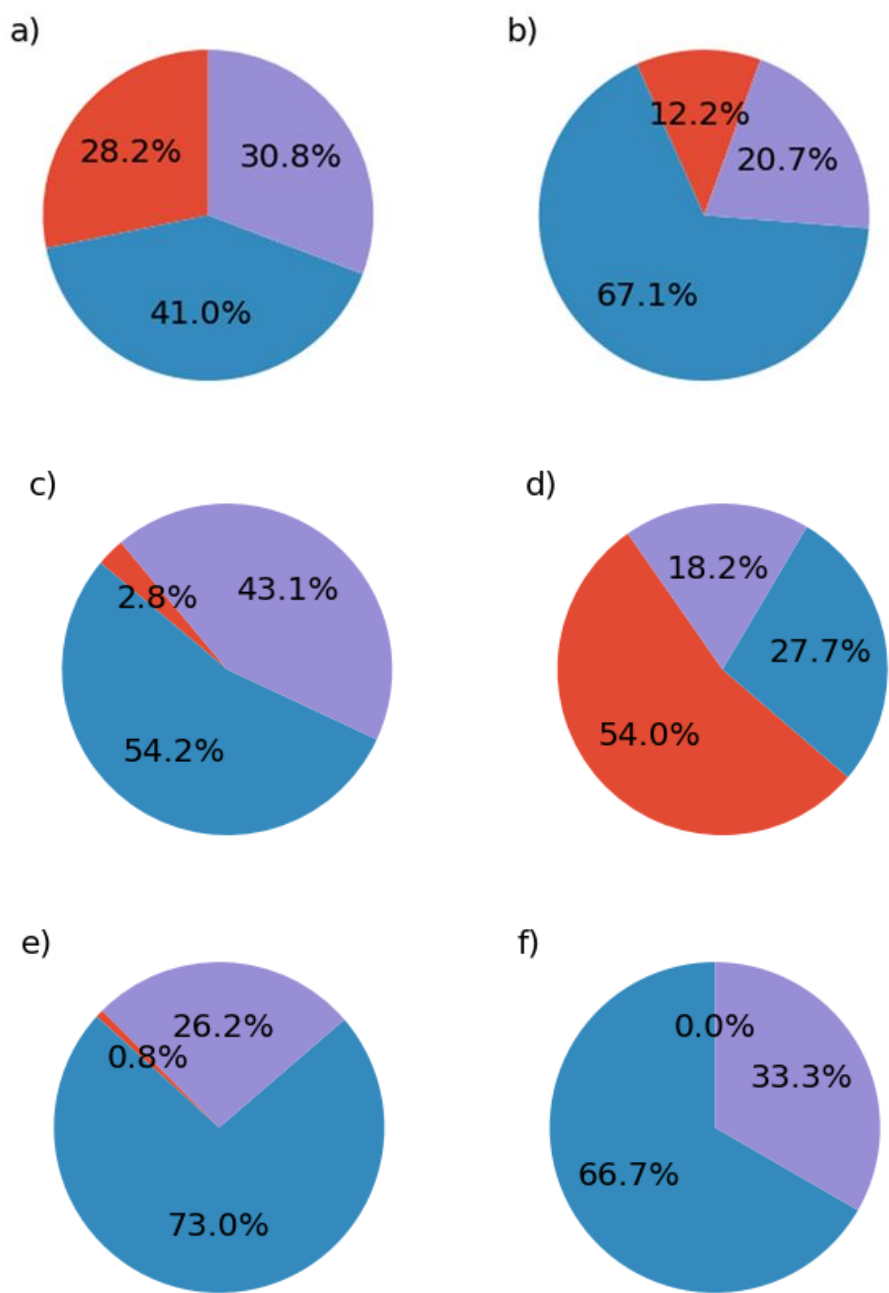
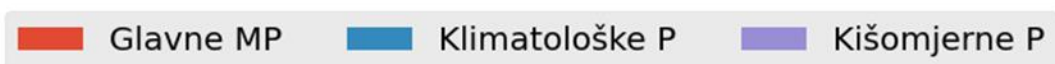
⁹ https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja¶m=pmm&el=kisomjerne [03.09.2021]



Slika 3.1: Prikaz podataka po meteorološkim postajama za cijelu obalu. Crveni stupci prikazuju zbroj svih događaja tuče nad grupom postaja, a plavi stupci broj događaja tuče za koji su svi podaci poznati. Postoci iznad crvenih stupaca označuju koliki udio od ukupnog broja događaja tuče imaju određene postaje, a postoci iznad plavih stupaca označuju koliki je udio događaja tuče sa svim poznatim podacima u ukupnom broju događaja tuče na postajama.



Slika 3.2: Ima ukupno 851 događaj tuče s nepotpunim informacijama o pojavi. Na slici je prikazano koliki je udio pojedinih takvih slučajeva u ukupnim događajima s nepotpunim podacima. Najviše ima podataka kada je poznat početak i trajanje te nepoznat intenzitet, a najmanje događaja kada je poznato samo trajanje.



Slika 3.3: Prikaz udjela događaja tuče s određenim poznatim podacima. (a) događaji tuče u kojima je poznat intenzitet i početak, a nepoznato je trajanje. (b) poznato trajanje i početak, a nepoznat intenzitet, (c) svi podaci su nepoznati (trajanje, početak i intenzitet), (d) poznat je samo intenzitet, a trajanje i početak događaja tuče nepoznati, (e) poznat je početak, nepoznato trajanje i intenzitet i (f) događaji s poznatim trajanjem, a nepoznatim početkom i intenzitetom.

poznatim početkom tuče i trajanjem, a nepoznatim intenzitetom. Takvih podataka ima najviše (što možemo vidjeti na Slici 3.2) i ovdje je prisutna velika razlika između glavnih i klimatoloških postaja – udio glavnih je tek 12.2%, a klimatoloških čak 67.1%. U slučajevima kada je nepoznat i intenzitet i početak tuče i njeno trajanje, tj. "svi"

podaci su nepoznati (Slika 3.3c), kišomjerne i klimatološke postaje su približno jednake. Glavne meteorološke postaje imaju samo 2.8% takvih događaja u kojima su svi podaci nepoznati. Događaji s jednim poznatim podatkom su prikazani na Slikama 3.3d-f; za poznati intenzitet (Slika 3.3d), s poznatim početkom (Slika 3.3e) i s poznatim trajanjem (Slika 3.3f). Zanimljivo je primijetiti kako se u slučaju kada je intenzitet poznat, a ostali parametri nisu, ističu glavne meteorološke postaje s čak 54% takvih slučajeva. Nasuprot tome postotak broja događaja koji se odnosi na glavne meteorološke, a da imaju poznati početak i trajanje događaja (Slike 3.3e i f) iznosi približno 0%. Broj događaja s poznatim trajanjem nema prevelikog značaja u analizi zbog njihovog udjela koji iznosi svega 0.4% podataka (Slika 3.2).

Iz ove analize može se potvrditi prethodni zaključak o najvećoj kvaliteti podataka s glavnih meteoroloških postaja. One imaju najmanji postotak događaja tuče sa svim nepoznatim podacima, te s poznatim samo jednim podatkom. Iznimka je jedino situacija kada je poznata informacija o intenzitetu, a ostale su nepoznate. Tu prednjače glavne meteorološke postaje, i to nam govori da motritelji na tim postajama posebno obraćaju pažnju na intenzitet tuče. S druge strane, ako usporedimo Slike 3.3b i 3.3d može se uočiti da se na klimatološkim postajama veća važnost pridaje zapisivanju početka i trajanja nego zapisivanju intenziteta. Prema ovoj analizi klimatološke postaje su one s najlošijim podacima. Više od pola evidentiranih slučajeva ima sve nepoznate podatke. Veliki je postotak situacija sa samo jednim poznatim podatkom, i veliki je postotak situacija s nepoznatim intenzitetom. Bitno je napomenuti da osim velikih postotaka nepoznatih parametara, na ovim postajama postoji i dosta "rupa" u podacima, što znači da često fali nekoliko godina ili nekoliko mjeseci. To nije slučaj s kišomjernih postajama, koje iako često imaju nepoznate podatke, nemaju rupe. No isto tako, one su u ovoj analizi prividno kvalitetnije jer su za njih prikupljeni samo podaci od 1973. do 1990. To je predratno razdoblje i to bi mogao biti razlog zašto nema rupa u podacima. Kada bi se uvrstili podaci kišomjernih postaja od 1990. godine na dalje, dobila bi se jasnija slika o njihovoj kvaliteti. Na niti jednoj postaji nije zabilježen slučaj za koji je poznat intenzitet i početak, a nepoznato trajanje. U dnevnicima motrenja početak zna biti zapisan bez trajanja, no trajanje gotovo nikad nije zapisano bez početka. U rijetkim slučajevima početak bez trajanja zna biti popraćen nepoznatim intenzitetom i zato u analizi nisu obrađene ovakve situacije.

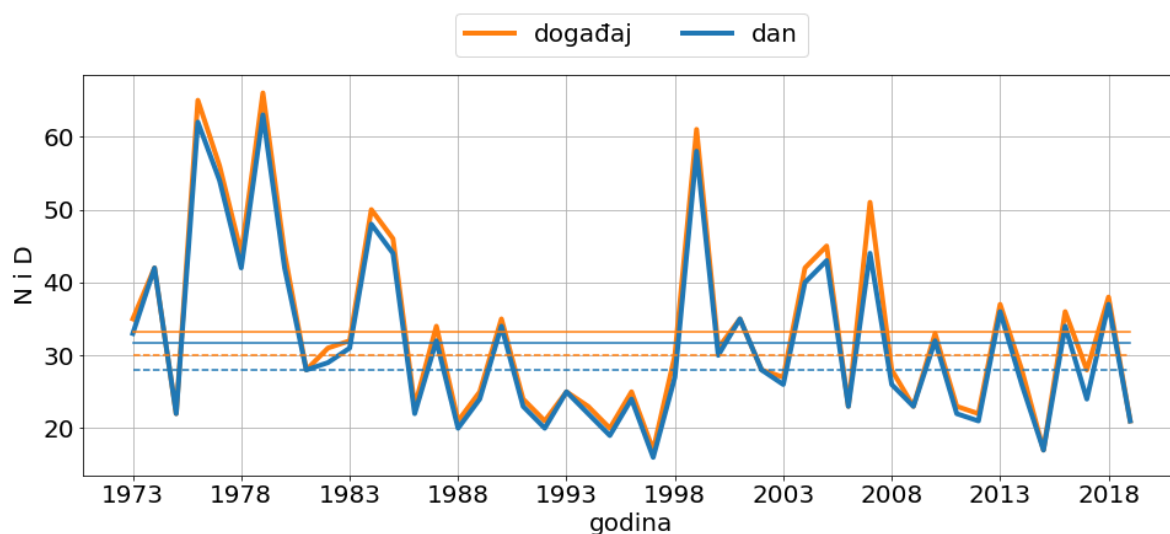
3.2 Analiza događaja tuče i dana s tučom

3.2.1 Godišnji i dnevni hodovi za istraživano područje

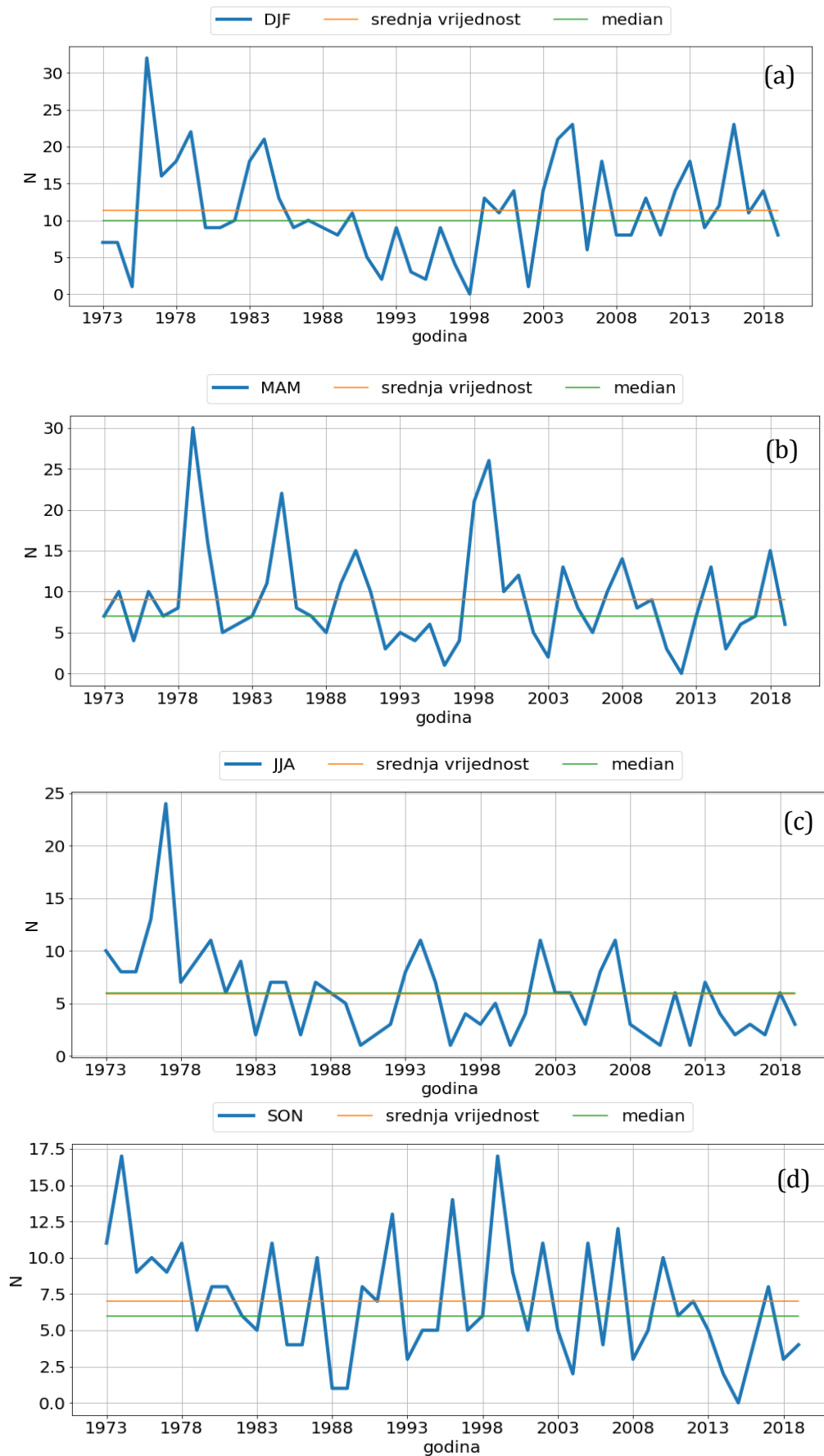
Za svaku postaju (od njih 55) izrađeni su (među)godišnji hodovi za dostupne podatke o tuči. Njihov kumulativni doprinos čitavom istraživanom području prikazan je na Slici 3.4 za dva tipa podataka, ukupan skup događaja tuče (N) i skup dana s tučom (D).

Ovi grupni rezultati omogućuju usporedbu podataka dobivenih za Istru (iz Jelić i sur., 2020.) i ostatka obale (Slike 3.4 do 3.11).

Na Slici 3.4 vremenski nizovi događaja i dana s tučom za čitavu promatranu domenu i sve postaje su izuzetno nepravilnog oblika te pokazuju velike međugodišnje varijacije. Jelić i sur. (2020.) su analizom dobili kako je na području Istre, za razdoblje od 1963. do 2017., u prosjeku zabilježeno 14.2 dana s tučom godišnje te 19.2 događaja tuče godišnje. Rezultati su dobiveni na podlozi 14 postaja s neprekinutim nizovima, što nas dovodi do rezultata od 1.01 dana s tučom godišnje na području Istre. Rezultati za ostali priobalni dio, za razdoblje od 1973. do 2019. (Slika 3.4), pokazuju da je u prosjeku zabilježeno 31.8 dana s tučom godišnje i 33.2 događaja tuče godišnje. Rezultati su dobiveni na podlozi 23 postaja s neprekinutim nizovima, što nas dovodi do rezultata od 1.38 dana s tučom godišnje za područje ostatka priobalja. To su značajno veće vrijednosti od onih za Istru. S obzirom da međugodišnji hodovi ukazuju na nekoliko ekstremno visokih i niskih vrijednosti srednja vrijednost možda i nije vjerodostojni pokazatelj te stoga valja promotriti vrijednosti medijana koji iznose 30 za događaje tuče i 28 za dane s tučom. Za razliku od podataka u Istri, razlika između dana i događaja tuče nije izražena. Dani i događaji s tučom za većinu priobalnog dijela se često preklapaju, a razlike su u većini godina minimalne. Godina s najvećom razlikom između dana i događaja s tučom je 2007. To znači da je ovdje manja tendencija ponovnog pojavljivanja tuče u danu nego što je to u Istri. Godine s najvećim brojem dana i slučajeva tuče su 1976. (65 događaja i 62 dana), 1979. (66 događaja i 63 dana) i 1999. (61 događaj i 58 dana). Međugodišnji hod događaja tuče nema trend, no postoje naznake blago padajućeg trenda s razinom signifikantnosti od 0.063, dok je za hod dana s tučom trend padajući s razinom signifikantnosti od 0.045 – razliku vjerojatno nose 1999. i 2007. godina.



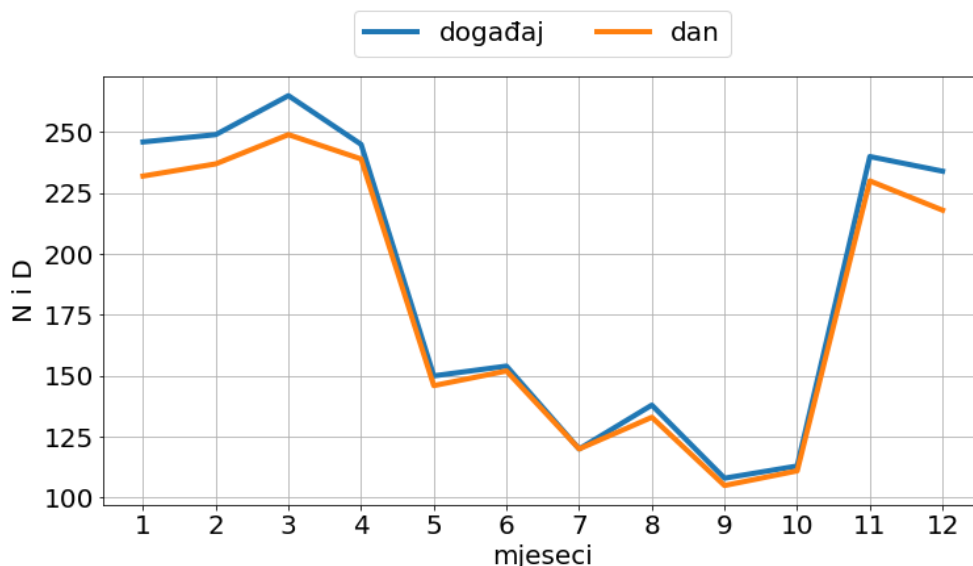
Slika 3.4: Međugodišnji hod događaja tuče (N) i dana s tučom (D). Ravnim linijama su prikazane odgovarajuće srednje vrijednosti i medijane nizova. Pune linije predstavljaju srednje vrijednosti, a isprekidane medijane.



Slika 3.5: Međugodišnji hodovi događaja tuče (N) po sezonama; (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA i (d) SON sezone. Ravnim linijama prikazane su srednje vrijednosti (crveno) i medijani (zeleno) događaja tuče.

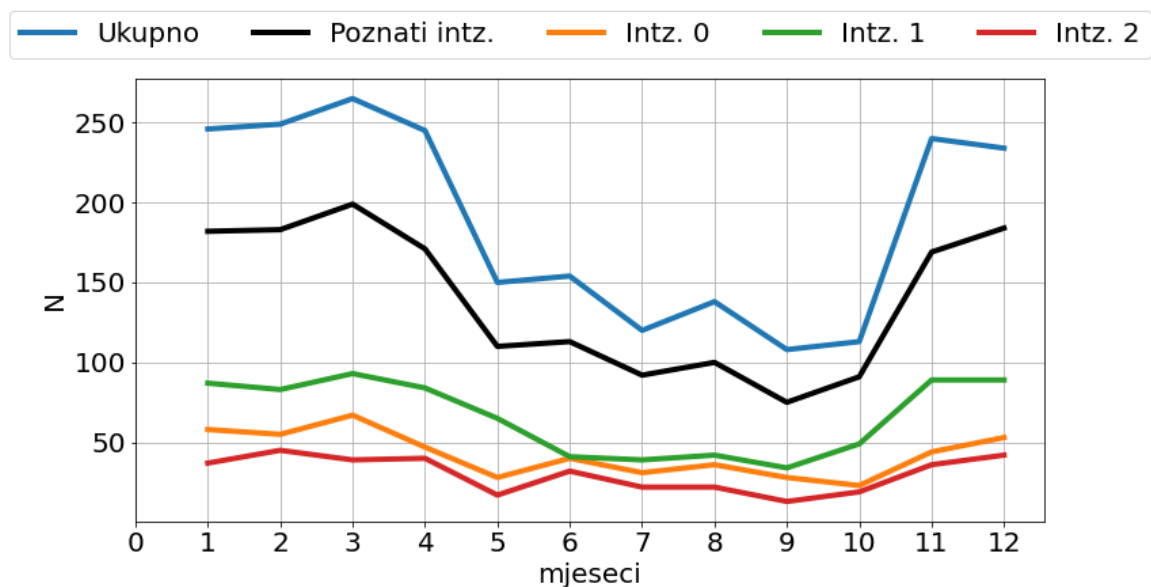
Međugodišnji hod događaja tuče (N) po *sezonama* prikazan je na Slici 3.5. DJF u prosjeku ima 11.3 događaja tuče godišnje, a MAM devet događaja godišnje. Vrijednost medijana za DJF sezonu je 10, a za MAM 7. Rezultati pokazuju da se 1976. godine od ukupno 65 događaja tuče, njih 32 dogodilo u DJF sezoni. Dvije godine se ističu po učestalosti proljetne tuče; u 1979. godine opaženo je 30 događaja te u 1999. 26 događaja. Niti jedna od te dvije sezone (DJF i MAM) nema izražen trend.

U JJA sezoni zabilježeno je ekstremno puno tuče 1977., dok je ostalih godina ima vrlo malo. JJA u prosjeku ima 5.9 događaja tuče godišnje, što je manje od svih sezona, a SON, 7 događaja godišnje. Medijan za JJA sezonu je 6, a SON je jedina sezona čiji je medijan veći od srednje vrijednosti te iznosi isto 6. Time je SON sezona ona koja ima najmanju razliku između maksimalne i minimalne vrijednosti. Obje sezone imaju padajući trend. Kako ukupni događaji imaju naznaku blago padajućeg trenda (Slika 3.4), a DJF i MAM sezona nemaju nikakav trend (Slika 3.5), može se zaključiti da se ukupni gubitak u broju događaja tuče s godinama odražava na ljetnoj i jesenskoj sezoni. Ovaj rezultat se donekle podudara s rezultatima dobivenima za Istru. Jelić i sur. (2020.) su uočili redistribucije događaja tuče po sezonama za Istru i to prema proljetnom (MAM) i zimskom (DJF) periodu, dok ljetni period ima sve manje opaženih događaja tuče. Ova redistribucija mogla bi biti pod utjecajem porasta srednjih dnevnih temperatura i povećanog broja toplinskih valova tijekom ljeta (na koje ukazuju druge klimatske studije) koji podižu nivo smrzavanja na veće visine iznad tla i ometaju stvaranje tuče.



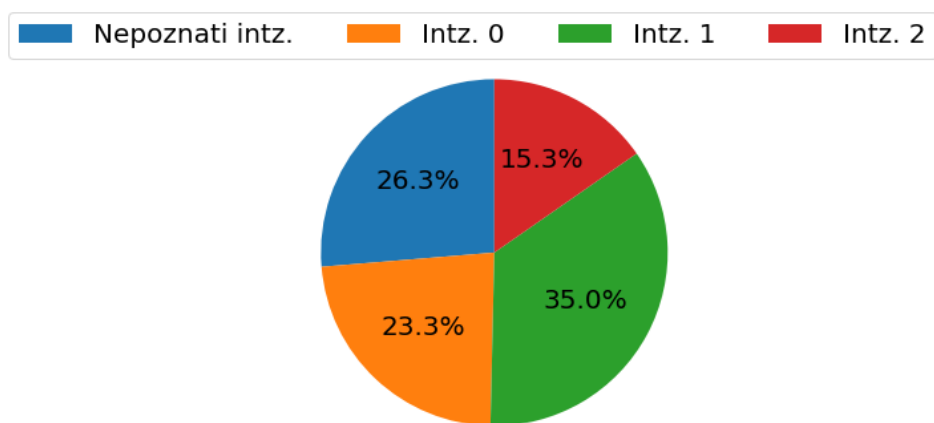
Slika 3.6: Godišnji hodovi događaja s tučom (N) i dana s tučom (D) za cijelu obalu za razdoblje 1973. do 2019., za 55 postaje sa slike 2.1.

Razliku između dva skupa podataka, dana s tučom i događaja tuče, te njihove godišnje hodove možemo promotriti na Slici 3.6. Njihova međusobna razlika je gotovo neprimjetna od travnja do listopada, a iako je za ostatak godine ona ipak vidljiva i dalje nije velika. Najveća aktivnost tuče prisutna je u hladnijem dijelu godine, odnosno od studenog do travnja sa značajnim padom aktivnosti nakon travnja i značajnim porastom aktivnosti nakon listopada. Ovakvi rezultati slični su onima koje je dobio Santos (2019) za Portugal i Kotinis-Zambakas (1988.) za Grčku. Naime, u Portugalu u toplijem dijelu godine (od travnja do listopada) ima vrlo malo zabilježene tuče, a gotovo je nikad nema u srpnju i kolovozu, dok je duž Hrvatske obale najmanje ima u rujnu, no iako je ima malo, nije toliko rijetka pojava. Mjesec koji bilježi maksimalnu aktivnost tuče u Portugalu je travanj, dok je ovdje to ožujak. Zimi su u Portugalu sinoptički uvjeti za snažnu konvekciju pogodniji zbog toplijih zima nego u srednjoj Europi. Ljeti se tamo osjeća utjecaj Azorske anticiklone koji pogoduje uvjetima supsidencije. Hrvatsko priobalje također ima blaže zime od kontinentalnog dijela, te se isto tako osjeća utjecaj Azorske anticiklone pa bi to mogao biti razlog zašto je godišnji hod na tom području sličan godišnjem hodu Portugala. Istra ima drukčiji hod i tamo vrijedi da je 70% aktivnosti tuče zabilježeno u toplijem dijelu godine (travanj-listopad) sa znatnim porastom aktivnosti u travnju, te da je srpanj najaktivniji mjesec i za događaje i za dane s tučom. Istra je dakle prema godišnjem hodu tuče bliža kontinentalnom dijelu Hrvatske (Počakal, 2012.), te zemljama srednje Europe (Punge i Kunz, 2016.), dok je ostatak obale sličniji Portugalu.



Slika 3.7: Godišnji hodovi događaja tuče (N) različitih intenziteta za razdoblje 1973.-2019. za 55 postaja u čitavom priobalju; intenzitet 0 (narančasto), intenzitet 1 (zeleno) i intenzitet 2 (crveno). Plava linija predstavlja sve događaja tuče bez obzira na poznate i nepoznate podatke, a crna predstavlja događaje tuče kada je intenzitet poznat.

Za potrebe analize godišnjeg hoda intenziteta potrebno je grupirati događaje tuče koji imaju poznati intenzitet i za njih također napraviti godišnji hod (Slika 3.7.). On je općenito manji od ukupnog godišnjeg hoda, što je i za očekivati jer sadrži manje podataka, no hodovi ukupnog intenziteta ga vrlo dobro prate. Najzastupljenija je tuča intenziteta 1 (Slike 3.7 i 3.8), zauzima 35% od ukupnog godišnjeg hoda, a on ima i najizraženije ekstreme – maksimum u ožujku, studenom i prosincu, a minimum u rujnu. Sljedeća po zastupljenosti je tuča nepoznatog intenziteta s 26.3%. Potom slijedi tuča intenziteta 0 s 23.3% koje cijele godine ima više-manje ujednačeno, a slabo izraženi maksimum prisutan je u ožujku i slabo izraženi minimum u listopadu. Najmanje ima najsnažnije tuče – one intenziteta 2 (15.3%), kod koje su ekstremi također slabo izraženi. Iako je učestalost najveća u zimskim mjesecima (s glavnim maksimumom u veljači), tijekom toplog dijela godine ima lokalni maksimum početkom ljeta – u lipnju.

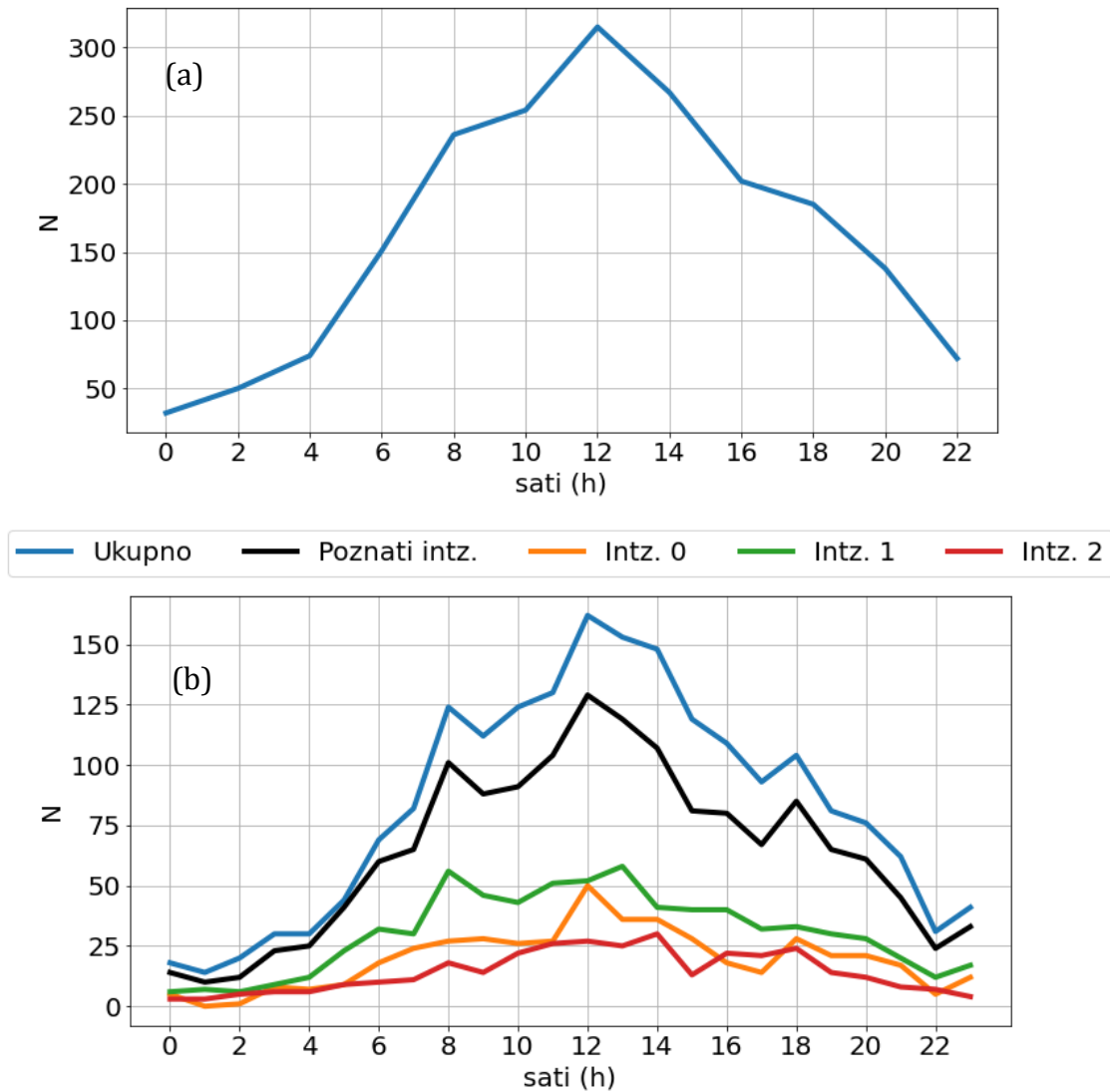


Slika 3.8: Udio pojedinog intenziteta u godišnjem hodu. Najviše ima intenziteta 1 (35%), a najmanje intenziteta 2 (15.3%).

Dnevni hod na Slici 3.9 grupiran je na dvosatne i na jednosatne intervale te se uočava kako porast dnevne aktivnosti prati dnevni uzorak zagrijavanja. Dolazi do naglog porasta jutarnje aktivnosti od 6 do 8 sati, a nakon toga postepeno raste do glavnog maksimuma u 12 sati. Poslije toga aktivnost ponovno pada s naznakom poslijepodnevnih lokalnih maksimuma u 16 i 18 sati. Jelić i sur. (2020.) također ističu pojavu ranojutarnjeg lokalnog maksimuma koji bi mogao biti posljedica izmjene kopna i mora. Promjene u termodinamičkim svojstvima površine doprinose stvaranju razlika u turbulentnim tokovima latentne i senzibilne topline te posljedično generiranju lokalnog režima strujanja što najvjerojatnije doprinosi nastanku ranojutarnje konvekcije. Sam mehanizam nastanka ovog maksimuma bi trebalo dalje istražiti.

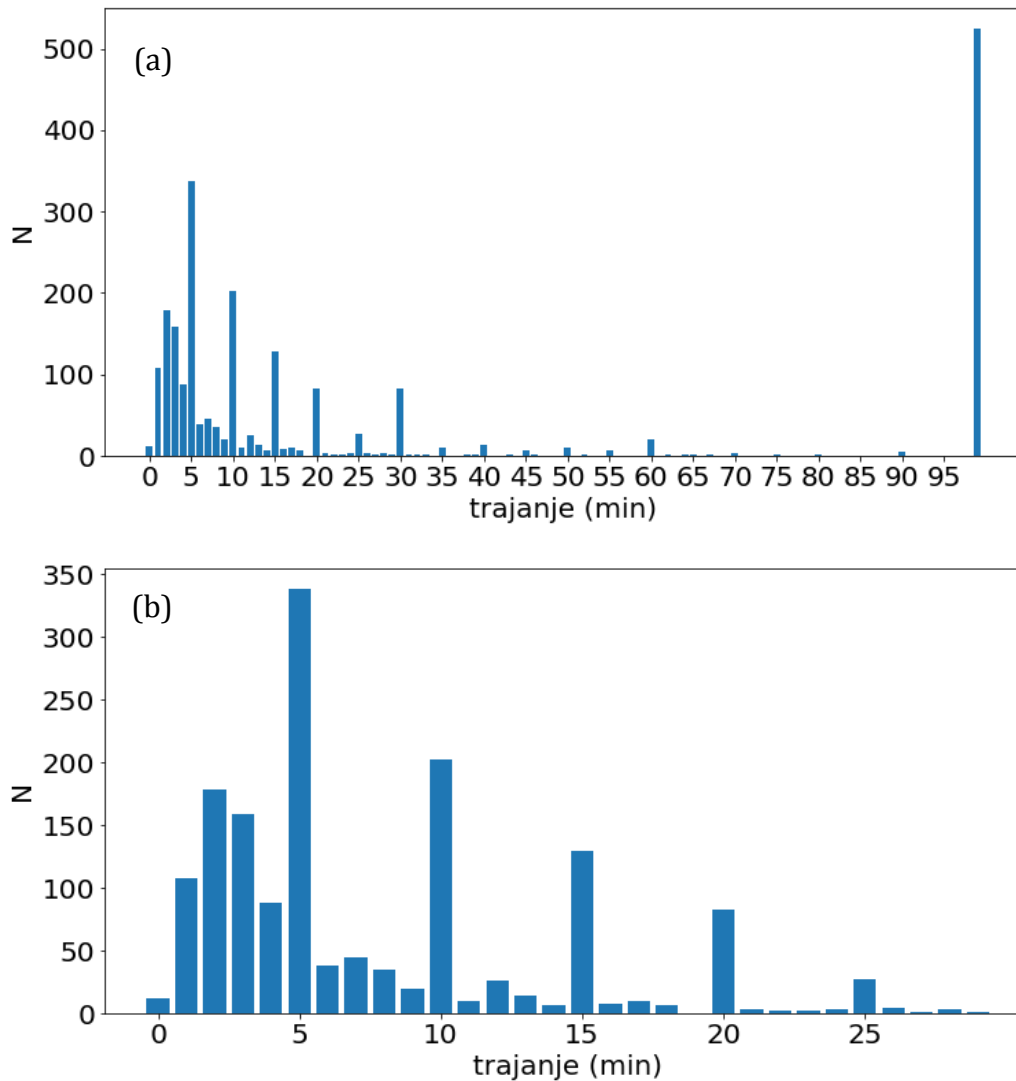
U Istri tuča slabijeg intenziteta (u našem slučaju 0 i 1) doseže maksimum aktivnosti u podne, a jaka tuča ima dva maksimuma, jedan u 12 h, a drugi u 16 h.

Ovdje pak intenzitet 0 dominira u podne s vrlo izraženim maksimumom, intenzitet 1 je snažniji prijepodne, a intenzitet 2 poslijepodne (Slika 3.10). Snažnija poslijepodnevna aktivnost tuče intenziteta 2 može biti povezana s odgođenom/produženom konvekcijom do koje može doći iz raznih razloga (Touvinen i sur., 2009.), što omogućava sustavu da razvije jaču tuču (Jelić i sur., 2020.).

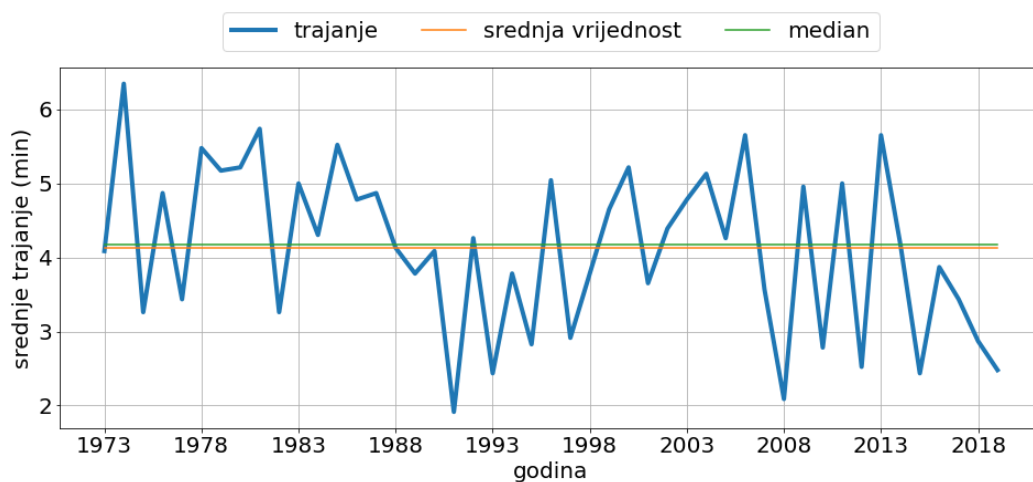


Slika 3.9: Dnevni hod događaja tuče (N) u razdoblju 1973.-2019. za čitavu istraživanu domenu i 55 postaja. (a) Podaci su grupirani na dvosatni interval radi izgladivanja funkcije i lakšom usporedbom s dnevnih hodom u Istri. (b) dnevni hodovi događaja tuče za različite intenzitete; intenzitet 0 (narančasto), intenzitet 1 (zeleno) i intenzitet 2 (crveno). Plava linija predstavlja sve događaja tuče bez obzira na intenzitete, a crna predstavlja događaje tuče kada je intenzitet poznat.

U dnevnicima motrenja često je evidentirana tuča koja traje dulje od 30 minuta. Ako pogledamo Sliku 3.10 možemo uočiti kako prvo trajanje tuče raste do 5 minuta, a nakon toga vrijednosti počnu padati. Za 30 minuta vrijednosti ponovno skoče te time



Slika 3.10: (a) Ukupna trajanja tuče (min) za čitav dostupan niz podataka (N) s 55 postaja u razdoblju 1973.-2019. S 99 su zapisana trajanja koja nisu poznata. (b) Uvećani dio prikaza (a) u kojem se vremensko trajanje ograničilo na 29 minuta.



Slika 3.11: Međugodišnji hod trajanja tuče (min) za čitavo ispitivano razdoblje (1973.-2019.) i sve postaje. Ravnim linijama prikazane su srednje vrijednosti (narančasto) i medijani (zeleno).

bude sumnju u kvalitetu tih podataka. Iz tog razloga sve iznad 29. minuta trajanja tuče se izbacuje iz daljnje analize.

Slično kao i u Istri, primjećuje se i tendencija zaokruživanja trajanja na pravilne intervale, te bilježenje početka tuče na 0., 15., 30. i 45. minutu sata. Zabilježen je porast broja događaja do trajanja od 2 minute, zatim pad do 4 minute, te ponovni nagli rast, te najveći broj događaja tuče koja je trajala 5 minuta – to je vrlo vjerojatno i zbog navedenog zaokruživanja, (slika 3.10).

Za razliku od trenda izračunatog za trajanje u Istri koji je dobiven kao uzlazan, ovdje je prisutan negativan trend trajanja. Na slici 3.14 vidimo da su srednja vrijednost srednjeg trajanja po godinama i medijan približno slični, a nešto su veći od 4 minute, no ipak su manji od prosječnog trajanja tuče u kontinentalnoj Hrvatskoj za koje su Počakal i sur. (2018.) dobili da je 4.9 minuta (s iznimkom za područje između 3 niske planine za koje je pokazano da je srednje trajanje 6.3 minute). U prosjeku je tuča najdulje trajala 1974. godine – nešto više od 6 minuta, a najkraće 1991. godine kada je trajala kraće od 2 minute.

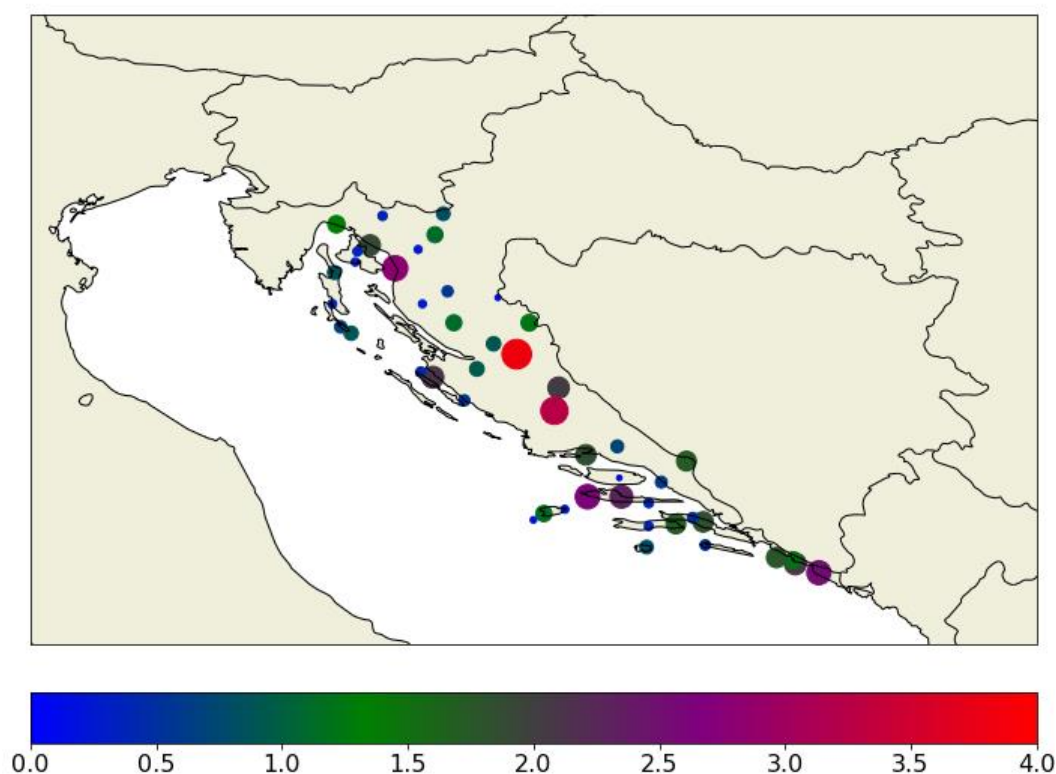
3.2.2 Frekvencije dana s tučom

Međugodišnja frekvencija dana s tučom na određenom području ukazuje na područja gdje je tuča učestalija. Srednja međugodišnja frekvencija tuče računa se na sljedeći način:

- (i) za svaku postaju se pronađe najduži neprekinuti period, P , (od najmanje 10 godina),
- (ii) za period (P) se računa ukupni broj dana s tučom (M),
- (iii) M se podijeli s duljinom odabranog perioda ($f = M/P$).

Jelić i sur. (2020.) u Istri identificiraju nekoliko "vrućih" (njih 3) i "hladnih" (njih 3) točaka. "Vruće" točke definirane su kao one gdje je frekvencija veća od 1.7 dana s tučom godišnje, a "hladne" one gdje je frekvencija manja od 0.5 dana s tučom godišnje. Sličan pristup primijenio se na rezultate analize frekvencije tuče po postajama duž cijele obale. Neke postaje su odbačene jer je na njima zabilježeno premalo tuče (manje od 5 događaja). Primjenom iste metode dobiveno je da je čak 15 postaja s frekvencijom većom od 1.7 te 14 postaja s frekvencijama manjima od 0.5. Mala frekvencija (< 0.5) nije pronađena niti na jednoj glavnoj meteorološkoj postaji i obično se javljala kod kišomjernih postaja, za koje se uočilo da imaju najlošiju kvalitetu podataka. Postaje s najvećim frekvencijama su Gračac s 3.8 i Drniš s 3.3 dana s tučom godišnje. Obje su klimatološke postaje, a glavna meteorološka postaja s najvećom frekvencijom je Senj s 2.8 dana s tučom godišnje. Brojni autori izvješćuju o visokoj korelaciji između povećane učestalosti tuče i blizine planinskih područja

(Počakal i sur., 2018.; García-Ortega i sur., 2012.; Mezher i sur., 2012.; Sioutas i sur., 2009.; Zhang i sur., 2008.; Etkin i Brun, 2001.; Vinet, 2001.). U radu Počakal i sur. (2018.) primijećena je veća prostorna gustoća tuče u blizini planina u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Orografija bi prema tome mogla biti uzrok povećane frekvencije tuče i na ova tri područja. Naime, Gračac je od Dalmacije odijeljen visokim masivom Velebita, Delnice su također u njegovoj neposrednoj blizini, a Senj je smješten između mora, obronaka Kapele i Velebita. Najmanje frekvencije u prosjeku imaju kišomjerne postaje, klimatološka postaja s najmanjom frekvencijom je Korenica (0.1), a glavna meteorološka postaja je Makarska (0.6).

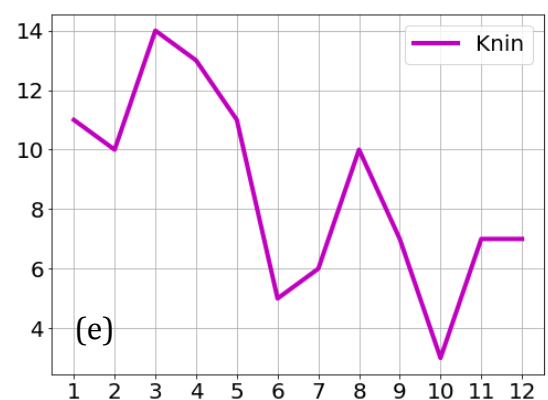
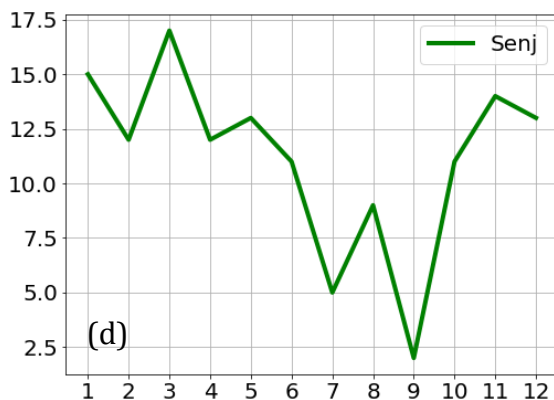
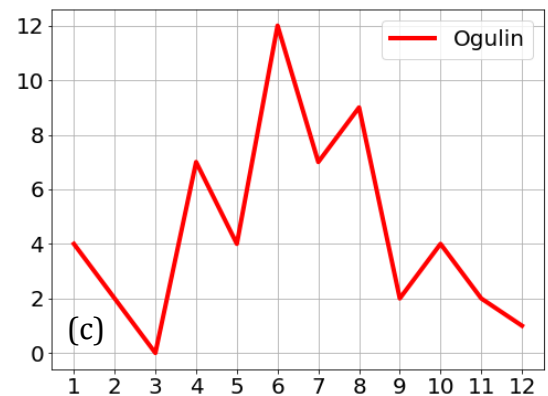
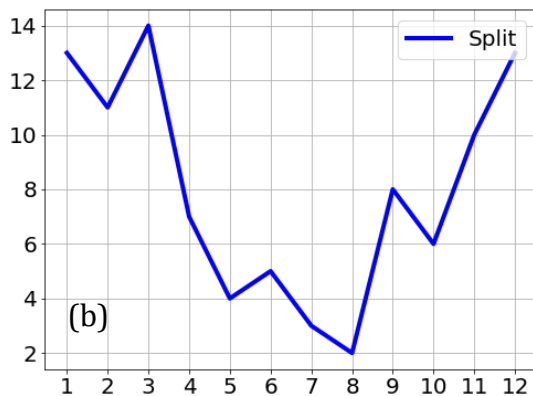
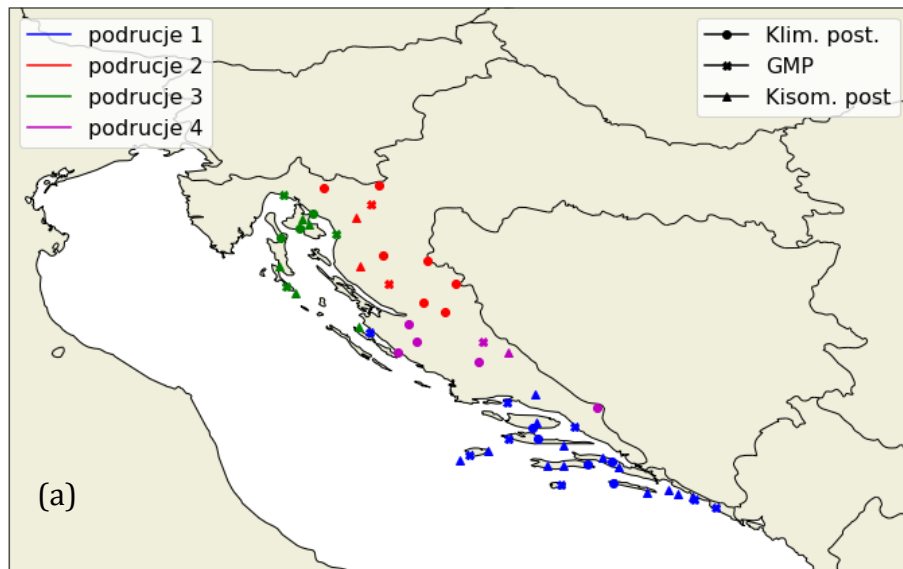


Slika 3.12: Godišnja frekvencija tuče. Frekvencija tuče odgovara obojenoj skali te veličini kruga – što je krug veći frekvencija je veća.

3.2.3 Prostorne razlike u čitavoj istraživanoj domeni

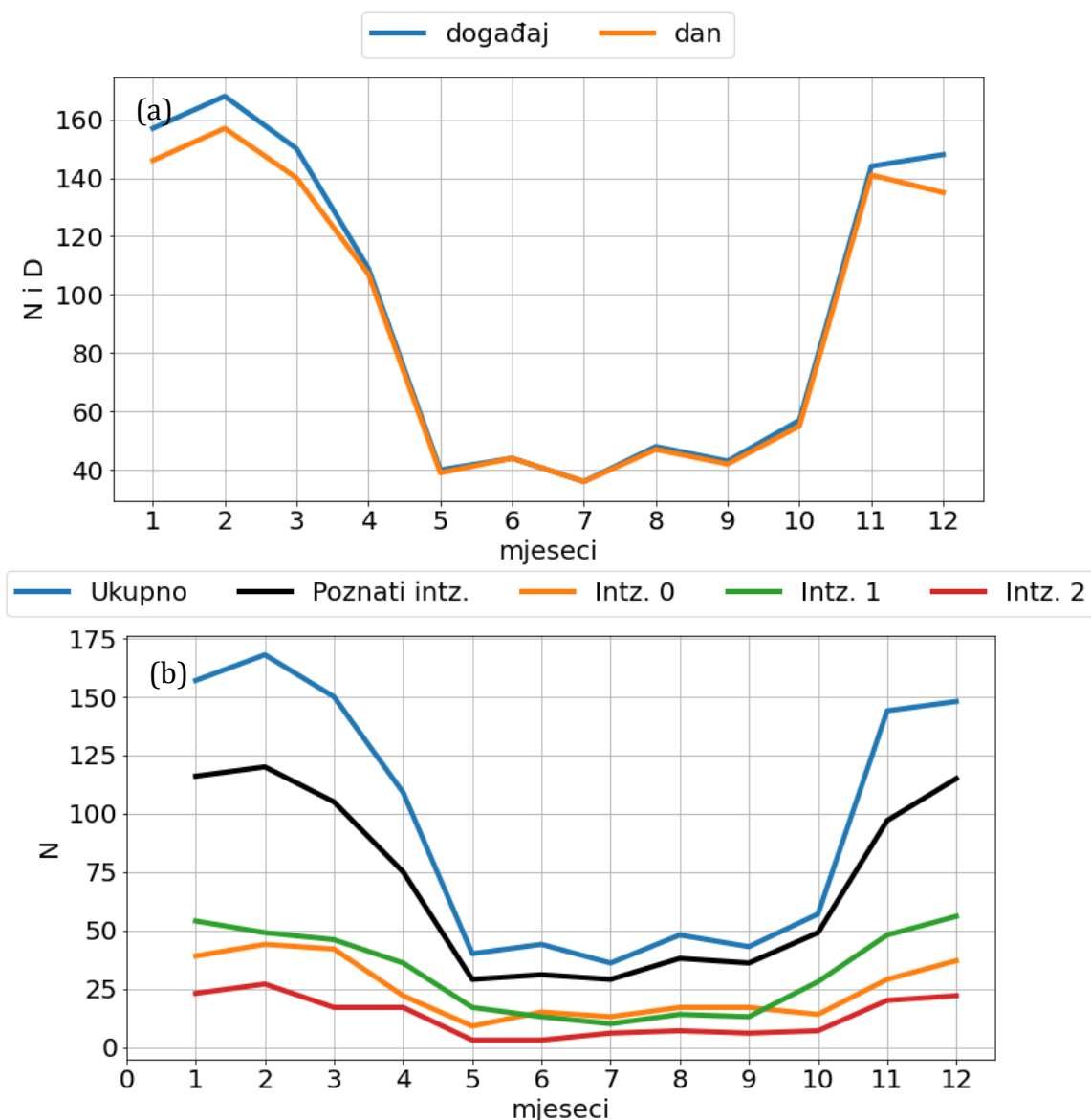
Godišnji i dnevni hodovi (na svih 55 postaja) kao i frekvencija tuče po postajama pokazala je očekivano da postoje veće prostorne razlike u obilježjima tuče kao što je inicirala Slika 1.5. Ovisno o lokaciji opažanja, uočeno je nekoliko tipova godišnjih i dnevnih hodova. Stoga je napravljena podjela na manja područja (područja 1, 2, 3, 4) u kojima se radila dodatna analiza obilježja tuče i njenih uzroka (Slika 3.13). Metoda grupiranja postaja u područja bazirana je na temelju obliku godišnjeg hoda, obliku sezonskog hoda te prema geografskoj lokaciji postaje. Području 1 pripadaju postaje južnog Jadrana i pretežito Dubrovačko-neretvanske i Splitsko-dalmatinske županije. Godišnji hodovi ovih postaja oblika su koji podsjeća na slovo "U", tj. najmanje

slučajeva tuče zabilježeno je u ljetnim mjesecima, a najviše u zimskim. To opravdava i činjenica da je sezonski hod za ove postaje pokazao kako se minimum hoda nalazi u



Slika 3.13: (a) Karta postaja obojenih bojom područja (područja 1-4) kojem pripadaju. Oznake postaja su iste kao i na slici 2.1; glavne meteorološke postaje (GMP, krug), klimatološke postaje (x) i kišomjerne postaje (trokut). (b-e) godišnji hodovi postaja koje predstavljaju određeno područje; (b) područje 1 –Split (plavo), (c) područje 2 – Ogulin (crveno), (d) područje 3 – Senj (zeleno) i (e) područje 4 – Knin (ljubičasto).

JJA sezoni, a maksimum u DJF sezoni (Slika 3.13b). Ovom području pripada najviše postaja i podataka (49.7%). Posljedično ove postaje i podaci će imati najviše utjecaja na izgled ukupnog godišnjeg hoda (Slika 3.6). Području 2 su pridružene kontinentalne postaje, pretežito s područja Ličko-senjske i Karlovačke županije (16.5%). One također imaju jasno izražen oblik godišnjeg hoda. U ovom slučaju, oblik podsjeća na slovo "A", odnosno najviše tuče ima ljeti, a najmanje zimi. JJA sezona ovdje ima maksimum, a DJF minimum (Slika 3.13c) dana s tučom. U područje 3 ulaze postaje iz Primorsko-goranske županije i čine 19.2% podataka u ukupnom skupu opažanja. Godišnji hodovi ovih postaja imaju maksimume ili minimume u SON i MAM sezoni (Slika 3.13d). Neke postaje odstupaju i od toga, ali su ipak svrstane u ovo područje zbog geografskog položaja. Područje 4 također ima izraženije proljetne i jesenske ekstreme (Slika 3.13e),

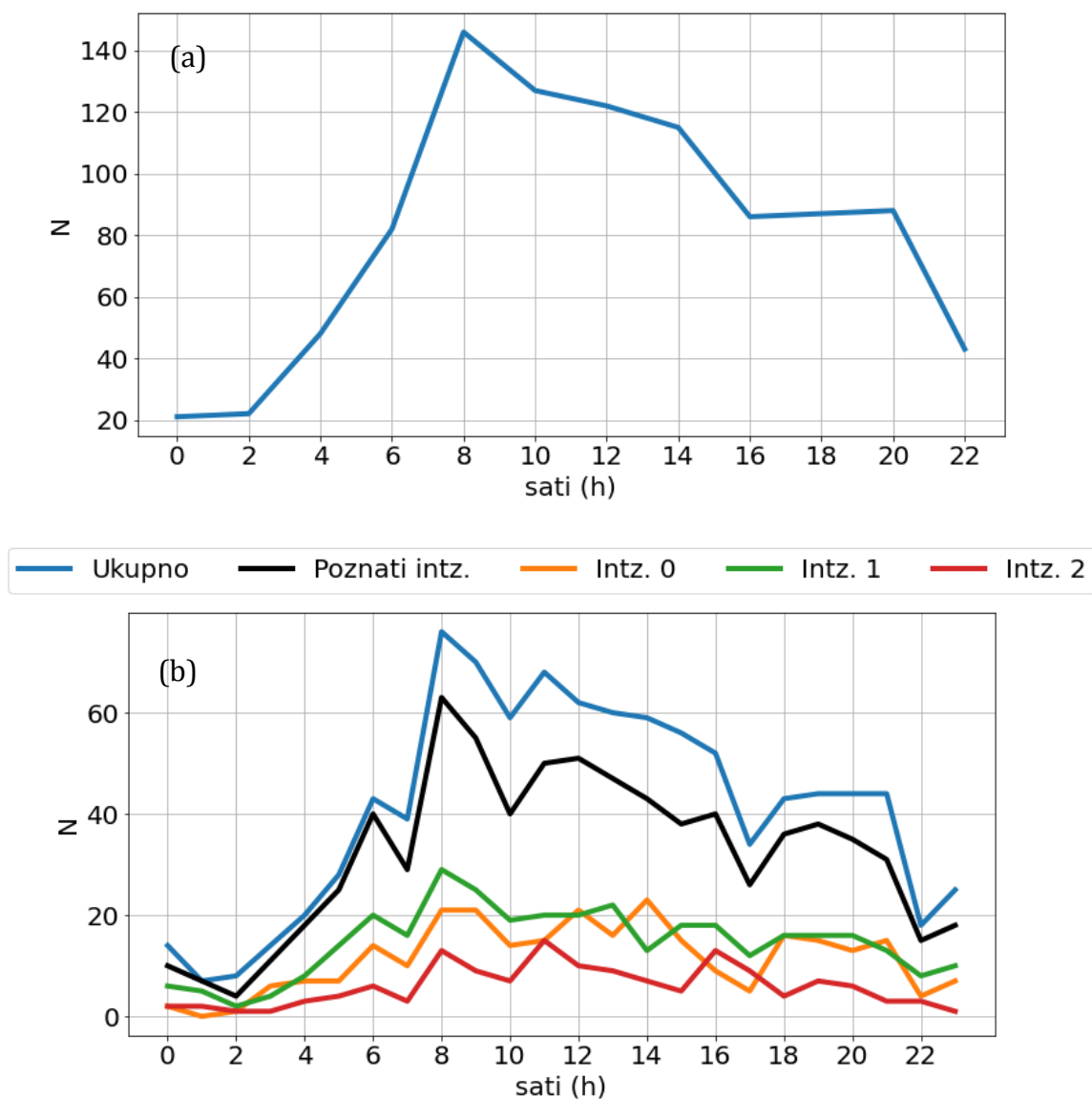


Slika 3.14: (a) Godišnji hodovi događaja s tučom (N) i dana s tučom (D) za područje 1 (postaje označene plavo na slici 3.13). (b) Godišnji hodovi događaja tuče (N) različitih intenziteta za područje 1 (postaje označene plavo na slici 3.13); intenzitet 0 (narančasto), intenzitet 1 (zeleno) i intenzitet 2 (crveno). Plava linija predstavlja sve događaja tuče bez obzira na poznate i nepoznate podatke, a crna predstavlja događaje tuče kada je intenzitet poznat.

a neke postaje su i ovom području dodijeljene geografski. Postaje koje pripadaju ovom području pretežno su iz Zadarske i Šibensko-kninske županije i čine najmanji podskup podataka 14.6%.

3.2.4 Područje 1

Godišnji hodovi na slici 3.14a oblikom slične ukupnim godišnjim hodovima za obalu (slika 3.6). Maksimum događaja i dana s tučom za cijelu obalu javlja se u ožujku, dok se na području 1 pojavljuje mjesec dana ranije isto kao i nad područjem Krete i nad



Slika 3.15: Dnevni hod događaja tuče (N) za područje 1 (postaje označene plavo na slici 3.13);. (a) Podaci su grupirani na dvosatni interval radi izgladivanja funkcije i lakšom usporedbom s dnevnih hodom u Istri. (b) dnevni hodovi događaja tuče za različite intenzitete; intenzitet 0 (narančasto), intenzitet 1 (zeleno) i intenzitet 2 (crveno). Plava linija predstavlja sve događaja tuče bez obzira na intenzitete, a crna predstavlja događaje tuče kada je intenzitet poznat.

otocima južnog Jonskog mora prikazano na slici 1.3b prema Púčik i sur. (2019.). Minimum se umjesto u rujnu javlja u srpnju s manje od 40 događaja i slučajeva. Takva situacija je u usporedbi s cijelom obalom još sličnija situaciji u Portugalu (Santos i Belo-Pereira (2018.) gdje je u srpnju i kolovožu tuča vrlo rijetka pojava. Ostala područja godišnjim hodom odstupaju od Portugala (što možemo već vidjeti na reprezentativnim postajama po područjima na slikama 3.13 c, d i e). Iz navedenog proizlazi kako je razdioba na poddomene pokazala da je južni dio Jadrana područje koje ima najviše sličnosti sa specifičnim godišnjim hodom tuče u Portugalu.

Hodovi intenziteta (slika 3.14b) uglavnom dobro prate ukupni godišnji hod. Prevladava tuča intenziteta 1 s iznimkom od lipnja do rujna kada je najčešći intenzitet 0, dok je najmanje prisutna tuča intenziteta 2 što daje naslutiti kako je snažna tuča na ovom području relativno rijetka pojava.

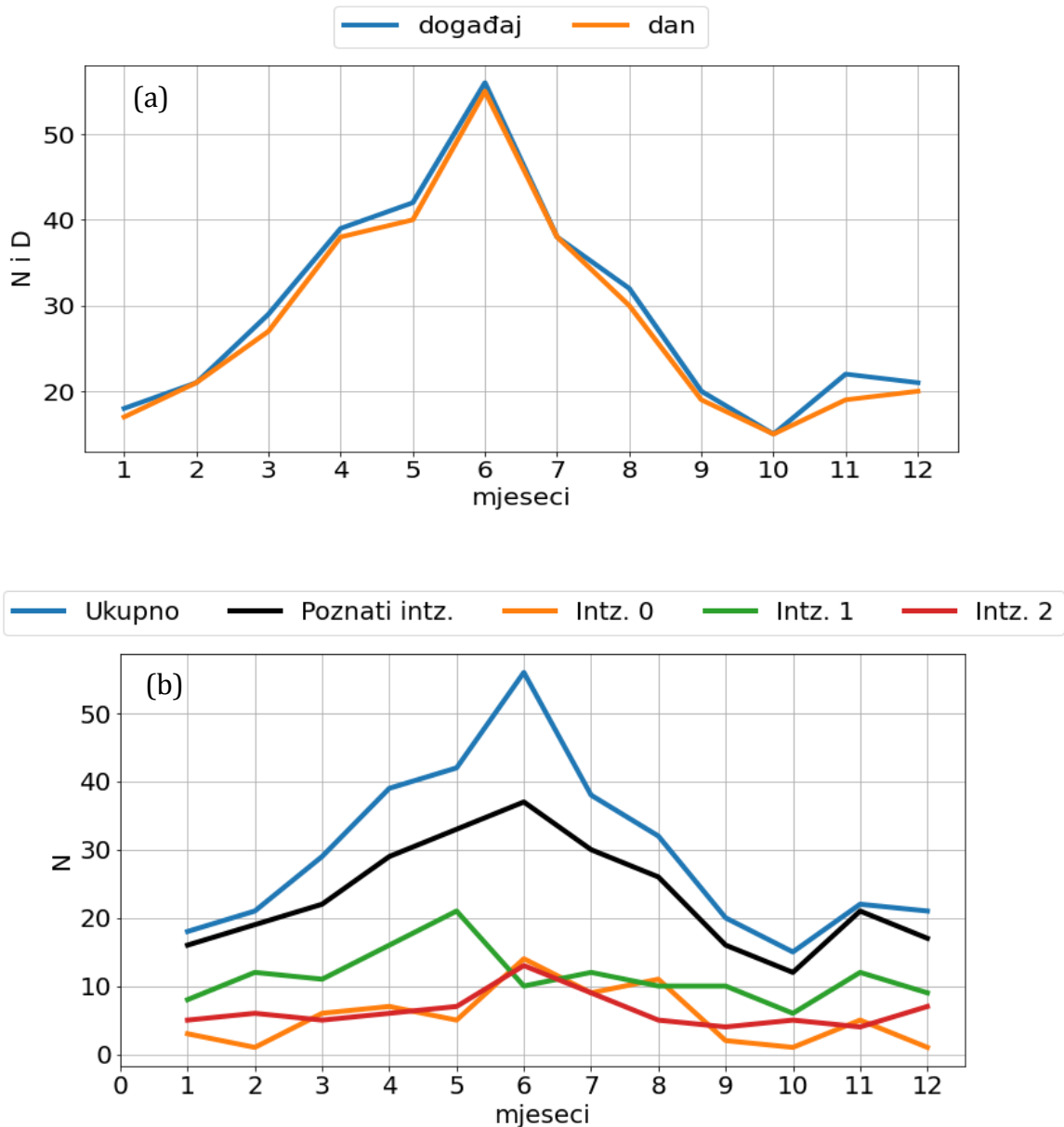
Dnevni hod događaja tuče na slici 3.15 prikazuje nagli porast aktivnosti i snažni jutarnji glavni maksimum u 8 sati. Slično obilježje dnevnog hoda pokazale su i obalne postaje na zapadnoj obali Istre (Jelić i sur., 2020.) s malim razlikama između primarnog i dva sekundarna maksimuma u 8, 12 i 16 sati. Nasuprot tome, duž južnog dijela Jadrana, unatoč izrazitoj produženoj dnevnoj konvektivnoj aktivnosti do 20 sati, pojava popodnevnih sekundarnih maksimuma je slabije vidljiva u 24-satnom hodu. Ovakav dnevni hod je prilično atipičan za većinu obalnih postaja kako u Hrvatskoj tako i duž Sredozemlja (npr. Santos i Belo-Pereira, 2018; Púčik i sur., 2019.) vidljivih također na slici 1.3c.

Dnevni hod intenziteta na slici 3.16b pokazuje da svaki intenzitet postiže maksimum u različitom dobu dana – tuča intenziteta 1 (koja i prevladava) ga postiže ujutro u 8, intenziteta 0 u 14 h, a intenziteta 2 u 11 i 16 sati.

3.2.5 Područje 2

Jelić i sur. (2020) su pokazali kako se godišnji hod događaja tuče razlikuje na postajama koje se nalaze u unutrašnjosti Istre i onima koje se nalaze na zapadnoj obali. Iako u hodovima ima dosta sličnosti s maksimumom aktivnosti u lipnju i minimumom u siječnju, odstupanja se pojavljuju u vidu količine tuče – tj. od siječnja do travnja više je tuče zabilježeno na području zapadne obale, zatim od svibnja do srpnja više tuče bilježe postaje u unutrašnjosti, a onda do kraja godine ponovno prevladava obala. To znači da iako Istra kao cjelina ima godišnji hod tuče koji bi pripao obliku „A“, postaje koje se nalaze uz more ipak daju naznaku smanjene aktivnosti ljeti i funkcija godišnjeg hoda je izglađena, dok se u unutrašnjosti Istre ta aktivnost ljeti povećava i ima izražen šiljak. Ako te rezultate usporedimo s ovdje navedenim područjem 2, vidimo da je maksimum zabilježen u lipnju, primarni minimum u listopadu, a sekundarni u siječnju (Slika 3.16). Najveća aktivnost tuče je

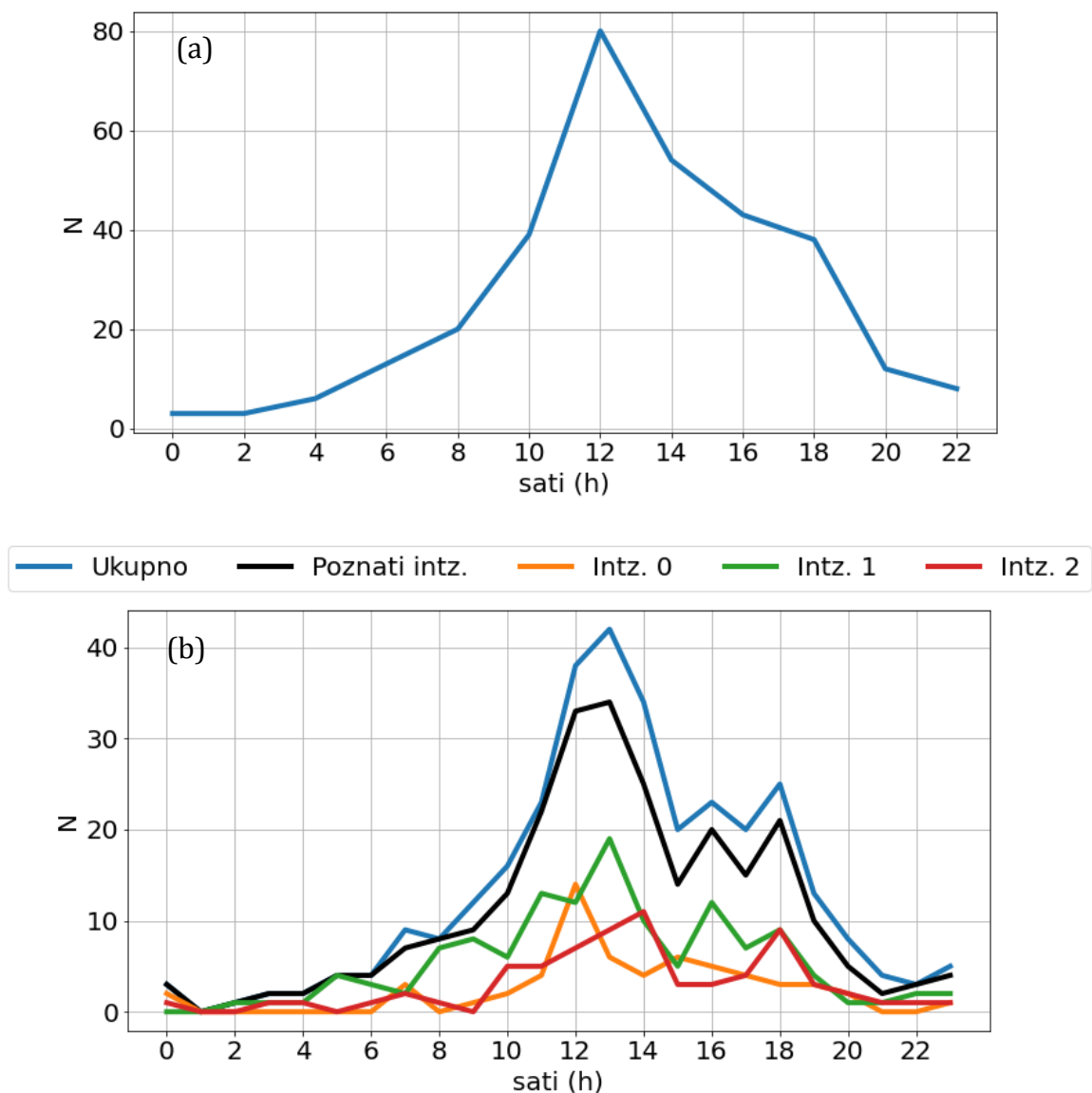
od travnja do listopada, kao i kod Istre. Dakle, područje 2 koje uglavnom obuhvaća područje udaljeno od Jadranskog mora (zaleđe) ponaša se slično Istri i to sličnije postajama koje se nalaze u unutrašnjosti Istre jer je prisutan nagli porast i nagli pad aktivnosti nakon 6. mjeseca. Intenziteti 0 i 2 postižu maksimume u lipnju, a za razliku od njih tuča intenziteta 1 najčešća je mjesec prije – u svibnju, i tuča ovog intenziteta je najčešća.



Slika 3.16: Isto kao i na Slici 3.14, ali za područje 2 (postaje označene crveno na slici 3.13).

Unutrašnjost Istre bilježi najveću aktivnost tuče u podne s produženom poslijepodnevnom aktivnošću i 80% tuče se zbiva od 10 do 20 sati, dok zapadna obala uključuje 60% tuče u istom periodu, zato što se tamo javlja i prijednevni

maksimum. Na području 2 povećana aktivnost zabilježena je od 10 do 18 sati s time da nakon 18 sati dolazi do značajnog pada. Naglašena su 2 maksimuma – u podne i poslijepodnevni u 18 sati (Slika 3.17a), a prijepodnevni (kao i na postajama u unutrašnjosti Istre) nema. Kada s izgladene dvosatne funkcije prijeđemo na funkciju koja prikazuje vrijednosti za svaki sat (Slika 3.17b) svi maksimumi se pojavljuju u poslijepodnevnim satima: u 13, 16 i 18 sati, gdje intenzitet 0 ima maksimum u 12 sati, intenzitet 1 u 13 i 16 sati, a intenzitet 2 u 14 i 18 sati. Intenziteta 1 ima najviše, dok su 0 i 2 više-manje jednako zastupljeni.

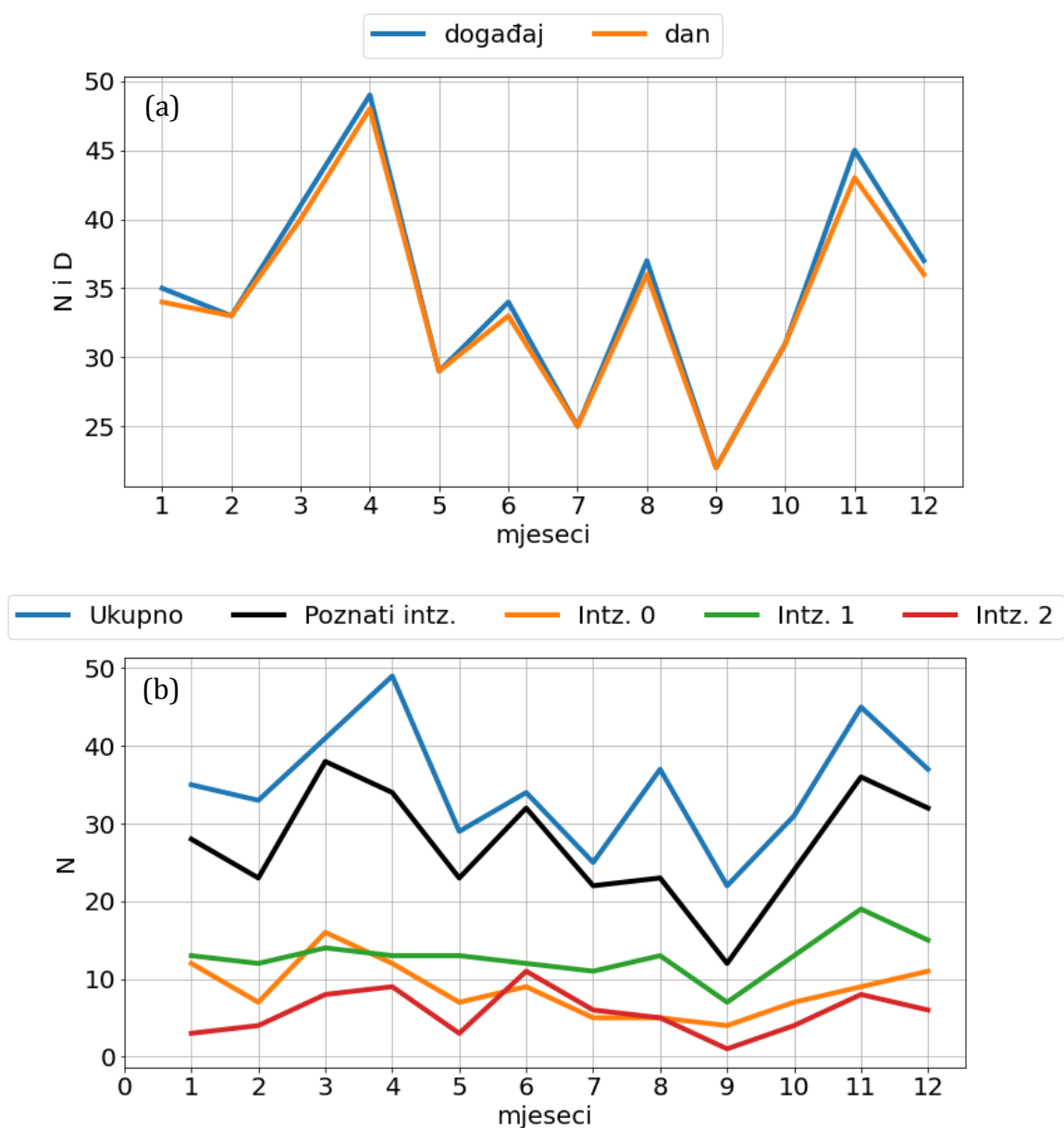


Slika 3.17: Isto kao i na slici 3.15, ali za područje 2 (postaje označene crveno na slici 3.13).

3.2.6 Područje 3

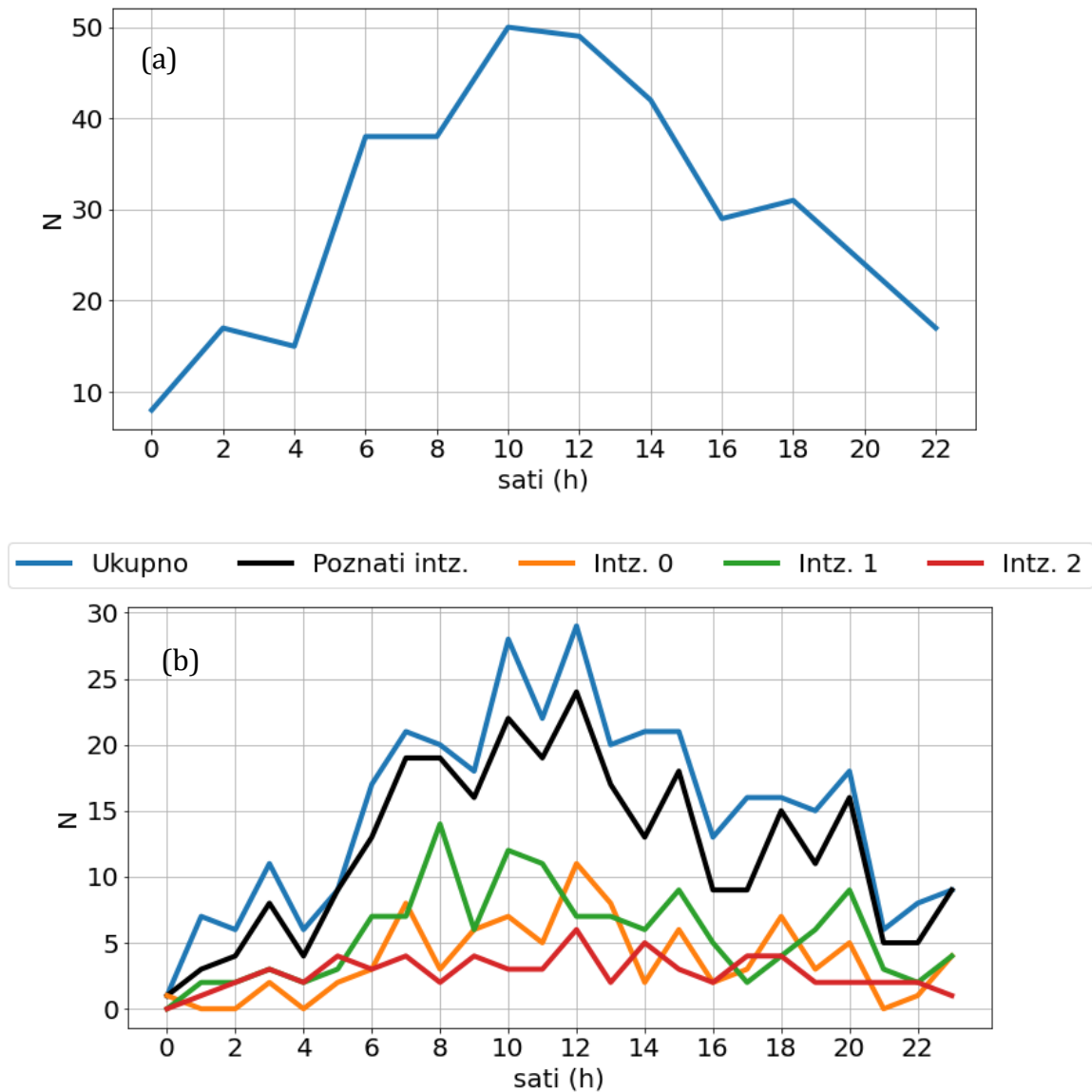
Na Slici 3.13a možemo vidjeti kako se područje 3 nalazi između Istre (sjeverno), područja 2 (zapadno) i područja 1 (južno). Godišnji hod događaja i dana s tučom

(Slika 3.18) ima nepravilan oblik koji upućuje na mogući prijelazni oblik između onoga koji je karakterističan za Istru i područje 2 (Slika 3.16) i onoga koji je karakterističan za područje 1 (Slika 3.14). Prisutna su dva izražena maksimuma – u travnju i studenom, te dva izražena minimuma – u srpnju i rujnu. Usporedba ekstrema između hodova po područjima otkriva da se oba minimuma približno poklapaju s glavnim minimumima u područjima 1 i 2, a maksimumi su pomaknuti za par mjeseci. Takva struktura godišnjeg hoda upućuje na spomenutu kombinaciju utjecaja kopna i mora. Gledajući intenzitet, prevladava tuča intenziteta 1 koja maksimum postiže u studenom, a minimum u rujnu (Slika 3.18). Potom slijedi intenzitet 0 kojega najviše ima u ožujku te intenzitet 2 s maksimumom u lipnju.



Slika 3.18: Isto kao i na slici 3.14, ali za područje 3 (postaje označene zeleno na slici 3.13).

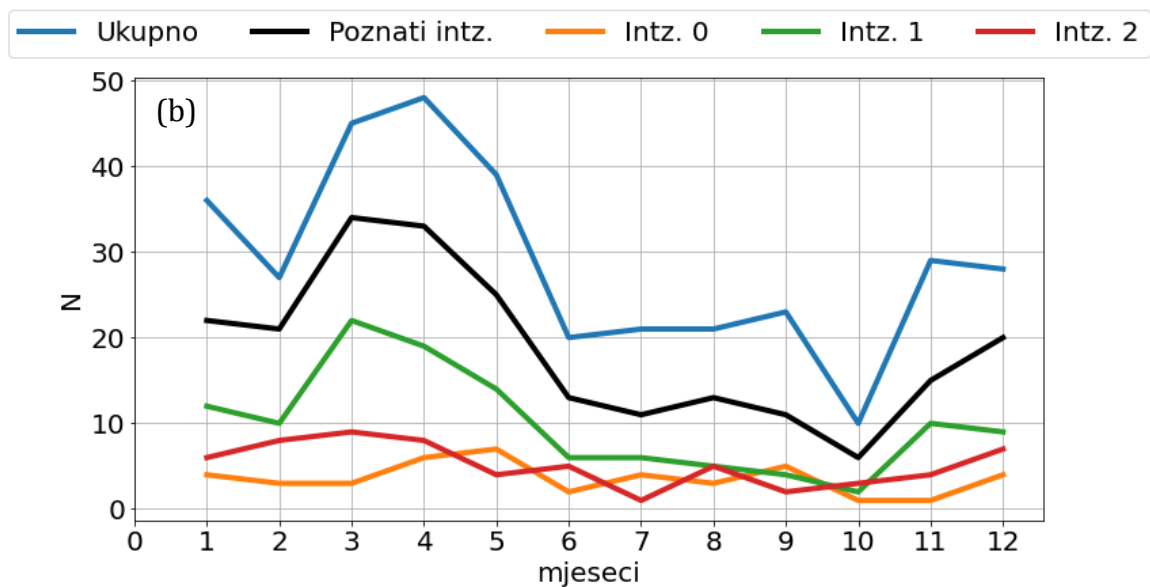
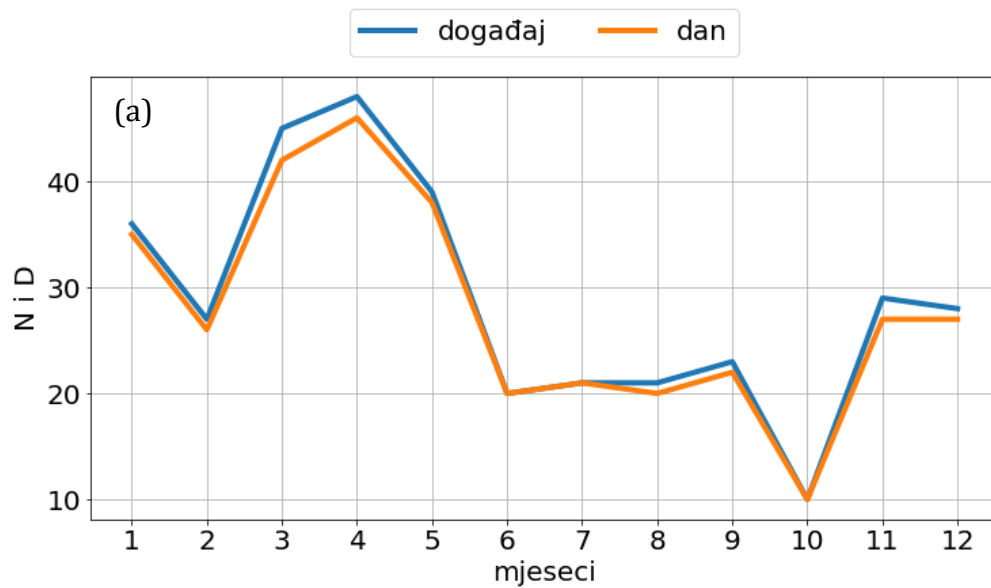
Dnevni hod ima tri maksimuma – jutarnji od 6 do 8 sati, podnevni od 10 do 12 i poslijepodnevni (koji je najmanje izražen) u 18 sati (Slika 3.19a). Intenziteti u dnevnom hodu za područje 3 su dosta varijabilni, no ipak se mogu razaznati maksimumi – tuča intenziteta 1 postiže maksimum u 8 sati, a intenziteta 0 i 2 u 12 sati (Slika 3.19b).



Slika 3.19: Isto kao i na slici 3.15, ali za područje 3 (postaje označene zeleno na slici 3.13).

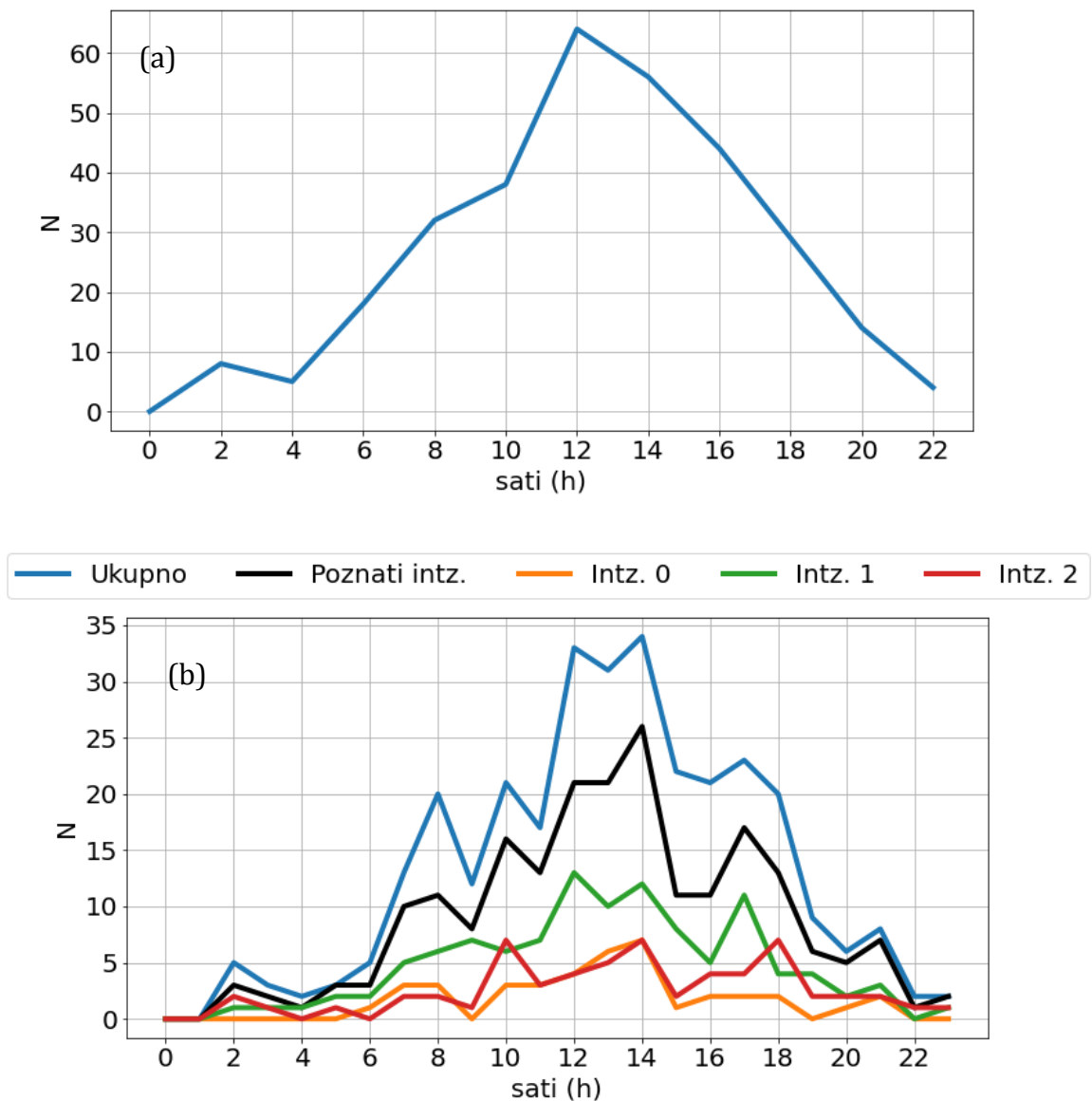
3.2.7 Područje 4

I područje 4 možemo promatrati kao prijelazno. Ako pogledamo kartu na Slici 3.13a ono se nalazi između područja 1 i 2. Godišnji hod ukazuje na 2 glavna ekstrema – maksimum u travnju i minimum u listopadu (Slika 3.20a), dok godišnji hod intenziteta (Slika 3.20b) pokazuje kako najviše ima intenziteta 1 s maksimumom u ožujku, dok se intenzitet 0 i 2 izmjenjuju.



Slika 3.20: Isto kao i na slici 3.14, ali za područje 4 (postaje označene ljubičasto na slici 3.13).

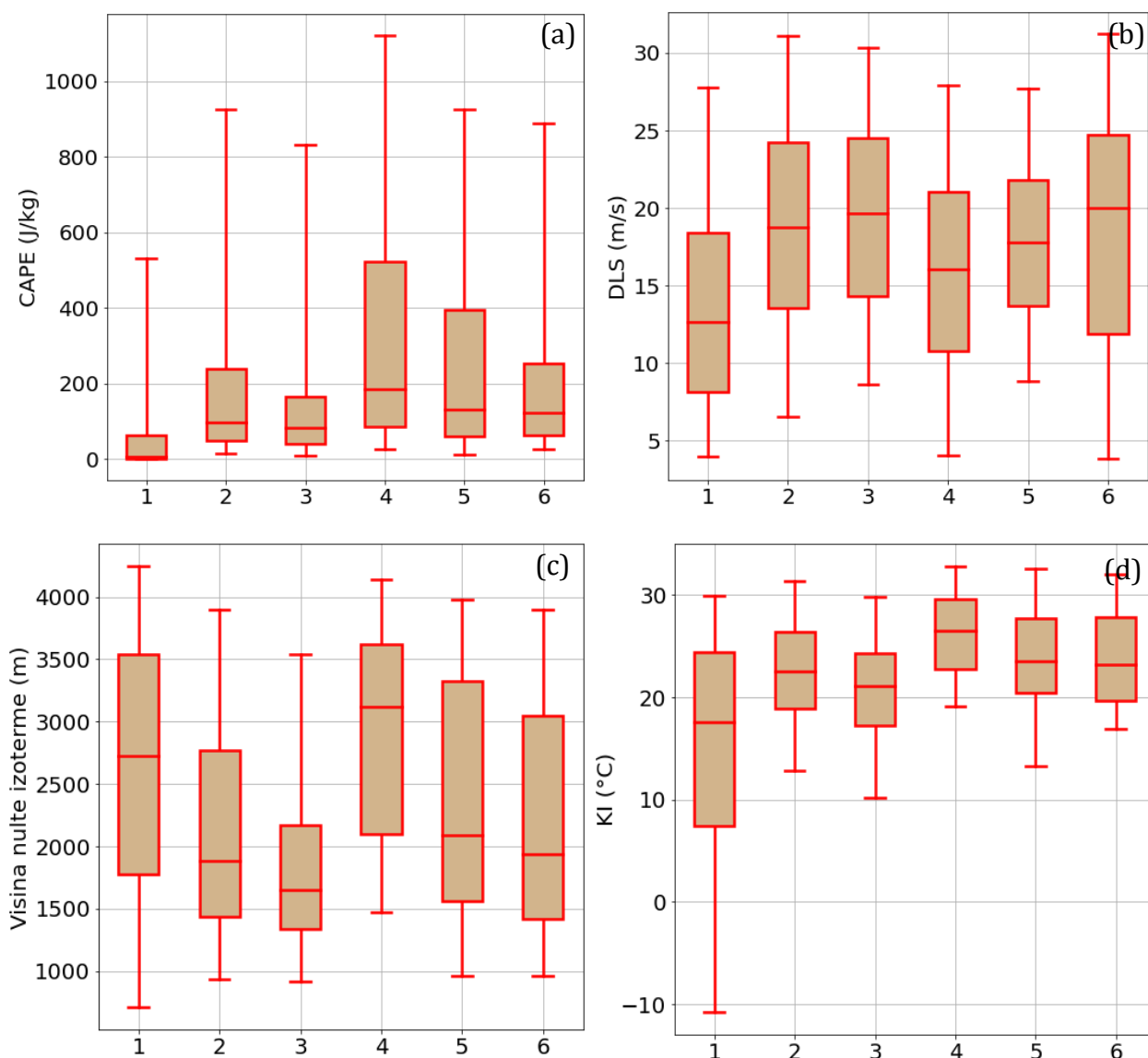
Dnevna aktivnost tuče ovdje počinje rasti već nakon 4 sata, maksimum postiže u 12, a nakon toga počinje naglo padati (Slika 3.21a). Ako promotrimo ukupni dnevni hod na slici 3.21b ipak možemo razaznati nekoliko pojačanu dnevnu aktivnost tijekom dana s glavnim maksimumom u 14 sati. Najzastupljeniji je intenzitet 1 s maksimumom u podne, tuče intenziteta 0 ima najviše u 14 sati, a naj snažnija tuča intenziteta 2 postiže čak 3 maksimuma - jedan prijepodne u 10 sati, drugi u 14 sati i posljednji poslijepodne u 18 sati (Slika 3.21b).



Slika 3.21: Isto kao i na slici 3.15, ali za područje 4 (postaje označene ljubičasto na slici 3.13).

3.3 Analiza indeksa nestabilnosti

Indeksi nestabilnosti su prikazani pomoću kutijastih dijagrama ili *box-plotova* (Slika 3.22). *Box-plot* se sastoji od pravokutnika koji prikazuje podatke od 25. (donji rub) do 75. (gornji rub) kvartila. Crta u sredini pravokutnika označava medijan. Donje i gornje horizontalne linije predstavljaju 5. i 95. kvartil. Sve točke izvan te granice se obično crtaju posebno i smatraju se vrijednostima koje značajno odstupaju od ostalih. Rezultati analize indeksa nestabilnosti prikazane su na slici 3.22.



Slika 3.22: Grafički prikaz za srednje dnevne vrijednosti (a) CAPE-a (J/kg), (b) smicanja vjetra DLS (m/s), (c) visine nulte izoterme (m) te (d) K - indeks od 1984. do 2019. godine. Na x osi broj **1** odgovara vrijednostima indeksa za 4 postaje (Split, Ogulin, Senj i Knin – po jedna iz svakog područja) za sve dane bez obzira jel bilo tuče ili nije, pod **2** su vrijednosti odgovarajućeg indeksa za sve glavne i klimatološke postaje za dane s tučom, pod **3** su vrijednosti indeksa za postaje na području 1 za sve dane s tučom, pod **4** je indeks za postaje na području 2, pod **5** je indeks za područje 3, i pod **6** je indeks za područje 4.

Slika prikazuje vrijednosti indeksa za sve dane za odabrane postaje (oznaka 1), za dane s tučom za glavne i klimatološke postaje (oznaka 2), područje 1 (oznaka 3), područje 2 (oznaka 4), područje 3 (oznaka 5) i područje 4 (oznaka 6). Medijan prve oznake za sve dane iznosi 6.64 J/kg što je vrlo mala vrijednost. Međutim raspon vrijednosti pokazuju i prisustvo udijela podataka s velikim CAPE-om. To je zato što u ovu analizu ulaze i dani s tučom i dani s velikim CAPE-om bez da se razvila tuča. Druga oznaka, odnosno kod dana s tučom, medijan je 97.63 J/kg. Za ograničene poddomene rasponi vrijednosti medijana su 81.45 J/kg (područje 1), 183.33 J/kg

(područje 2), 129.33 J/kg (područje 3) te 122.36 J/kg (područje 4). Najviše podataka između 25. i 75. kvartila ima u području 2. Visoke vrijednosti za CAPE ukazuju na stvaranje tuče u vrlo nestabilnim atmosferskim uvjetima.

Srednje dnevne vrijednosti indeksa smicanja vjetra prikazane su na slici 3.22b. Medijan je najmanji za sve dane i iznosi 12.68 m/s, a za dane s tučom je 18.74 m/s. Približno takav odnos i takve vrijednosti se pojavljuju i u Istri (Jelić i sur., 2021). Po područjima medijan srednjih vrijednosti DLS-a je najveći za područje 4 gdje iznosi 20.01 m/s. Na području 1 je 19.63 m/s, na području 2 je 16.05 m/s, a na području 3 je 17.81 m/s.

Vrijednosti za visinu nulte izoterme niže su za dane s tučom nego za sve dane (Slika 3.22c). Medijan za sve dane iznosi 2721 m i to donekle odgovara vrijednosti medijana za Istru (Jelić i sur., 2020.), dok je za dane s tučom medijan 1881 m i niži je u odnosu na medijan u Istri. Za područje 1 je najmanji i iznosi 1650 m. Mogući razlog je što u područje 1 ulaze postaje južnog Jadrana koje su pretežno pod utjecajem mora pa zbog toga ne dolazi niti do velikog poremećaja temperature na većim visinama (odnosno sporijeg vertikalnog opadanja temperature). Suprotno tome, za područje 2 je medijalna vrijednost visine nulte izoterme najveća i iznosi 3119 m. To su pretežno kontinentalne postaje sa značajnim temperaturnim varijacijama tijekom dana uslijed radijacijskog zračenja i slabog utjecaja morske površine. Kopno se brže i jače zagrijava, a to utječe i na temperaturu na visini te se sukladno tome se podiže i nulta izoterma. Za područje 3 je medijan 2087 m i za područje 4 je 1937 m.

Medijan K-indeksa za sve dane je najmanji i iznosi 18.24°C, dok je za dane s tučom 22.6°C. Najveći je medijan za područje 2. Svi dani imaju i najveći raspon vrijednosti između 25. i 75. kvartila, dok su za dane s tučom i za sva područja te vrijednosti uglavnom koncentrirane oko ili iznad 20°C. Takve veće vrijednosti za K-indeks potvrđuju kako se tuča stvara u vrlo nestabilnim atmosferskim uvjetima, a približno jednaki rezultati dobiveni su i za Istru. Kako su medijani i za CAPE i za K-indeks najveći za područje 2 moglo bi se zaključiti kako su nad tim područjem za vrijeme tuče atmosferski uvjeti najnestabilniji.

4. Zaključak

Glavni cilj ovog rada bio je prikupiti i analizirati podatke o pojavi tuče na području jadranskog priobalja za razdoblje od 1973. do 2019. Na ovom području pojava tuče još nije analizirana. Koristile su se bilješke o pojavi tuče iz dnevnika motrenja s glavnih, klimatoloških i kišomjernih postaja te ERA 5 reanaliza za analizu indeksa nestabilnosti. Rezultati su uspoređivani s rezultatima dobivenim u drugim europskim zemljama, te s rezultatima za Istru i kontinentalnu Hrvatsku. Usporedbe su ukazale na sljedeće:

1. Kontrola kvalitete podataka je pokazala kako su najkvalitetnije, a time i najpouzdanije, glavne meteorološke postaje na kojima je zabilježeno ukupno 1130 događaja tuče, a njih 86.5% ima sve poznate podatke.
2. Međugodišnji hodovi događaja i dana s tučom za cijelu obalu su vrlo varijabilni. Trendovi tih nizova su padajući, a analiza sezonskih međugodišnjih hodova i njihovih trendova pokazala je da DJF i MAM sezone nemaju izražen trend, dok JJA i SON sezone obje imaju negativni trend. Stoga se može zaključiti kako se broj događaja tuče s godinama smanjuje tijekom ljetne i jesenske sezone.
3. Godišnji hod dana i događaja tuče za cijelu obalu usporediv je s onim za Portugal i Grčku – najviše tuče zabilježeno je u hladnijem dijelu godine, a najmanje u toplijem dijelu godine. Takav oblik godišnjeg hoda tipičan je za postaje južnoj jadrana i otoke (područje 1). Postaje u Dinaridima bilježe hodove koji su pod jakim kontinentalnim utjecajem što je već prije uočeno za Istru i Panonsku nizinu gdje se maksimalna aktivnost tuče javlja ljeti, a minimalna zimi. Područja Kvarnera, Zadra i zadarskog zaleđa (područja 3 i 4) su prema ovom kriteriju prijelazna područja s ekstremima u proljetnoj i jesenskoj sezoni.
4. Dnevni hod obale pokazuje 3 maksimuma – jutarnji, podnevni i poslijepodnevni. Nastup maksimuma razlikuju se o regiji gdje su bilježeni. Posebno se ističe područje 1 (južni dio Jadrana) s maksimumom u 8 sati (koji bi mogao biti posljedica izmjene kopna i mora), dok ga ostali imaju oko podneva s produženom poslijepodnevnom aktivnošću.
5. Kod trajanja je primijećena tendencija zaokruživanja na pravilne intervale, te pad vrijednosti do 30. minute, a zatim ponovni porast što je rezultiralo

odbacivanju vrijednosti za trajanja iznad 29. minute. Najčešće je zapisivano da je tuča trajala 5 minuta. Srednje godišnje trajanje tuče do 30. minute je pokazalo padajući trend odnosno smanjenje trajanja događaja tuče.

6. Prostorna frekvencija tuče izdvojila je 3 postaje s najvećim brojem dana s tučom u godini, a to su Senj s 2.8, Drniš s 3.3 i Gračac s 3.8. Uzrok bi mogla biti orografija jer se sve postaje nalaze u neposrednoj blizini Velebita.
7. U usporedbi sa svim danima, za skup dana s tučom dobivene su veće vrijednosti CAPE-a (s medijanom 97.63 J/kg), smicanja vjetra u prvih 6 km (DLS s medijanom 18.74 m/s), K indeksa i manje visine nulte izoterme (s medijanom 1881 m). Indeksi nestabilnosti su potvrdili da se tuča razvija u nestabilnim atmosferskim uvjetima.

Prikazani rezultati doprinose formiranju nacionalne klimatologije tuče za Hrvatsku. Ipak, moguće ih je dodatno poboljšati. Bolja prostorna pokrivenost podacima te popunjavanje nepotpunih vremenskih nizova podataka klimatoloških i kišomjernih postaja neki su od mogućih smjerova dobivanja točnijih informacija. Analiza kišomjernih postaja u ovom radu ograničena je na razdoblje od 1973. do 1990. te bi ju svakako trebalo produljiti kada će to biti moguće s obzirom na nepostojeću digitalnu bazu mjerenih podataka. Međutim, i ovakva analiza pomaže dijagnostici područja koja su češće pogođena tučom što dalje potencijalno doprinosi smanjenu štetu nastalih pojavom tuče. S druge strane, digitalizacija opažanja pojave tuče napravljena u ovom radu predstavlja vrijedan izvor podataka za validaciju klimatskih modela u sadašnjoj, a onda i analizu pojave tuče u budućoj klimi.

5. Literatura

- Baldi M, Ciardini V, Dalu JD, De Filippis T, Maracchi G, Dalu G (2014.): Hail occurrence in Italy: Towards a national database and climatology. *Atmos. Research*, **138**, 268–277.
- Burcea S, Cica R, Bojariu R (2016.): Hail climatology and trends in Romania: 1961–2014. *Mon. Wea. Rev.* **144**, 4289–4299.
- Davidson M (1999.): Shallow/Deep Convection [online]. Dostupno na: <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/international/training/deep/index.htm> [01.09. 2021.]
- Dessens J (1986.): Hail in southwestern France. I: Hailfall characteristics and hailstrom environment. *J. Clim. Appl. Meteorol.* **25**, 35–47.
- Eccel E, Cau P, Riemann-Campe K, Biasioli F (2012.): Quantitative hail monitoring in an alpine area: 35-year climatology and links with atmospheric variables. *Int. J. Climatol.* **32**, 503–517.
- Grisogono B, Belušić D (2008.): Uvod u mezoskalnu meteorologiju i atmosfersku turbulenciju. Geofizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu, 148. str. Dostupno na: www.gfz.hr/osobne_stranice/grisogono/DM2i3_SKRIPTA.pdf [01.09. 2021.]
- Hand WH, Cappelluti G (2011.): A global hail climatology using the UK Met Office convection diagnosis procedure (CDP) and model analyses. *Meteorol. Appl.* **18**, 446–458.
- Jelić D, Megyeri OA, Malečić B, Belušić Vozila A, Strelec Mahović N, Telišman Prtenjak M (2020): Hail climatology along the northeastern Adriatic. *J. Geophys. Res.*, **125**, e2020JD032749
- Kahraman A, Tilev-Tanriover Ş, Kadioglu M, Schultz DM, Markowski PM (2016.): Severe Hail Climatology of Turkey, *Mon. Wea. Rev.* **144**, 337–346.
- Kotinis-Zambakas SR (1988): Average spatial patterns of hail days in Greece. *J. Clim.* **2**, 508–511.
- Manzato A (2011.): Hail in Northeast Italy: Climatology and bivariate analysis with the sounding-derived indices. *J. Appl. Meteor. Clim.*, **51**, 449–467.
- Marsh PT, Hart JA (2012.): SHARPPY: A Python Implementation of the Skew-T/Hodograph Analysis and Research Program, 2nd Symposium on Advances in Modeling and Analysis Using Python. New Orleans, LA, Amer. Meteor. Soc.
- Martins JPA, Cardoso RM, Soares PMM, Trigo IF, Belo-Pereira M, Moreira N, Tomé R (2016.): The summer diurnal cycle of coastal cloudiness over west Iberia using Meteosat/SEVIRI and a WRF regional climate model simulation. *Int. J. Climatol.* **36**, 1755–1772.
- McMurdie L, Houze RA (2006.): *Weather Systems*, in Wallace JM, Peter V. Hobbs PV (Ur.), *Atmospheric Science-An Introductory Survey*, Academic Press, Elsevier, str. 313-373, ISBN 9780127329512.

- Mikuš P, Telišman Prtenjak M, Strelec Mahović N (2012): Analysis of the convective activity and its synoptic background over Croatia. *Atmos. Res.* **104–105**, 139–153.
- Penzar B, Penzar I, Orlić M (2001.): *Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana*. Nakladna kuća “Dr. Feletar”, Hrvatski hidrografski institute, Zagreb.
- Pistotnik G, Groenemeijer P, Sausen R (2016.): Validation of convective parameters in MPI-ESM decadal hindcasts (1971–2012) against ERA-Interim reanalyses. *Meteor. Z.* **25**, 753–766.
- Počakal D (2012.): *Energija zrna tuče u kontinentalnom dijelu Hrvatske*. Doktorski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
- Počakal D, Večenaj Ž, Mikuš Jurković P, Grisogono B (2018.): Analysis of orographic influence on hail parameters in NW Croatia. *Int. J. Climatol.* **38**, 5646–5658.
- Pučik T, Castellano C, Groenemeijer P, Kühne T, Rädler AT, Antonescu B, Faust E (2019): Large hail incidence and its economic and societal impacts across Europe. *Mon. Wea. Rev.* **147**, 3901-3916.
- Punge HJ, Bedka KM, Kunz M, Werner A (2014.): A new physically based stochastic event catalog for hail in Europe. *Nat. Hazards* **73**, 1625–1645.
- Punge HJ, Kunz M (2016.): Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: a review. *Atmos. Res.* **176**, 159–184.
- Santos JA, Belo-Pereira M (2019): A comprehensive analysis of hail events in Portugal: Climatology and consistency with atmospheric circulation. *Int. J. Climatol.* **39**, 188-205.
- Schär C, Fuhrer O, Arteaga A, Ban N, Charpiloz C, Di Girolamo S, Hentgen L, Hoefler T, Lapillone X, Leutwyler D, Osterried K, Panosetti D, Ruedisuehli S, Schlemmer L, Schulthess T, Sprenger M, Ubbiali S, Wernli H (2020.): Kilometer-scale climate models: Prospects and challenges. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **101/5**, E567 - E587.
- Stevens B (2005.): Atmospheric Moist Convection [online]. Los Angeles: Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of California. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **33**.
- Taszarek M, Brooks HE, Czernecki B, Szuster P, Fortuniak K (2018): Climatological Aspects of Convective Parameters over Europe: A Comparison of ERA-Interim and Sounding Data. *J. Clim.* **31**, 4281–4308.
- Tuovinen J-P, Punkka A-J, Rauhala J, Hohti H, Schultz DM (2009): Climatology of severe hail in Finland: 1930–2006. *Mon. Wea. Rev.* **137**, 2238-2249.
- UCAR (2010.): Hail. Dostupno na:
<https://web.archive.org/web/20100327214028/http://www.ucar.edu/communications/factsheets/Hail.html> [01.09. 2021.]
- Smith RK (Ur.) (1997): The Physics and Parameterization of Moist Atmospheric Convection [online]. University on Munich, Germany. Springer Science+ Business Media Dordrecht.
- Viceto C, Marta-Almeida M, Rocha A (2017): Future climate change of stability indices for the Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.* **37**, 4390–4408.

- Walsh S (2012.). *A summary of climate averages for Ireland 1981–2010*. Dublin, Ireland: MET Éireann. Technical Report: 14.
- Westermayer AT, Groenemeijer P, Pistotnik G, Sausen R, Faust E (2017.): Identification of favorable environments for thunderstorms in reanalysis data. *Meteor. Z.* **26**, 59–70.
- WMO (2017.): Hail. Dostupno na: <https://cloudatlas.wmo.int/en/hail.html> [01.09. 2021.]

Dodatak A

Tablica A1. Popis postaja

Postaja	Duljina niza	Geog. širina (°N)	Geog. dužina (°E)	Nadm. visina (m)
Dubrovnik aerodrom	1973.-2019.	42°33'	18°16'	164
Dubrovnik	1973.-2019.	42°38'	18°5'	52
Lastovo	1973.-2019.	42°46'	16°54'	186
Komiža	1973.-2019.	43°2'	16°5'	20
Hvar	1973.-2019.	43°10'	16°26'	20
Makarska	1973.-2019.	43°17'	17°1'	50
Split Marjan	1973.-2019.	43°30'	16°25'	122
Knin	1973.-2019.	44°2'	16°12'	255
Zadar	1973.-2019.	44°7'	15°12'	5
Mali Lošinj	1973.-2019.	44°31'	14°28'	53
Gospić	1973.-2019.	44°33'	15°22'	564
Senj	1973.-2019.	44°59'	14°54'	26
Ogulin	1973.-2019.	45°15'	15°13'	328
Rijeka	1973.-2019.	45°20'	14°26'	120
NP Govedari Mljet	1973.-2019.	42°47'	17°22'	30
Korčula	1973.-2019.	42°57'	17°08'	15
Kuna	1973.-2019.	42°58'	17°21'	357
Jelsa	1984.-2019.	43°10'	16°42'	3
Bol	1984.-2019.	43°16'	16°39'	65
Imotski	1973.-2019.	43°27'	17°13'	435
Drniš	1984.-2019.	43°51'	16°10'	324
Biograd na moru	1973.-2019.	43°56'	15°27'	8
Benkovac	1984.-2019.	44°02'	15°37'	202
Novigrad dalmatinski	1973.-2019.	44°11'	15°33'	40
Gračac	1984.-2019.	44°18'	15°52'	567
Lovinac	1984.-2019.	44°23'	15°41'	580

Donji Lapac	1984.-2019.	44°33'	15°58'	582
Korenica	1984.-2019.	44°45'	15°43'	670
Ličko Lešće	1973.-2019.	44°48'	15°19'	463
Cres	1973.-2019.	44°57'	14°25'	5
Krk	1973.-2019.	45°02'	14°35'	9
Crikvenica	1984.-2019.	45°10'	14°42'	2
Delnice	1984.-2019.	45°24'	14°48'	681
Bosiljevo	1984.-2019.	45°25'	15°27'	207
Blato	1973.-1987.	42°56'	16°47'	36
Čara	1973.-1990.	42°56'	16°55'	126
Dubrovnik Lapad	1973.-1990.	nepoznato	nepoznato	nepoznato
Lopud	1973.-1990.	42°41'	17°56'	15
Janjina	1973.-1990.	42°55'	17°25'	140
Maranovići	1973.-1990.	42°42'	17°40'	115
Šipanska Luka	1973.-1990.	42°43'	17°51'	15
Trpanj	1973.-1990.	43°	17°16'	2
Biševo	1973.-1989.	42°59'	16°	65
Bisko	1973.-1990.	43°34'	16°40'	394
Dobrinj	1973.-1990.	45°07'	14°36'	197
Drežnica	1973.-1990.	45°08'	15°05'	510
Gdinj	1973.-1990.	43°7'	16°55'	280
Ilovik	1973.-1990.	44°27'	14°32'	5
Kosinjski Bakovac	1973.-1990.	44°42'	15°07'	525
Osor	1973.-1990.	44°41'	14°23'	3
Pražnice	1973.-1990.	43°19'	16°41'	391
Stončica	1973.-1990.	43°4'	16°15'	19
Ugljan	1973.-1990.	44°07'	15°16'	20
Vinalić	1973.-1990.	43°56'	16°26'	330
Vrbnik	1973.-1990.	45°04'	14°04'	18