

UNIVERZITET U BEOGRADU
FIZIČKI FAKULTET
INSTITUT ZA METEOROLOGIJU

Suzana M. Putniković

**OBJEKTIVNA KLASIFIKACIJA
ATMOSFERSKE CIRKULACIJE
IZNAD SRBIJE**

doktorska disertacija

Beograd, 2017

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF PHYSICS
INSTITUTE OF METEOROLOGY

Suzana M. Putniković

**OBJECTIVE CLASSIFICATION
OF ATMOSPHERIC CIRCULATION
OVER SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2017

Komisija za pregled i ocenu disertacije:

Mentor: Dr Ivana Tošić, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet

- Članovi Komisije:**
1. Dr Ivana Tošić, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet
 2. Dr Miroslava Unkašević, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet
 3. Dr Mirjana Ruml, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet
 4. Dr Vladimir Đurđević, docent
Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet

Datum odbrane: _____

Objektivna klasifikacija atmosferske cirkulacije iznad Srbije

Rezime

Vreme i klima neke oblasti odraz su na prvom mestu osobenosti opšte cirkulacije atmosfere. Promene u atmosferskoj cirkulaciji su presudne zato što su one često praćene promenama u površinskim meteorološkim promenljivama. Da bi se lakše proučavala veza između atmosferske cirkulacije i lokalnih vremenskih uslova, vrši se klasifikacija sinoptičkih sistema, tj. određuju se tipovi cirkulacije. Zato je glavni cilj ove disertacije da se na objektivan način identifikuju i opišu tipovi cirkulacije koji karakterišu vremenska stanja iznad Srbije. Proučavanje tipova cirkulacije je aktuelna tema, koja se stalno unapređuje i dopunjuje.

Metod Jekinson-a i Collison-a je objektivna verzija Lamb-ove klasifikacije atmosferske cirkulacije, gde je dnevna cirkulacija okarakterisana upotrebom indeksa povezanih sa pravcem, jačinom i vrtložnošću strujanja. Ovaj metod je bio primenjen iznad Srbije za period od 1961. do 2010. Dobijeno je dvadesetšest cirkulacionih tipova: osam usmerenih tipova po pravcu – severni (N), severoistočni (NE), istočni (E), jugoistočni (SE), južni (S), jugozapadni (SW), zapadni (W) i severozapadni (NW), zatim dva vrtložna tipa zasnovana na jaćini vrtložnosti – ciklonalni (C) i anticiklonalni (A) i šesnaest hibridnih tipova (osam ciklonalnih i osam anticiklonalnih za svaki pravac). Sinoptičke karakteristike dobijenih tipova su razmatrane za sve četiri sezone. Svaki cirkulacioni tip ima poseban sinoptički obrazac koji daje očekivan tip i smer strujanja iznad posmatrane oblasti. Analizirani su i trendovi i relativne učestalosti cirkulacionih tipova. Mana metoda Jekinson-a i Collison-a je što nema podataka na višim nivoima. Ovaj nedostatak je rešen u disertaciji tako što su analizirane anomalije geopotencijalne visine na 500 hPa.

Utvrđeno je da je anticiklonalni (A) cirkulacioni tip najučestaliji u jesen (23,87%), zatim zimi (18,93%) i u leto (18,70%). Sledi severoistočni tip (NE) sa čestinom od 16,65% za vreme letnje sezone. A tip ima pozitivan trend za zimu i proleće i statistički znaćajan negativan trend za jesen i leto. C tip pokazuje znaćajno negativan trend samo u proleće.

Osim identifikacije cirkulacionih tipova, još jedan cilj ove disertacije je analiza veze između atmosfere cirkulacije i meteoroloških veličina (padavina i temperatura). Analiza je urađena po sezonama za šest meteoroloških stanica, pravilno raspoređenih po Srbiji. Rezultati potvrđuju da je identifikacija tipova metodom Jekinson–a i Collison–a dobra, jer je dobijeno da ciklonalni tipovi (C i hibridni) imaju veću verovatnoću padavina od prosečne na svim stanicama. Suprotno tome, anticiklonalni tipovi su povezani sa verovatnoćom padavina manjom od proseka, kao i količinom padavina.

Da bi se procenilo u kojoj meri cirkulacioni tip određuje lokalne sezonske padavine, korišćen je postepeni (stepwise) regresioni model. Modelirane su padavine za sve stanice, pri čemu su učestalosti tipova definisane kao prediktori. Pokazano je da modeli daju tačnije rezultate za zimsku od ostalih sezona. Rezultati ukazuju da C tip utiče na pojavu padavina iznad cele zemlje, dok ostalih dvadeset i pet tipova imaju više regionalni i/ili zanemarljiv doprinos padavinama. Po nekim istraživačima još jedna mana metoda Jekinson–a i Collison–a je ta što ima veliki broj tipova. U disertaciji je broj tipova smanjen tako što su hibridni tipovi pridruženi odgovarajućem usmerenom i ciklonalnom tj. anticiklonalnom tipu. Grupisanje je urađeno da bi se videlo da li će smanjenje broja cirkulacionih tipova dovesti do boljeg slaganja padavina iz modela sa osmotrenim padavinama. Međutim, pokazalo se da nema nekog značajnijeg poboljšanja, osim za Zlatibor u jesen.

Pored padavina, analizirana je i veza tipova sa temperaturama, takođe za sve stanice i sezone. Cirkulacioni tipovi skoro podjednako utiču na temperature na svim stanicama, osim u Negotinu. Razlike u temperaturama između tipova za srednje i srednje maksimalne su manje, nego za srednje minimalne temperature. Kada je preko Srbije zastupljen jugozapadni tip, bilo usmeren ili hibridni, tada je na svim stanicama najtoplije, sem u Negotinu, gde je najtoplije za vreme severozapadnog tipa. Najhladnije je kada je iznad naše zemlje neki od E tipova za vreme zime i prelaznih sezona, dok je leti najhladnije za vreme N tipa.

Ključne reči: cirkulacioni tipovi, cirkulacija atmosfere, padavine, temperature, sezone, postepena regresija, Srbija

Naučna oblast: Meteorologija

Uža naučna oblast: Klimatologija i primenjena meteorologija

UDK: 551.589 (043.3)

Objective classification of atmospheric circulation over Serbia

Abstract

One of the primary dynamic factors shaping weather and climate of an area is the atmospheric circulation. Regional or local changes in meteorological parameters in the mid-latitudes are mainly controlled by the atmospheric circulation. In order to study relationships between atmospheric circulation and local weather conditions, classification of the synoptic systems is conducted, i.e., circulation weather types (WTs) are determined. Therefore, the main goal of this thesis is to objectively determine and explain the circulation weather types over Serbia. Studying of circulation types is a current topic that is constantly improved and updated.

The method of Jenkinson and Collison is an objective version of the Lamb's classification of atmospheric circulation, in which daily circulation is characterized using a set of indices associated with the direction, strength and vorticity of the flow. This method has been applied to the atmosphere over Serbia for the time period 1961-2010, resulting in 26 WTs: eight pure directional types - northerly (N), northeasterly (NE), easterly (E), southeasterly (SE), southerly (S), southwesterly (SW), westerly (W) and northwesterly (NW), two pure types based on the severity of the vorticity - cyclonic (C) and anticyclonic (A), and sixteen hybrid types (eight cyclonic and eight anticyclonic for each direction). Synoptic characteristics of circulation types against all four seasonal times are considered. Each of the circulation types has a distinct underlying synoptic pattern that produces the expected type and direction of flow over the study area. Trends and relative frequencies of the circulation types are analyzed. A shortcoming of this method is the lack of data on other higher levels. In thesis, this deficiency has been solved by the vertical structure of the atmosphere that was employed to analyze the anomalies of the geopotential height at the 500 hPa.

It has been found that the anticyclonic type (A), is the most common type of circulation in autumn with a frequency of 23.87%, then winter (18.93%) and summer (18.70%), followed by the northeasterly type (NE) with a frequency of 16.65% during

the summer season. The A type has a positive trend for winter and spring, and significant negative trend for autumn and summer. The C type shows a significantly negative trend only in spring.

In addition to identifying circulation types, another aim of this thesis is to analyze the relationship between atmospheric circulation and meteorological variables (precipitation and temperature). This analysis has been performed for all seasons at six meteorological stations, evenly distributed throughout Serbia. The results confirm that the Jenkinson and Collinson's method was successfully applied for identification of circulation types over Serbia, since the cyclonic types (C and hybrid) contribute to a greater amount of precipitation than the corresponding mean for all stations. Conversely, the anticyclonic types are associated with a lower than average probability and intensity of precipitation.

A stepwise regression model has been used to study the local seasonal precipitation variability based on WT occurrence. Precipitation was modeled, defining frequencies of circulation types as independent variables at six stations. It was noted that the model performance is better during winter than other seasons where the WT approach produces less accurate results. The results suggest that the C type affects the precipitation occurrence over most of the country, while the remaining 25 types provide more negligible and/or regional contributions to precipitation. According to some researchers, a shortcoming of the Jenkinson and Collinson's method is a large number of circulation types. The number of types is decreased in this thesis, by including the hybrid types into the corresponding directional and cyclonic or anticyclonic WTs. The types have been grouped in order to establish whether the reduced number of circulation types would result in better concordance of modeled precipitation with the observed precipitation. However, it transpires that there is no significant improvement, except for Zlatibor in autumn.

The relationship between the temperature and circulation types at all stations on a seasonal time scale is analyzed, as well. Circulation types almost equally influence temperature at all stations, except in Negotin. Temperature differences between mean and mean-maximum types are smaller than for mean-minimum temperatures. It has been found that it is the warmest during the southwestern type, directional or hybrid, at

all stations, except in Negotin. In Negotin, it is the warmest during the northwest type. In our country, it is the coldest when some of the E types are in effect during winter and transitional seasons, and during the N types in summer.

Keywords: circulation types, atmospheric circulation, precipitation, temperature, seasons, stepwise regression, Serbia

Scientific discipline: Meteorology

Scientific subdiscipline: Climatology and applied meteorology

UDC: 551.589 (043.3)

Sadržaj

1 Uvod	1
1.1 Motivacija	1
1.2 Cilj	3
2 Istorijski razvoj metoda za klasifikaciju atmosferske cirkulacije	4
2.1 Klasifikacija atmosferske cirkulacije u svetu.....	5
2.1.1 Subjektivne metode.....	5
2.1.2 Objektivne metode.....	7
2.2 Klasifikacija atmosferske cirkulacije na Balkanu	9
3 Korišćeni podaci i oblast istraživanja	11
3.1 Korišćeni podaci.....	11
3.2 Oblast istraživanja	12
4 Metodi	15
4.1 Objektivan metod Jenkinson-a i Collison-a.....	15
4.2 Padavinski parametri	19
4.3 Mann–Kendall-ov test	20
4.4 Linearni Regresioni Model	20
4.5 Ocene modela.....	22
5 Rezultati	24
5.1 Karakteristike cirkulacionih tipova	24
5.1.1 Zima	24
5.1.2 Leto	30
5.1.3 Prelazne sezone (jesen i proleće).....	36

5.2 Učestalost cirkulacionih tipova	41
5.3 Trend cirkulacionih tipova	42
5.4 Veza između cirkulacionih tipova i padavina	44
5.5 Ocene linearnog regresionog modela za 26 tipova	50
5.6 Ocene linearnog regresionog modela za 10 tipova	53
5.7 Veza između cirkulacionih tipova i temperatura.....	55
5.7.1 Zima	55
5.7.2 Leto	56
5.7.3 Jesen.....	59
5.7.4 Proleće.....	60
6 Diskusija	63
7 Zaključak	68
Literatura	71
Prilog 1.....	78
Prilog 2.....	82
Prilog 3.....	85

Uvod

Vreme i klima neke oblasti odraz su na prvom mestu osobenosti opšte cirkulacije atmosfere i uticaja lokalnih faktora. Jedan od mogućih načina da se opiše cirkulacija je da se identifikuju tipovi vremena karakteristični za posmatranu oblast. Dakle, osnovni princip klasifikacije je da se atmosferska stanja jasno i nedvosmisleno opišu.

1.1 Motivacija

Od početka 21. veka sinoptička klimatologija sve više nastavlja da se razvija kao primenjena, a u isto vreme i kao teorijska disciplina, posebno u pogledu tehnika klasifikacije atmosferske cirkulacije. Atmosferska cirkulacija je važna pokretačka sila koja određuje regionalnu i lokalnu klimu, koja obuhvata sva horizontalna i vertikalna vazдушna strujanja kojima se ostvaruje razmena vazдушnih masa i toplote velikih razmera u atmosferi (Palmen i Newton 1969). Broj metoda za klasifikaciju atmosferske cirkulacije je veliki i još uvek raste, u nadi da se pronađe pogodan metod koji će proizvesti jednostavan katalog tipova, koji će prikazivati najraznovrsnije mogućnosti u pogledu razvoja vremena iznad nekog mesta ili šire oblasti. To je dosta teško pošto se atmosferski cirkulacioni sistemi nalaze u stalnoj transformaciji. Atmosferska cirkulacija se samo uslovno može posmatrati kao sistem sa jasno odvojenim i definisanim podsistemima, što čini da je i svaka njena klasifikacija uslovna. Dakle, uloga cirkulacionih tipova je pojednostavljenje fizičke realnosti. To znači da ne postoji

apsolutno tačna, pravilna klasifikacija cirkulacije atmosfere, već prilagođena određenoj nameni, bolja ili lošija po određenim kriterijumima (Huth i dr. 2008).

Jedan od glavnih ciljeva sinoptičke klimatologije je analiziranje veze između cirkulacije atmosfere i meteoroloških promenljivih. Da bi se lakše proučavala ova veza vrši se klasifikacija sinoptičkih sistema, tj. određuju se tipovi cirkulacije. Takođe, klasifikacija atmosferske cirkulacije se koristi za opisivanje i analiziranje vremena i klimatskih uslova, kao metod za razdvajanje stanja atmosfere u grupe sa sličnim karakteristikama koje se ponavljaju (Philipp i dr. 2010). Glavni problem u klasifikaciji je što veoma slična stanja atmosfere nikad nisu ista. Zbog toga se jedno vremensko stanje može svrstati u više sličnih, a po mnogo čemu različitih tipova. S druge strane, da bi se razlike između sličnih stanja bolje i preciznije definisale, morao bi da se uvede veliki broj tipova (Radinović 1981). Još jedna od primena klasifikacije cirkulacionih tipova je da utvrdi učestalost, postojanost i jačinu prošle, sadašnje i buduće cirkulacije atmosfere (Huth i dr. 2008).

Promene u atmosferskoj cirkulaciji su presudne zato što su one često praćene promenama u površinskim meteorološkim promenljivama. Dakle, kao što je rečeno, svrha klasifikacije sinoptičkih sistema u tipove je proučavanje veze između njih i temperatura, padavina, ekstremnih događaja (jakih kiša, oluja, ekstremnih temperatura, poplava, suša), oblačnosti, vetra, koncentracije ozona, zagađujućih materija.

Sve više postoji interes za određivanje tipova cirkulacije, kao i njihovo međusobno upoređivanje, za određene oblasti na Zemlji, posebno u priobalnim zemljama i na Mediteranu, zbog uticaja ciklonske aktivnosti. Značajna studija Maherasa i dr. (2000a) je vršena za oblast Grčke, gde je razvijen nov metod za određivanje tipova, kao i njihova godišnja i sezonska raspodela. Dosta pažnje se posvećuje „reprodukovanju“ subjektivnih metoda objektivnim, pomoću izlaza iz modela i različitih reanaliza. Ovim su se detaljno bavili Jones i dr. (1993) i Linderson (2001). Oni su uradili Lamb-ovu klasifikaciju koristeći produkte iz reanaliza. Takođe, mnogi autori ispituju vezu između cirkulacionih tipova i padavina (Goodess i Jones 2002, Brisson E i dr. 2011, Baltacı H i dr. 2015), temperature (Cahynová i Huth 2009, Plavcová E 2013), biometeorologije (Laaidi 2001), koncentracije ozona (Demuzere i dr. 2011), kvaliteta vazduha (Stefan i dr. 2010), modova niskofrekventne varijabilnosti atmosfere (Lorenzo

i dr. 2008), ekstremnih događaja (Maheras i dr. 2006). Upotreba cirkulacionih tipova može biti vrlo koristan alat za testiranje izlaza iz globalnih klimatskih modela (Demuzere i dr. 2008, Anagnostopoulou i dr. 2008).

Za područje Srbije objektivna klasifikacija vremenskih stanja do sada nije urađena. U doktorskoj disertaciji za određivanje tipova cirkulacije iznad Srbije koristiće se objektivan Lamb-ov metod razvijen od strane Jekinson-a i Collison-a (1977), koji je potvrdio Jones (1993). Nedostatak ovog modela je nepostojanje podataka na višim nivoima, pa će se u radu posmatrati anomalije geopotencijalne visine na 500 hPa. Po mnogima još jedan nedostatak metoda je što ima veliki broj tipova. Sa velikim brojem tipova, analiza može biti dosta teška, jer neki od tipova mogu biti veoma retki. Mada s druge strane smanjenje broja tipova spajanjem postojećih, povećava veličinu svakog tipa, ali dovodi do uopštenja i gubitka jedinstvenosti. Zbog toga će u disertaciji broj tipova biti smanjen, da se pokaže da li i kako to utiče na rezultate.

Većina klimatskih elemenata u umerenoj zoni (kojoj Srbija i pripada) su u velikoj meri određeni atmosferskom cirkulacijom i zavise uglavnom od pravca i vrste dolaznih vazдушnih masa. Stoga će se u ovoj disertaciji ispitati povezanost utvrđenih tipova cirkulacije sa padavinama i temperaturama iznad Srbije na sezonskom nivou.

1.2 Cilj

Cilj ove disertacije je višestruk. Objektivna klasifikacija atmosferske cirkulacije za Srbiju do sada nije urađena, tako da je glavni cilj disertacije da se izvrši identifikacija i da se objasne tipovi atmosferske cirkulacije za područje Srbije. Za svaki od dobijenih tipova, analiziraće se odgovarajuće stanje na 500 hPa, da bi se ispitala atmosferska cirkulacija na visini. Cilj disertacije je i ispitivanje veze tako određenih tipova cirkulacije sa padavinama i temperaturama u Srbiji na sezonskom nivou. Još jedan cilj ove teze je da se pokaže da li dolazi do poboljšanja rezultata kada se broj tipova smanji u odnosu na onaj koji su predložili Jekinson i Collison.

Istorijski razvoj metoda za klasifikaciju atmosferske cirkulacije

Klasifikacije cirkulacionih vremenskih stanja imaju dugu istoriju u meteorologiji i klimatologiji. Metode za klasifikaciju su podeljene u dve grupe: subjektivne (ručne) i objektivne (automatske). Prvobitno su razvijene ručne metode za određen region sveta, koje su zavisile uglavnom od analize vremenskih stanja i od samog istraživača. Najpoznatije i mnogo puta analizirane ručne klasifikacije su: Grosswetterlagen tipovi za centralnu Evropu (Hess i Brezowsky 1977) i Lamb-ovi tipovi razvijeni za Britanska ostrva (Lamb 1972). U poslednjih nekoliko dekada, automatske klasifikacije cirkulacije koriste prednost današnjih računara, koji obrađuju veliku količinu podataka, omogućavajući da se odrede statistički značajne i slične sinoptičke grupe, na osnovu standardizovanih kriterijuma i podataka, a rezultati mogu biti ponovljeni, istraživanja mogu biti upoređivana i metod može biti primenjen u bilo kom regionu sveta. Sve automatske (objektivne) klasifikacije imaju ograničenja u vidu podataka i metoda koje koriste, kao i u interpretaciji rezultata (Kassomenos i dr. 1998). Vazdušni pritisak predstavlja najčešće korišćen ulazni podatak, koji se primenom određenog metoda prevodi u katalog tipova (Philipp i dr. 2010).

2.1 Klasifikacija atmosferske cirkulacije u svetu

2.1.1 Subjektivne metode

Prve klasifikacije cirkulacionih tipova su razvijene već na samom početku 20. veka. Katalozi cirkulacionih tipova su nastajali kao rezultat višegodišnjeg osmatranja vremena i zasnivali su se na stručnom znanju o efektima određenog cirkulacionog sistema na različite klimatske površinske promenljive, odnosno istraživači su pokušavali da razlikuju tipične sinoptičke situacije. Problem kod ručnih metoda za klasifikaciju atmosferske cirkulacije je taj što se one zasnivaju na subjektivnim interpretacijama istraživača, potrebno je mnogo vremena za njihovu izradu, izrađuju se za određen region sveta i nisu prenosive na druge regione.

Van Bebber (1882) je među prvima dao generalnu klasifikaciju vremenskih stanja na osnovu trajektorija oluja. Malo posle toga Elsner je objavio klasifikaciju vremenskih stanja za severne oblasti Alpa, baziranu na raspodeli pritiska iznad srednje Evrope (Radinović 1981).

Wangenheim (1933) je utvrdio klasifikaciju za evroatlantski region. On je sačinio kombinaciju tri tipična cirkulaciona stanja i opisao 26 makrosinoptičkih tipova. W opisuje zapadno strujanje od Atlantika i Evrope (zonalni tok ka Rusiji), a C i E su povezani sa meridionalnom cirkulacijom preko Evrope. Sledeći iste principe, Girs (1948) je napravio adekvatnu klasifikaciju za pacifičko–američku teritoriju. Kombinovanjem ove dve klasifikacije dobija se devet različitih Wangenheim–Girs cirkulacionih stanja za severnu hemisferu. Vodeći se Wangenheim–Girs principima, Dydina (1982) je utvrdio klasifikaciju cirkulacije za Arktik.

Lamb (1950, 1972), kao jedan od pionira u klasifikaciji sinoptičkih sistema, definisao je cirkulacione tipove, u zavisnosti od toka vazduha, za Britanska ostrva za period od 1898–1947. U radu iz 1972. je dat detaljan opis modela, primeri za sedam glavnih tipova (A, C, N, E, S, W i NW) i spisak tipova za svaki dan unazad do 1861. godine.

Jednu od najčuvenijih subjektivnih metoda za centralnu Evropu je izveo nemački meteorolog Baur (1947), koju su proverili i prepravili Hess i Brezowsky (1952) i nedavno Gerstengarbe i Werner (1999). Tipovi urađeni pomoću ovog metoda se definišu na osnovu dolazećeg pravca vazdušnih masa u donjoj troposferi u centralnu Evropu. Tako se razlikuju zonalni, mešoviti i meridionalni tipovi, koji su prvobitno razvrstani u šest, pa 10 tipova, a kasnije u 29 i još jedan nedefinisan tip. To su takozvani Grosswetterlagen-ovi tipovi. Sličnu klasifikaciju za Ameriku je uradio Elliott (1951). Objektivnu verziju Hess i Brezowsky (1952) Grosswetterlagen-ovih tipova uradio je James (2007) upotrebljavajući podatke srednjeg pritiska na nivou mora (MSLP – mean sea level pressure) i geopotencijalne visine na 500 hPa.

Klasifikaciju tipova vremena za područje Italije i većeg dela Sredozemlja izveo je Urbani (1954). Tipizacija je izvedena na osnovu oblika polja pritiska u prizemlju i na visini. Po ovoj klasifikaciji definisana su 24 tipa vremena za zimski i 26 tipova za letnji period.

György Péczely je 1957. objavio makrocirkulacionu klasifikaciju za oblast Mađarske i delove okolnih zemalja. Klasifikacija je imala 13 tipova i bila je definisana na osnovu geografske raspodele ciklona i anticiklona preko karpatskog basena, kao i položaja hladnih i toplih frontova.

Za područje Alpa, švajcarski meteorolog Schüepp (1957, 1959) napravio je klasifikaciju vremenskih stanja. Njegova prva verzija je sadržala 33 tipa vremenskih stanja, dok je u razvijenijoj varijanti kombinujući razne elemente, kao što su veličina gradijenta pritiska u prizemlju, vrednosti RT 500/1000 hPa, intenzitet frontova itd. dobio čak 121 vremensko stanje. Osamdesetih godina napravljeno je nekoliko subjektivnih klasifikacija za oblast Alpa, koje se zasnivaju na Hess i Brezowsky-ovoj klasifikaciji.

Subjektivne klasifikacije cirkulacionih tipova su rađene i pomoću analiza trajektorija (Belasco 1952) i zbirnog metoda koji je razvio Bryson (1966).

2.1.2 Objektivne metode

Sve češće se primenjuju i analiziraju objektivne metode koje se zasnivaju na upotrebi multivarijantne statistike, tj. na analizi glavnih komponentata (PCA – principal component analysis) i tehnici grupisanja (CL – cluster techniques). Kod njih su i tipovi i dodeljivanje tipa svakom danu određeni numeričkim procedurama. Međutim ni za jednu metodu ne možemo da kažemo da je u potpunosti objektivna, jer se opet moraju doneti neke subjektivne odluke, kao na primer izbor broja tipova za određenu šemu.

Richman (1981) je predložio da PCA bude korišćena kao alat za klasifikaciju cirkulacije. Postoji nekoliko različitih režima za PCA. P režim se koristi za smanjenje dimenzionalnosti velikih setova klimatskih podataka, čiji ishod je broj glavnih komponentata koji opisuju glavne režime između prvobitnih klimatskih promenljivih (Yarnal 1993). Potom se CA primenjuje na matricu glavnih komponentata rezultata da bi se indentifikovale grupe dana sa sličnim meteorološkim karakteristikama (McGregor i Bamzeliš 1995). Dakle, cilj analize glavnih komponentata je redukcija podataka (u slučaju klasifikacije manji broj tipova) i interpretacija. Postoje i S i T režimi u analizi glavnih komponenti (Huth 2008).

Prostorna sinoptička klasifikacija (SSC) je prvo bila razvijena za istočnu i centralnu Ameriku. Kasnije je doradena kao SSC2 od strane Sheridan-a (2000, 2002) za prostore Kanade i zapadne Amerike. SSC/SSC2 je klasifikacija dnevnih osmotrenih vremenskih uslova, od stanice do stanice, koji se svrstavaju u jednu od šest tipova vazdušnih masa (suvu polarnu, suhu umerenu, suhu tropsku, vlažnu polarnu, vlažnu umerenu i vlažnu tropsku) koje opisuju kombinaciju vlažnosti i temperature na svakoj stanici.

Za klasifikaciju cirkulacionih tipova sve više se koriste i metodi sa tehnikom fazi logike i neuralnim mrežama (Bardossy i dr. 1995, Hewitson i Crane 2002), kao i razni statistički metodi (Sheridan 2002, Philipp i dr. 2007, Fereday i dr. 2008). Ramos i dr. (2014) su razvili nov metod za klasifikaciju cirkulacionih tipova zasnovan na Lagranžovim putanjama vazdušnih masa.

Hibridne šeme su deo objektivnih metoda, zasnovane na postojećim tzv. ručnim katalozima cirkulacionih tipova (kao što su Lamb-ov ili Grosswetterlagen-ov). Za razliku od subjektivnih, kod hibridnih metoda, pravila koja definišu razlike između tipova mogu da se automatizuju.

Jedan od primera hibridnih metoda je klasifikacija po uzoru na Grosweter-ovu. Osnovna ideja je da se definišu cirkulacioni tipovi u zavisnosti od stepena zonalnosti, meridionalnosti i vrložnosti MSLP polja (Beck 2000). Koeficijenti zonalnosti, meridionalnosti i vrtložnosti za svaki dan se definišu kao prostorni koeficijent korelacije između odgovarajućeg MSLP polja i tri tipska obrasca koja reprezentuju idealizovane pravce izobara preko oblasti od interesa zapad–istok, jug–sever i zatvorene izobare oko niskog pritiska. Deset cirkulacionih tipova se definišu kombinujući ova tri koeficijenta.

Litynski advekcija je hibridna šema koja je zasnovana na tri indeksa, računatih pomoću pritiska na nivou mora, koji ocenjuju advekciju vazdušnih masa, kao i ciklonalnost (Pianko–Kluczynska 2007). Meridionalni i zonalni indeksi su računati kao osrednjene prostorne komponente vektora geostrofskog vetra, dok je ciklonalnost procenjena kao vrednost MSLP preko centralnog domena (Litynski 1969).

Objektivan Lamb-ov metod (James 2006) spada u hibridne šeme i to je modifikovana verzija Jenkinson i Collison (1977) sistema za klasifikaciju dnevnih MSLP polja po uzoru na subjektivan Lamb-ov metod (Lamb 1950). Mnogi autori koriste ovaj metod da opišu cirkulacione tipove i nađu vezu između tipova i padavina. Primeri za to su Conway i dr. (1996) za Britanska ostrva, Goodess i Palutikov (1998) za jugoistočnu Španiju, Kilsby i dr. (1998) za Englesku i Vels, Trigo i DaCamara (2000) za Portugal, Spellman (2000) za Iberijsko poluostrvo, Linderson (2001) za južnu Švedsku itd. Ovaj metod je korišćen i u ovoj doktorskoj disertaciji, tako da je detaljan opis metoda dat u poglavlju 4.1.

Objektivna Wettelagen klasifikacija se zasniva na klasifikacijama Dittmann-a i dr. (1995) i Bissolli-ja i Dittmann-a (2003). Prvobitna klasifikacija je uključivala 40 različitih tipova. Rezultati su prikazivani šiframa od pet slova. Prva dva slova su označavala preovlađujući vetar, treće i četvrto slovo je bilo rezervisano za

anticiklonalnu ili ciklonalnu cirkulaciju na 925 hPa i 500 hPa i peto slovo je označavalo suve ili vlažne uslove. Razvijajući se, metod je imao 28, pa 18 i na kraju devet tipova.

Schuepp (1957, 1968, 1979) je razvio klasifikacionu šemu za zapadnu alpsku oblast i Švajcarsku. Vreme je klasifikovao u 40 tipova. Cirkulacioni tipovi su definisani pomoću sledećih promenljivih: gradijenta površinskog pritiska i pravca vetra na površini, intenziteta i pravca vetra na 500 hPa, geopotencijalne visine na 500 hPa, smicanja vetra u vertikalnom pravcu i baroklinošću. Rezultujućih 40 tipova je grupisano u tri grupe.

Maheras (1988, 1989) je kombinovao subjektivne i objektivne metode da napravi katalog vremenskih tipova. Koristio je podatke o pritisku na nivou mora (SLP – sea level pressure) i geopotencijalnoj visini na 500 hPa. Pomoću dobijenih cirkulacionih tipova je objašnjavao trend padavina na području Grčke.

2.2 Klasifikacija atmosferske cirkulacije na Balkanu

Za teritoriju Srbije, objektivne metode za klasifikaciju atmosferske cirkulacije do sada nisu rađene. Postoje samo subjektivne metode koje su urađene za neke delove stare Jugoslavije. U daljem tekstu naveden je pregled nekih od njih.

Prvu klasifikaciju tipova na području stare Jugoslavije dao je Marki (1923). Klasifikacija se odnosila na područje Jadrana i nastala je iz svakodnevnih zapažanja vremena pri lokalnim vetrovima (bura, maestral, jugo i ostali).

Čadež (1949, 1964) je na osnovu višegodišnjih posmatranja vremena u Ljubljani napravio klasifikaciju lokalnog vremena koja se bazira na četiri osnovna tipa (anticiklonalni, advektivni, konvektivni i ciklonalni). Kombinacijom ova četiri on je dobio više složenih tipova. Čadež je sačinio kalendar tipova vremena za odabrane stanice u Jugoslaviji za 1951. i 1952. godinu.

Još jednu među razvijenijim klasifikacijama dao je Poje (1965). On je smatrao da je vreme u našim krajevima u najvećoj meri odraz raspodele pritiska u prizemlju. Na

osnovu oblika polja pritiska na sinoptičkoj karti, definisao je četiri grupe vremena (anticiklonalnu, prelaznu, ciklonalnu i tipove bezgradijentnog polja pritiska).

Dobrilović (1960, 1978) je proučavao visinsko strujanje iznad Jugoslavije i prizemne vetrove. Na osnovu njih, strujanja za Beograd, Zagreb i Split je klasifikovao u 10 grupa. Za svaku od tih grupa odredio je karakterističnu raspodelu pritiska u prizemlju i na 700 hPa za područje Evrope, kao i temperaturu i režim vetra na izobarskim površinama od 850, 700 i 500 hPa.

Na osnovu atmosferske cirkulacije Lalić (1967) je definisao određene tipove iznad našeg područja. Koristio je izobarsku površinu od 500 hPa kao srednji troposferski nivo, koji dosta dobro karakteriše cirkulaciju većeg dela atmosfere iznad evropskog kontinenta. Osnovni kriterijum mu je bio visinsko strujanje iznad Jugoslavije i položaj glavnog cirkulacionog sistema u datom tipu cirkulacije. Napravio je klasifikaciju koja je sadržala dvanaest osnovnih cirkulacionih tipova.

Radinović (1981) je izveo detaljnu statistiku barskih sistema srednjih i malih razmera za područje koje je od značaja za vreme i klimu naše zemlje. Takođe, definisao je dvanaest vremenskih stanja (osam po glavnim pravcima ruže vetrova, dva vrtložna i prelazno stanje). Za identifikaciju određenog stanja koristio je podatke o vetru, smeru vrtložnosti i znak laplasijskog geopotencijala na 850 hPa za nekoliko meteoroloških stanica bivše Jugoslavije.

Korišćeni podaci i oblast istraživanja

3.1 Korišćeni podaci

Za određivanje cirkulacionih tipova koristili smo niz podataka od 50 godina (1961–2010). Klasifikacija je urađena na osnovu podataka srednjeg dnevnog pritiska na nivou mora (SLP) preuzetih iz National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanaliza (Kalnay i dr. 1996). Anomalije geopotencijalne visine na 500 hPa su računane sa geopotencijalnim visinama koje su, takođe, preuzete iz NCEP/NCAR reanaliza. Podaci su dati na mreži od $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, u oblasti od 20°W – 40°E i 25° – 70°N .

Za analizu sezonskih padavina i temperatura, koristile su se dnevne vrednosti srednjih temperatura, minimalnih i maksimalnih temperatura i suma padavina za odabranih šest stanica (Beograd, Negotin, Niš, Loznica, Zrenjanin, Zlatibor) koje su preuzete iz Republičkog Hidrometeorološkog zavoda Srbije za period od 1961. do 2010. godine. Hidrometeorološki zavod je izvršio tehničku proveru ovih merenja, a homogenost je ispitana koristeći Levene-ov test varijanse (Levene 1960). Utvrđeno je da su podaci kompletni i svi se mogu smatrati homogenim. Kontrolom kvaliteta podataka nisu nađene negativne vrednosti padavina, kao ni da su minimalne temperature više od maksimalnih. Lokacija meteoroloških stanica i njihove geografske karakteristike

su prikazane na slici 1. Ovih šest stanica su odabrane, jer predstavljaju različite regione u Srbiji (ravnice, kotline, planinske i urbane oblasti).

Analize će biti vršene po sezonama. Izračunavanja će biti urađena u programskim jezicima FORTRAN i MATLAB, a slike će se crtati u paketu GrADS (Grid Analysis and Display Systems).



Slika 1. Mapa Srbije sa stanicama korišćenim u disertaciji.

Stanice	Geog. širina (N)	Geog. dužina (E)	Nadmorska visina (m)
Beograd	44°48'	20°28'	132
Loznica	44°33'	19°14'	121
Niš	43°20'	21°54'	201
Negotin	44°14'	22°33'	42
Zlatibor	43°44'	19°43'	1028
Zrenjanin	45°22'	20°25'	80

3.2 Oblast istraživanja

Srbija se nalazi između centralne i južne Evrope. Karakteriše je kompleksna topografija sa Panonskom nizijom na severu i Dinarskim planinama u zapadnim i jugozapadnim delovima. Karpati, Balkan i Rodopske planine se prostiru u istočnim i jugoistočnim delovima.

Zastupljena su tri glavna tipa klime: kontinentalni, umereno kontinentalni i modifikovani mediteranski tip klime, sa postepenim prelaskom iz sezone u sezonu u toku godine. Geografski položaj i orografija su ključni činioci u formiranju različitih tipova klime.

Padavine u Srbiji su obično posledica prolaska ciklona i veze atmosferskih frontova sa opštom cirkulacijom atmosfere u srednjim širinama (Tošić i dr. 2016). Neravnomerno su raspoređene u vremenu i prostoru, a prosečna količina je 896 mm za celu zemlju i raste od severa ka jugu. Suvlje oblasti, sa padavinama ispod 600 mm, nalaze se na severoistoku zemlje, delu Kosova, kao i u dolini Južne Morave. Oblast koju čine Podunavlje, dolina Velike Morave i njen nastavak prema Vranju i Dimitrovgradu, imaju tokom godine do 650 mm padavina. Idući na istok, u oblast Homoljskih planina, godišnje sume padavina dostižu vrednosti blizu 800 mm. Slično je i u planinskim predelima na jugoistoku Srbije. Veća i kompaktnija oblast prema zapadu i jugozapadu je najkišovitiji deo Srbije. Prema Pešterskoj visoravni i Kopaoniku vrednosti rastu do 1000 mm godišnje (<http://www.hidmet.gov.rs/>). Najviše padavina ima na planinama na jugozapadu (Prokletije) i u južnim delovima zemlje (planina Šara) sa prosečnom količinom koja prelazi 1300 mm (Bajat i dr. 2013). Veći deo Srbije ima kontinentalni režim padavina. Mesec sa maksimalnom količinom padavina je jun ili maj, dok se minimum javlja za vreme februara ili oktobra. Zbog uticaja Mediterana, reljefa i obronaka visokih planinskih masiva jugozapadni deo Srbije ima mediteranski režim sa maksimumom za vreme novembra, decembra ili januara, a minimumom u avgustu (<http://www.hidmet.gov.rs/>).

Iako je orografija najvažniji faktor u prostornoj raspodeli padavina, postoje i neka odstupanja. Tako, neke oblasti u centralnoj i južnoj Srbiji koje se nalaze na visini od 400–600 m primaju manje padavina od oblasti na nižim visinama u okruženju. Pored orografije, značajan faktor je udaljenost od izvora vlage (Jadransko more i Atlantski okean). Zbog toga, istočni delovi zemlje, sa istim geografskim širinama i nadmorskim visinama, primaju manje padavina od zapadnih delova (Bajat i dr. 2013). Tako velike količine padavina u zapadnim delovima Srbije su posledica hladnih frontova, pljuskova i oluja u hladnim vazдушnim masama koje dolaze sa Atlantika i iz zapadne Evrope (Unkašević i Tošić 2011).

Prosečna godišnja temperatura vazduha za područja sa nadmorskom visinom do 300 m iznosi 10,9°C, a za područja sa nadmorskom visinom od 300 m do 500 m oko 10,0°C. U planinskim predelima na preko 1000 m nadmorske visine srednje godišnje temperature su oko 6,0°C, a na visini preko 1500 m oko 3,0°C. Jesen je toplija od proleća. Najhladniji mesec je januar sa srednjom mesečnom temperaturom u intervalu od -6,0°C u planinskim predelima do oko 0,0°C u ravničarskim delovima zemlje. Najvišu srednju januarsku temperaturu od 0,4°C ima Beograd zbog izraženog urbanog uticaja, dok područja sa nadmorskom visinom do 300 m imaju srednju januarsku temperaturu od -1,0°C do 0,0°C, gde se izdvajaju područja Timočke krajine i izražene kotline sa srednjim temperaturama u januaru i do -3,0°C. Za mesta sa nadmorskom visinom u intervalu od 300 do 500 m, srednje januarske temperature se kreću od -3,0°C do -1,0°C, a u mestima sa nadmorskom visinom preko 1000 m od -6,0°C do -3,0°C.

Najtopliji mesec je jul sa srednjom mesečnom temperaturom u intervalu od 11,0°C do 22,0°C. Područja sa nadmorskom visinom do 300 m imaju srednju julsku temperaturu u intervalu od 20,0°C do 22,0°C, kao i neka mesta u južnoj Srbiji čija je nadmorska visina od 400 do 500 m. Iznad 1000 m nadmorske visine, srednja julska temperatura je u intervalu od 11,0°C do 16,0°C.

Najniže temperature su registrovane u januaru i kreću se u intervalu od -35,6°C (Sjenica) do -18,2°C (Beograd). Apsolutni maksimumi izmereni su u julu i kreću se u intervalu od 30,0°C (Kopaonik) do 44,9°C (Smederevska Palanka, 24.07.2007.) (<http://www.hidmet.gov.rs/>).

Metodi

Da bi opisali vreme u nekom mestu ili iznad neke oblasti najpogodnije je izdvojiti najznačajnije karakteristike koje su zajedničke određenim stanjima atmosfere, što je moguće objektivnije. Najbitnije zajedničke karakteristike stanja atmosfere, koje se manifestuju u vremenskim stanjima iznad određenih oblasti, su pravac strujanja i smer cirkulacije. Pravac strujanja je značajan po tome što se iz određenih pravaca prenose vazdušne mase sa određenim fizičkim svojstvima, vrše prodori i advekcija hladnog i toplog vazduha. Smer cirkulacije je značajan po tome što se pri ciklonalnom smeru javlja uspono, a pri anticiklonalnom smeru nispono strujanje vazduha. Svaki od ovih smerova vertikalnog kretanja ima poseban odraz na vreme iznad razmatrane oblasti (Radinović 1981).

4.1 Objektivni metod Jenkinson-a i Collison-a

Dnevni cirkulacioni tipovi iznad Srbije su dobijeni koristeći objektivni pristup razvijen od strane Jenkinson-a i Collison-a (1977) koji je zasnovan na Lamb-ovim tipovima, kojeg je dopunio i potvrdio Jones (1993). Ovaj metod koristi tri osnovne promenljive koje definišu cirkulaciju preko oblasti od interesa:

D – pravac srednjeg toka,

F – jačinu srednjeg toka,

V – vrtložnost.

Da bi se ove promenljive izračunale koriste se:

WF – zonalna komponenta površinskog vetra, računata kao gradijent pritiska između $37,5^\circ$ i $47,5^\circ$ N,

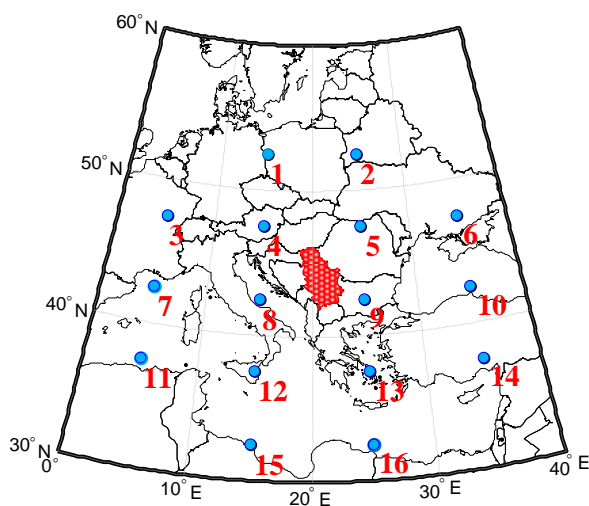
SF – meridionalna komponenta površinskog vetra, računata kao gradijent pritiska između 15° i 25° E,

VW – zonalna komponenta vrtložnosti,

VS – meridionalna komponenta vrtložnosti.

Kombinovanje zonalnog tj. zapadnog toka (WF) i meridionalnog tj. južnog toka (SF) daje jačinu (F) i pravac toka (D) rezultujućeg toka. Suma zonalne komponente vrtložnosti (VW) i meridionalne komponente vrtložnosti (VS) daje ukupnu vrtložnost (V). Pozitivne vrednosti vrtložnosti odgovaraju ciklonalnoj cirkulaciji, a negativne anticiklonalnoj.

Karakteristike toka i vrtložnosti su računate pomoću dnevnih vrednosti površinskog pritiska u tačkama mreže date na slici 2. Ova mreža tačaka (10° geografske dužine \times 5° geografske širine) između $32,5^\circ$ i $52,5^\circ$ N i 5° i 35° E je korišćena u računu, jer se pokazalo da njen položaj i rezolucija najbolje opisuju tipove cirkulacije iznad Srbije. Do toga se došlo, tako što je ona pomerana u četiri glavna pravca (sever, istok, jug i zapad) i njena rezolucija je bila menjana tako što su pravljene kombinacije od $2,5^\circ$, 5° i 10° (npr. $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, $2,5^\circ \times 5^\circ$, $5^\circ \times 2,5^\circ$, $10^\circ \times 5^\circ$, itd.). Za svaki položaj tačaka rađeno je poređenje sa realnim situacijama.



Slika 2. Mreža tačaka iznad južne Evrope koja se koristi za računanje toka i vrtložnosti iznad Srbije. Označeni brojevi se koriste u jednačinama.

Brojevi na slici 2 odgovaraju brojevima (p_n) u jednačinama za računanje pomenutih promenljivih pomoću kojih se određuju tipovi cirkulacije iznad Srbije. Mi koristimo sledeće jednačine:

$$WF = \frac{1}{2}(p_{12} + p_{13}) - \frac{1}{2}(p_4 + p_5)$$

$$SF = 1,36 \left[\frac{1}{4}(p_5 + 2 * p_9 + p_{13}) - \frac{1}{4}(p_4 + 2 * p_8 + p_{12}) \right]$$

$$F = (WF^2 + SF^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$VW = 1,11 \left[\frac{1}{2}(p_{15} + p_{16}) - \frac{1}{2}(p_8 + p_9) \right] - 0,92 \left[\frac{1}{2}(p_8 + p_9) - \frac{1}{2}(p_1 + p_2) \right]$$

$$VS = 0,92 \left[\frac{1}{4}(p_6 + 2 * p_{10} + p_{14}) - \frac{1}{4}(p_5 + 2 * p_9 + p_{13}) - \frac{1}{4}(p_4 + 2 * p_8 + p_{12}) + \frac{1}{4}(p_3 + 2 * p_7 + p_{11}) \right]$$

$$V = VW + VS.$$

Sve veličine imaju jedinice hPa/10° na 42,5° severne geografske širine. Koeficijenti u jednačinama su različiti u zavisnosti od geografske širine, gde se dati metod koristi. Ovde će koeficijenti biti objašnjeni za širinu od 42,5° (označenu kao α), jer je to sredina mreže:

$$SF, 1,36 \text{ je } 1/\cos \alpha;$$

$$VW, 1,11 \text{ i } 0,92 \text{ su } \sin \alpha/\sin(\alpha - 5^\circ) \text{ i } \sin \alpha/\sin(\alpha + 5^\circ), \text{ respektivno;}$$

$$VS, 0,92 \text{ je } 1/2(\cos(\alpha)^2).$$

Tipovi cirkulacije iznad Srbije su identifikovani koristeći sledeća pravila koje su definisali Jenkinson i Collison (1977):

a) Pravac strujanja je $\arctan(WF/SF)$. Pravci su podeljeni u osam grupa po 45° (kao kod ruže vetrova), npr. W (zapadni) tip se dešava kada je pravac strujanja između 247,5° i 292,5°.

b) Ako je $|V| < F$, to je usmeren tip,

c) Ako je $|V| > 2F$, tip je ciklonalni, ako je $V > 0$ ili anticiklonalni, ako je $V < 0$,

d) Ako je $|V|$ između F i $2F$ onda je tok delimično ciklonalni, a delimično anticiklonalni, takav tip se naziva hibridni.

Pravila spomenuta iznad nam omogućavaju da definišemo 26 različitih cirkulacionih tipova. Oni se grupišu u tri glavne grupe (tabela 1): osam usmerenih tipova po pravcu – severni, severoistočni, istočni, jugoistočni, južni, jugozapadni, zapadni i severozapadni, zatim dva vrtložna tipa zasnovana na jačini vrtložnosti – ciklonalni i anticiklonalni i šesnaest hibridnih tipova (osam ciklonalnih i osam anticiklonalnih za svaki pravac). Razlika između usmerenih i hibridnih tipova je rastojanje centra visokog/niskog pritiska od sredine posmatrane oblasti, kao i u jačini toka.

Tabela 1. Nazivi 26 cirkulacionih tipova.

Oznaka	Naziv tipa
A	Anticiklonalni
C	Ciklonalni
E	Istočni
NE	Severoistočni
N	Severni
NW	Severozapadni
W	Zapadni
SW	Jugozapadni
S	Južni
SE	Jugoistočni
HAE	Hibridni anticiklonalni istočni
HANE	Hibridni anticiklonalni severoistočni
HAN	Hibridni anticiklonalni severni
HANW	Hibridni anticiklonalni severozapadni
HAW	Hibridni anticiklonalni zapadni
HASW	Hibridni anticiklonalni jugozapadni
HAS	Hibridni anticiklonalni južni
HASE	Hibridni anticiklonalni jugoistočni
HCE	Hibridni ciklonalni istočni
HCNE	Hibridni ciklonalni severoistočni
HCN	Hibridni ciklonalni severni
HCNW	Hibridni ciklonalni severozapadni
HCW	Hibridni ciklonalni zapadni
HCSW	Hibridni ciklonalni jugozapadni
HCS	Hibridni ciklonalni južni
HCSE	Hibridni ciklonalni jugoistočni

Jenkinson i Collison (1977) su definisali i nerazvrstani tip, međutim mi nismo koristili nerazvrstan tip, zato što se pokazalo da manje od 2% dana pripada tom tipu.

Posle analize 26 tipova, smanjili smo broj tipova, tako što smo svaki od 16 hibridnih tipova uključili sa težinom 0,5 u odgovarajući vrtložni i usmeren tip (npr. HCE je bio uključen sa težinskim faktorom od 0,5 u C i sa 0,5 u E tip). Na taj način smo dobili 10 cirkulacionih tipova.

Na ovaj način je urađena klasifikacija atmosferske cirkulacije iznad Srbije, tj. za svaki dan je određen tip cirkulacije koji je postojao iznad Srbije. Dobijeni tipovi su potvrđeni upoređivanjem sa realnim situacijama po danima za deset godina.

Nedostatak metoda kojeg su razvili Jenkinson i Collison je odsustvo podataka na drugim, višim nivoima. U disertaciji ovaj nedostatak je rešen tako što se razmatrala i vertikalna struktura atmosfere analizom anomalija geopotencijalne visine na površini od 500 hPa. Posmatrajući nivo od 500 hPa, jačina doline/grebera sa visinom može biti ocenjena. Dolina je nagoveštaj hladnog vremena sa verovatnim padavinama, dok ako je zastupljen greben to je naznaka toplog vremena bez padavina.

4.2 Padavinski parametri

Da bi našli vezu između padavina i tipova cirkulacije izračunali smo dva parametra. Prvi parametar je odnos P_{dct}/P_{dtot} (Goodness i Palutikof 1998, Goodness i Jones 2002), gde je P_{dct} procenat padavinskih dana određenog cirkulacionog tipa i P_{dtot} je procenat svih padavinskih dana:

$$\frac{P_{dct}}{P_{dtot}} = \frac{N_{wct}}{N_{ct}} \cdot \left(\frac{N_{wtot}}{N_{tot}} \right)^{-1},$$

gde je N_{wct} ukupan broj padavinskih dana određenog cirkulacionog tipa, N_{ct} je ukupan broj dana određenog tipa, N_{wtot} je ukupan broj padavinskih dana u periodu od 50 godina date sezone i N_{tot} je ukupan broj dana u periodu vremena koji se posmatra.

Drugi parametar je odnos P_{act}/P_{atot} , gde je P_{act} srednja dnevna količina padavina određenog tipa, a P_{atot} je srednja dnevna količina padavina za sve dane određene sezone za ceo period od 1961–2010. godine:

$$\frac{P_{act}}{P_{atot}} = \frac{A_{ct}}{N_{wct}} \cdot \left(\frac{A_{tot}}{N_{wtot}} \right)^{-1},$$

gde je A_{ct} ukupna količina padavina za određen cirkulacioni tip, A_{tot} je ukupna količina padavina za ceo posmatrani period.

Ako je parametar P_{act}/P_{atot} tj. P_{act}/P_{atot} veći od 1, to znači da postoji pozitivna anomalija (velika je verovatnoća da se dogode padavine za određen cirkulacioni tip u odnosu na sve ostale cirkulacione tipove, tj. da je dnevni intenzitet padavina za dati tip, veći od dnevnog proseka za čitav period od 50 godina, respektivno). Ako je parametar manji od jedan, to ukazuje na negativne anomalije.

4.3 Mann–Kendall-ov test

Prisustvo ili odsustvo trenda cirkulacionih tipova određeno je pomoću Mann–Kendall-ovog testa koristeći statistiku τ (Kendall MG i Stuart 1976, Mališić 2002) koja je definisana kao:

$$\tau = \frac{4\sum n_i}{N(N-1)} - 1,$$

gde je n_i broj vrednosti većih od i -te vrednosti u podnizovima od N promenljivih. Da bi se ispitala značajnost ove statistike, poređenje se vrši sa:

$$(\tau)_t = \pm t_g \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}},$$

gde je t_g željena verovatnoća Gausove raspodele za dvostrani test (WMO 1966). Linearni trend je određen metodom najmanjih kvadrata. Uzeto je $\alpha=5\%$ i stoga je $t_g=1,96$. Ukoliko je $|\tau| \geq |(\tau)_t|$ tada kažemo da postoji trend značajan na 5% nivou.

Trend je urađen za sve sezone i meteorološke stanice.

4.4 Linearni Regresioni Model

Osnovni cilj regresione analize je opis i predviđanje zavisno promenljive. Najbitnije je odabrati određen broj nezavisno promenljivih, koje će omogućiti efikasno predviđanje zavisno promenljive. Višestruka regresija daje model gde su uključene sve

promenljive sa kojima je analiza i započeta, bez obzira na njihov različiti značaj ili veliku višestruku kolinearnost. Zbog toga je postepena (stepwise) regresija mnogo pogodnija, jer nam omogućava da se izborimo sa problemom višestruke kolinearnosti, kao i sa nezavisnim promenljivama koje su od malog značaja. Dakle, u modelu postepene regresije je uključen manji broj nezavisno promenljivih, što nam omogućava lakšu analizu regresionog modela.

Kada je višestruka kolinearnost velika, onda mnoge promenljive imaju slično značenje, pa nije potrebno da sve one budu uključene u model. Postepena regresija omogućava da se eliminišu promenljive koje se preklapaju sa drugima i zbog toga malo ili uopšte ne doprinose tačnosti. Kao rezultat ovog pristupa dobija se novi model sa manjim brojem nezavisnih promenljivih koji je isto toliko dobar koliko i model u kojem se nalaze sve nezavisne promenljive.

Postupak postepene regresije se odvija na sledeći način (Myers i Mullet 2003):

- izabere se jedna nezavisna promenljiva koja ima najveću korelaciju sa zavisnom promenljivom;
- između ostalih promenljivih bira se ona koja najviše doprinosi tačnosti; ovaj korak se izvodi sve dok ne ostane ni jedna promenljiva koja bi doprinela još većoj tačnosti modela;
- pri svakom koraku izračunava se test statističke značajnosti za onaj nivo predviđanja koji dodaje nova promenljiva; ako je taj nivo ispod značajnosti koja je unapred određena, ta varijabla se isključuje iz modela;
- uradi se konačni regresioni model sa dobijenim koeficijentima; ako je višestruka kolinearnost bila velika, model će imati manje promenljivih u odnosu na originalni model.

Dakle, postepena regresija pripada klasi regresionih modela gde se izbor prediktora bira automatski, a cilj je da se izabere što manji podskup skupa predskazivačkih promenljivih, koji će najbolje prognozirati prediktante. Ovo dovodi do regresionog modela koji je jednostavan, ali uz dobru prediktivnu sposobnost.

U ovoj disertaciji modeli višestruke linearne regresije sa postepenom procedurom su razvijeni za svaku stanicu koristeći učestalosti cirkulacionih tipova kao prediktore

(nezavisne promenljive) i odgovarajuće količine padavina kao prediktante za period od 1961. do 2010. godine. Izabran nivo značajnosti je bio 0,05.

Ovo je bilo urađeno za svih 26 tj. 10 mogućih prediktora, za svih 6 stanica i 4 sezone. Modeli (njih 48 za svaku stanicu i sezonu) su napravljeni za prvih trideset godina, a proveravani za ostalih dvadeset godina.

4.5 Ocene modela

Nash–Sutcliffe-ov (1970) koeficijent efikasnosti (MEF – model efficiency coefficient), koeficijent korelacije (Pearson-ov r) i koeficijent determinacije (R^2) se koriste za ocenu uspešnosti regresionih modela.

Indeks MEF je definisan kao:

$$MEF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{o_i} - P_{m_i})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{o_i} - \overline{P_{o_i}})^2},$$

gde P_{o_i} označava osmotrene padavine u vremenskom koraku i , P_{m_i} su modelovane padavine u vremenskom koraku i , $\overline{P_{o_i}}$ označava srednju količinu padavina za ceo period od 20 godina i n je broj vremenskih koraka. MEF uzima vrednosti od $-\infty$ do 1. Kad je MEF 1, model je savršen. Kada je Nash–Sutcliffe-ov koeficijent efikasnosti 0 to ukazuje da su modelska predviđanja tačna koliko i srednja vrednost osmotrenih podataka, a ako je $MEF < 0$ kažemo da je osmotrena srednja vrednost bolji prediktor od modela.

Korelacija podrazumeva analizu jačine i smera povezanosti dve promenljive. Kad god postoji značajna korelacija između dve promenljive može se vrednost jedne iskoristiti za predviđanje druge promenljive. Vrednost Pearson-ovog koeficijenta korelacije kreće se između -1 i 1 , gde 1 označava potpunu pozitivnu korelaciju između dva niza (porast jedne promenljive praćen je porastom druge), 0 kada nema korelacije i -1 je potpuna negativna korelacija dva niza (porast jedne praćen je padom druge promenljive). To je bezdimenzionalna veličina, definisana na sledeći način:

$$r = \frac{\mu}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

μ – kovarijansa, σ_x i σ_y – standardne devijacije promenljivih x i y .

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}); \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

gde je n broj vremenskih koraka.

Poslednji indeks koji je korišćen za proveru uspešnosti modela je koeficijent determinacije. R^2 pokazuje koliki je procenat promenljivosti zavisne promenljive objašnjen promenljivošću nezavisnih promenljivih. Računa se kao kvadrat Pearson-ovog koeficijenta linearne korelacije i uzima vrednost od 0 do 1. Model je reprezentativniji što je koeficijent determinacije bliži jedinici.

Rezultati

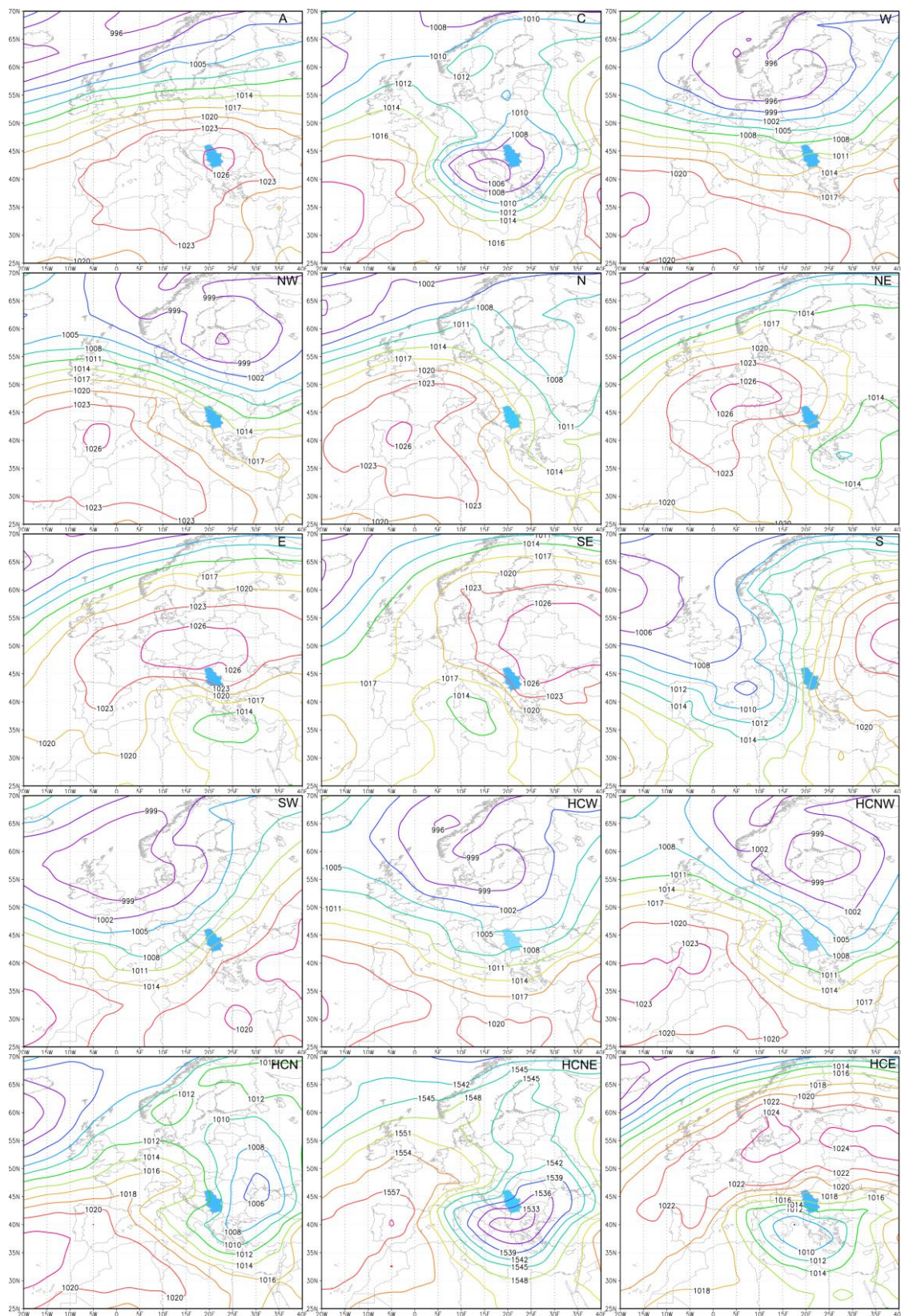
5.1 Karakteristike cirkulacionih tipova

Katalog cirkulacionih tipova zasnovan na metodu Jenkinson-a i Collison-a je razvijen za područje Srbije za period od 1961. do 2010. za sve četiri sezone: zimu (decembar, januar, februar), proleće (mart, april, maj), leto (jun, jul, avgust) i jesen (septembar, oktobar, novembar). U ovom poglavlju će biti opisane glavne karakteristike cirkulacionih tipova po sezonama.

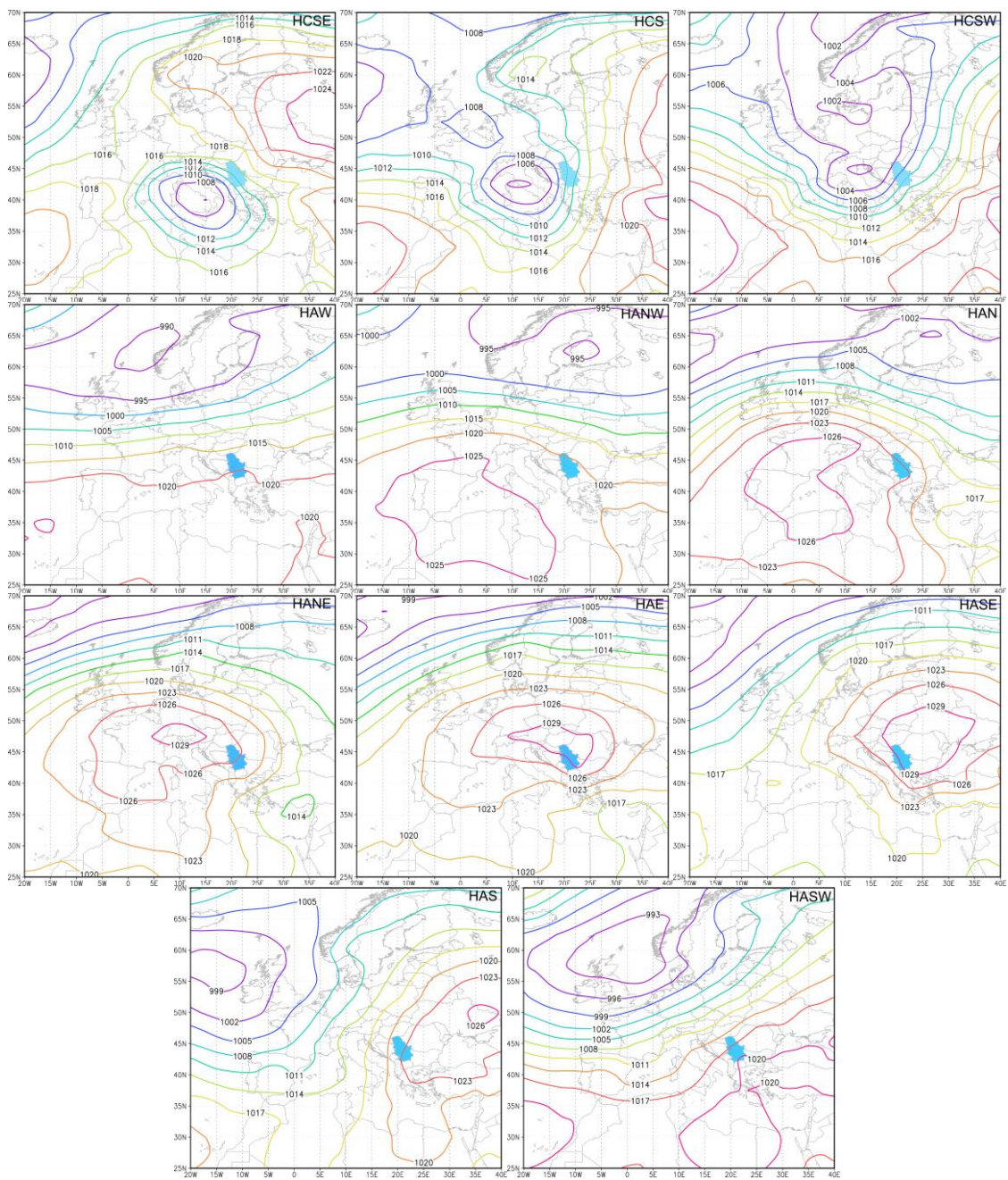
5.1.1 Zima

Na slikama 3 i 4 prikazani su svi cirkulacioni tipovi i odgovarajuće anomalije geopotencijalne visine na nivou od 500 hPa dobijeni za zimsku sezonu. Anticiklonalni tip (A) sadrži dane sa najvećim vrednostima pritiska iznad Srbije. Pozitivne anomalije geopotencijalne visine su uočene iznad Srbije. Centri A tipa su pomereni zapadno u odnosu na situacije u prizemlju. Prema Radinoviću (1981), anticiklonalna sinoptička situacija obično traje od nekoliko dana do nekoliko nedelja i nju karakteriše velika stabilnost preko Srbije. Centar ciklona ciklonalnog tipa (C) smešten je između Jadranskog mora i istočne obale Italije. C tip se uglavnom formira kada se dobro razvijen ciklon iz zapadnog Mediterana premešta na istok i dođe na naše područje, gde se ponekad zadržava i po nekoliko dana. Druga situacija kada se formira C tip je kada

iznad evropskog kontinenta dođe do pojave dinamičke nestabilnosti barokline zonalne struje. Kada ciklon iz Mediterana prolazi preko Srbije, formira se prostrana oblast intenzivnih i kontinualnih padavina, tada se formira i snežni pokrivač. Na nivou od 500 hPa, osa doline se nalazi zapadno od Srbije, od Saharske pustinje do centralne Evrope. Kako se osa doline prostire zapadno od ispitivane oblasti najveće količine padavina se očekuju u Srbiji. Znatno negativne vrednosti anomalija geopotencijalne visine su osmotrene za ovaj tip. Kada je zastupljen zapadni (W) tip, sistem niskog pritiska je dominantan na severu, preko Skandinavije, dok je visok pritisak iznad Azora i jugozapadne Evrope. Na nivou od 500 hPa, jaka zonalna cirkulacija sa neznatno negativnim ili neznatno pozitivnim anomalijama je osmotrena preko područja Srbije. Pošto su vazdušne mase koje dolaze sa zapada po poreklu maritimne, zapadni tip karakteriše vlažno i toplo vreme. Za severozapadni tip (NW), sinoptička situacija je okarakterisana depresijom preko severoistočne Evrope, sa visokim pritiskom preko Iberijskog poluostrva. Sinoptička situacija je slična i na višim nivoima, sa neznatno negativnim vrednostima ili neznatno pozitivnim vrednostima anomalijama geopotencijalne visine preko Srbije. Zbog planina koje blokiraju strujanje, kao što su Karpati i Homoljske planine, naročito u hladnoj polovini godine, dugotrajne kiše mogu biti osmotrene u istočnoj Srbiji (Radinović 1981). Severni (N) tip je sličan NW tipu, ali sa meridionalnom cirkulacijom sa severnim tokom iznad našeg područja. Oba centra delovanja (ciklon i anticiklon) usmeravaju hladne vazdušne mase iz severne ka južnoj Evropi. Na nivou od 500 hPa, osa duboke doline je smeštena od Egipta do Finske sa negativnim anomalijama preko Srbije. Po Radinoviću (1981), pri tim situacijama postoje umereni do jaki severni vetrovi u Panonskoj niziji, koji skreću u severozapadne vetrove u istočnoj Srbiji. Vreme je hladno tokom N tipa u Srbiji. U slučaju severoistočnog tipa (NE), visok pritisak iz Atlantskog okeana se širi preko zapadne i centralne Evrope na istok. Ovo je poznato kao blokirajući efekat preko Evrope. Na višim nivoima, cirkulacija je skoro meridionalna sa severoistočnim strujanjima preko Srbije. Istočni (E) tip je okarakterisan visokim pritiskom preko centralne Evrope i niskim pritiskom u istočnom Mediteranu. U ovim situacijama, hladan vazduh je zastupljen u Srbiji pre nailaska ciklona iz Sredozemlja. Na površi od 500 hPa, geopotencijalne visine preko Srbije imaju negativne anomalije. Obilne padavine su uzrok dizanja vazduha u ciklonskoj cirkulaciji, kao i dodatnom komponentom dizanja

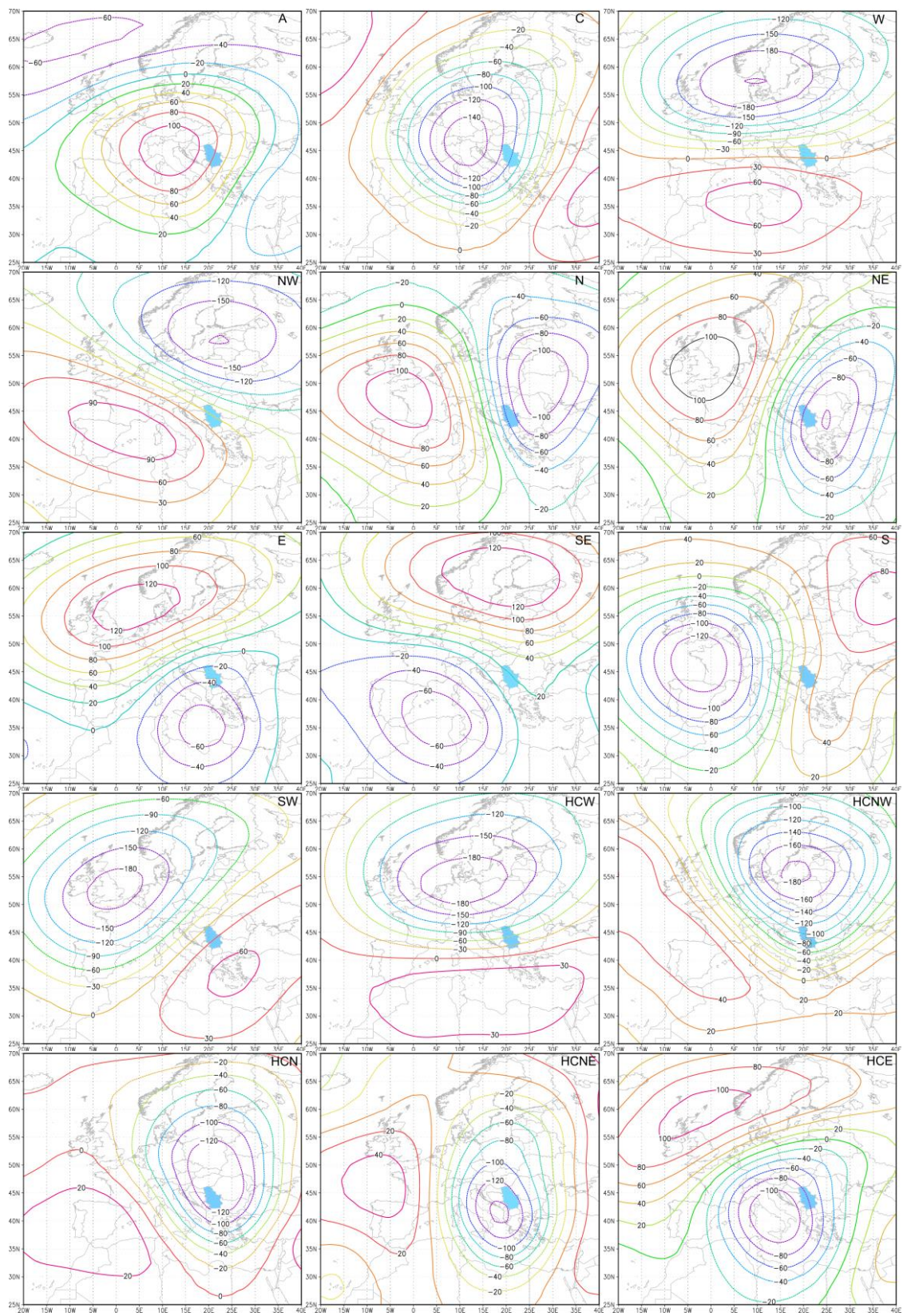


Slika 3. Srednji pritisak na nivou mora za svaki od osam usmerenih, dva vrtložna i šesnaest hibridnih tipova koji su zasupljeni na teritoriji Srbije za zimu u periodu od 1961–2010.

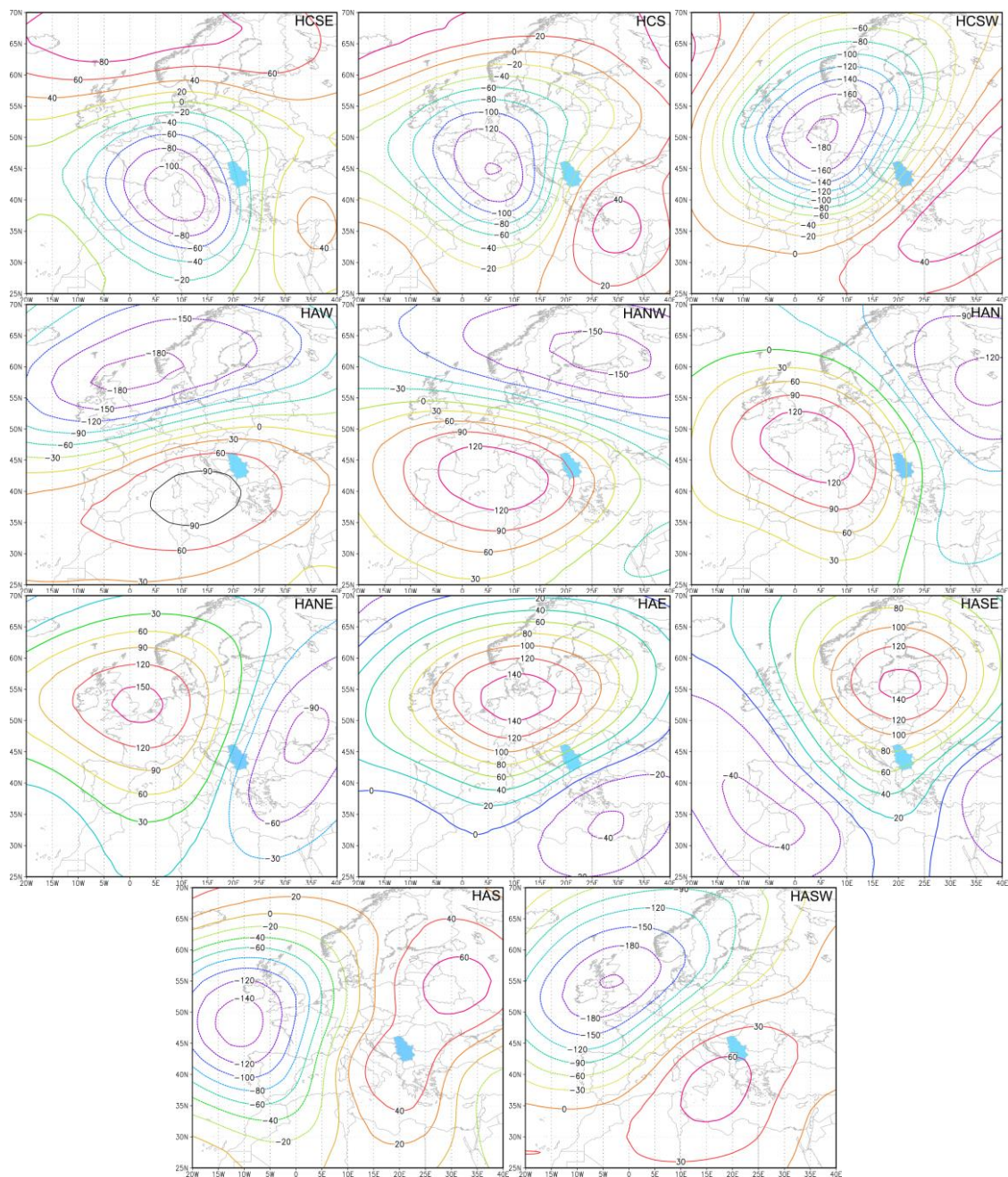


Slika 3. Nastavak.

do koje dolazi pomeranjem toplijeg i vlažnijeg vazduha u istočnoj ciklonskoj cirkulaciji preko hladnijeg vazduha koji je zastupljen iznad našeg područja (Radinović 1981). Kada se preko Srbije nalazi jugoistočni (SE) tip, visok pritisak leži preko istočne Evrope, a nizak pritisak dominira centralnim ili zapadnim Sredozemljem. Ove dve sinoptičke situacije, zajedno sa orografijom istočnog Balkana, glavni su pokretači košave (Unkašević i dr. 1998). Situacija na nivou od 500 hPa je okarakterisana



Slika 4. Anomalije geopotencijalne visine na nivou od 500 hPa za svaki od dvadeset šest tipova zimi u Srbiji za period 1961–2010.



Slika 4. Nastavak.

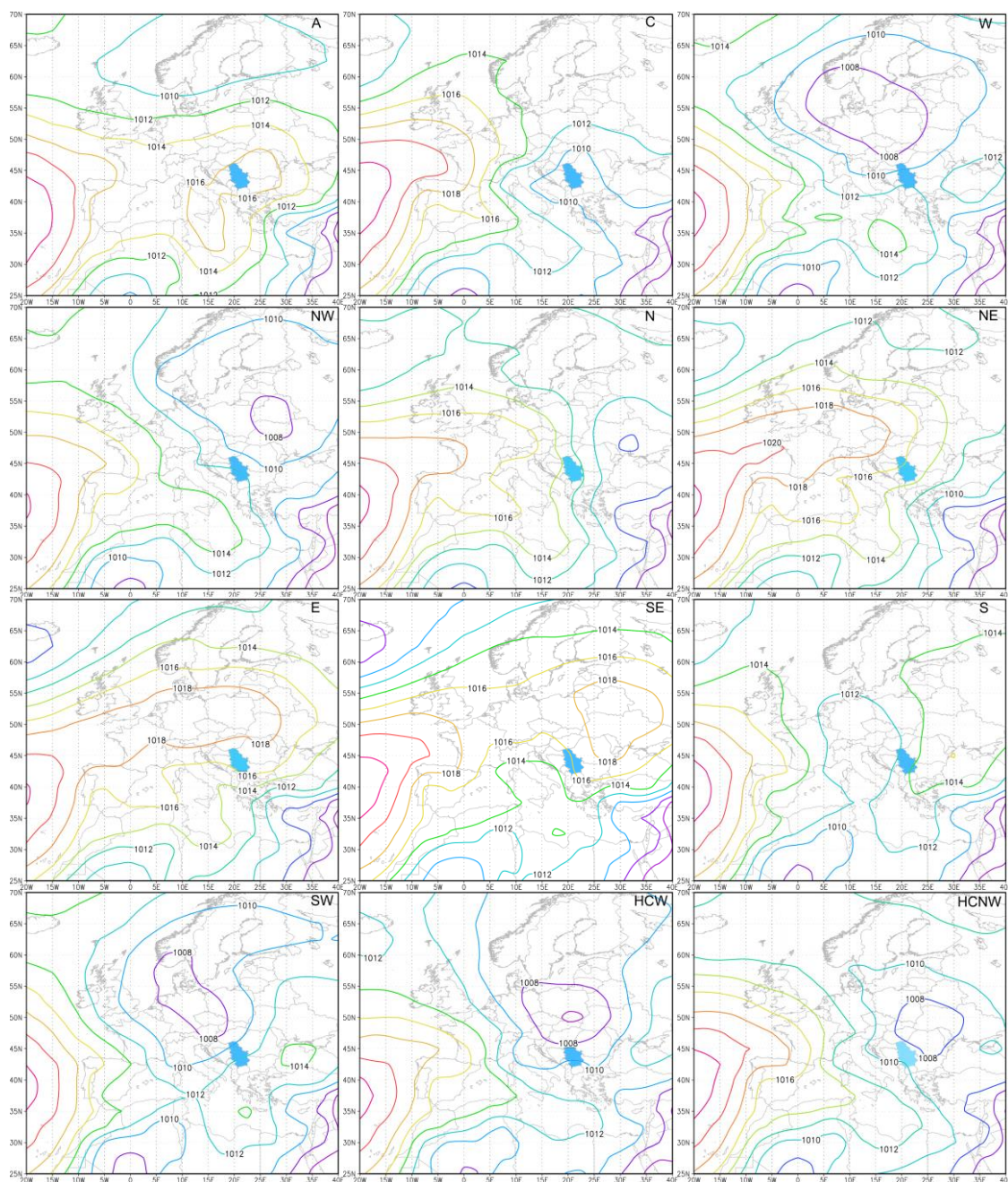
grebenom, čija je osa nagnuta i smeštena istočno od Srbije. Južni (S) tip je opisan sa dubokom dolinom iznad zapadne Evrope. Izobare imaju meridionalnu orijentaciju preko Balkana. Na površi od 500 hPa, neznatno pozitivne vrednosti anomalija geopotencijalne visine su osmotrene preko Srbije. Glavna karakteristika viših nivoa je veoma duboka depresija u zapadnoj Srbiji. Za vreme S tipa, temperature su iznad normalnih vrednosti (Radinović 1981). Dani sa jugozapadnim (SW) tipom su okarakterisani ciklonom preko Severnog mora. Neznatno negativne ili pozitivne vrednosti anomalija geopotencijalne

visine su osmotrene na višim nivoima preko Srbije. Cirkulacija je skoro meridionalna, sa jugozapadnim strujanjem preko centralne, istočne, severoistočne i delom južne Evrope. Hibridni cirkulacioni tipovi su slični usmerenim tipovima, ali su centri ciklonalnih/anticiklonalnih sistema bliži ispitivanoj oblasti i strujanje je jače. Takođe, cikloni/anticikloni su dublji/viši i bolje organizovani kod hibridnih tipova. Na nivou od 500 hPa, anomalije geopotencijalne visine su negativne za sve hibridne ciklonalne cirkulacione tipove, dok su anomalije kod hibridnih anticiklonalnih tipova pozitivne, osim kod HANE, čije su anomalije neznatno pozitivne ili negativne iznad Srbije.

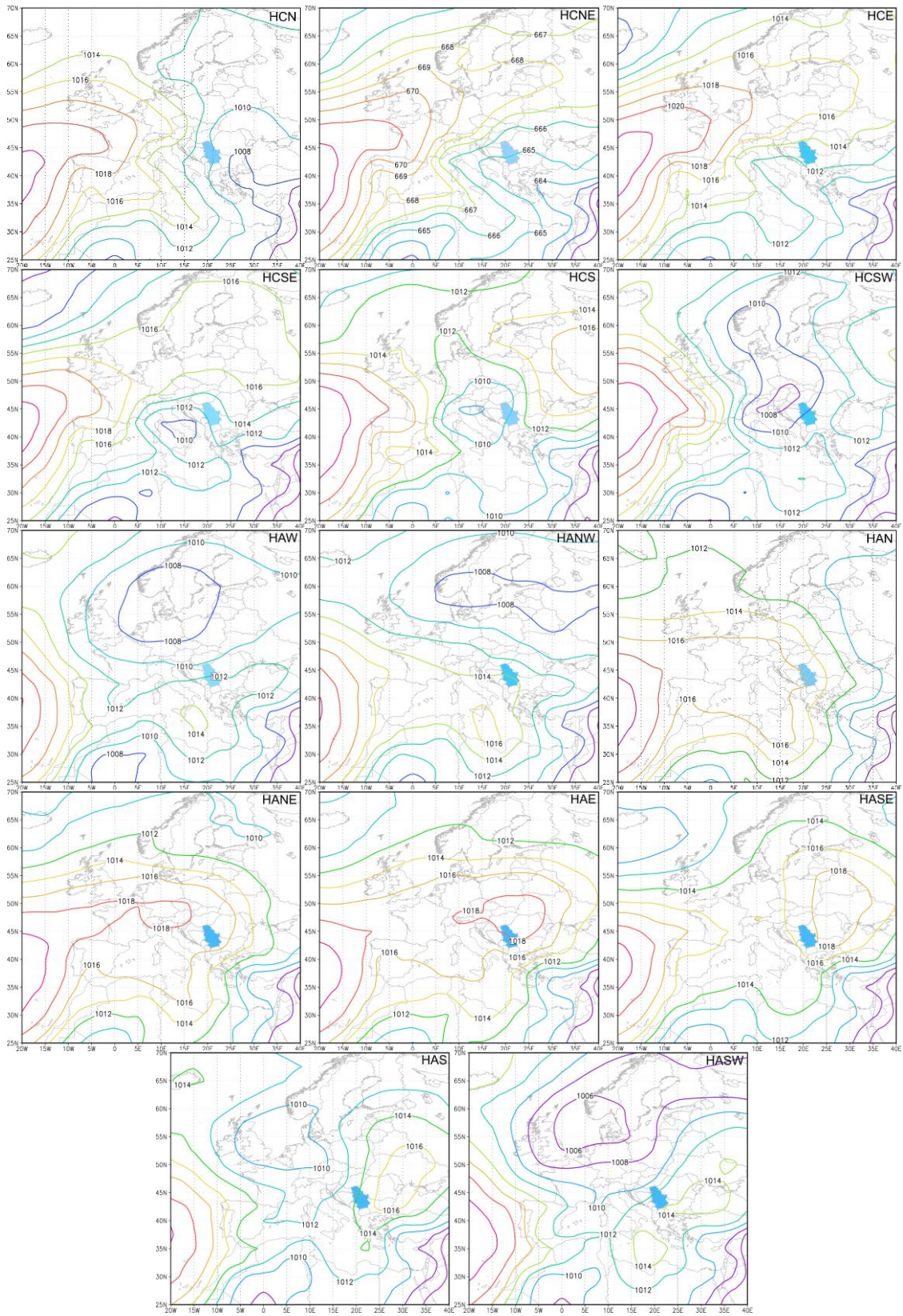
5.1.2 Leto

Rezultati za letnju sezonu u prizemlju i na 500 hPa su prikazani na slikama 5 i 6, respektivno. A tip ima najveće vrednosti pritiska iznad Srbije. Međutim, intenzitet A tipa koji se javlja leti je manji od intenziteta zimskog anticiklonalnog tipa. Pozitivne anomalije geopotencijalne visine su zastupljene na površini od 500 hPa preko Srbije. Vreme u anticiklonu je vedro i sunčano sa ekstremno visokim temperaturama. Kod C tipa najniža izobara nije zatvorena, ali možemo reći da se centar nalazi preko južne Srbije. Kada ciklon iz Sredozemlja prelazi preko naše zemlje, leti su zastupljene lokalne oluje, grmljavine, pljuskovi i grad. Na nivou od 500 hPa osa doline je nagnuta od Atlasa u severnoj Africi do južne Italije. Znatno negativne vrednosti anomalija geopotencijalne visine preovlađuju iznad Srbije. Iznad centralne i severne Evrope je razvijeno polje niskog pritiska za vreme W tipa, dok je centar slabog anticiklona u centralnom Mediteranu. Leti, W tip karakteriše sveže vreme. Anomalije geopotencijalne visine su neznatno negativne na nivou od 500 hPa. Centar ciklona kod NW tipa nalazi se između Belorusije i Ukrajine. Našem području NW tip donosi osetniji pad temperature i prolazne padavine. Ponekad zbog pregrejanog kopna dolazi do razvoja olujnih oblaka i lokalnih nepogoda. Na visini su zastupljene negativne anomalije iznad Srbije. N tip karakteriše visok pritisak skoro preko cele Evrope, sem na krajnjem istoku i jugoistoku gde je nešto niži pritisak. Na nivou od 500 hPa osa doline je vertikalna i proteže se duž istočne granice naše zemlje sve do juga Grčke. Anomalije geopotencijalne visine su negativne preko Srbije. U slučaju NE tipa visok pritisak se prostire od Atlantskog okeana preko zapadne i centralne Evrope do našeg područja i dalje na istok. Ove

blokirajuće situacije su veoma učestale leti, kada hladne i nestabilne vazdušne mase iz istočne Evrope dospevaju na naše područje. Zbog povećane nestabilnosti, koja je uslovljena dolaskom hladnog vazduha na topliju podlogu, javljaju se obilne padavine obično u istočnim i centralnim delovima naše zemlje (Radinović 1981). Na nivou od 500 hPa osmotrene su neznatno negativne vrednosti anomalija

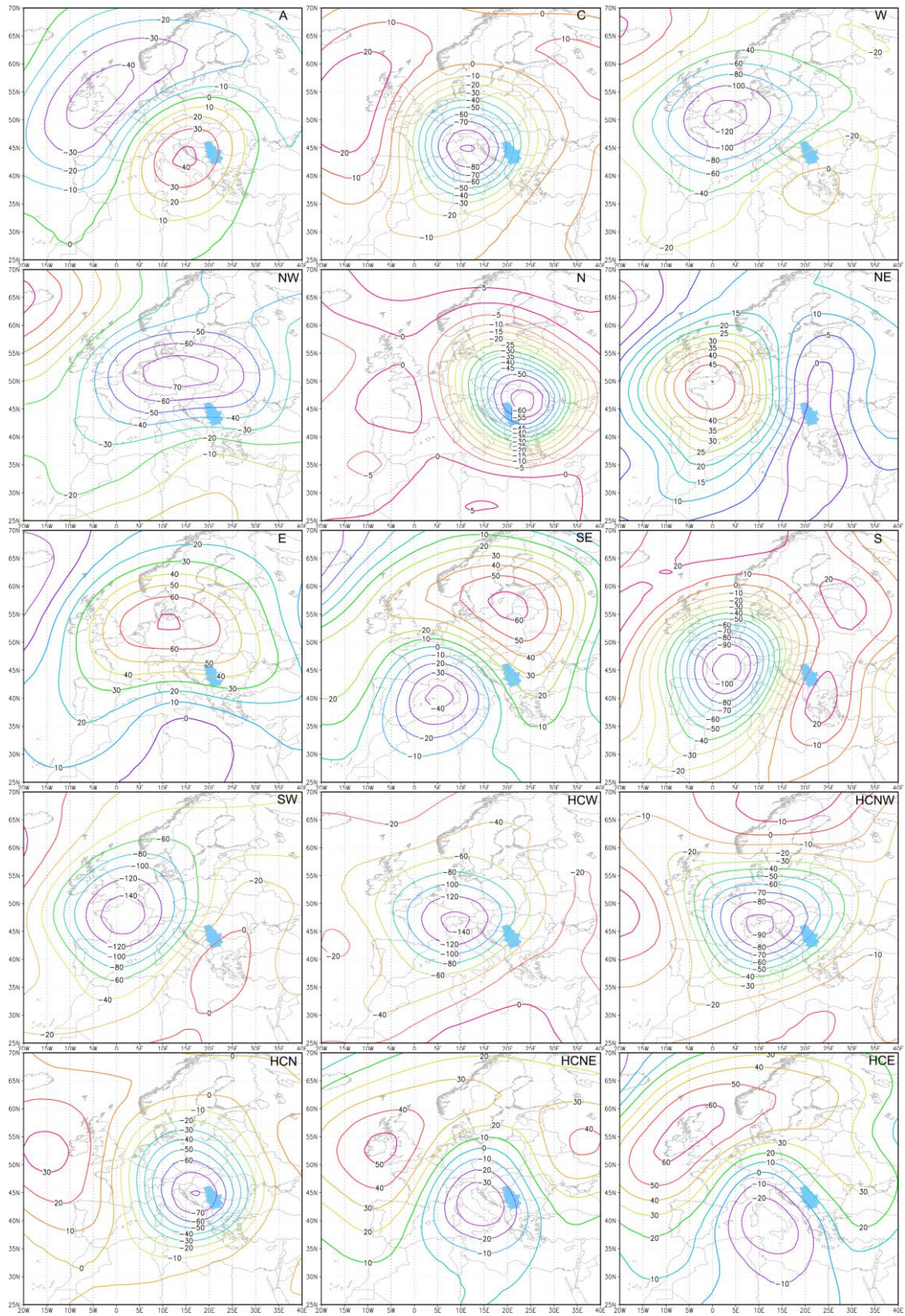


Slika 5. Isto kao slika 3, ali za letnju sezonu.

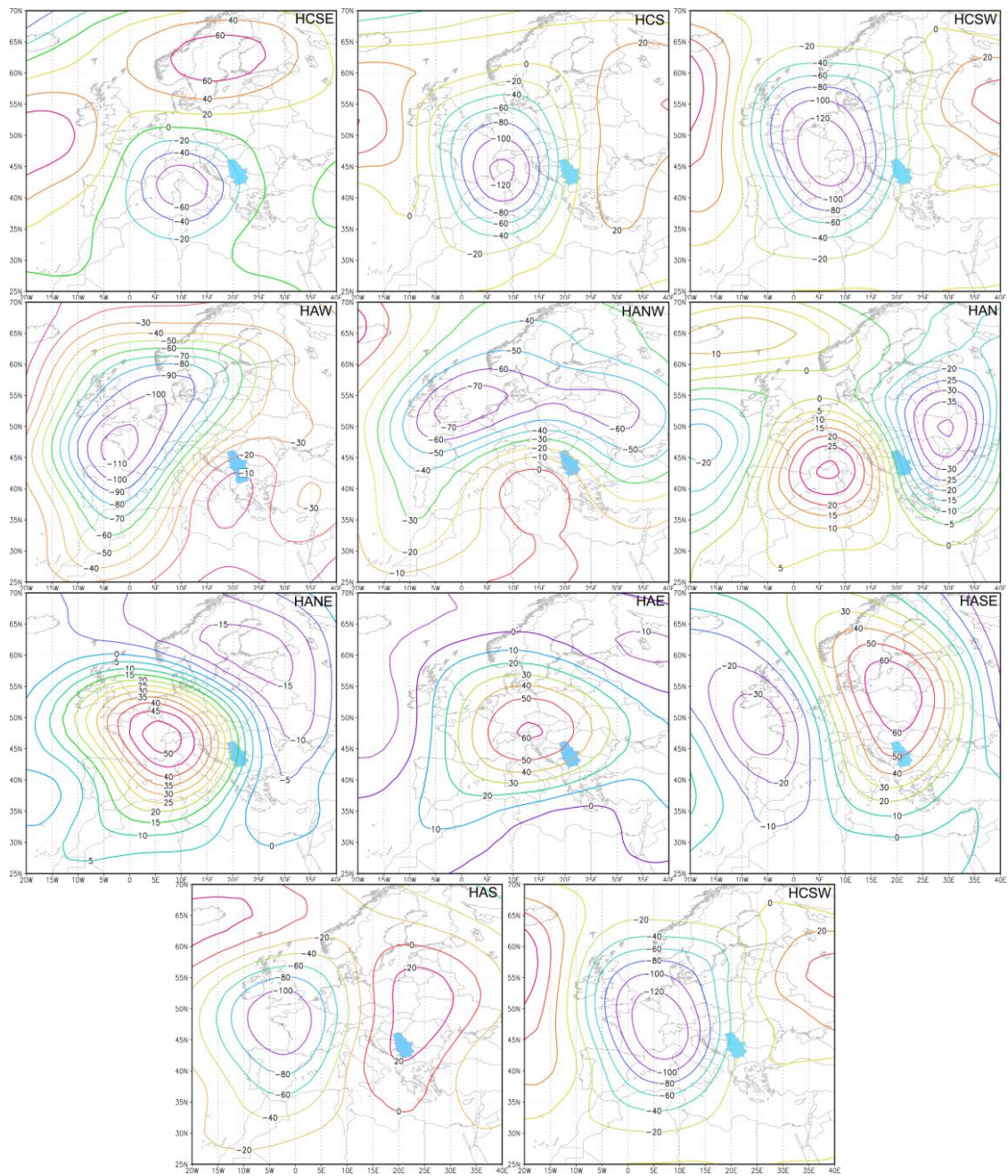


Slika 5. Nastavak.

iznad našeg područja i osa grebena prolazi kroz istočne i jugoistočne delove Srbije. E tip se odlikuje sistemom visokog pritiska koji se prostire iznad cele Evrope. Na visini, stujanje je meridionalno preko Balkanskog poluostrva, a anomalije geopotencijalne visine su pozitivne. U Srbiji ovaj tip obično donosi toplo i suvo vreme. Advekcija suvog i toplog kontinentalnog vazduha, koji dolazi iz zagrejanih delova istočne Evrope i dodatno se zagreva pri prebacivanju preko Karpata i planina istočne Srbije, donosi ponekad vrlo visoke temperature u našoj zemlji. Kod SE tipa visok pritisak je u zapadnoj, centralnoj i istočnoj Evropi, sa centrom iznad Ukrajne, dok je na jugu niži pritisak. U većem delu zemlje je izražena topla košava. Na nivou od 500 hPa preko Srbije su pozitivne anomalije geopotencijalne visine, a osa grebena se nalazi uz istočnu granicu naše zemlje. Polje pritiska je slabo gradijentno kad je zastupljen S tip preko Evrope. Neznatno pozitivne vrednosti anomalija geopotencijalne visine su osmotrene na površi od 500 hPa. Centar ciklona kod SW tipa se nalazi u centralnoj Evropi, osmotreni su slabiji cikloni i u Crnom moru i na jugu Grčke. Na visini anomalije geopotencijalne visine su neznatno negativne ili neznatno pozitivne preko Srbije. Sinoptičke situacije hibridnih ciklonalnih tipova su veoma slične sa situacijama usmerenih tipova. Razlika je u tome što su sistemi niskog pritiska bliži Srbiji kod hibridnih tipova, a anticikloni ni u jednom od hibridnih tipova nisu uočeni (za razliku od usmerenih W, SE i SW tipova). Slično je i sa hibridnim anticiklonalnim tipovima, samo što su u ovom slučaju našem području bliži sistemi visokog pritiska i cikloni mogu biti formirani kao što je to u slučaju HAW, HAS i HASW tipa. Na visini, vrednosti anomalija geopotencijalne visine su veće/manje kod ciklonalnih/anticiklonalnih hibridnih tipova u odnosu na odgovarajuće usmerene tipove.



Slika 6. Kao slika 4, ali za letnju sezonu.

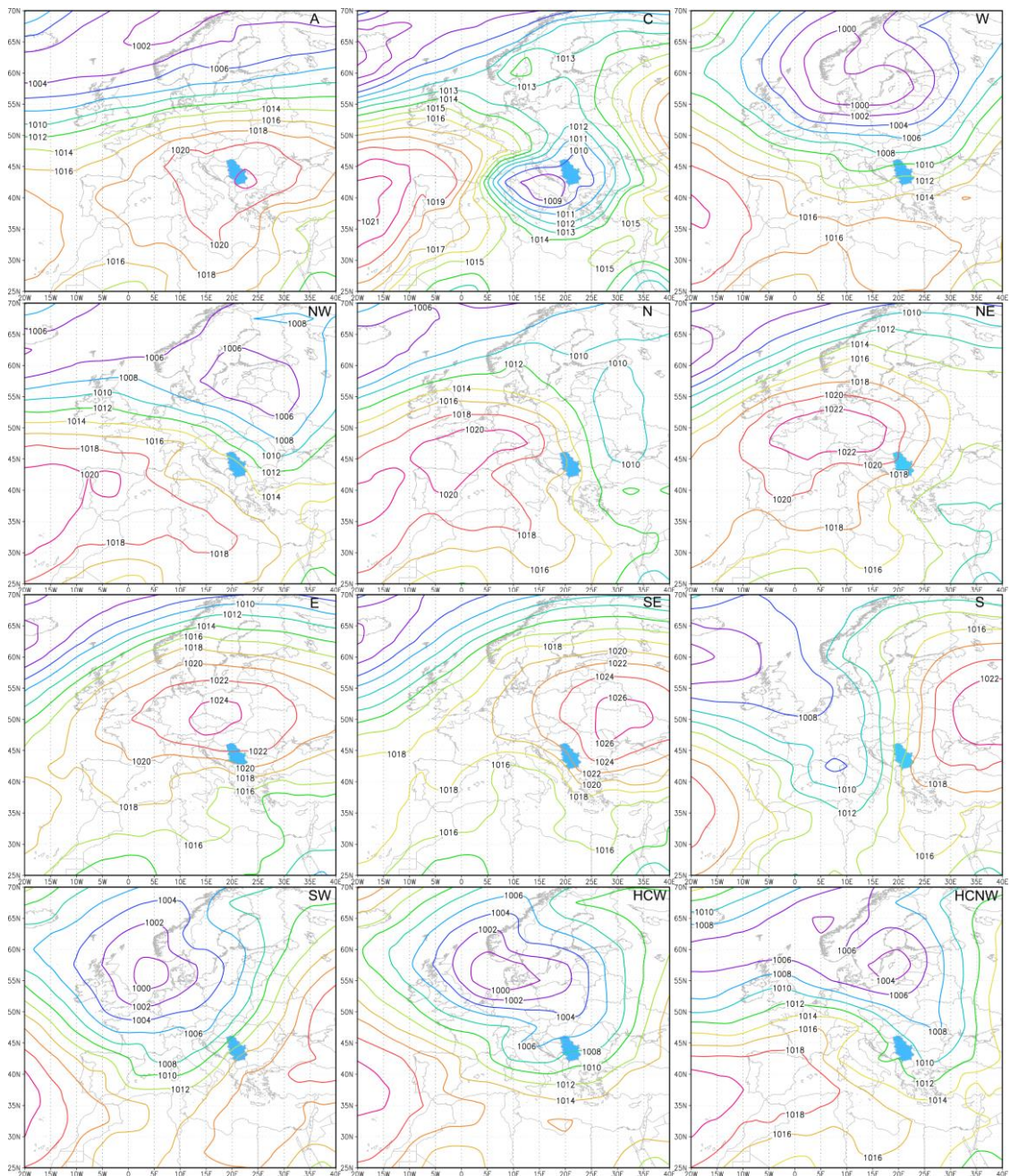


Slika 6. Nastavak.

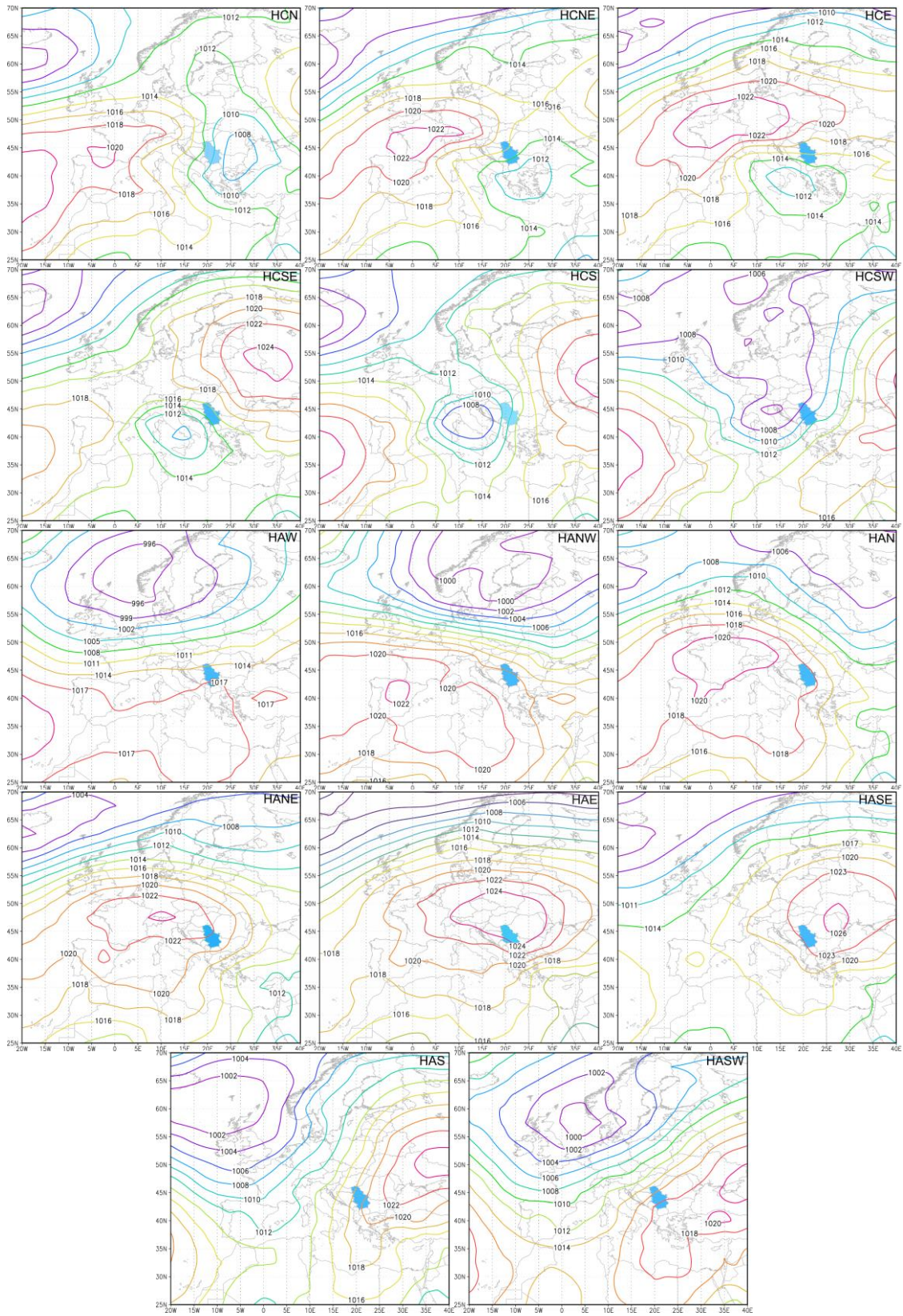
5.1.3 Prelazne sezone (jesen i proleće)

Sinoptičke situacije cirkulacionih tipova za jesen su slične tipovima za zimsku sezonu, s tim što su po intenzitetu jesenji tipovi slabiji od zimskih, a jači od letnjih. Ciklonalni i anticiklonalni tipovi pokazuju nizak i visok pritisak, respektivno, oba sa centrima smeštenim preko Srbije (slika 7). Na nivou od 500 hPa pozitivne anomalije geopotencijalne visine se javljaju iznad Srbije u anticiklonalnom slučaju, a kada je ciklon u prizemlju na visini preovlađuju znatno negativne anomalije geopotencijalne visine (slika 8). Anticikloni mogu biti termičkog ili dinamičkog karaktera. Po Radinoviću (1981), termalne anticiklone karakteriše vedro i mirno vreme iznad našeg područja. Centar ciklona za C tip se nalazi iznad Jadranskog mora. Za vreme prolećne i jesenje sezone kada mediteranski ciklon prelazi preko Srbije, obimne i neprekidne kiše obuhvataju veliku oblast naše zemlje, a često se javljaju i poplave. Primer za to su poplave u maju i septembru 2014. godine (Tošić i dr. 2016). Analiza situacije kada je premašena dnevna količina padavina na istorijskom nivou (u Beogradu, Valjevu i Loznici) od 15. maja data je na slici 9. Za vreme W tipa centar ciklona je smešten preko južne Skandinavije. Atmosfera je skoro neutralno stratifikovana, pa se prodori hladnog vazduha premeštaju zonalno preko Alpa bez vidljive transformacije. Na nivou od 500 hPa geopotencijalne visine imaju negativne anomalije iznad Srbije. Odgovarajuća sinoptička situacija za NW tip se sastoji od visokog pritiska smeštenog iznad Španije i niskog pritiska preko severoistične Evrope. Na visini za vreme NW tipa osmotrene su negativne anomalije preko Srbije, osa doline je nagnuta i pruža se od severa Poljske do grčkih ostrva i prolazi istočno od naše zemlje. N tip sadrži depresiju severno od Crnog mora i veliki anticiklon preko zapadne Evrope. Ovaj anticiklon u svom prednjem delu usmerava sa severa na jug hladne vazdušne mase maritimnog porekla. Kada ovaj tip vlada na području naše zemlje temperature su znatno manje od normalnih. Na nivou od 500 hPa zastupljene su negativne anomalije geopotencijalne visine. NE tip je opisan visokim pritiskom preko cele Evrope. Na visini anomalije geopotencijalne visine su neznatno negativne. U slučaju E tipa, sistem visokog pritiska je dominantan preko Evrope, sa centrom iznad južne Skandinavije. Na nivou od 500 hPa iznad Srbije su ili neznatno pozitivne ili neznatno negativne anomalije. U situacijama E tipa hladan vazduh sa istoka i severoistoka prodre do Karpata i razliva se po Vlaškoj niziji. Vreme u našoj zemlji je vedro, niže temperature su u istočnim, a više u jugozapadnom delu

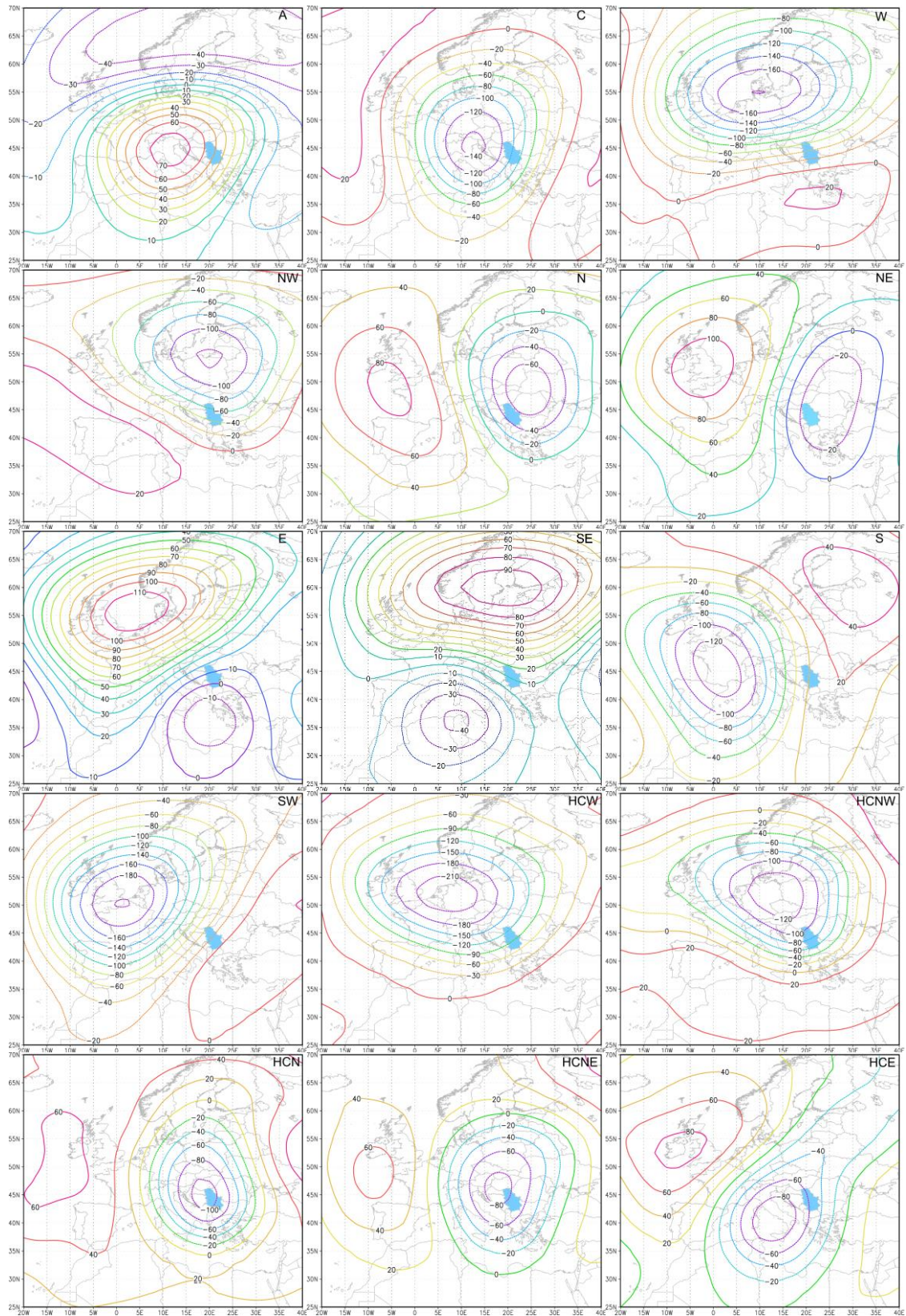
zemlje (Radinović 1981). SE tip je okarakterisan visokim pritiskom sa centrom severno od Crnog mora. Za vreme ovog tipa, duva topla košava koja je izražena u Pomoravlju. Na nivou od 500 hPa anomalije geopotencijalne visine su neznatno pozitivne. S tip sadrži dane sa dubokom dolinom preko zapadne Evrope i visokim pritiskom iznad istočne Evrope, sa meridionalnom cirkulacijom



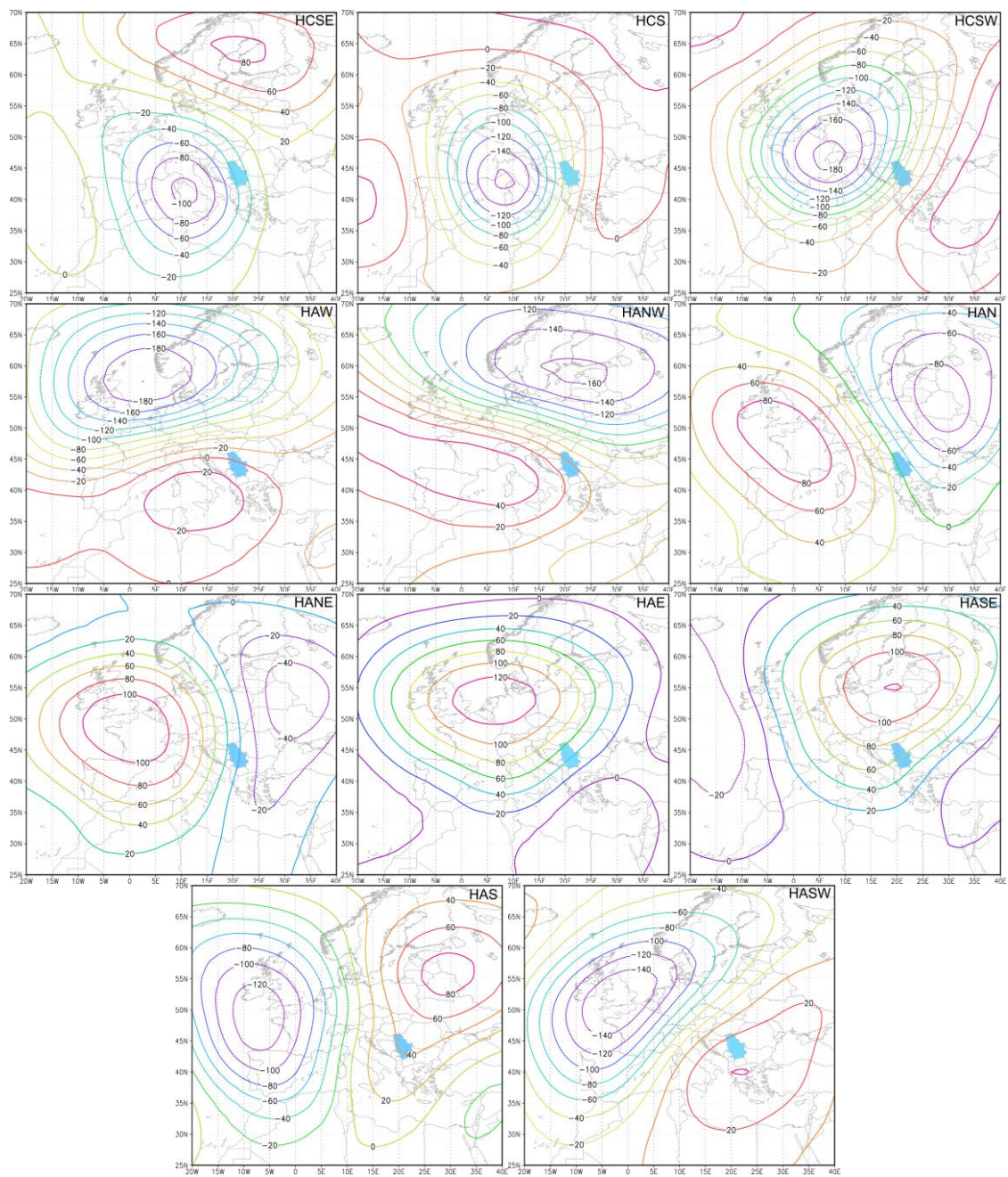
Slika 7. Kao slika 3, ali za jesenju sezonu.



Slika 7. Nastavak.

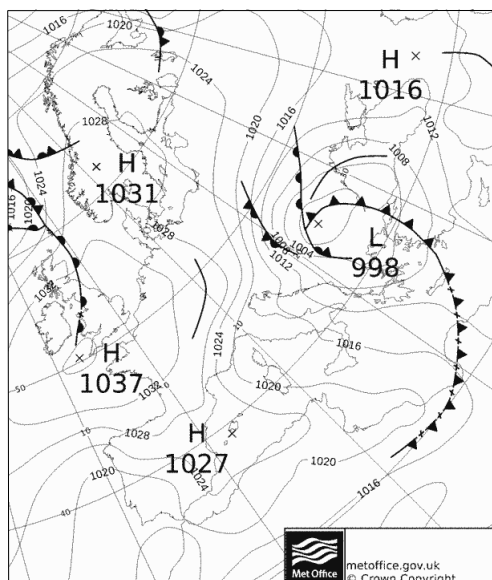


Slika 8. Kao slika 4, ali za jesenju sezonu.



Slika 8. Nastavak.

sa južnim strujanjem preko Srbije. Po Radinoviću (1981), temperature su iznad normalnih vrednosti, za vreme S tipa. Situacija na nivou od 500 hPa se karakteriše meridionalnim strujanjem, a anomalije geopotencijalne visine ili ne postoje ili su neznatno pozitivne ili negativne. U slučaju SW tipa, ciklon je preko Severnog mora. Na površi od 500 hPa osa doline je skoro vertikalna ili blago nagnuta na zapad i pruža se od severozapane Afrike do severa Francuske. Vrednosti anomalija geopotencijalne visine su neznatno negativne na severozapadu naše zemlje ka jugoistoku još slabije,



Slika 9. Sinoptička situacija od 15.05.2014. godine (<http://old.wetterzentrale.de>).

dok na samom jugoistoku zemlje nema anomalija. Kao i za letnju i zimsku sezonu, centri akcije kod hibridnih tipova su bliži ispitivanoj oblasti i bolje organizovani nego kod usmerenih tipova.

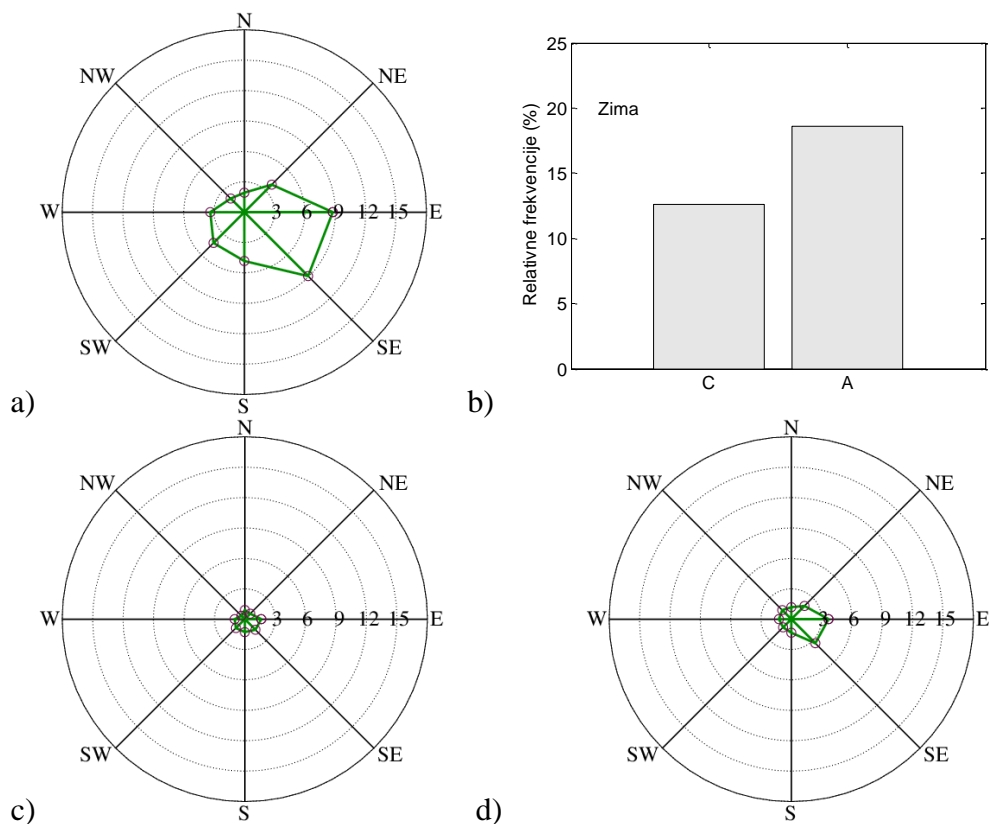
Cirkulacioni tipovi iznad Srbije za prolećnu sezonu su vrlo slični tipovima za jesenju, po intenzitetu slabiji od zimskih, a jači od letnjih tipova. U prilogu 1 su date slike tipova i anomalija geopotencijalne visine na 500 hPa za proleće.

5.2 Učestalost cirkulacionih tipova

Relativne učestalosti cirkulacionih tipova za zimsku sezonu prikazane su na slici 10. Za ostale sezone slike su date u prilogu 2.

A tip je najučestaliji tip. Za vreme jeseni (23,87%) ima najveću učestalost, učestalosti su skoro iste za zimu (18,93%) i leto (18,70%), dok je najmanja u proleće (14,33%). Za ciklonalni tip učestalost je najveća za vreme prolećne sezone (14,02%), zatim sledi zimaska (12,83%), jesenja (8,75%) i na kraju letnja (8,02%) sezona. NE tip je najučestaliji tip od svih usmerenih tipova sa čestinom od 16,65% u leto, zatim sledi E tip sa čestinom od 11,56% za istu sezonu. Za vreme zime najveće učestalosti od usmerenih tipova imaju SE (9,88%) i E (9,68%) tipovi. Što se tiče prelaznih sezona

najzastupljeniji su E (9,36%) i SE (8,44%) tipovi u jesen i NE (7,37%) i SE (6,93%) u proleće. Skoro svi hibridni tipovi imaju učestalost manju od 2%, dok su najveće učestalosti za HANE za leto (4,74%) i HAE za leto (4,63%), jesen (4,50%) i zimu (4,08%).



Slika 10. Relativne učestalosti (%) cirkulacionih tipova: a) osam usmerenih tipova, b) ciklonalni (C) i anticiklonalni (A), c) hibridni ciklonalni i d) hibridni anticiklonalni tipovi za vreme zime.

5.3 Trend cirkulacionih tipova

Rezultati trenda za 26 cirkulacionih tipova za sve sezone i za period od 1961. do 2010. su prikazani u tabeli 2. Letnji i jesenji koeficijenti trenda za A tip su značajni na 5%-om nivou i imaju negativan trend, dok za vreme zime i proleća koeficijenti nisu značajni na tom nivou i imaju pozitivan trend. Broj dana sa C tipom se smanjuje za sve sezone, osim za jesen. Koeficijenti trenda za C tip su značajni samo za proleće. E i NE tipovi imaju pozitivan trend, dok SW tip ima negativan trend za sve sezone. Smanjenje

ili porast ostalih usmerenih tipova zavisi od sezone. Iz tabele 2 vidimo da je značajno smanjenje na nivou od 5% za N tip zimi, NW i SW u proleće i jesen, sve tipove za vreme leta, osim za NE i SE. Većina hibridnih A tipova ima pozitivan trend, osim za leto. Više tipova ima veći značajni trend u proleće i leto, nego u zimu i jesen. Suprotno od hibridnih A tipova, negativan trend preovlađuje za hibridne C tipove. Značajan trend je osmotren za skoro sve hibridne C tipove za sve sezone, osim za HCE i HCNE u proleće i leto, i za HCE i HCS u jesen.

Tabela 2. Sezonski koeficijenti trenda cirkulacionih tipova za period 1961–2010. u Srbiji.

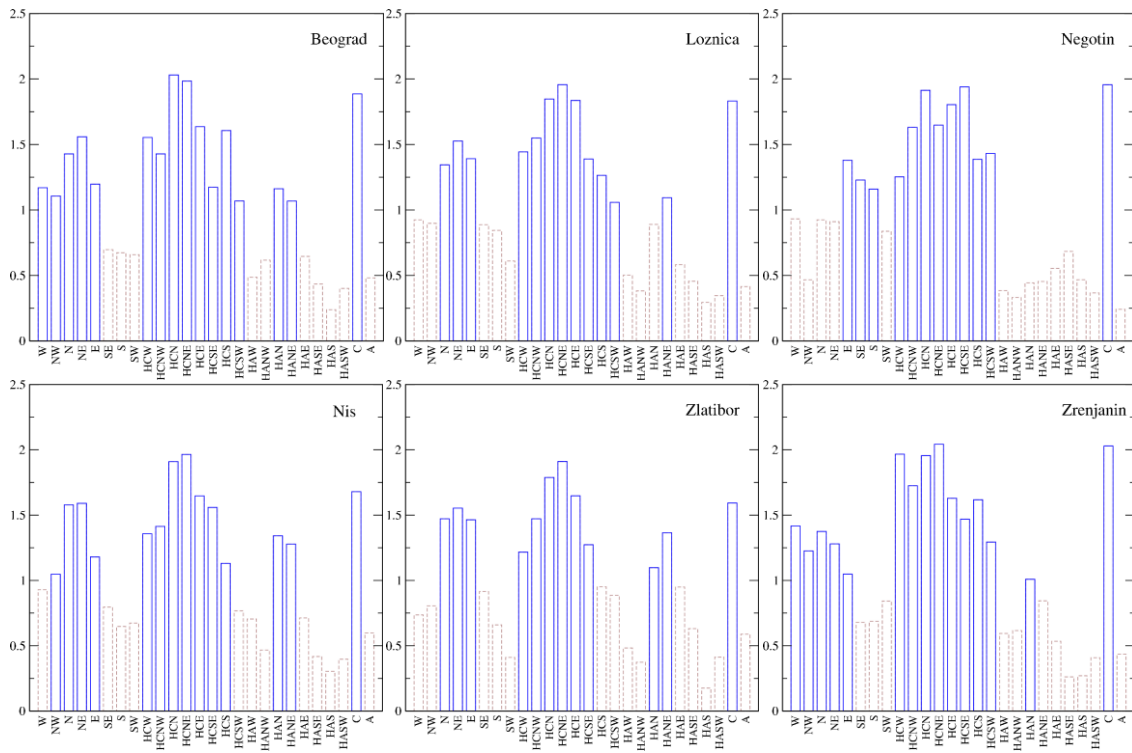
Cirkulacioni tipovi	Zima	Proleće	Leto	Jesen
A	0,0327	0,0011	-0,0797	-0,1027
C	-0,0440	-0,0835	-0,0195	0,0307
E	0,0264	0,0701	0,2263	0,0427
NE	0,0307	0,0493	0,0906	0,0090
N	-0,0056	-0,0115	-0,0900	0,0012
NW	0,0120	-0,0437	-0,0743	-0,0038
W	0,0094	-0,0114	-0,0324	-0,0411
SW	-0,0108	-0,0348	-0,0255	-0,0237
S	-0,0345	-0,0297	-0,0110	0,0134
SE	-0,0479	0,0692	0,0114	0,0424
HAE	0,0274	-0,0012	0,0344	0,0077
HANE	0,0092	-0,0000	0,0160	-0,0342
HAN	0,0012	0,0007	-0,0126	0,0046
HANW	0,0281	0,0045	-0,0213	0,0041
HAW	0,0174	0,0086	-0,0303	-0,0187
HASW	0,0174	0,0042	0,0072	0,0131
HAS	-0,0300	0,0055	-0,0101	-0,0091
HASE	0,0109	0,0073	0,0068	0,0256
HCE	-0,0086	0,0091	0,0327	0,0329
HCNE	-0,0098	0,0281	0,0211	0,0070
HCN	-0,0102	-0,0180	-0,0027	-0,0043
HCNW	-0,0002	-0,0054	-0,0213	0,0018
HCW	0,0020	-0,0230	-0,0157	-0,0041
HCSW	-0,0122	-0,0011	0,0103	-0,0103
HCS	-0,0113	0,0038	-0,0093	0,0143
HCSE	0,0013	0,0019	-0,0011	0,0016

Statistički značajni trendovi na 5% nivou su podebljani

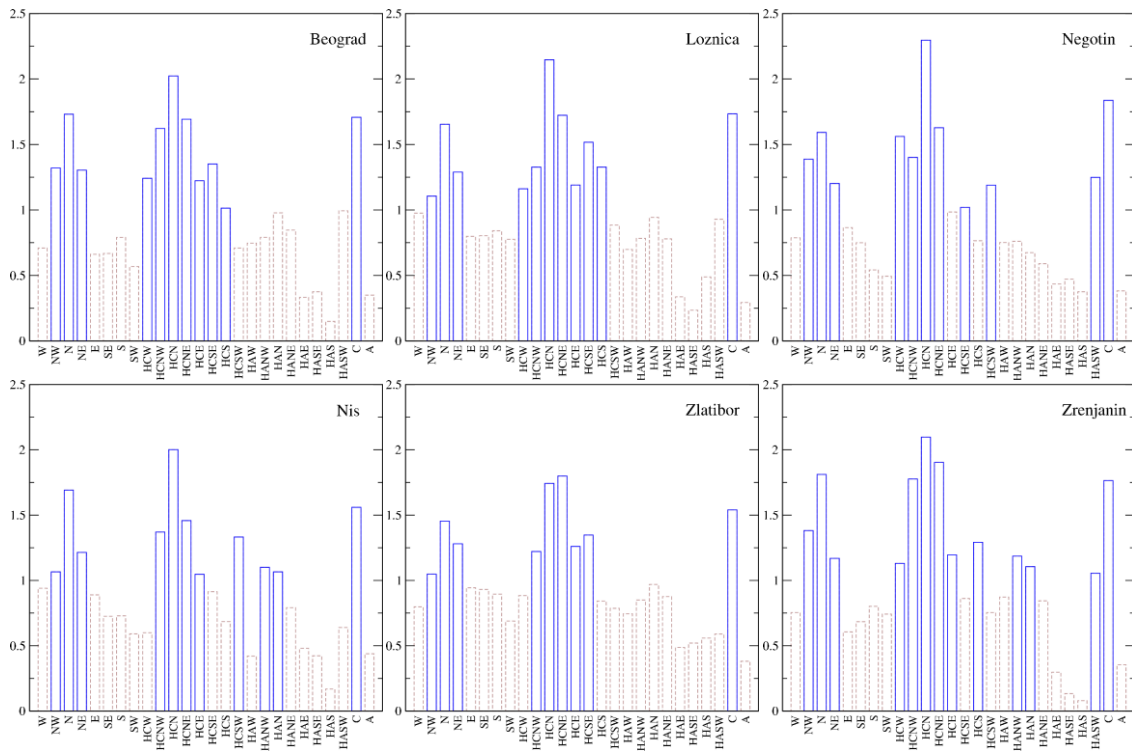
5.4 Veza između cirkulacionih tipova i padavina

Da bi ispitali vezu između padavina i cirkulacionih tipova za šest odabranih meteoroloških stanica (Beograd, Niš, Negotin, Loznica, Zlatibor, Zrenjanin), izračunate su sezonske vrednosti za dva parametra (P_{act}/P_{atot} i P_{act}/P_{atot}) koje su prikazane na slikama od 11–18.

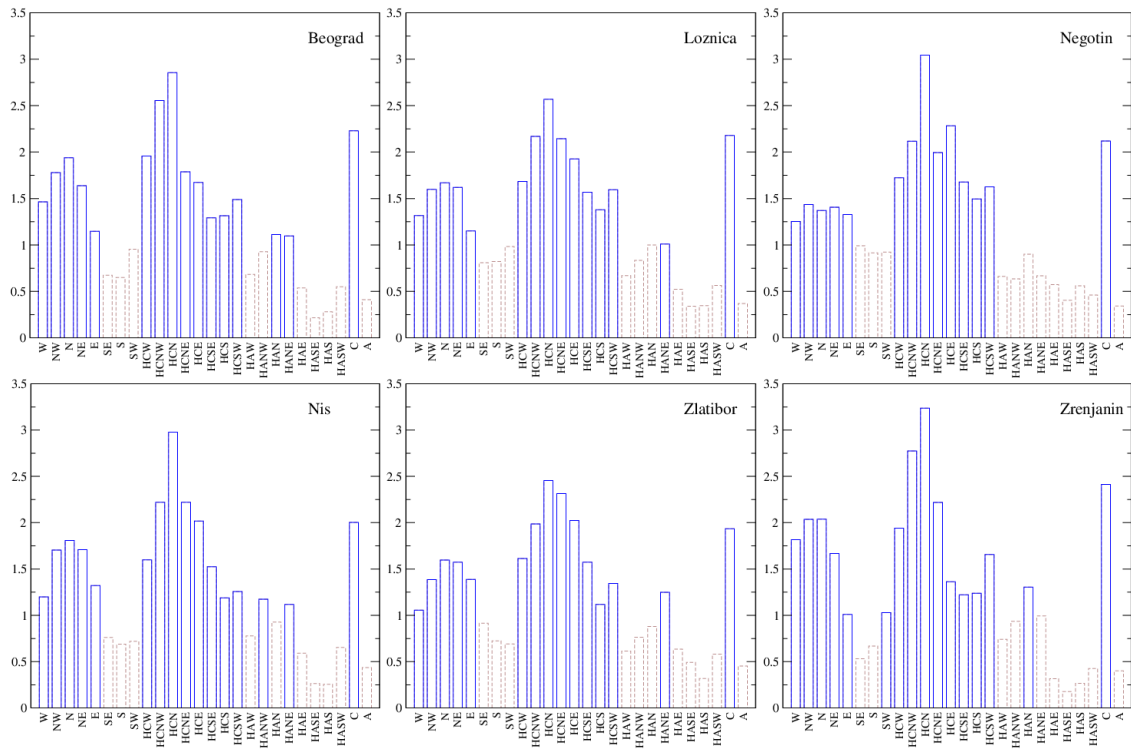
Rezultati, na osnovu veze između odnosa padavinskih dana određenog usmerenog tipa i svih dana sa padavinama, pokazuju da N i NE tipovi imaju visoku verovatnoću da za vreme njih bude padavina na svim stanicama za sve sezone. Pored njih velika verovatnoća da bude padavina je i za sve stanice zimi, u jesen i na ponekoj stanici u proleće kada je zastupljen E tip, kao i za NW tip u jesen i leto za sve stanice, kao i za Beograd i Zrenjanin za vreme zime i proleća i u Nišu za vreme zime. Zimi u Beogradu i Zrenjaninu, za sve stanice u jesen, i u Zrenjanin u leto W tip daje visoku verovatnoću da bude padavina, dok južni tipovi imaju visoku verovatnoću samo zimi za Negotin. Ciklonalni tip je povezan sa veoma visokom verovatnoćom, dok verovatnoća da bude padavina za vreme anticiklonalnog tipa je niska na svim stanicama za sve sezone. Verovatnoća padavina kod hibridnih ciklonalnih tipova je veća od prosečne verovatnoće za ispitivani period, osim za vreme zime kod HCSW (Niš i Zlatibor), kod HCS (Zlatibor), za vreme leta kod HCSW (Beograd, Loznica, Zlatibor, Zrenjanin), HCS (Negotin, Niš i Zlatibor), HCE (Negotin), HCW (Niš i Zlatibor), HCSE (Niš i Zrenjanin), manje su verovatnoće i kod HCS za sve stanice osim Loznice, HCW na Zlatiboru i HCSE u Beogradu za vreme prolećne sezone. Hibridni anticiklonalni tipovi pokazuju manju verovatnoću da bude padavina. Izuzeci su HAN za Beograd za sve sezone sem leta, za Niš za sve sezone osim jeseni, za Zlatibor za zimu i proleće, za Zrenjanin za zimu, jesen i leto, HANE za sve sezone osim leta za Niš i Zlatibor, za Loznicu i Beograd za vreme zime i jeseni i HANW za Niš u jesen i leto i Zrenjanin u leto.



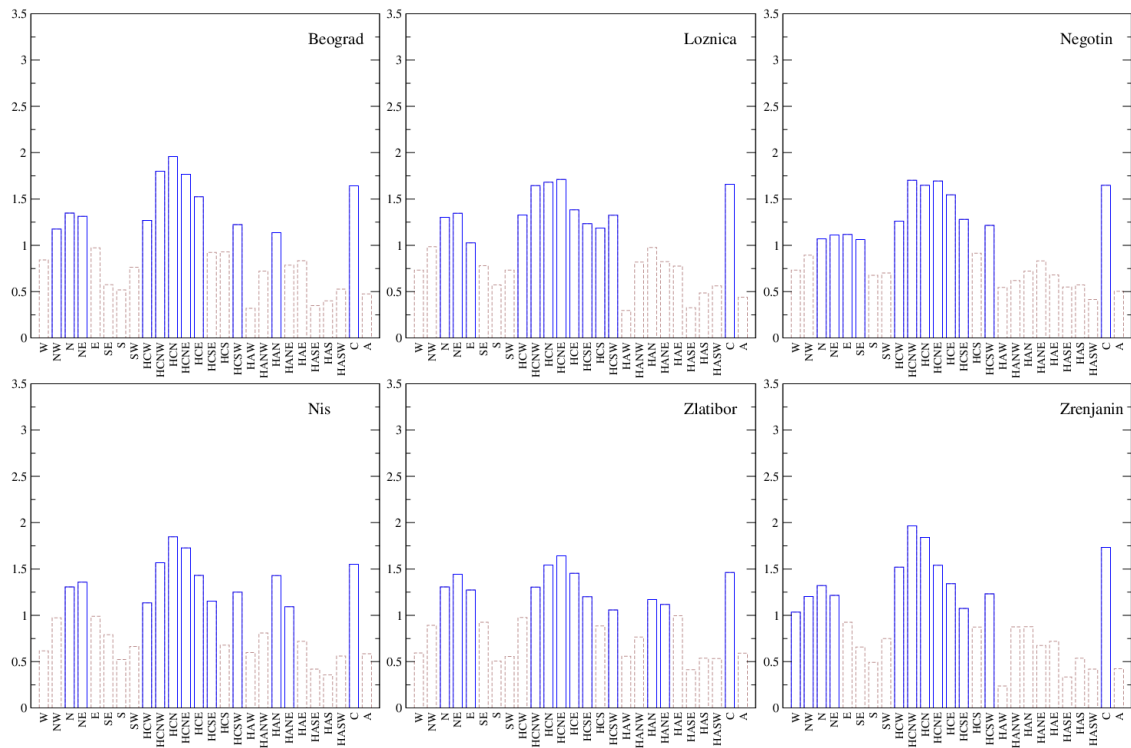
Slika 11. Standardizovan parametar P_{dct}/P_{tot} za šest stanica u Srbiji za zimu u periodu od 1961–2010. Plavi stubići označavaju kada je parametar P_{dct}/P_{tot} veći od 1, a crveni kada je manji od 1.



Slika 12. Isto kao slika 11, ali za letnju sezonu.

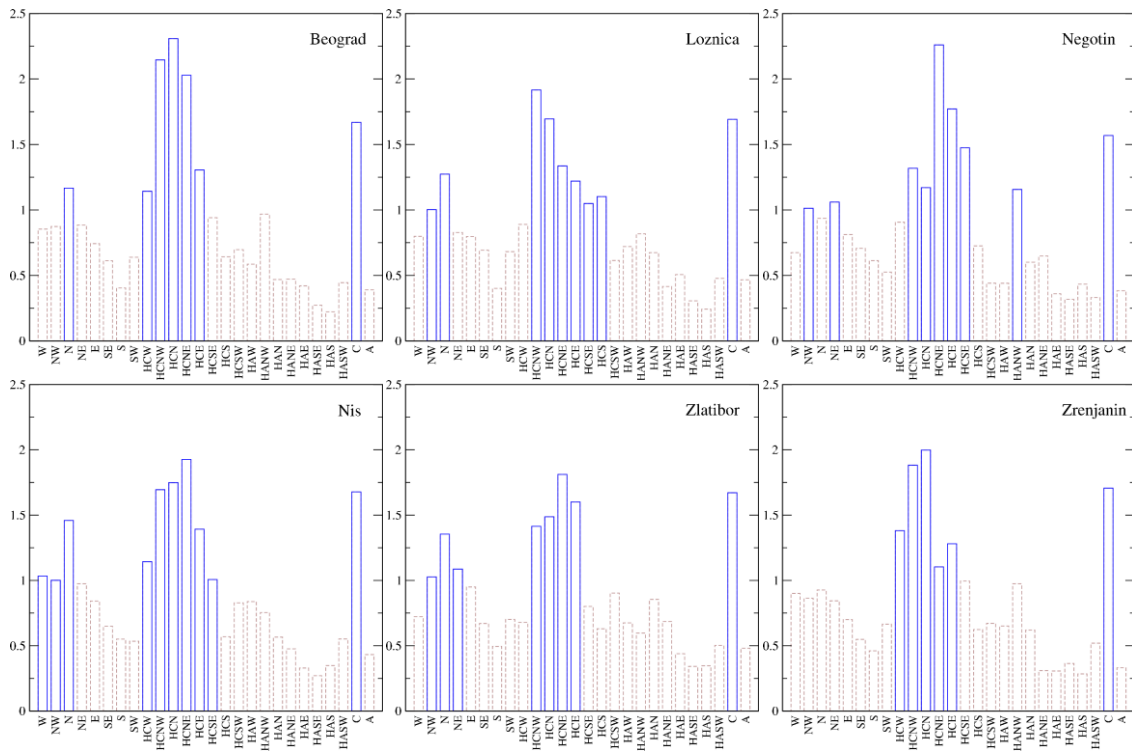


Slika 13. Isto kao slika 11, ali za jesenju sezonu.

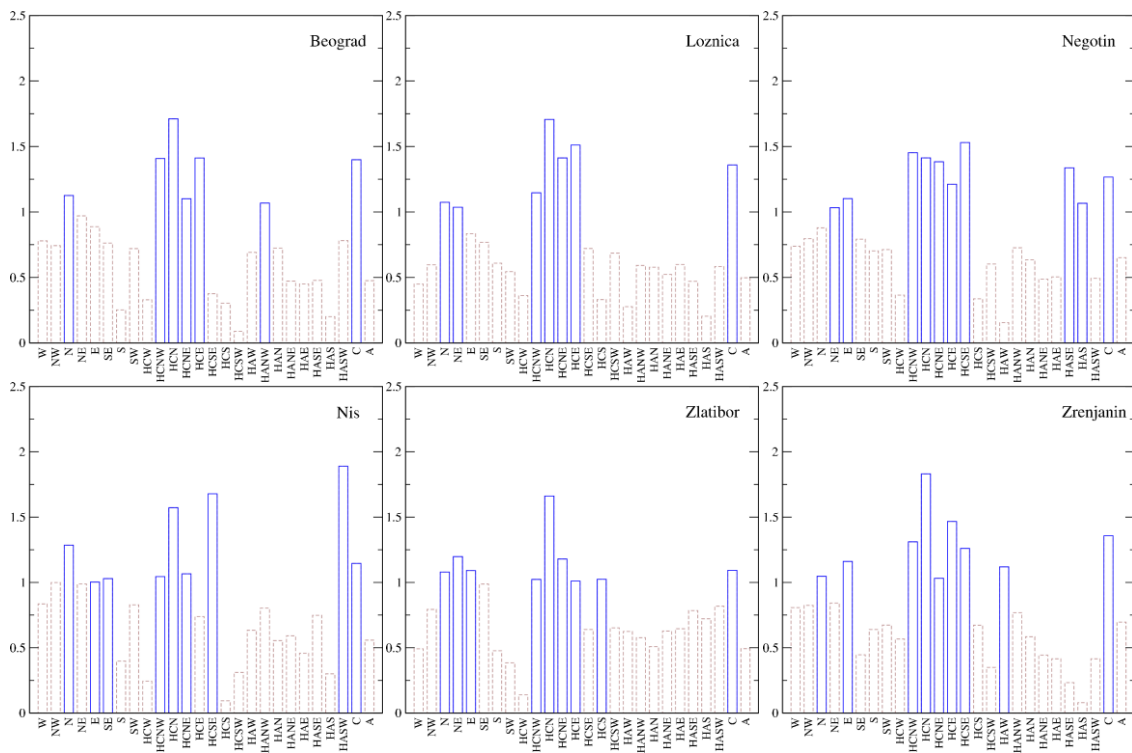


Slika 14. Isto kao slika 11, ali za prolećnu sezonu.

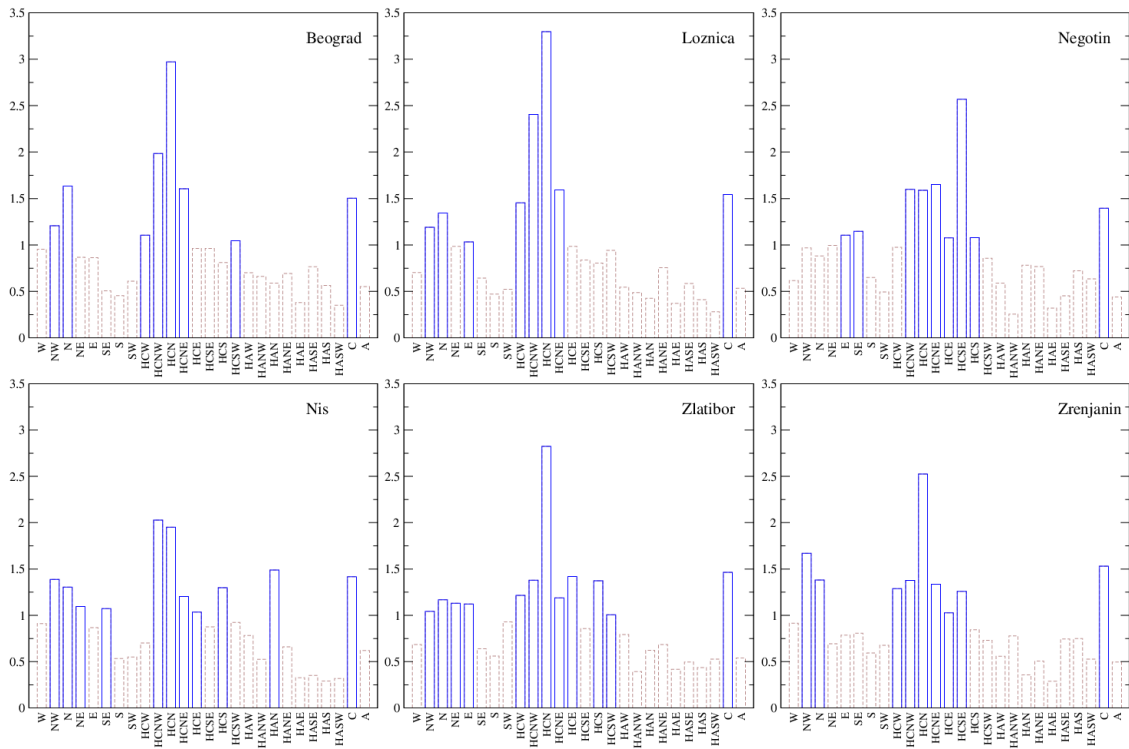
Intenzitet padavina za većinu usmerenih tipova je manji ili neznatno veći od prosečnog intenziteta padavina, dok N tip pokazuje da je verovatnoća za vreme njegovog delovanja veća od proseka, osim za Negotin za sve četiri sezone i za Zrenjanin za vreme zime. Treba pomenuti da i NW tip ima veći intenzitet za Niš i Zrenjanin u toku prelaznih sezona, kao i za Beograd u proleće. Parametar P_{act}/P_{atot} je veći za ciklonalne tipove (približno oko 1,5 za sve stanice i sezone, za zimu je taj parametar nešto veći, a za leto manji), dok je veoma nizak za anticiklonalne tipove za sve stanice. Hibridni ciklonalni tipovi su povezani sa većom ili manjom od proseka količinom padavina u zavisnosti od stanice i sezone. Tako verovatnoća za manju količinu padavina je za tipove: HCSE za Beograd i Zlatibor za sve sezone, za Zrenjanin zimi, za Niš u jesen i za Loznicu za sve sezone osim zime, HCS za Beograd za sve sezone sem proleća, za Niš za sve sezone sem jeseni, za Zrenjanin za sve sezone sem proleća, za Loznicu za sve sezone sem zime, za Zlatibor za zimu i proleće, za Negotin za zimu i leto, HCSW za sve stanice zimi i leti, u jesen je veća količina od prosečne za Beograd i Zlatibor, a u proleće za Negotin, HCW za Loznicu, Negotin i Zlatibor zimi, Niš i Negotin u jesen, za sve stanice za vreme letnje sezone, i za sve stanice sem Negotina u proleće, HCE za Beograd i Loznicu u jesen, za Niš leti i Zrenjaninu u proleće i na kraju količina je manja za tip HCNW za Negotin za vreme proleća. Svi ostali tipovi imaju veću količinu padavina od prosečne. Hibridni anticiklonalni tipovi doprinose manjoj količini padavina za sve stanice i sezone, osim HANW za Negotin zimi i za Beograd leti, HAN za Niš zimi, HASE i HAS za Negotin, HASW za Niš i HAW za Zrenjanin leti, kao i HAW za Negotin i HAE za Loznicu u proleće.



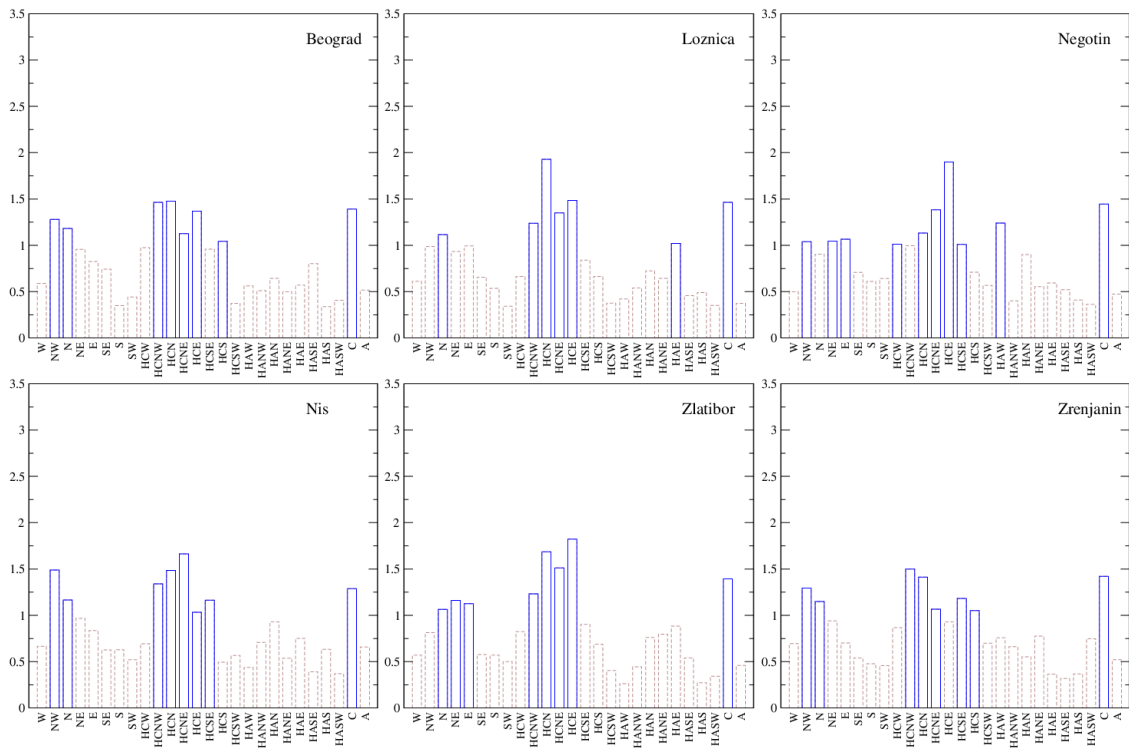
Slika 15. Standardizovan parametar P_{act}/P_{atot} za šest stanica u Srbiji za zimu u periodu od 1961–2010. Plavi stubići označavaju kada je parametar P_{act}/P_{atot} veći od 1, a crveni kada je manji od 1.



Slika 16. Isto kao slika 15, ali za letnju sezonu.



Slika 17. Isto kao slika 15, ali za jesenju sezonu.



Slika 18. Isto kao slika 15, ali za prolećnu sezonu.

5.5 Ocene linearnog regresionog modela za 26 tipova

Tabela 3 pokazuje ocene linearnog regresionog modela (LRM) za padavine za svaku sezonu i stanicu. U ovom modelu cirkulacioni tipovi predstavljaju nezavisne promenljive. 24 LRM-a (po jedan za svaku stanicu i za svaku sezonu) su ocenjena koristeći tri koeficijenta. Modelovane zimske padavine se dobro slažu sa osmotrenim padavinama, dok za druge sezone modeli nisu tako dobri. Koeficijent korelacije je veći od 0,6 za sve stanice u zimskoj sezoni. MEF je pozitivan, osim za Loznicu i Zlatibor. Najveći koeficijenti korelacije i determinacije su za Zrenjanin ($r = 0,80$, $R^2 = 0,65$) zimi, slede za Niš ($r = 0,69$, $R^2 = 0,48$), Loznicu ($r = 0,67$, $R^2 = 0,45$) i Negotin ($r = 0,67$, $R^2 = 0,46$), takođe za zimu. Rezultati pokazuju da padavine ne mogu biti uspešno modelovane upotrebljavajući postepeni model sa nivoom značajnosti od 0,05 za leto, proleće i jesen, osim za Beograd za vreme proleća ($r = 0,67$, $R^2 = 0,45$) i za Zrenjanin za vreme jeseni ($r = 0,56$, $R^2 = 0,31$).

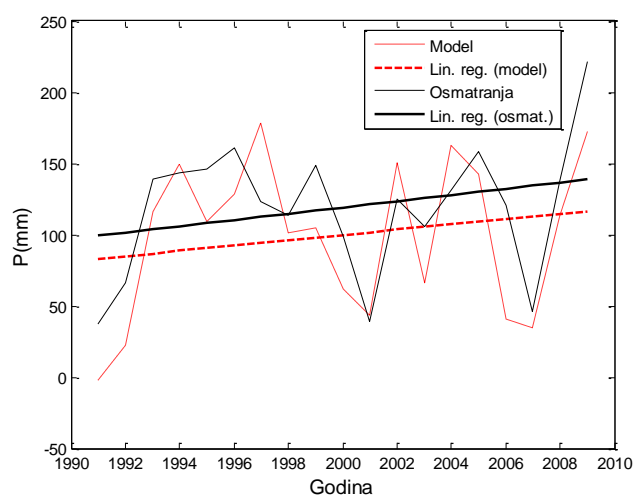
Tabela 3. Ocene regresionog modela za 26 potencijalnih prediktora.

stanica	zima			proleće			leto			jesen		
	r	R^2	MEF	r	R^2	MEF	r	R^2	MEF	r	R^2	MEF
Beograd	0,66	0,44	0,37	0,67	0,45	0,24	-0,02	0,00	-0,27	0,41	0,17	-0,36
Niš	0,69	0,48	0,48	0,25	0,06	-0,48	0,43	0,18	-0,73	0,48	0,23	0,04
Zlatibor	0,64	0,41	-0,14	0,44	0,19	0,14	0,16	0,03	-0,04	0,16	0,03	-0,25
Zrenjanin	0,80	0,65	0,33	0,20	0,04	-0,03	0,30	0,09	0,04	0,56	0,31	-0,09
Negotin	0,67	0,46	0,42	0,16	0,03	-1,89	0,38	0,14	-1,01	0,46	0,21	0,15
Loznica	0,67	0,45	-0,35	/	/	/	0,34	0,11	-0,02	/	/	/

Prediktori koji su bili prihvaćeni u modelima su prikazani u tabeli 4 za svaku stanicu i sezonu. Simbolom “+” (plave ćelije) su označeni cirkulacioni tipovi sa pozitivnim koeficijentima u postepenoj regresiji, a simbolom “-” (crvene ćelije) negativni koeficijenti. Tip C je najučestaliji u jednačinama i ima pozitivne koeficijente, dok A tip ima negativne. Direktni tipovi NE, SW i SE ne pojavljuju se u jednačinama, dok drugi usmereni tipovi uglavnom imaju pozitivan doprinos (da bude padavina za vreme njihovog delovanja), osim N i S tipova u Zrenjaninu zimi i W u Beogradu leti. Skoro svi hibridni anticiklonalni tipovi koji su prihvaćeni u modelu imaju negativne koeficijente, osim HANE u Nišu za vreme leta, i HAE i HAS u Zrenjaninu zimi. Hibridni ciklonalni tipovi imaju pozitivne koeficijente, osim HCE za Negotin leti.

Linearni regresioni model sa najviše prediktora (devet) je za Zrenjanin za zimu. Mali broj vremenskih serija su modelovane sa 4 i 5 prediktora. Osam jednačina (33%) sadrže dva ili tri prediktora. Najviše vremenskih serija su okarakterisani samo sa jednim prediktorom. Nijedan od cirkulacionih tipova nije uključen u model za Loznicu za jesen i proleće, što znači da je njihov nivo značajnosti veći od 0,05.

Vremenske serije modelovanih i osmotrenih padavina (Slika 19) za period provere valjanosti modela (od 1991. do 2009.) u Zrenjaninu pokazuju da se modelovane zimske padavine dobro slažu sa osmotrenim padavinama. Koeficijent korelacije i determinacije je najveći za Zrenjanin 0,80 i 0,65, respektivno, dok je MEF nešto manji 0,33. Model opisuje ekstremne vrednosti padavina veoma dobro. U dva slučaja postoji pomeranje maksimuma padavina: jedan oko 1997. i drugi oko 2005. Manje vrednosti linija linearne regresije su prouzrokovane manjim modelovanim vrednostima padavina na početku perioda. Za ostale sezone, ekstremne vrednosti nisu dobro modelovane.



Slika 19. Modelovane (isprekidana linija) i osmotrene (prava linija) padavine i odgovarajući trendovi za zimsku sezonu (1991–2009) za Zrenjanin.

5.6 Ocene linearnog regresionog modela za 10 tipova

Da bi ispitali da li smanjenje broja cirkulacionih tipova doprinosi boljim rezultatima, urađeno je njihovo grupisanje. Slike i čestine 10 cirkulacionih tipova po sezonama date su u prilogu 3. Analiza ocena (tabela 5) pokazuje da smanjenje broja cirkulacionih tipova ne dovodi do značajnijih poboljšanja modela. Modeli sa potencijalnih 10 prediktora su bolji, na osnovu koeficijenta korelacije i determinacije, za Niš za zimu, Niš i Zlatibor u proleće, Beograd, Niš i Zlatibor za vreme leta i najznačajnije poboljšanje je za Zlatibor ($r = 0,75$, $R^2 = 0,57$) u jesenjoj sezoni. MEF ima veliku vrednost za modele za zimsku sezonu za sve stanice, osim za Zlatibor i Loznicu.

Tabela 5. Ocene regresionog modela za 10 potencijalnih prediktora.

Stanica	zima			proleće			leto			jesen		
	R	R^2	MEF	r	R^2	MEF	r	R^2	MEF	r	R^2	MEF
Beograd	0,73	0,53	0,52	/	/	/	-0,27	0,07	-0,36	0,33	0,11	-0,04
Niš	0,79	0,63	0,60	0,46	0,21	0,15	0,56	0,31	0,31	/	/	/
Zlatibor	0,34	0,12	-0,16	0,55	0,30	0,26	0,38	0,15	-0,01	0,75	0,57	0,27
Zrenjanin	0,84	0,71	0,67	0,14	0,02	-0,06	0,36	0,13	0,09	0,22	0,05	-0,32
Negotin	0,66	0,43	0,40	-0,01	0,00	-1,73	0,38	0,14	-1,01	/	/	/
Loznica	0,58	0,34	0,04	/	/	/	0,12	0,01	-0,01	/	/	/

Najbolji model je za Zrenjanin zimi, kao i kod modela sa 26 tipova. Na osnovu ocena ($r = 0,84$, $R^2 = 0,71$, $MEF = 0,67$) možemo reći da sa veoma velikom verovatnoćom padavine u Zrenjaninu možemo prognozirati ovim modelom.

U tabeli 6 su označeni tipovi koji su prihvaćeni u modelu sa 10 potencijalnih prediktora (isto kao tabela 4 za model sa 26 prediktora). Kao i u prethodnom modelu i u ovom je C tip najučestaliji tip u jednačinama. Za razliku od C tipa koji ima pozitivne koeficijente, A tip se u modelu pojavljuje sa negativnim koeficijentima. Usmereni tipovi većinom imaju pozitivne, dok W za Niš leti, SE za Zlatibor zimi i NW za Loznicu leti imaju negativne koeficijente. SW i S tipovi se ne pojavljuju u jednačinama. Za prolećnu sezonu za Beograd i Loznicu, kao i za jesenju za Niš, Negotin i Loznicu model ne može da prognozira padavine sa nivoom značajnosti od 0,05. Čak 11 jednačina sadrži tri prediktora, 5 jednačina računaju padavine sa 2 prediktora i 3 modela imaju po 3 prediktora.

Tabela 6. Prediktori prihvaćeni u modelu sa 10 potencijalnih prediktora.

Cirkulacioni tipovi	Beograd				Niš				Zlatibor				Zrenjanin				Negotin				Loznica			
	z i m a l e ć e	p r o t o e n	j e s e n	j e s e n	z i r e ć e	p r o t o e n	j e s e n	j e s e n	z i r e ć e	p r o t o e n	j e s e n	j e s e n	z i r e ć e	p r o t o e n	j e s e n	j e s e n	z i r e ć e	p r o t o e n	j e s e n	j e s e n				
A					-				-	-	-						-							
C	+				+	+	+	+					+	+		+					+			
E	+																				+			
NE												+												
N							+																	
NW						+										+								-
W	+							-				+									+			
SW																								
S																								
SE			+						-															

5.7 Veza između cirkulacionih tipova i temperatura

U sinoptičko-klimatološkim istraživanjima, najčešće se uticaj cirkulacije atmosfere pored padavina, analizira i na temperaturne uslove na određenom prostoru. Stoga će se u ovom poglavlju ispitati kako cirkulacioni tipovi utiču na sezonske temperature (srednju, srednju maksimalnu i srednju minimalnu) za šest meteoroloških stanica.

5.7.1 Zima

Srednje, srednje maksimalne i srednje minimalne temperature zimi za šest meteoroloških stanica su predstavljene u tabeli 7. Srednje i srednje maksimalne temperature po stanicama između A i C tipa se vrlo malo razlikuju, osim srednje temperature za Niš, gde je razlika skoro 3°C i srednje maksimalne za Niš i Loznicu (oko 2°C). Srednje minimalne temperature se razlikuju u zavisnosti da li je preko naše zemlje A ili C tip. Za 2°C ili 3°C su niže za vreme anticiklonalnog tipa. Usmeren SW, kao i hibridni SW tipovi imaju najviše sve tri temperature za sve stanice, osim za Negotin, gde su najveće srednje i srednje maksimalne temperature kada je zastupljen NW tip, a srednje minimalne za vreme N tipa. Pored SW i NW tipova i W tipovi su „topli“, N i S su malo hladniji, dok je za vreme E, NE i SE tipova najhladnije. Ovde treba napomenuti da su za vreme SW i S tipova sve temperature zimi u Negotinu manje nego na Zlatiboru.

Najviša srednja zimska temperatura u Beogradu (8,8°C), na Zlatiboru (5,2°C), u Zrenjaninu (6,3°C) i u Loznici (8,2°C) je za vreme SW tipa, u Nišu (7,7°C) je najviša kada je preko Srbije zastupljen HCSW tip i u Negotinu (7,6°C) za vreme HANW tipa. Najniža srednja temperatura na svim stanicama je kada vlada E tip, osim za Negotin gde je najniža za vreme HASE tipa. Najviša srednja maksimalna temperatura je u Negotinu (14,0°C) kada je iznad našeg područja HAW tip, a srednja minimalna na Zlatiboru za vreme E tipa. Najviša srednja minimalna temperatura je u Beogradu (4,3°C) za vreme SW tipa, a najniža na Zlatiboru (−8,4°C) za vreme E tipa.

5.7.2 Leto

Srednje, srednje maksimalne i srednje minimalne temperature leti za šest meteoroloških stanica date su u tabeli 8. Za vreme A tipa i srednje i srednje maksimalne temperature su veće nego za vreme C tipa, dok je za srednje minimalne temperature obrnuto osim za Zlatibor. Od usmerenih tipova “najtopliji” su S i SW tip, zatim slede E, SE i W tipovi, dok su NE, N i NW tipovi nešto “hladniji”. Hibridni A tipovi imaju veće srednje i srednje maksimalne temperature od odgovarajućih hibridnih C tipova, sem za Negotin za HCE i HCSW. Za srednje minimalne temperature situacija je drugačija, kada su zastupljeni hibridni A tipovi skoro sve srednje minimalne temperature su manje nego kada iznad Srbije vladaju hibridni C tipovi. Amplitude srednjih i srednjih maksimalnih temperatura između tipova su veće nego amplitude srednjih minimalnih temperatura.

U Beogradu, na Zlatiboru i u Zrenjaninu najviše srednje temperature su za vreme HAS tipa (24,84°C, 19,46°C, 23,99°C, respektivno), u Nišu (23,78°C) kada je zastupljen SW tip, u Negotinu (23,03°C) za vreme HCE tipa i u Loznici (23,30°C) kada vlada HASW tip preko Srbije. Najhadnije je za vreme HCN tipa na svim stanicama. Srednja maksimalna temperatura je najviša u Loznici (31,12°C) kada je preko naše zemlje zastupljen HAS tip, a najniža na Zlatiboru (17,65°C) za vreme HCN tipa. Najviša srednja minimalna temperatura je u Beogradu (18,51°C) za vreme HCS tipa, a najniža na Zlatiboru (10,17°C) za vreme N tipa.

Tabela 7. Srednje, srednje maksimalne i srednje minimalne temperature za sve stanice i sve tipove za zimu za period od 1961–2010.

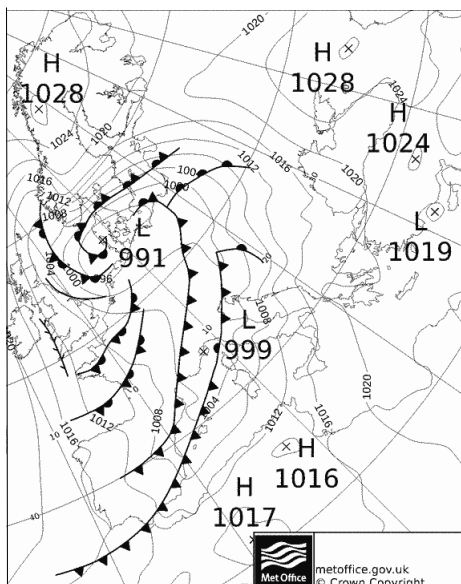
Cirkulacini tipovi	Tsr						Tmax						Tmin					
	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo
A	2,3	0,2	-1,6	0,6	1,2	1,4	6,1	5,4	3,0	4,6	6,0	7,2	-1,4	-3,8	-6,1	-3,5	-3,3	-3,0
C	1,7	2,9	-2,0	0,8	1,9	1,2	5,2	7,5	2,4	4,0	4,7	4,8	0,1	0,4	-4,2	-1,2	-0,7	-0,8
E	-1,6	-1,8	-6,8	-2,7	-1,5	-1,8	0,7	1,1	-4,0	0,9	1,6	0,9	-3,3	-3,6	-8,4	-5,4	-3,7	-3,8
NE	0,0	-0,6	-5,4	-1,0	0,9	0,2	2,7	2,2	-2,1	2,4	4,3	3,6	-1,8	-2,5	-7,2	-3,8	-1,5	-2,2
N	2,7	1,7	-2,7	1,5	3,7	3,0	5,7	4,9	0,4	5,2	6,7	6,8	0,6	-0,8	-4,8	-1,2	0,8	-0,0
NW	6,2	4,0	1,5	4,7	6,6	5,5	10,3	9,7	5,7	8,8	11,4	11,6	2,7	-0,9	-2,2	1,0	0,6	1,1
W	7,8	6,6	3,6	5,2	3,8	7,4	12,1	12,1	7,7	9,3	8,6	13,2	3,8	0,7	-0,1	1,6	-1,5	1,9
SW	8,8	7,5	5,2	6,3	1,1	8,2	12,6	12,7	8,7	9,8	4,5	13,7	4,3	1,3	1,4	2,2	-2,3	1,9
S	4,1	4,2	3,0	3,0	-0,5	3,4	7,4	8,3	6,4	6,0	1,6	7,7	1,0	-0,3	-1,4	-0,5	-3,0	-0,9
SE	-0,6	-0,0	-4,1	-1,5	-2,4	-1,3	2,1	3,3	-0,9	1,6	0,3	1,4	-2,7	-3,0	-6,7	-4,6	-4,9	-3,4
HAE	-1,1	-1,7	-5,5	-2,3	-1,2	-1,3	1,4	1,3	-1,7	0,8	2,8	2,3	-3,1	-4,1	-7,3	-5,3	-4,8	-4,0
HANE	-0,1	-1,4	-5,4	-1,2	0,7	0,1	2,2	1,6	-2,1	1,9	3,9	3,5	-2,6	-3,9	-7,4	-4,9	-2,1	-3,0
HAN	4,2	2,1	-0,6	3,0	5,4	4,1	7,2	6,3	3,1	6,4	9,0	9,3	0,8	-1,8	-5,7	-0,8	1,0	-0,1
HANW	6,9	3,6	2,1	5,1	7,6	5,6	11,4	10,2	6,7	9,7	12,9	12,6	2,9	-1,4	-3,5	1,0	1,2	0,5
HAW	8,5	5,0	3,6	5,7	4,3	7,4	13,4	11,6	7,9	10,1	10,6	14,0	3,3	-1,3	-0,3	1,3	-1,7	0,9
HASW	7,3	4,9	3,5	4,7	1,5	6,3	11,8	11,4	7,6	8,5	6,1	13,0	2,0	-1,7	0,9	-0,0	-2,5	-0,7
HAS	2,6	1,5	1,1	1,0	-2,3	1,6	6,5	6,6	4,9	4,6	0,9	7,2	-1,0	-3,6	0,4	-3,1	-5,9	-3,5
HASE	-1,0	-1,5	-4,1	-2,1	-3,3	-1,6	2,2	2,7	0,1	1,3	0,6	1,9	-3,4	-4,4	-5,0	-5,6	-6,1	-4,3
HCE	-0,8	-0,9	-6,0	-1,5	-0,3	-1,2	1,5	1,8	-3,3	1,2	2,3	1,1	-2,1	-2,7	-8,1	-3,5	-2,4	-2,6
HCNE	-0,7	-1,0	-6,1	-1,3	0,6	-0,6	1,2	1,3	-3,3	1,1	3,3	1,5	-2,0	-2,1	-7,9	-3,0	-1,4	-2,5
HCN	1,5	1,3	-3,9	0,6	2,6	1,7	4,9	5,1	-0,2	4,1	5,8	5,6	0,0	-0,5	-3,9	-1,1	0,4	-0,6
HCNW	4,0	3,5	-0,9	2,9	4,3	3,9	8,0	9,1	4,3	6,9	8,4	8,9	1,6	0,5	-2,3	0,5	0,3	0,9
HCW	6,1	6,8	2,7	4,5	3,7	5,5	11,6	12,2	7,5	8,4	7,8	12,3	3,4	2,8	-1,0	1,6	-0,2	1,9
HCSW	7,2	7,7	4,0	4,9	1,9	6,1	11,0	12,2	8,0	8,5	4,7	11,4	4,0	2,3	-1,8	2,1	-1,9	2,2
HCS	3,6	5,4	3,2	2,6	0,1	2,7	6,8	9,3	6,7	5,7	2,2	5,9	1,2	1,0	-4,4	-0,2	-3,0	-0,2
HCSE	0,4	1,3	-2,7	-0,1	-0,6	-0,2	2,9	4,3	0,8	2,1	1,5	2,3	-1,3	-1,3	-7,5	-2,7	-2,8	-2,1

Tabela 8. Isto kao tabela 7, ali za leto.

Cirkulacioni tipovi	Tsr						Tmax						Tmin					
	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo
A	23,3	22,0	18,3	22,4	22,3	22,0	29,4	29,9	23,6	29,2	29,6	29,9	16,1	13,0	11,5	14,2	13,4	13,8
C	19,5	20,5	14,5	19,2	20,8	18,4	25,0	27,7	19,8	24,6	26,8	24,0	16,2	15,5	11,4	15,2	15,7	15,1
E	23,3	22,7	17,4	22,4	23,0	21,8	28,9	29,9	22,4	29,1	29,5	28,4	17,8	15,8	13,1	15,6	16,1	15,9
NE	20,9	20,5	15,1	20,2	22,0	20,0	26,0	26,8	19,8	26,3	27,8	25,8	16,4	15,3	11,6	14,8	16,2	15,4
N	19,2	18,9	13,7	18,7	20,5	18,8	24,1	24,9	18,6	24,3	25,6	24,4	15,2	14,3	10,2	14,0	15,5	14,5
NW	20,8	20,9	15,9	20,1	21,6	20,1	26,5	28,2	21,5	26,1	28,1	26,9	16,0	14,0	11,2	14,7	13,7	14,6
W	23,2	22,9	18,0	22,0	22,7	21,8	29,4	31,1	23,9	28,6	30,0	29,2	17,7	14,6	13,0	16,0	14,5	15,3
SW	24,0	23,8	18,5	22,9	22,9	22,7	30,2	31,0	24,1	29,6	30,1	29,9	18,0	14,8	13,2	16,7	14,4	15,3
S	24,0	23,8	18,8	23,0	22,4	22,3	29,5	30,9	24,2	28,9	28,9	29,5	18,3	15,9	13,5	16,8	14,6	15,3
SE	22,9	22,5	17,0	22,2	21,6	21,1	28,3	29,3	21,9	28,0	28,0	27,7	17,6	15,9	12,7	15,8	15,2	15,4
HAE	22,9	22,0	17,5	22,0	22,4	21,4	28,9	29,6	22,4	29,0	29,6	28,9	16,3	14,0	12,2	13,9	14,7	14,3
HANE	21,8	20,7	16,1	20,9	22,5	20,7	27,3	27,7	21,1	27,6	28,6	27,6	15,6	13,9	11,2	13,6	15,4	14,1
HAN	21,4	20,3	16,1	20,7	21,9	20,8	26,9	27,4	21,2	27,0	27,8	27,5	15,7	13,5	10,8	14,2	14,9	14,2
HANW	22,5	21,6	17,5	21,4	22,3	21,5	28,4	29,2	23,0	28,1	29,3	28,9	16,0	13,3	11,2	14,5	14,3	14,2
HAW	23,3	22,8	18,4	22,0	22,4	22,0	29,8	30,4	24,1	29,2	30,0	29,8	16,9	13,9	12,4	15,1	12,4	14,6
HASW	24,6	23,3	19,2	23,3	22,0	23,3	30,3	30,8	25,1	29,3	28,9	29,9	17,4	13,8	12,2	15,8	14,0	14,9
HAS	24,8	23,8	19,5	24,0	22,0	23,3	30,6	30,9	25,0	30,1	28,9	31,1	17,8	14,6	13,1	15,9	14,0	14,5
HASE	24,2	23,3	18,7	23,5	22,2	22,4	30,2	31,0	24,0	30,0	29,4	30,1	17,5	14,8	12,9	15,1	14,5	14,7
HCE	21,8	22,6	16,3	21,4	23,0	20,4	27,5	29,5	21,3	27,5	29,2	26,2	17,5	16,3	12,8	16,3	16,8	16,1
HCNE	19,7	20,2	14,1	19,5	21,5	18,8	24,8	26,8	18,9	25,0	27,2	23,9	16,5	16,0	11,4	15,6	16,7	15,6
HCN	18,4	18,9	12,8	18,3	20,2	17,7	23,2	25,1	17,7	23,2	25,6	22,5	15,4	15,0	10,3	14,5	15,2	14,6
HCNW	20,8	20,9	15,5	20,4	21,8	19,6	26,5	27,9	20,8	26,3	28,1	25,9	16,4	14,9	11,7	15,4	15,0	15,0
HCW	20,1	21,6	15,9	19,3	20,9	18,6	26,4	29,1	21,4	25,7	27,9	25,8	16,0	14,3	11,7	14,6	13,9	14,3
HCSW	22,8	22,9	17,9	22,0	22,8	21,1	30,0	30,6	23,4	29,2	29,0	29,0	18,0	15,0	12,9	16,4	14,5	15,9
HCS	22,9	23,3	18,2	22,0	21,8	20,5	28,8	30,5	23,7	28,4	28,1	27,8	18,5	17,0	14,3	17,5	16,4	15,5
HCSE	20,6	21,4	15,7	20,1	20,9	19,4	26,2	28,2	20,4	25,6	26,8	25,4	16,9	15,3	12,5	15,2	14,6	15,1

5.7.3 Jesen

Srednje, srednje maksimalne i srednje minimalne temperature u jesen za šest meteoroloških stanica su predstavljene u tabeli 9. Za vreme jesenje sezone kada vlada A tip srednje i srednje maksimalne temperature su veće nego kada je zastupljen cirkulacioni C tip, dok je za srednje minimalne temperature obrnuto, osim za Zlatibor. Najtopliji usmereni i hibridni tipovi su S, SW i W, zatim NW i N, a najhladniji E, NE i SE za sve stanice osim za Negotin, gde je najtoplije za vreme N i NW tipova, nešto hladnije kada vladaju NE, W, E i SW tipovi i najhladnije za vreme S i SE tipova. Kao i za zimsku sezonu i ovde su temperature za S i SW u Negotinu manje nego na Zlatiboru. Jedna takva situacija od 06.11.2016. godine prikazana je na slici 20. Sa slike se vidi da je u Srbiji tog dana bio zastupljen SW tip, a srednja dnevna temperatura u Negotinu je bila 6°C, a na Zlatiboru 13°C. Ostale stanice su imale sledeće srednje temperature za taj dan: Loznica 23°C, Beograd i Zrenjanin 18°C, a Niš 15°C (www.wunderground.com).



Slika 20. Prizemna sinoptička situacija od 06.11.2016. godine
(<http://old.wetterzentrale.de>).

Najviša srednja temperatura u Beogradu (16,4°C), na Zlatiboru (12,2°C), u Zrenjaninu (14,9°C) je za vreme HASW tipa, u Nišu za vreme HCSW (15,2°C), na Zlatiboru, u Loznici (15,1°C) za vreme SW i u Negotinu (13,9°C) za vreme N tipa. U

Beogradu (9,6°C), Nišu (9,5°C), Zrenjaninu (9,1°C), Loznici (8,8°C) i na Zlatiboru (3,9°C) najniža srednja temperatura je kada je zastupljen HCE, dok je u Negotinu (8,9°C) najniža za vreme SE tipa. Najviša srednja maksimalna temperatura je u Loznici (23,8°C) za vreme HASW tipa, a najniža na Zlatiboru (6,8°C) kada je zastupljen HCE tip. Najviša srednja minimalna temperatura je u Beogradu (11,5°C) za vreme SW tipa, a najniža na Zlatiboru (2,5°C) za vreme HCE tipa.

5.7.4 Proleće

Srednje, srednje maksimalne i srednje minimalne temperature u proleće za šest meteoroloških stanica su date u tabeli 10. Poredak tipova po toploti tj. hladnoći je isti kao za jesenju sezonu, a u zavisnosti od meteorološke stanice i razmatrane temperature su manje ili veće u odnosu na jesenje.

U Beogradu (16,4°C) i Loznici (15,3°C) srednje najviše temperature su iste i za HAW i HASW tip, u Nišu (15,4°C) najviša srednja temperatura je za vreme SW tipa, na Zlatiboru (11,0°C) kada je zastupljen HAS, u Zrenjaninu (15,2°C) kada preko Srbije vlada HAW tip i u Negotinu (14,6°C) za vreme NW tipa. Najniža srednja temperatura u Beogradu od 10,1°C je za vreme E ili HCSE tipa, u Nišu (9,4°C) za E ili HANE, na Zlatiboru (3,9°C) kada je zastupljen HCE, u Zrenjaninu (9,2°C) za E tip, u Negotinu (8,6°C) kada vlada SE i u Loznici (9,1°C) za vreme HCSE tipa. Najviša srednja maksimalna temperatura je u Loznici (23,2°C) kada je preko Srbije zastupljen HASW tip, dok je najniža na Zlatiboru (7,1°C) za vreme HCE tipa. Analizirajući srednje minimalne temperature na svim stanicama za sve tipove dobijeno je da je najviša u Beogradu (10,8°C) kada vlada SW tip, a najniža je za vreme HAN, HAE ili HANE na Zlatiboru (0,8°C).

Tabela 9. Isto kao tabela 7, ali za jesen.

Cirkulacioni tipovi	Tsr						Tmax						Tmin					
	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo
A	13,2	11,5	9,5	12,0	11,7	11,9	19,5	19,9	15,0	18,9	19,2	20,5	8,0	5,0	4,1	5,9	5,3	6,0
C	10,1	11,4	5,8	9,5	11,1	9,2	14,3	17,1	10,7	13,7	15,0	13,6	8,1	8,0	3,6	7,2	7,6	7,1
E	11,9	11,6	6,7	10,9	11,9	11,0	16,3	16,8	10,2	16,5	17,2	15,7	8,7	7,7	4,4	6,5	8,0	7,7
NE	11,6	11,4	6,4	10,8	13,3	11,2	15,8	16,2	10,4	16,0	18,0	15,7	9,0	8,3	4,3	7,4	9,4	8,4
N	12,4	12,0	7,3	11,7	13,9	12,1	17,2	17,6	12,0	17,0	18,7	17,5	9,7	8,6	4,5	8,5	10,0	8,9
NW	13,1	12,3	8,8	12,1	13,5	12,4	18,3	19,1	13,9	17,4	19,2	19,1	9,6	7,4	4,8	8,2	8,0	8,0
W	14,7	15,1	10,9	12,6	13,1	13,9	20,8	22,4	16,4	18,8	19,4	21,4	10,4	8,8	6,8	8,6	6,6	8,6
SW	16,2	15,1	11,9	14,2	11,5	15,1	21,6	22,0	16,3	20,0	17,2	22,0	11,5	8,4	7,8	9,9	6,0	8,9
S	13,5	13,6	11,0	12,7	9,9	12,5	18,4	19,8	15,5	17,6	14,1	18,9	9,6	7,8	6,6	8,0	5,5	7,3
SE	10,8	10,9	6,5	10,0	8,9	9,6	15,2	16,2	10,2	15,3	13,6	14,4	7,5	6,3	3,5	5,5	5,0	6,0
HAE	11,4	10,9	7,0	10,2	11,2	10,5	16,9	17,4	11,3	16,9	17,8	17,1	7,4	5,8	3,7	4,7	6,1	6,1
HANE	11,8	11,3	7,2	10,8	13,0	11,3	16,9	17,3	11,3	17,0	18,7	17,5	7,9	6,9	4,2	5,8	8,2	7,1
HAN	13,9	12,8	9,1	12,9	14,7	13,2	19,1	19,2	14,0	18,8	20,1	20,0	9,8	7,5	5,1	8,1	9,0	8,4
HANW	13,2	11,1	8,9	11,5	13,2	11,9	18,9	18,9	13,9	17,6	20,2	19,8	8,4	5,3	3,8	6,3	6,1	6,0
HAW	15,6	13,4	11,1	13,7	12,7	14,6	21,7	22,0	16,4	19,9	20,7	22,9	10,4	6,5	6,3	8,5	5,3	7,7
HASW	16,4	14,2	12,2	14,9	11,6	14,8	22,6	22,8	17,4	21,2	19,0	23,8	10,4	7,2	7,2	8,9	5,2	7,7
HAS	14,4	13,1	11,4	13,3	10,0	13,0	20,4	20,8	16,8	19,4	15,6	21,4	9,6	6,5	6,1	7,7	5,1	6,6
HASE	12,5	11,7	8,4	11,5	10,2	11,0	18,3	19,0	13,4	18,2	17,0	18,0	8,0	5,8	4,1	5,4	5,5	6,0
HCE	9,6	9,5	3,9	9,1	10,2	8,8	12,5	13,4	6,8	12,7	14,1	11,5	7,8	7,4	2,5	6,5	6,8	7,1
HCNE	9,9	10,1	4,3	9,2	11,9	9,6	13,2	15,0	8,4	13,3	16,0	13,3	8,2	8,2	3,0	6,7	9,3	7,9
HCN	11,2	11,2	5,6	10,6	13,1	10,9	14,3	16,1	8,8	14,6	17,3	14,8	9,1	9,5	3,9	8,4	10,6	8,6
HCNW	12,0	12,6	7,2	11,2	13,2	11,3	18,0	19,9	13,2	17,2	18,7	18,2	9,6	9,8	4,0	8,5	9,7	8,5
HCW	12,6	14,2	8,7	11,4	12,2	11,6	19,0	21,0	14,4	17,0	17,6	18,4	9,8	10,2	5,7	8,3	7,6	8,3
HCSW	14,0	15,2	9,9	12,5	11,3	12,3	19,5	21,3	15,1	17,9	15,7	19,5	10,5	10,1	6,7	9,1	6,4	8,5
HCS	12,7	13,2	9,3	12,1	10,1	11,5	17,0	18,6	13,4	16,3	13,6	16,0	9,8	8,3	6,7	8,8	5,8	8,0
HCSE	11,1	11,8	6,6	10,8	9,7	9,9	14,8	16,6	10,5	14,9	13,9	13,7	8,5	8,2	4,1	7,1	6,3	7,1

Tabela 10. Isto kao tabela 7, ali za proleće.

Cirkulacioni tipovi	Tsr						Tmax						Tmin					
	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo	Bg	Ni	Zl	Zr	Ne	Lo
A	13,7	12,0	8,5	12,6	11,8	12,4	19,5	19,5	14,0	19,1	18,8	20,2	7,2	4,2	2,3	5,0	4,5	4,7
C	10,9	11,3	5,4	10,4	11,5	9,9	15,5	17,1	10,0	15,2	16,2	14,8	8,0	7,4	2,8	6,9	7,4	6,9
E	10,1	9,4	4,0	9,2	9,7	9,2	14,6	14,4	7,8	14,8	14,6	14,2	6,1	5,0	1,1	3,9	5,4	5,0
NE	10,5	9,6	4,1	9,7	11,4	9,9	15,0	14,5	8,2	15,2	16,2	14,6	6,6	5,6	1,4	4,6	7,0	6,1
N	12,6	11,6	6,9	11,9	13,6	12,2	17,4	17,4	11,5	17,5	18,6	17,9	8,6	7,1	3,3	7,0	8,9	7,7
NW	14,3	13,6	9,0	13,4	14,6	13,7	19,9	20,6	14,6	19,3	20,7	20,4	9,7	7,5	4,3	8,1	8,7	8,2
W	15,6	14,9	9,8	14,1	14,4	14,8	21,4	22,1	15,6	20,2	21,3	21,8	10,3	7,1	5,0	8,4	6,8	8,1
SW	16,1	15,4	10,1	14,6	13,3	14,9	21,5	21,8	15,2	20,5	19,7	21,7	10,8	7,9	5,7	8,9	6,2	8,1
S	14,6	14,2	10,1	13,7	12,0	13,8	19,7	20,1	14,8	19,2	17,2	20,2	9,6	7,6	5,4	7,8	5,7	7,2
SE	10,5	10,4	5,3	9,8	8,6	9,6	15,1	15,7	9,4	15,0	13,2	15,0	6,6	5,6	1,8	4,5	4,1	4,8
HAE	11,0	9,7	5,1	9,7	9,9	9,6	16,2	15,8	9,3	16,1	16,1	16,2	5,4	3,6	0,8	2,7	3,8	3,8
HANE	10,8	9,4	4,8	10,0	11,3	10,1	15,8	15,2	9,1	15,8	16,7	15,9	5,7	4,3	0,8	3,3	5,9	4,9
HAN	11,1	9,6	5,4	10,3	11,5	10,6	16,0	15,6	10,1	16,0	16,8	16,8	5,8	4,5	0,8	3,8	6,4	4,9
HANW	14,7	12,9	9,3	13,6	14,1	13,9	20,5	20,6	15,0	19,7	20,6	21,4	8,6	5,3	3,4	6,8	7,0	6,6
HAW	16,4	14,2	10,4	15,2	13,7	15,3	22,7	22,7	16,7	21,8	22,3	23,2	9,2	4,7	4,1	7,2	4,9	6,3
HASW	16,4	14,8	10,7	15,0	12,8	15,3	22,2	22,1	16,5	21,2	19,9	22,4	9,8	6,0	4,8	7,9	4,9	7,0
HAS	15,8	14,9	11,0	14,8	12,0	14,8	21,6	21,8	16,5	20,9	18,3	22,0	10,0	7,3	5,6	8,2	5,2	7,1
HASE	13,1	12,0	7,8	11,9	10,3	11,7	18,6	18,7	12,5	18,2	16,6	18,7	7,2	4,8	2,5	4,9	4,0	4,4
HCE	10,4	9,9	3,9	10,1	10,6	9,3	14,3	14,4	7,1	14,7	14,8	13,5	7,3	6,2	1,5	5,9	6,9	6,0
HCNE	10,4	9,8	4,2	10,2	11,4	9,7	14,3	14,4	7,7	14,8	15,8	13,6	7,5	6,8	2,2	6,2	8,1	6,8
HCN	11,4	10,9	5,5	11,1	12,6	11,0	15,9	16,1	9,9	16,1	17,5	15,7	8,5	7,6	2,9	7,3	8,8	7,9
HCNW	12,2	12,4	6,9	11,6	13,3	11,7	17,2	18,9	12,1	16,4	19,0	17,6	9,2	8,3	3,8	8,3	9,2	8,5
HCW	14,2	14,9	8,6	12,8	13,9	13,0	20,2	21,2	14,2	18,8	20,0	19,4	10,3	9,2	5,3	8,6	8,8	8,6
HCSW	13,1	14,2	7,9	11,6	11,5	11,9	18,6	20,0	13,0	17,4	17,0	18,1	9,6	8,6	4,8	7,7	6,3	7,6
HCS	13,3	13,5	8,9	12,6	11,5	12,4	17,7	19,1	13,5	17,4	16,2	17,9	9,2	8,3	5,4	7,9	6,0	7,3
HCSE	10,1	10,2	4,4	9,8	9,2	9,1	14,2	15,0	8,4	14,2	13,1	13,5	7,1	6,5	1,9	5,8	5,5	5,8

Diskusija

Dnevne atmosferske cirkulacije koje deluju na vreme u Srbiji opisane su koristeći set indeksa povezanih sa pravcem i vrtložnošću geostrofskog toka preko oblasti koja pokriva većinu Evrope i mediteranskog mora. Objektivni Jenkinson i Collison (1977) sistem vremenskih stanja, koji je zasnovan na Lamb-ovim tipovima, je korišćen da se klasifikuju cirkulacioni tipovi iznad Srbije. Analizirane su sezonske relativne učestalosti 26 cirkulacionih tipova, kao i njihov trend, a njihov potencijal za padavine je izražen pomoću dva parametra. Da bi se ispitala prognoznost promenljivosti padavina pomoću cirkulacionih tipova primenjen je postepeni regresioni model.

U ovoj disertaciji, vertikalna struktura atmosfere je bila ispitivana analiziranjem anomalija geopotencijalne visine na nivou od 500 hPa. Nađeno je da su vlažni uslovi u Srbiji povezani sa obrascima SLP i geopotencijalnim anomalijama na nivou od 500 hPa preko Evrope. Krichak i dr. (2000) su proučavali sinoptičke obrasce povezane sa suvim i vlažnim uslovima u istočnom Mediteranu. Oni su pronašli da su vlažni uslovi u istočnom Mediteranu povezani sa negativnim anomalijama na 500 hPa preko istočne Evrope, dok su pozitivne anomalije preovladavale iznad zapadne Evrope.

Utvrđeno je da je tip A najčešći tip u sve četiri sezone, koji odražava dominantan karakter blokirajućeg anticiklona centriranog preko Evrope. NE tip je, posle A tipa, najčešći tip sa 16,65% u leto. Što se tiče ciklonalnog tipa on je učestaliji za vreme prolećne (14,02%) i zimske sezone (12,83%), a nešto manje za vreme jesenje (8,75%) i letnje (8,02%) sezone. Rezultat da je A tip iznad Srbije najučestaliji slaže se sa

rezultatima drugih istraživača. Spellman (2015) je dobio da je A najučestaliji tip (23,3%) za deo Rusije severno od zapadnog Kazahstana. Za područje Galicije u Španiji Royé i dr. (2016) su našli da je A tip zastupljen sa čak 24,53%. Kako navodi Linderson (2001), A tip dominira sa C i W tipovima preko južne Skandinavije.

Opadajući trend C tipova (čistog i hibridnih) i rastući trend A tipova (čistog i hibridnih) se slaže sa opadajućim trendom padavina u Srbiji za vreme zime i proleća, što su dobili Tošić i dr. (2014). Oni su analizirali promenljivost godišnjih i sezonskih padavina na 92 stanice u Vojvodini i uočili da padavine imaju opadajući trend u zimu i proleće u periodu od 1946. do 2006. u severnoj Srbiji.

Veza između padavina (verovatnoće i količine padavina) i cirkulacionih tipova za šest stanica u Srbiji je određena u ovoj disertaciji. C tip i skoro svi hibridni cirkulacioni tipovi doprinose većoj količini padavina od odgovarajućeg proseka za sve stanice, dok za vreme A tipova verovatnoća za padavine je veoma mala. Izvor većine padavina u Srbiji su cikloni iz Sredozemlja. Centri mnogih od ovih ciklona se nalaze u centralnom ili istočnom Mediteranu. Postojanje dubokih dolina, zapadno od Srbije, su preduslov za uzlazna kretanja i transport vlage iz Mediterana ka Srbiji. Nađeno je da cikloni iz Mediterana uslovljavaju jake kiše u Beogradu (Tošić i Unkašević 2013). Mnogi autori su primetili da cikloni koji su razvijeni u Mediteranu (npr. Radinović 1987, Trigo i ostali 1999) tipično imaju jugoistočni pravac, koji prouzrokuje smanjenje MSLP u Srbiji. Da C tipovi doprinose pojavi i količini padavina, a A tipovi ne je u slaganju i sa onim što navode Trigo i DaCamara (2000) za Portugal. Oni su pronašli da je doprinos najučestalijeg A tipa (37%) na količinu zimskih padavina mali (manji od 16%), dok su tri najvlažnija cirkulaciona tipa (C, SW i W), koji karakterišu samo 32% svih zimskih dana, odgovorni za više od 62% osmotrenih dnevnih padavina.

Južni direktni, anticiklonalni i hibridni anticiklonalni tipovi su povezani sa manjom od proseka količinom padavina. Direktni tipovi (osim pomenutih južnih) pokazuju regionalno i sezonsko variranje verovatnoće količine padavina upoređujući sa sezonskom srednjom vrednošću.

Najveća količina padavina je za vreme HCN tipa u jesen i zimu, a nešto manje za vreme leta i proleća. Ove sinoptičke situacije su okarakterisane sa ciklonom preko

Crnog mora. Kada je crnomorska depresija formirana, postoji severna cirkulacija preko istočne Srbije (Andovski 1952). On je pronašao da su najveće padavine registrovane na istočnim padinama planina, zbog dizanja vazduha u ciklonskoj cirkulaciji i smicanja u donjoj troposferi.

Model se pokazao kao dobar za zimsku sezonu, ali za druge sezone ne pokazuje zadovoljavajuće rezultate (osim za Beograd u proleće i Zrenjanin u jesen). Za letnju sezonu ovo može biti objašnjeno činjenicom da je tada konvekcija dominantna. Lorenzo i dr. (2011) su dobili slične rezultate za severozapadni deo Iberijskog poluostrva za kraj 21. veka. Ramos i dr. (2014) su našli da lokalni faktori, kao što su reljef i duboki konvekcioni procesi, mogu igrati glavnu ulogu u prostornim promenama padavina za vreme letnje sezone u Španiji. Rezultati našeg regresionog modela imaju kvalitativna slaganja sa drugim modelima za različite oblasti (npr. El-Kadi i Smithson 1996, Linderson 2001, Spellman 2015). Za područje Belgije Brisson i ostali (2011) su našli da regresioni model zasnovan na cirkulacionim tipovima kao prediktorima predstavlja promenljivost padavina bolje za zimu i jesen, nego za proleće i leto. Sumner (1996) je zaključio da je veza između regionalne cirkulacije i lokalnih padavina bila značajno poboljšana, ako bi bili uključeni pravci lokalnih vetrova, zbog uticaja orografskih efekata na količinu kiše. Sumner (1996) navodi da su geografske razmere klasifikacionih šema mnogo velike za objašnjenje lokalnih padavina. Za naše područje model ima najbolje rezultate za Zrenjanin za zimsku sezonu, zato što se Zrenjanin nalazi u ravnici, pa se promenljivost padavina može objasniti cirkulacionim tipovima.

C tip je kao prediktor dominantan u postepenoj regresiji, zatim sledi anticiklonalni hibridni tip HASE. Međutim, ovaj A hibridni tip se ne pojavljuje tako često (ima malu učestalost) i ima negativan koeficijent regresije i zbog toga nema veliki doprinos na ukupne padavine. U Srbiji su zimske padavine uglavnom povezane sa ciklonima, hibridnim istočnim ciklonima i situacijama kada je zastupljen zapadni tok. Može se reći da je C tip glavni „kišni“ cirkulacioni tip, jer rezultati pokazuju da se padavine dešavaju preko većeg dela zemlje kada je on zastupljen, dok ostalih 25 tipova obezbećuju više regionalni ili imaju zanemarljiv doprinos padavinama. Ovaj rezultat se delimično slaže sa onim što su dobili Putniković i dr. (2016). Oni su pokazali da skoro svi hibridni C tipovi i C tip doprinose većoj količini padavina od odgovarajuće prosečne vrednosti za

tri stanice (Beograd, Niš, Loznica). Mnogo manji broj tipova su prihvaćeni u modelu za leto, proleće i jesen.

Padavine su modelovane i modelom sa 10 potencijalnih tipova, da bi se videlo da li model sa manjim brojem tipova daje bolje rezultate. Prognoza zimskih padavina je podjednako dobra pomoću oba modela za sve meteorološke stanice, osim za Niš gde se model sa 10 prediktora pokazao kao bolji. Što se tiče ostalih sezona model sa manjim brojem tipova je bolji za Zlatibor (za jesen je koeficijent korelacije veći za 0,6) i za Niš za proleće i leto, dok za ostale stanice model ne pokazuje značajnije poboljšanje. C tip je ponovo tip koji daje najviše padavina, a A tip je uvek u jednačinama sa negativnim koeficijentom. Od usmerenih tipova W tip je „najkišovitiji“ tip. Dakle, model sa 10 potencijalnih tipova ne daje značajnije poboljšanje u odnosu na model sa 26 tipova, sem za Zlatibor za jesenju sezonu. Jedina prednost modela sa manjim brojem tipova je što je analiza rezultata jednostavnija.

Veza između temperatura i cirkulacionih tipova preko Srbije je analizirana pomoću sezonskih – srednjih, srednjih maksimalnih i srednjih minimalnih temperatura. Od svih tipova SW tipovi su povezani sa najvišim temperaturama, a u zavisnosti od stanice i sezone to je ili hibridni C ili A tip ili usmeren SW tip. Ovo jedino ne važi za Negotin za zimsku sezonu, u njemu su srednje i srednje maksimalne temperature najviše kada je preko Srbije zastupljen NW tip, a najviše minimalne kada je preko Srbije N tip. A i C tipovi za vreme zime imaju skoro iste srednje i srednje maksimalne temperature, dok su srednje minimalne za 2°C do 3°C veće za vreme C tipa. Srednje i srednje maksimalne temperature su više za vreme A nego za vreme C tipa za jesenju, letnju i prolećnu sezonu, dok je obrnuto za srednje minimalne temperature. Najhladnije je kada je preko naše zemlje neki od E tipova za vreme zime i prelaznih sezona, dok je leti najhladnije za vreme N tipa. Iako je Negotin na najnižoj nadmorskoj visini, a Zlatibor na najvišoj, za vreme zime i jeseni kada je zastupljen SW ili S tip sve temperature su manje u Negotinu nego na Zlatiboru, kao i u odnosu na sve druge stanice. Ovo se dešava kada su svi delovi Srbije, osim istočnog dela, pod uticajem ciklona, koji donosi topao vazduh sa juga, a Negotin (istok Srbije) je pod uticajem zadnje strane anticklona.

Na osnovu prethodne analize možemo zaključiti da je promenljivost padavina teško objasniti samo koristeći cirkulacione tipove, zato što lokalni faktori, kao što su reljef i konvekcija mogu takođe uticati na lokalnu klimu.

Zaključak

U doktorskoj disertaciji korišćena je automatizovana Lamb-ova klasifikacija vremenskih tipova da bi se klasifikovali dnevni cirkulacioni tipovi iznad Srbije od 1961. do 2010. godine. Razmatrane su karakteristike 26 cirkulacionih tipova, njihove učestalosti, trendovi, kao i veze sa padavinama i temperaturama. Takođe, napravljen je model za prognozu padavina i sa 10 potencijalnih tipova, da bi se pokazalo da li smanjenje broja tipova utiče na poboljšanje rezultata. Objektivna klasifikacija atmosferske cirkulacije iznad Srbije do sada nije rađena, tako da su rezultati ove disertacije veoma značajni, jer na nov, objektivan način opisuju cirkulaciju, kao i padavine i temperature iznad Srbije. Takođe, to je prvi korak ka prognozi padavina statističkom metodom skaliranja za Srbiju.

Glavni zaključci rada su:

1. Tip A (23,87%) je najučestaliji tip za vreme jeseni, što ukazuje na izraziti karakter blokirajuće situacije iznad Evrope. Učestalost A tipa je skoro ista za zimu (18,93%) i leto (18,70%). Od ostalih tipova, NE je najučestaliji sa čestinom od 16,65% za vreme letnje sezone.

2. Smanjenje čestine C tipova (čistog i hibridnih) i povećanje čestine A tipova (čistog i hibridnih) slaže se sa smanjenjem trenda padavina u Srbiji u zimu i proleće.

3. C tip i skoro svi hibridni cirkulacioni tipovi doprinose većoj količini padavina od odgovarajućeg proseka za sve stanice i za sve sezone, a najveća količina padavina je

za vreme nekog od HCN tipova za sve sezone i stanice, osim za Negotin i Niš leti, gde je najveća količina padavina za vreme HCSE i HASW, respektivno, za Negotin u jesen za vreme HCSE i u proleće u Negotinu i na Zlatiboru za vreme HCE tipa.

4. Cirkulacioni tipovi su bili uspešno primenjeni kao potencijalni prediktori u postepenoj regresiji za zimske padavine u Srbiji, dok za ostale sezone ni jedan od modela nije zadovoljavajući, osim za Zlatibor gde model sa 10 potencijalnih prediktora dobro prognozira jesenje padavine. Modeli su najbolji za Zrenjanin za zimsku sezonu.

5. Rezultati postepene regresije pokazuju da C tip favorizuje pojavu padavina preko većeg dela naše zemlje i može se smatrati glavnim "kišnim" cirkulacionim tipom, dok ostalih 25 tj. 9 tipova imaju više regionalni ili zanemarljiv doprinos padavinama.

6. SW tipovi su povezani sa najvišim temperaturama, a u zavisnosti od stanice i sezone to je ili hibridni C ili A tip ili usmeren SW tip. Ovo važi za sve stanice sem Negotina, gde je najtoplije kada iznad Srbije vlada NW tip. Najhladnije je kada preko naše zemlje vlada neki od E tipova za vreme zime i prelaznih sezona, dok je leti najhladnije za vreme N tipa.

7. Kada je zastupljen SW ili S tip iznad Srbije, Negotin ima dosta niže temperature od svih posmatranih stanica u toku zime i jeseni. Takođe, u Negotinu je pojava padavina veća od proseka za vreme HASW tipa, kao i količina padavina za vreme HASE i HAS tipa, što nije na ostalim stanicama.

8. Iako razlika između geografskih dužina istočne i zapadne granice Srbije nije velika, u istočnim delovima su zastupljeni drugačiji tipovi cirkulacije od ostale teritorije.

9. Neki cirkulacioni tipovi su veoma retki, što čini da je statistička analiza izuzetno teška.

10. Ovo istraživanje, zasnovano na Lamb-ovim cirkulacionim tipovima, omogućava bolje fizičko razumevanje odnosa između padavina/temperatura i atmosfere cirkulacije iznad Srbije.

Metod koji se koristi u ovoj disertaciji je značajan i u pogledu istraživanja dugoročne prognoze. Naime, sa podacima iz numeričkih modela mogli bi se izračunati budući tipovi cirkulacije za određeni period, a potom i veza sa različitim meteorološkim veličinama. Upotreba tipova cirkulacije može biti koristan metod za potvrđivanje kontrolnih simulacija modela opšte cirkulacije atmosfere.

Sem pomenutih promenljivih veličina u radu, cirkulacioni tipovi mogu biti statistički povezani i sa drugim meteorološkim elementima, kao što su: poplave, suše, toplotni talasi, količina i visina snega, munje, zagađujuće materije, koncentracija ozona. Jedan od budućih pravaca razvoja regresionih modela bi, pored samo cirkulacionih tipova, mogao istovremeno uključiti više meteoroloških veličina.

Učestalost tipova cirkulacije je osetljiva i na modove niskofrekventne varijabilnosti atmosfere (NAO, EA, EAWR, SCA, PNA, EL NINO) i obrnuto. Promene u intenzitetu ili promene položaja modova niskofrekventne varijabilnosti su povezane sa promenama u atmosferskoj cirkulaciji, tj. cirkulacionim tipovima. Zbog toga bi ta veza mogla da se istraži i razjasni za područje Srbije.

Korisno bi bilo uraditi klasifikaciju atmosferske cirkulacije i pomoću nekog drugog modela, kao i sa podacima iz drugih reanaliza i dobijene tipove uporediti sa tipovima iz disertacije.

Literatura

- Anagnostopoulou C, Tolika K, Maheras P, Kutiel H, Flocas H (2008) Performance of the General Circulation Had Am3P Model in simulating circulation types over the Mediterranean region. *Int J Climatol* 28:185–203
- Andovski I (1952) The influence of the Black Sea depression on the weather in Yugoslavia. *Journal of FNRJ* 1:71–72 (in Serbian)
- Bajat B, Pejović M, Luković J, Manojlović P, Ducić V, Mustafić S (2013) Mapping average annual precipitation in Serbia (1961–1990) by using regression kriging. *Theor Appl Climatol* 112:1–13
- Baltacı H, Göktürk OM, Kındap T, Ünal A, Karaca M (2015) Atmospheric circulation types in Marmara Region (NW Turkey) and their influence on precipitation. *Int J Climatol*. doi: 10.1002/joc.4122
- Bárdossy A, Duckstein L, Bogardi I (1995) Fuzzy-rule based classification of atmospheric circulation patterns. *Int J Climatol* 15:1087–1097
- Baur F (1947) *Musterbeispiele europäischer Grosswetterlagen*. Wiesbaden, Dieterich
- Beck C (2000) Zirkulationsdynamische Variabilität im Bereich Nordatlantik-Europa seit 1780. *Würzburger Geographische Arbeiten* 95
- Belasco JE (1952) Characteristics of air masses over the British Isles. *Meteorological Office – Geophysics Memoirs* 87:1–34
- Bissolli P and Dittmann E (2003) Objektive Wetterlagenklassen. In: *Klimastatusbericht 2003*. DWD (Hrsg.). Offenbach 2004, Germany
- Brisson E, Demuzere M, Kwakernaak B, Van Lipzig NPM (2011) Relations between atmospheric circulation and precipitation in Belgium. *Meteorol Atmos Phys* 111:27–39
- Bryson RA (1966) Air masses, streamlines and the Boreal forest. *Geographical Bulletin* 8:228–269
- Cahynová M, Huth R (2009) Changes of atmospheric circulation in central Europe and their influence on climatic trends in the Czech Republic. *Theor Appl Climatol* 96:57–68
- Conway D, Wilby RL and Jones PD (1996) Precipitation and air flow indices over the British Isles. *Clim Res* 7:169–183
- Čadež M (1949) O tipovima vremena. Savezna uprava hidrometeorološke službe, Beograd, Hidrometeorološki glasnik, God. II, 1–2:88–96

- Čadež M (1964) Vreme u Jugoslaviji. Prirodno matematički fakultet u Beogradu, Meteorološki zavod, Rasprave 4, 80 str
- Demuzere M, Werner M, van Lipzig NPM, Roeckner E (2008) An analysis of present and future ECHAM5 pressure fields using a classification of circulation patterns. *Int J Climatol* 29:1796–1810
- Demuzere M, Kassomenos P, Philipp A (2011) The COST733 circulation type classification software: an example for surface ozone concentrations in Central Europe. *Theor Appl Climatol* 105:143–166
- Dittmann E, Barth S, Lang S, Müller-Westermeier G (1995) Objektive Wetterlagenklassifikation. Ber. Dt. Wetterd. 197, Offenbach a. M., Germany
- Dobrilović B (1960) Visinsko strujanje iznad Jugoslavije i prizemni karakteristički vetrovi. Prirodno matematički fakultet, Beograd, Rasprave 3, 144 str
- Dobrilović B (1978) Strujanje, temperatura i vlažnost u donjoj troposferi iznad Jugoslavije, SHMZ, Prilozi poznavanju vremena i klime SFRJ, Sveska 7, 164 str
- Dydina LA (1982) Osobiennosti razitija sinopticeskich processov v Arktike i ich ispolzovanie v prognozach na srednie sroki, Gidrometeoizdat, Leningrad, pp. 224
- El-Kadi AK, Smithson P (1996) An automated classification of present patters over the British Isles. *Trans Inst Br Geogrs*, NS 21:141–156
- Elliott RD (1951) Extended range forecasting by weather types. In Malone, T.F., ed., *Compendium of Meteorology*. Boston, MA: American meteorological Society, pp. 834–840
- Elsner GV (1927) Über die Niederschläge der Vb.Depressionen. *M. Z.* 44, 332
- Fereday DR, Knight JR, Scaife AA, Folland CK, Philipp A (2008) Cluster analysis of North Atlantic/European circulation types and links with tropical Pacific sea surface temperatures. *J Clim* 21:3687–3703
- Gerstengarbe and Werner (1999) Estimation of the beginning and end of recurrent events within a climate regime. *Clim. Res.*, 11:77–91
- Girs AA (1948) K voprosu izuczenija osnovnyh form atmosfiernoj cirkulacii, *Met. i Gidr.*, vol. 10
- Goodess CM, Palutikof JP (1998) Development of daily rainfall scenarios for southeast Spain using a circulation-type approach to downscaling. *Int J Climatol* 18:1051–1083
- Goodess CM, Jones PD (2002) Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *Int J Climatol* 22:1593–1615
- Hess P, Brezowsky H (1952) Katalog der Großwetterlagen Europas (Catalog of the European Large Scale Weather Types). Ber Dt Wetterd in der US-Zone 33, Bad Kissingen, Germany (in German)

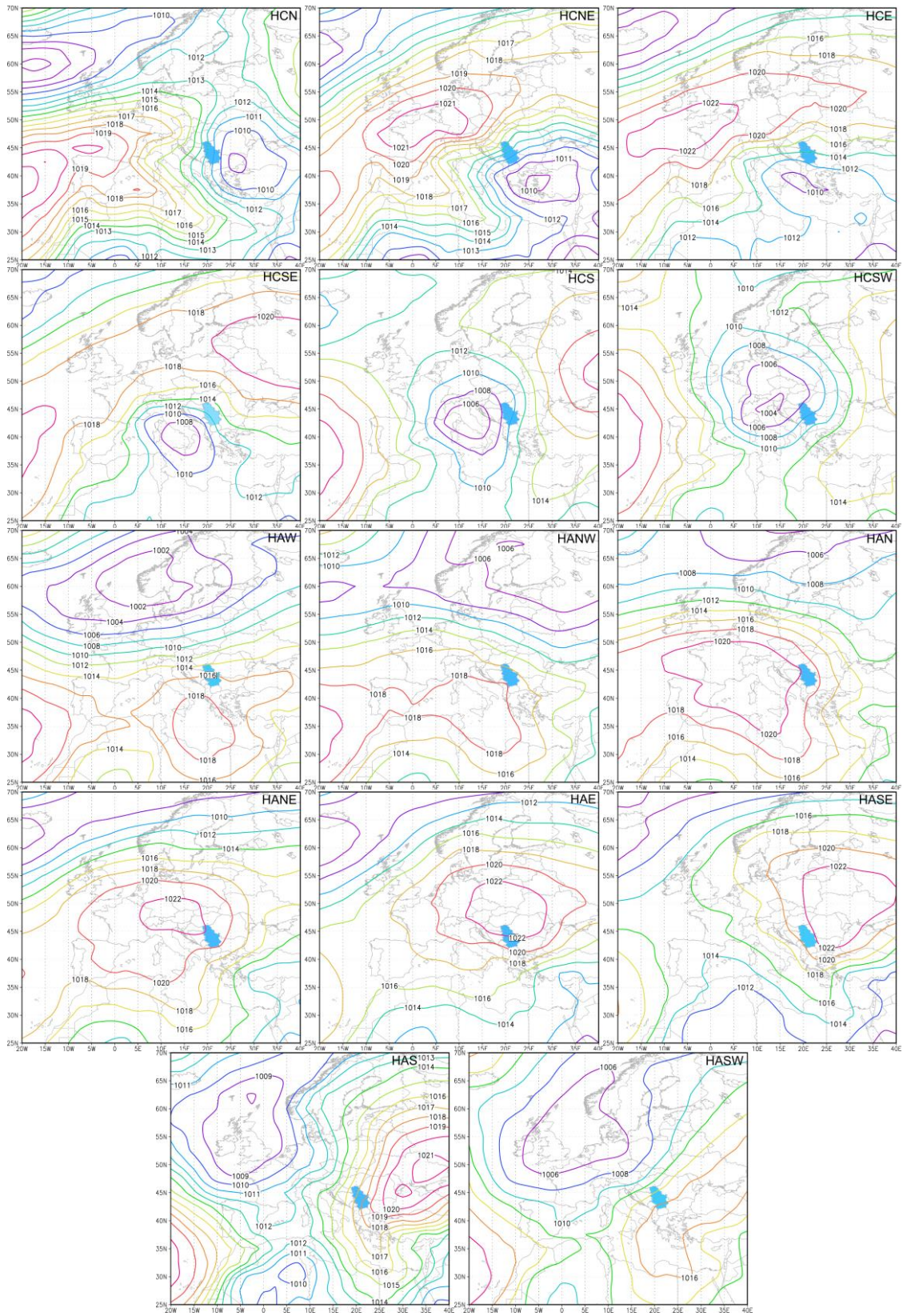
- Hess P, Brezovsky H. (1977) Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881–1976) Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 113 Bd.15. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- Hewitson BC, Crane RG (2002) Self-organizing maps: application to synoptic climatology. *Clim Res* 22:13–26
- <http://old.wetterzentrale.de> Pristupano 10.11.2015. godine
- <http://www.hidmet.gov.rs> Pristupano 15.05.2016. godine
- <http://www.wunderground.com> Pristupano 10.11.2016. godine
- Huth R, Beck C, Philipp A, Demuzere M, Ustrnul Y, Cahynová M, Kyselý J, Tveito OE (2008) Classifications of Atmospheric Circulation Patterns: recent advances and applications. *Ann NY Acad Sci* 1146:105–152
- James PM (2006) Second Generation Lamb Weather Types – a new generic classification with evenly tempered type frequencies. 6th Annual Meeting of the EMS / 6th ECAC, EMS2006A00441, Ljubljana, Slovenia
- James PM (2007) An objective classification method for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen over Europe. *Theor Appl Climatol* 88:17–42
- Jenkinson AF, Collison FP (1977) An initial climatology of gales over the North Sea. Synoptic Climatology Branch Memorandum 62, Meteorological Office, Bracknell, UK
- Jones PD, Hulme M, Briffa KR (1993) A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *Int J Climatol* 13:655–663
- Kalnay E, Kanamitsu M, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, et al (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Am Meteorol Soc* 77:437–470
- Kassomenos P, Flocas H A, Lykoudis S, Petrakis M (1998) Analysis of Mesoscale Patterns in Relation to Synoptic Conditions over an Urban Mediterranean Basin. *Theoretical and Applied Climatology* 59: 215–229
- Kendall MG, Stuart A (1976) *The Advanced Theory of Statistics*. vol. 3. Charles Griffin & Co., London
- Kilsby CG, Cowpertwait PSP, O’Connell PE and Jones PD (1998) Predicting rainfall statistics in England and Wales using atmospheric circulation variables. *Int J Climatol*, 18:523–539
- Krichak SO, Tsidulko M, Albert P. (2000) Monthly synoptic patterns associated with wet/dry conditions in the eastern Mediterranean. *Theor Appl Climatol* 65: 215–229
- Laaidi K (2001) Predicting days of high allergenic risk Turing Betula pollination using weather types. *Int J of Biometeorology* 45:24–132

- Lalić D (1967) Makro-tipovi atmosfere cirkulacije nad Jugoslavijom. SHMZ, Zbornik radova povodom proslave 20 godina rada i razvoja hidrometeorološke službe Jugoslavije, str. 271–300
- Lamb HH (1950) Types and spells of weather around the year in the British Isles, Quart.J.R.Met.Soc. 76:393–438, London
- Lamb HH (1972) British Isles Weather Types and a Register of Daily Sequence of Circulation Patterns, 1861–1971. Geophysical Memoir 116, HMSO, London (UK), 85 pp
- Levene H (1960) Contributions to probability and statistics. Stanford University Press, Stanford, 278–292
- Linderson ML (2001) Objective classification of atmospheric circulation over southern Scandinavia. Int J Climatol 21:155–169
- Litynski J (1969) A numerical classification of circulation patterns and weather types in Poland. Prace Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego, 97:3–15
- Lorenzo MN, Taboada JJ, Gimeno L (2008) Links between circulation weather types and teleconnection patterns and their influence on precipitation patterns in Galicia (NW Spain). Int J Climatol 28:1493–1505
- Lorenzo MN, Ramos AM, Taboada J, Gimeno L (2011) Changes in present and future circulation types frequency in Northwest Iberian Peninsula. PLoSONE 6:e16201. doi:10.1371/journal.pone.0016201
- Maheras P (1988) The synoptic Weather Types and Objective Delimitation on the Winter Period in Greece. Weather 43:40–45
- Maheras P (1989) Delimitation of the Summer–Dry period in Greece According to the Frequency of Weather–Types. Theor Appl Climatol 39:171–176
- Maheras P, Patrikas I, Karacostas Th, Anagnostopoulou Ch. (2000a). Automatic classification of circulation types in Greece: methodology, description, frequency, variability and trend analysis. Theor Appl Climatol 67:205–223
- Maheras P, Flocas H, Tolika K, Anagnostopoulou C, Vafiadis M (2006) Circulation types and extreme temperature changes in Greece. Clim Res 30:161–174
- Mališić J (2002) Vremenske serije. Matematički fakultet, Beograd, 304 str.
- Marki E (1923) Klimatske prilike Dalmacije. Poseban otisak iz knjige “Dalmacija”
- McGregor GR, Bamzeli D (1995) Synoptic typing and its application to the investigation of weather air pollution relationships, Birmingham, UK. Theor Appl Climatol 51:223–236
- Michaelides SC, Liassidou F, Schizas CN (2007) Synoptic classification and establishment of analogues with artificial neural networks. J. Pure Appl. Geophys. 164:1347–1364

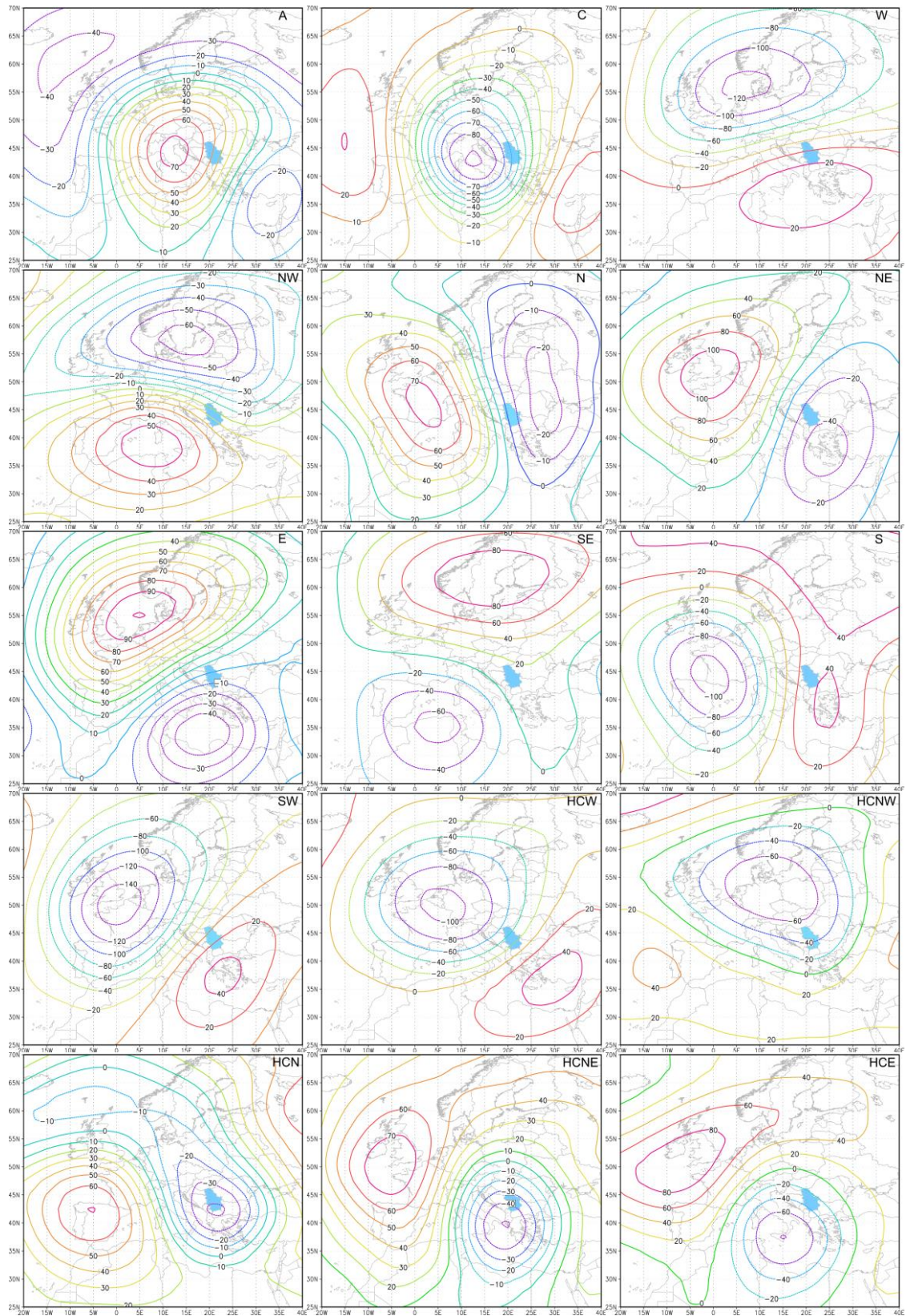
- Myers JH, Mullet GM (2003) *Managerial Applications of Multivariate Analysis in Marketing*. American Marketing Association, Chicago, USA, 8 pp
- Nash J, Sutcliffe J (1970) River flow forecasting through conceptual models part I—a discussion of principles. *J Hydrol* 10:282–290
- Palmen E, Newton C. W. (1969) *Atmospheric circulation systems: Their Structural and Physical Interpretation*. International Geophysics Series, Vol. 13, Academic Press, New York
- Péczely G (1957) *Grosswetterlagen in Ungarn*. Kleinere Veröffentlichungen der Zentralanstalt für Meteorologie, Budapest, No.30, 86 pp
- Philipp A, Della-Marta PM, Jacobeit J, Fereday DR, Jones PD, Moberg A, Wanner H (2007) Long term variability of daily North Atlantic–European pressure patterns since 1850 classified by simulated annealing clustering. *J Clim* 20:4065–4095
- Philipp A, Bartholy J, Beck C, Erpicum M, Esteban P, Fettweis X, Huth R, James P, Jourdain S, Kreienkamp F, Krennert T, Lykoudis S, Michalides S, Pianko-Kluczynska K, Post P, Rassilla Álvarez D, Schiemann R, Spekat A, Tymvios FS (2010) COST733CAT – a database of weather and circulation type classifications. *Phys Chem Earth* 35:360–373
- Pianko-Kluczynska K (2007) *New Calendar of Atmosphere Circulation Types According to J. Litynski*, *Wiadomosci Meteorologii Hydrologii Gospodarki Wodnej*, pp. 65–85
- Plavcová E, Kyselý J (2013) Projected evolution of circulation types and their temperatures over Central Europe in climate models. *Theor Appl Climatol* 114:625–634
- Poje D (1965) *Glavni tipovi vremena u Jugoslaviji i njegova zavisnost o visinskim strujanjima*. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 215 str
- Putniković S, Tošić I, Đurđević V (2016) Circulation weather types and their influence on precipitation in Serbia. *Meteorol Atmos Phys*, 128:649–662
- Putniković S, Tošić I (2016) Relationship between atmospheric circulation weather types and seasonal precipitation in Serbia. *Meteorol Atmos Phys*, Submitted
- Radinović Đ (1981) *Vreme i klima Jugoslavije*. IRO Građevinska knjiga, Beograd, 423 str.
- Radinović Đ (1987) *Mediterranean cyclones and their influence on the weather and climate*. PSMP Report Series, No. 24, WMO, 131 pp
- Ramos A, Sprenger M, Wernli H, Duran-Quesada A, Lorenzo M, Gimeno L (2014) A new circulation type classification based upon Lagrangian air trajectories. *Front Earth Sci*, doi: 10.3389/feart.2014.00029

- Richman MB (1981) Obliquely rotated principal components: An improved meteorological map typing technique? *J Appl Meteorol*, 20:1145–1159
- Royé D, Taboada JJ, Martí A, Lorenzo MN (2016) Winter circulation weather types and hospital admissions for respiratory diseases in Galicia, Spain. *Int J Biometeorol*, 60:507–520
- Schüepp M (1957) Klassifikationsschema, Beispiele und Probleme der Alpenwetterstatistik. *La Meteorologie*, 4:291–299
- Schüepp M (1959) Die Klassifikation der Witterungslagen. *Geof. p. e appl.* 44–III, 242–248
- Schüepp M (1968) Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967. Veröffentlichung der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, 11, Switzerland, 43 pp
- Schüepp M (1979) Witterungsklimatologie (Klimatologie der Schweiz III). Beihefte zu den *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt* 1978, 93 pp
- Sheridan SC (2000) The redevelopment of an air mass classification scheme for North America, with applications to climate trends and teleconnections. Unpublished PhD thesis, University of Delaware, 205
- Sheridan SC (2002) The redevelopment of a weather type classification scheme for North America. *Int J Climatol* 22:51–68
- Spellman G (2000) The application of an objective weather-typing system to Iberian Peninsula. *Weather* 55:375–385
- Spellman G (2015) An assessment of the Jenkinson and Collison synoptic classification to a continental mid-latitude location. *Theor Appl Climatol* doi:10.1007/s00704-015-1711-8
- Stefan S, Necula C, Georgescu F (2010) Analysis of long-range transport of particulate matters in connection with air circulation over Central and Eastern part of Europe. *Phys Chem Earth* 35:523–529
- Sumner G (1996) Daily precipitation patterns over Wales: towards a detailed precipitation climatology. *Transactions, Institute of British Geographers* 21:157–176
- Tošić I, Unkašević M (2013) Extreme daily precipitation in Belgrade and their links with the prevailing directions of the air trajectories. *Theor Appl Climatol* 111:97–107
- Tošić I, Hrnjak I, Gavrilov MB, Unkašević M, Marković SB, Lukić T (2014) Annual and seasonal variability of precipitation in Vojvodina, Serbia. *Theor Appl Climatol* 117:331–341
- Tošić I, Unkašević M, Putniković S (2016) Extreme daily precipitation: the case of Serbia in 2014. *Theor Appl Climatol* doi:10.1007/s00704-016-1749-2

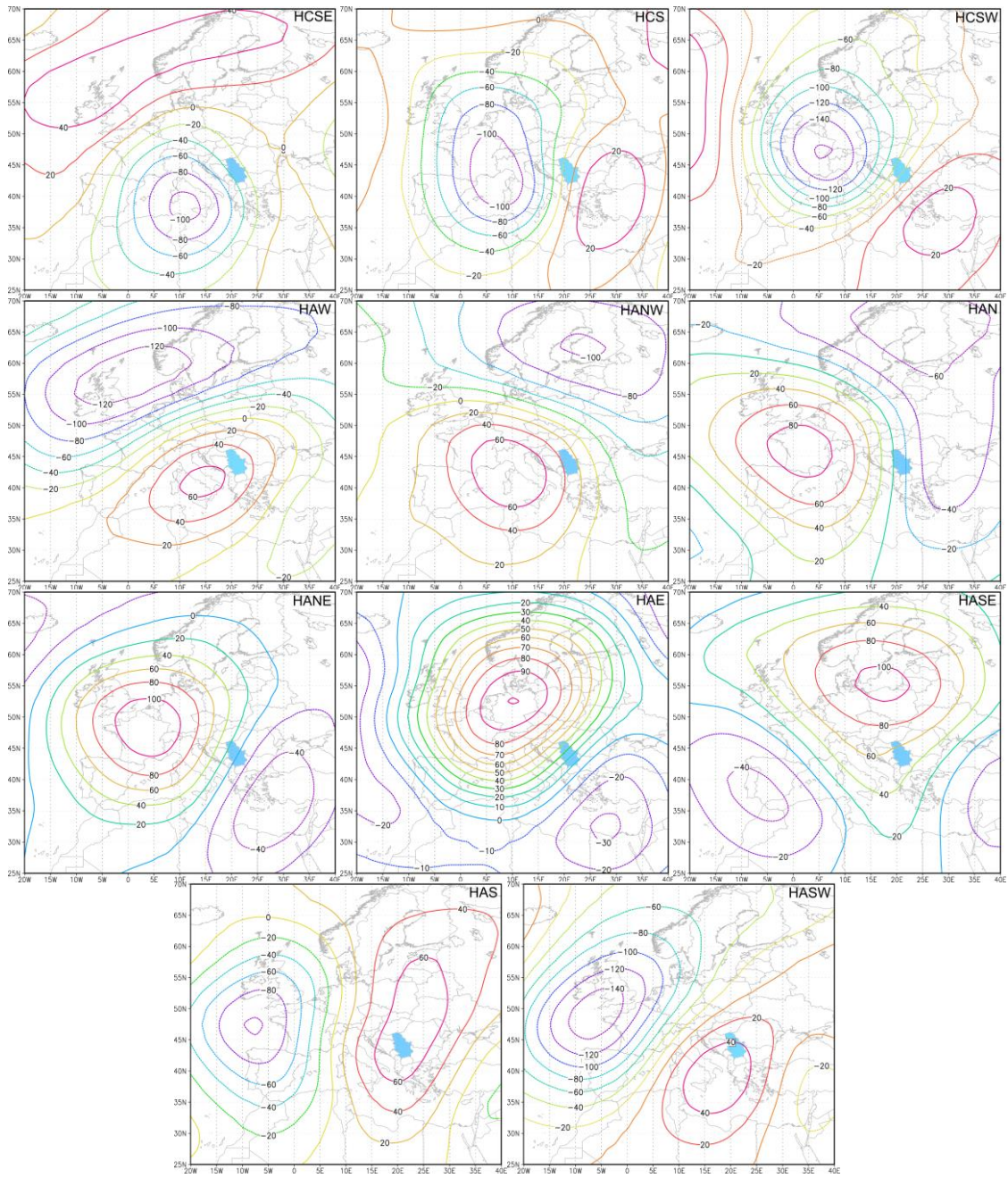
- Trigo IF, Davies TD, Bigg GR (1999) Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *J Clim* 12:1685–1696
- Trigo RM, DaCamara CC (2000) Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *Int J Climatol* 20:1559–1581
- Unkašević M, J Mališić, Tošić I (1998) On some new statistical characteristics of the wind Kosava. *Meteor Atmos Phys* 66:11–21
- Unkašević M, Tošić I (2011) A statistical analysis of the daily precipitation over Serbia: extremes and indices. *Theor Appl Climatol* 106:69–78
- Urbani M (1954) *Rivista Aeronautica*.
- Van Beber J (1882) Typische Witterungs-Erscheinungen. *Aus Arch dt Seew, Hamburg*, 5, 3:1–45
- Wangenheim GJ (1933) Opit primenenija sinoptičeskih metodov k izučeniju i karakteristiki klimata. *Izv. GGo*, 2–3:3–16
- WMO (1966) Climatic change. Tech Note No 79 WMO Geneva, 79 pp
- Yarnal B (1993) *Synoptic Climatology in Environmental Analysis*. Belhaven Press, London, 195 pp



Slika P1.1 Nastavak.



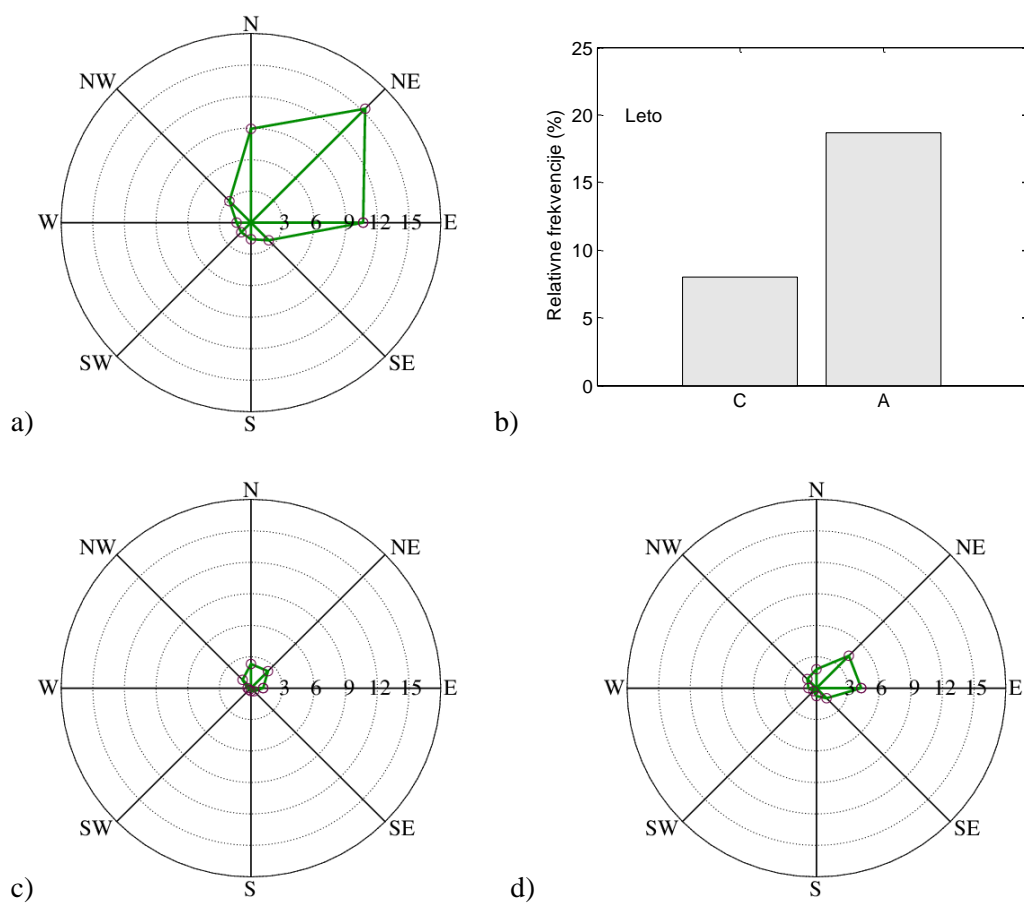
Slika P1.2 Kao slika 4, ali za prolećnu sezonu.



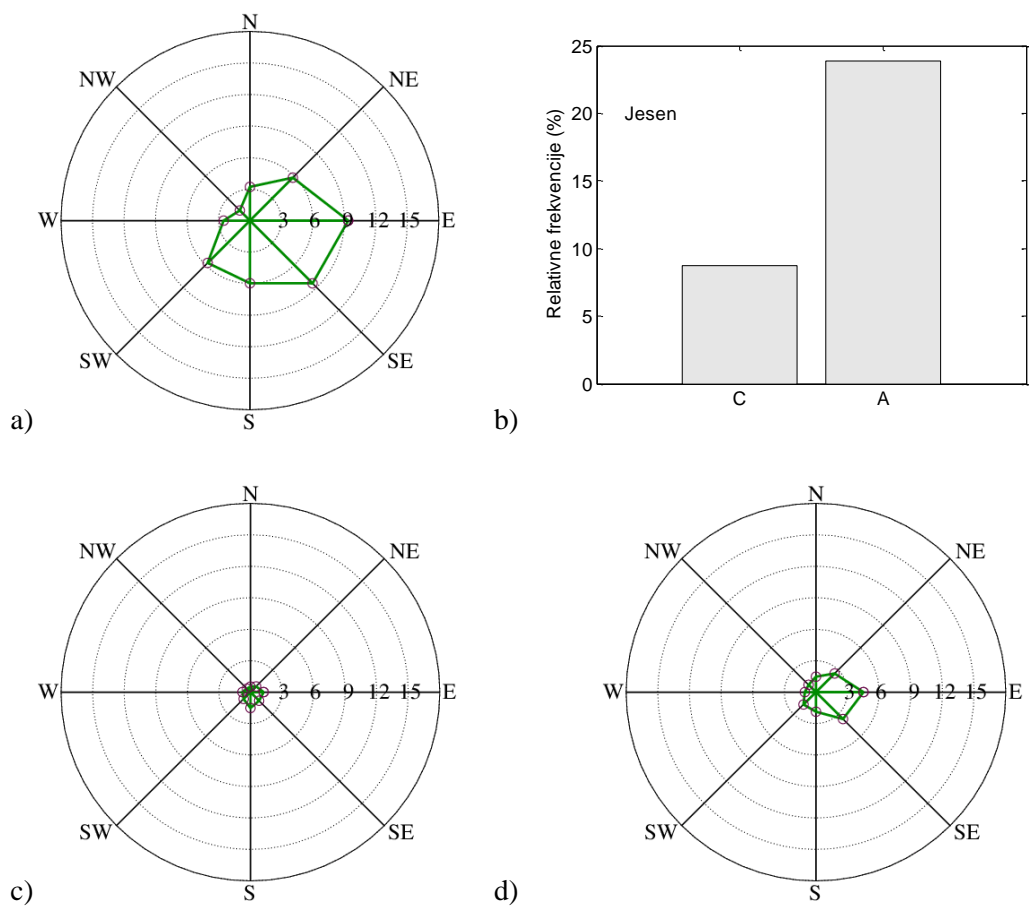
Slika P1.2 Nastavak.

Prilog 2.

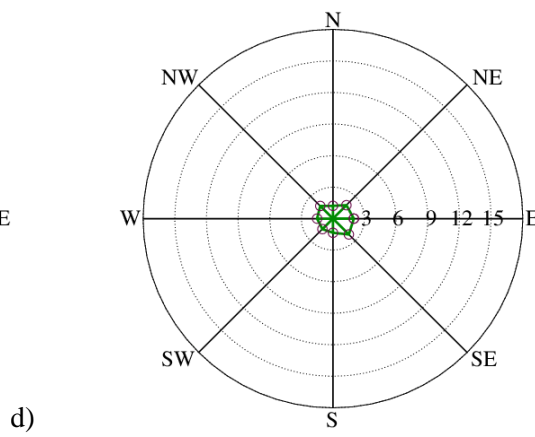
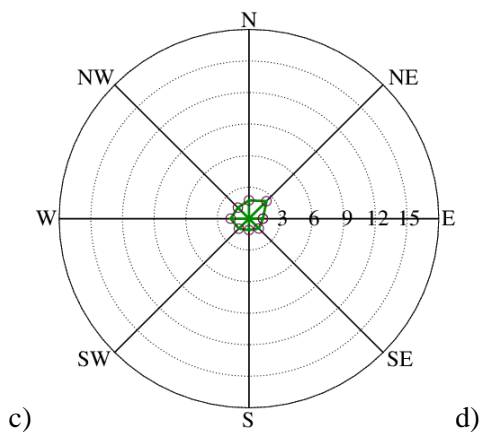
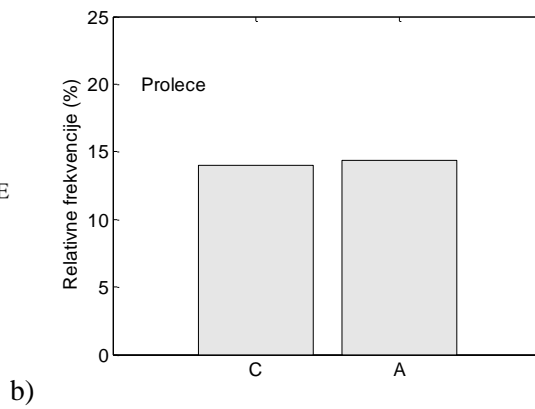
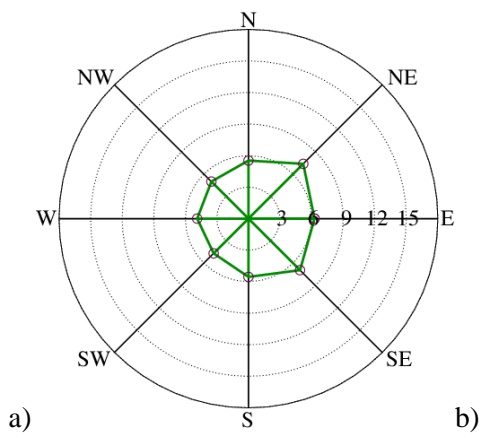
Učestalost cirkulacionih tipova za leto, jesen i proleće



Slika P2.1 Kao slika 10, ali za letnju sezonu.



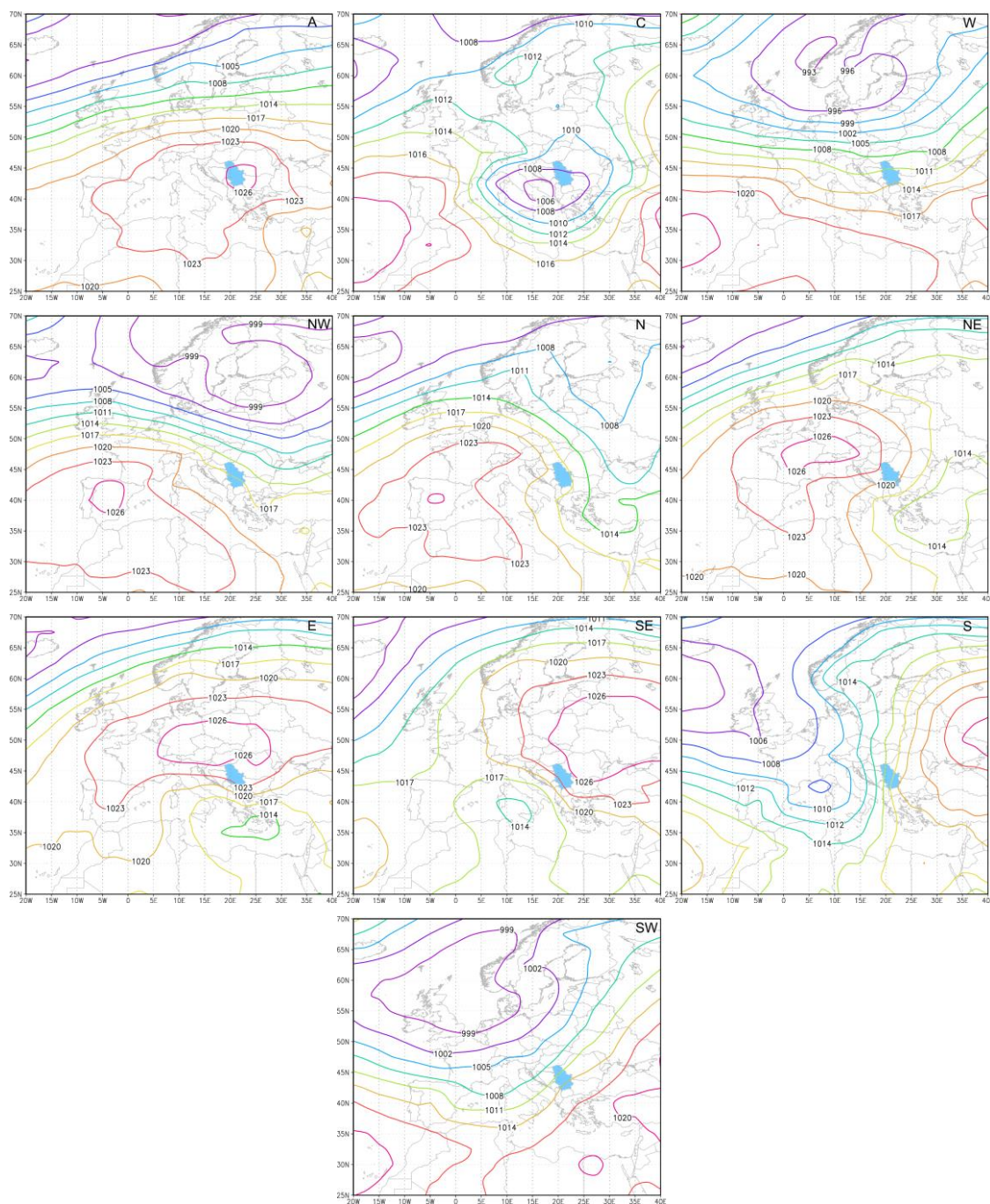
Slika P2.2 Kao slika 10, ali za jesenju sezonu.



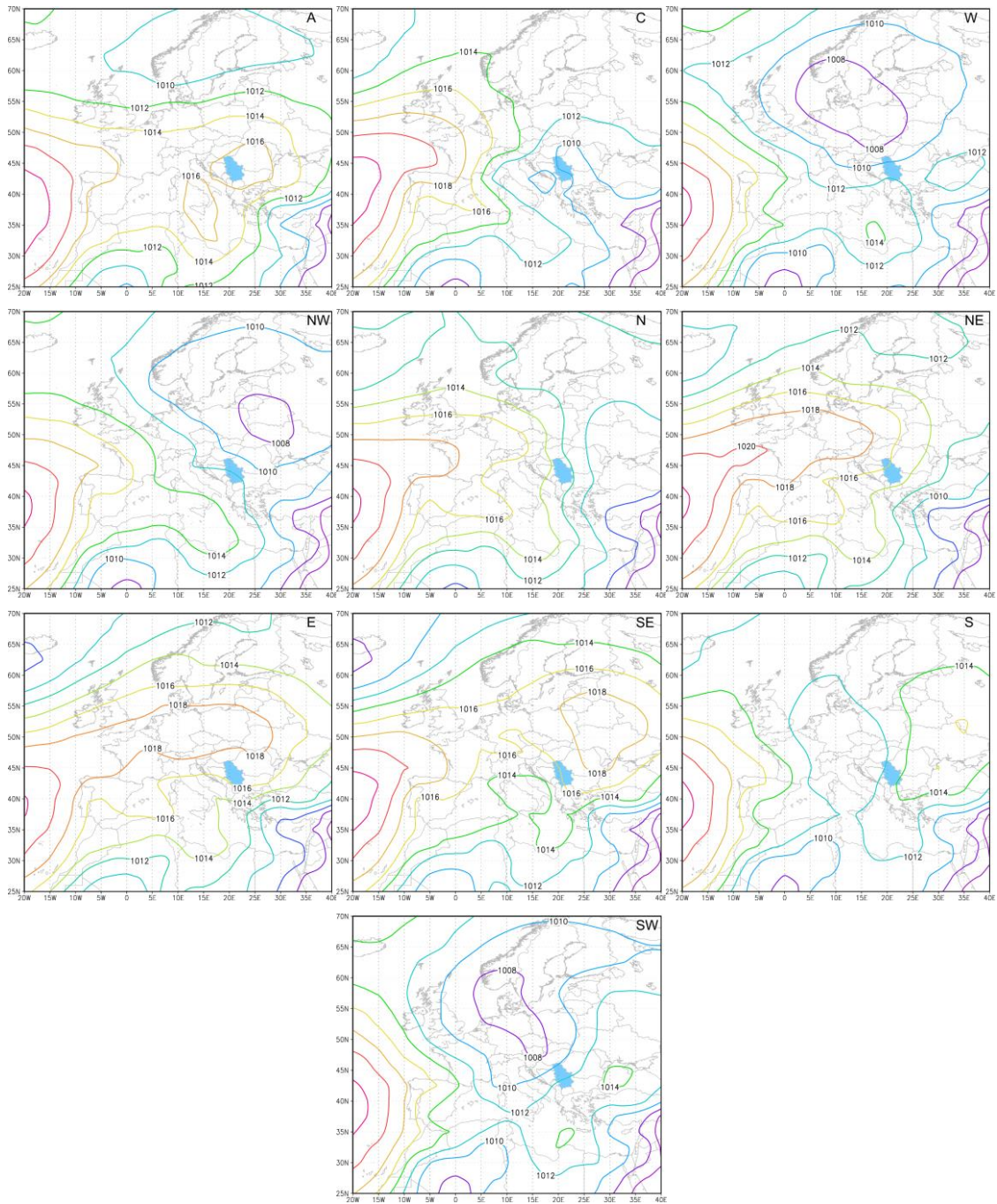
Slika P2.3 Kao slika 10, ali za prolećnu sezonu.

Prilog 3.

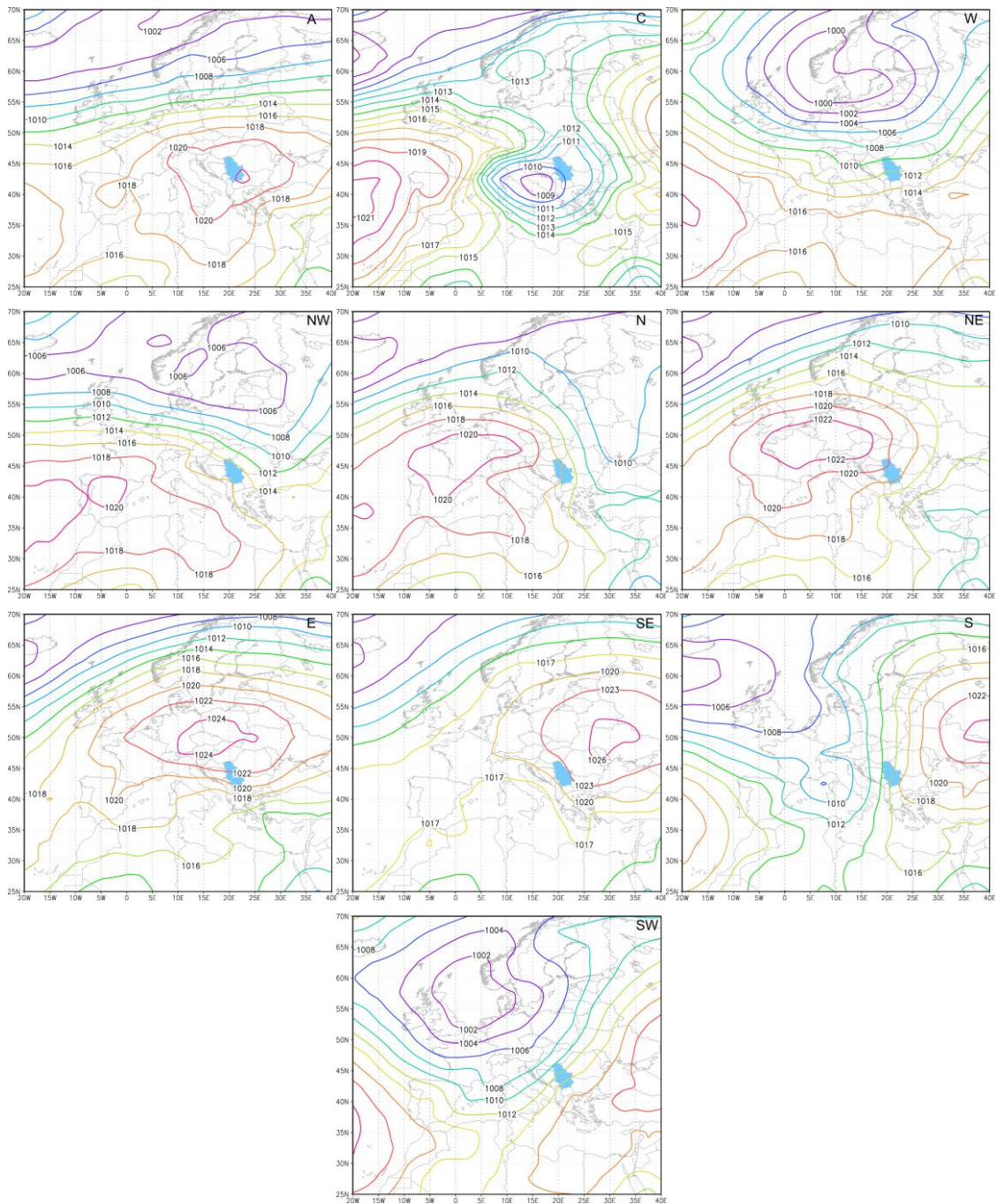
Slike i čestine 10 cirkulacionih tipova



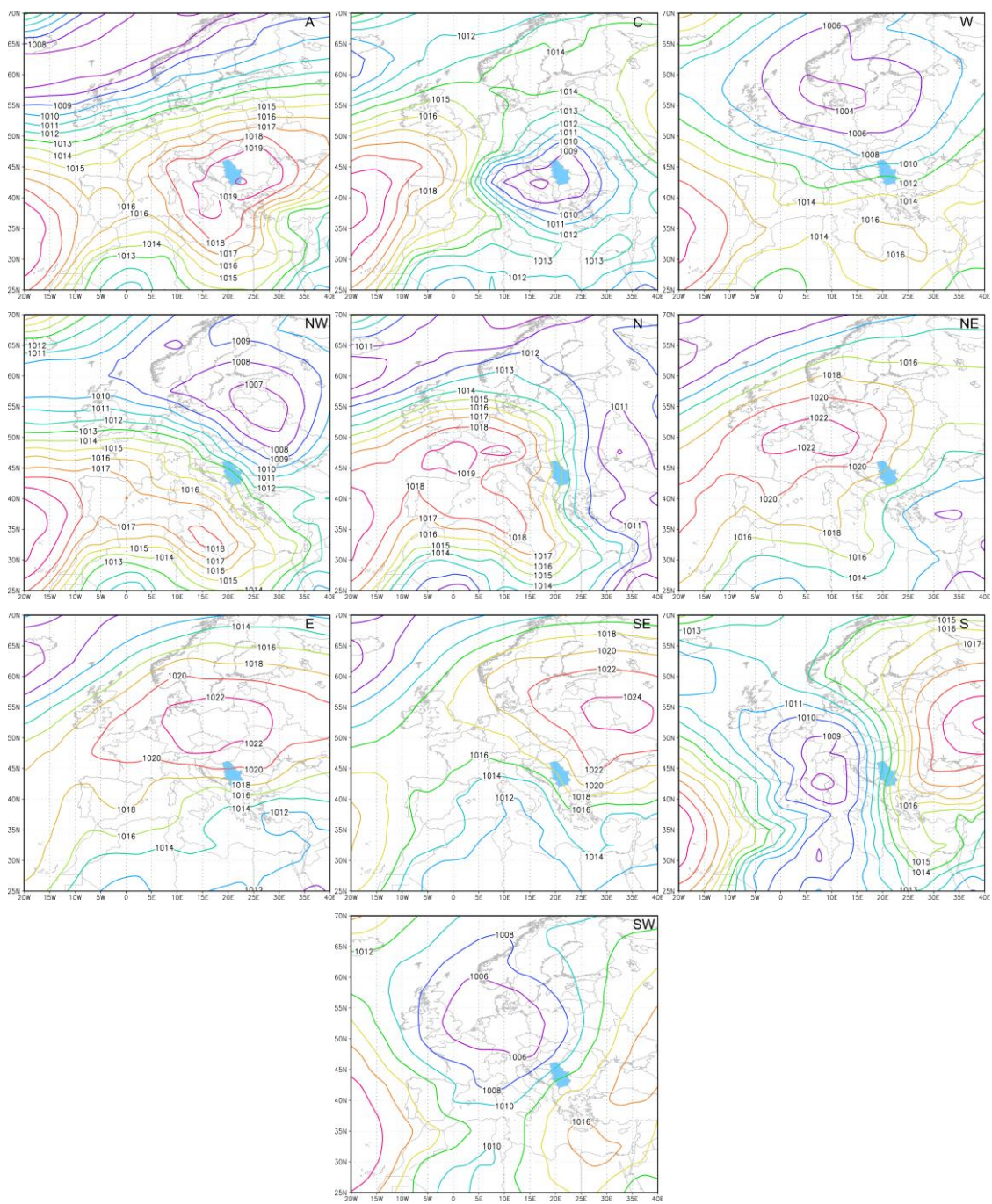
Slika P3.1 Srednji pritisak na nivou mora za svakih od osam usmerenih i dva vrtložna tipa koji su zasupljeni na teritoriji Srbije za zimu u periodu od 1961–2010.



Slika P3.2 Kao slika P3.1, ali za leto.



Slika P3.3 Kao slika P3.1, ali za jesen.



Slika P3.4 Isto kao slika P3.1, ali za proleće.

Tabela P3.1 Relativne frekvence (%) 10 cirkulacionih tipova.

Cirkulacioni tipovi	Zima	Leto	Proleće	Jesen
A	26,18	25,20	19,30	31,54
C	16,64	11,41	18,67	11,49
E	13,12	15,11	8,39	12,55
NE	5,90	21,33	9,87	7,74
N	3,37	12,33	7,48	4,28
NW	3,19	4,54	6,85	2,20
W	5,19	2,26	6,96	3,56
SW	6,27	1,80	6,13	7,41
S	7,09	2,33	7,15	8,09
SE	13,05	3,69	9,20	11,14

A – anticiklon; C – ciklon; E, NE, N, SW itd. – usmereni tipovi.

Biografija

Suzana (Knežević) Putniković je rođena 07.05.1987. godine u Kruševcu. Gimnaziju (smer specijalno matematičko odeljenje) je završila 2006. godine u Kruševcu. Diplomirala je na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u Institutu za meteorologiju, 2010. godine sa prosečnom ocenom 9,73. Master studije na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu završila je 2011. godine sa prosečnom ocenom 10,0 i temom master rada: „*Uticaj istočno – atlantske oscilacije na minimalne temperature i maksimalne padavine u Beogradu i Nišu*“. Doktorske studije na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu upisala je 2011. godine, naučna oblast meteorologija. Kao najbolji student meteorologije 2009. godine dobija nagradu Svetske meteorološke organizacije iz fonda Borivoje Dobrilović. Od 01. 01. 2011. do 31.12.2011. godine je radila u Hidrometeorološkom zavodu Srbije. Od 01. januara 2012. godine zaposlena je kao istraživač pripravnik, a od novembra 2013. godine kao istraživač saradnik na projektu „*Meteorološki ekstremi i klimatske promene u Srbiji*“ na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu pod rukovodstvom prof. dr Mladena Ćurića. Od školske 2012/13. drži vežbe iz predmeta: Klimatologija, Modifikacija vremena i Modeliranje atmosfere I, a od 2014/15. i vežbe iz Mikrometeorologije. U školskoj 2014/15. je držala vežbe iz Opšte meteorologije I i Opšte meteorologije II.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а СУЗАНА ПУТНИКОВИЋ

број индекса 2011/8012

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ОБЈЕКТИВНА КЛАСИФИКАЦИЈА АТМОСФЕРСКЕ
ЦИРКУЛАЦИЈЕ ИЗНАД СРБИЈЕ

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам крши/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 30.01.2017. год.

Сузана Путниковић

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора СУЗАНА ПУТНИКОВИЋ
Број индекса 2011/8012
Студијски програм МЕТЕОРОЛОГИЈА
Наслов рада ОБЈЕКТИВНА КЛАСИФИКАЦИЈА АТМОСФЕРСКЕ ЦИРКУЛАЦИЈЕ
ИЗНАД СРБИЈЕ
Ментор ПРОФ. ДР ИВАНА ТОШИЋ

Потписани/а СУЗАНА ПУТНИКОВИЋ

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 30.01.2017. год.

Сузана Путниковић

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ОБЈЕКТИВНА КЛАСИФИКАЦИЈА АТМОСФЕРСКЕ
ЦИРКУЛАЦИЈЕ ИЗНАД СРБИЈЕ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 30.01.2017. год.

Снежана Нумић

1. Ауторство - Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.