



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Analiza prostorne distribucije padavina u Vojvodini (2011 - 2012)

- master rad -

Mentor:
prof. dr. Darko Kapor
prof. dr. Branislava Lalić

Kandidat:
Beata Bukosa

Novi Sad, 2013.

*Svom mentoru, prof. dr Branislavi Lalić najiskrenije se zahvaljujem
na savetima prilikom odabira teme, mnogobrojnim idejama i
nezamenljivoj pomoći pri pronalasku objašnjenja.
Najlepše se zahvaljujem Ivanu Kočiju iz Prognozno – izveštajne službe
Vojvodine na pomoći prilikom prikupljanja podataka o
padavinama, koje su u mnogome olakšale realizaciju ovog master
rada. Takođe se zahvaljujem ostalim zaposlenima na Katedri za
meteorologiju na iskrenom interesovanju tokom izrade ovog rada, kao
i bivšim i sadašnjim studentima fizike i meteorologije.
Najveću zahvalnost dugujem mojim najbližima na beskompromisnom
saosećanju, ali i tehničkoj podršci, stoga ovaj rad posvećujem njima.*

Beata Bukosa, oktobar 2013.

Sadržaj

1. Uvod.....	2
2. Oblaci i padavine.....	6
2.1. Atmosferska stabilnost.....	7
2.2. Razvoj oblaka i stabilnost	10
2.2.1. Oblaci i konvekција.....	11
2.2.2. Oblaci i topografija.....	12
2.3. Procesi kod padavina	13
2.3.1. Tipovi padavina.....	14
2.4. Distribucija oblaka i padavina.....	15
2.4.1. Faktori koji utiču na distribuciju oblaka i padavina.....	16
3. Klima Vojvodine	19
3.1. Relativna vlažnost i oblačnost.....	20
3.2. Padavine	21
4. Materijal i metod	22
4.1. Opis lokaliteta i setova podataka	22
4.1.1. Meteorološke stanice iz mreže RHMZ - a	22
4.1.2. Meteorološke stanice iz mreže PIS - a	23
4.2. Obrada podataka	24
4.2.1. Podaci sa meteoroloških stanica iz mreže RHMZ - a	24
4.2.2. Podaci sa meteoroloških stanica iz mreže PIS - a	24
5. Rezultati	25
5.1. Prostorna analiza padavina mezo razmera	25
5.1.1. Analiza zasnovana na dnevnim količinama padavina.....	25
5.1.2. Analiza zasnovana na mesečnim količinama padavina.....	27
5.2. Prostorna analiza padavina malih razmera.....	29
6. Zaključak.....	40
7. Literatura	42

1. Uvod

Dinamika zemaljskog ekosistema ima značajni uticaj na atmosferske procese. Interakcija između zemaljskog ekosistema i atmosfere odnosi se na razmenu toplote, vodene pare, gasova, aerosola i količine kretanja između površine zemljišta i vazduha iznad. Ove povratne sprege predstavljaju zajednički dinamički sistem od kog se očekuje da se, kao rezultat interakcije ove dve sredine, uvek drugačije razvija (*Pielke et al.*, 1998).

Unutar atmosfere se odigrava neprekidna cirkulacija vode u različitim agregatnim stanjima. Pošto okeani zauzimaju preko 70% Zemljine površine, oni se mogu posmatrati kao početak ove cirkulacije. Sunčeva energija pretvara ogromne količine vode iz okeana u vodenu paru u procesu isparavanja. Vetar, zatim, transportuje ovaj vlažan vazduh u druge regione, gde se vodena para vraća u tečnu fazu, formirajući oblake, u procesu koji nazivamo kondenzacija. Pod određenim uslovima, dimenzije tečnih (ili čvrstih) čestica oblaka mogu da rastu i da padaju na površinu Zemlje u obliku padavina kao što su na primer kiša, sneg, ili grad. Ako padavine padaju u okean, voda odmah može ponovo da započne svoj ciklus. U slučaju da padavine padaju na kontinente, veliki deo ove vode vraća se u okeane kroz složeno putovanje. Ovaj ciklus kretanja i transformacija molekula vode iz tečnog stanja u vodenu paru i opet nazad u tečno stanje naziva se hidrološki ciklus. Kao uprošćena forma ovog ciklusa, može se reći da molekuli vode putuju iz okeana u atmosferu, zatim padaju na površinu Zemlje, odakle se vraćaju nazad u okean.

Međutim, postoje određeni procesi koji hidrološki ciklus čine mnogo komplikovanijim od prethodno opisanog. Na primer, pre nego što padavine uopšte stignu do Zemljine površine, jedan deo isparava nazad u vazduh. Deo padavina može biti presretnut od strane vegetacije, sa koje isparava ili kaplje na Zemljinu površinu dugo nakon završetka oluje. Kada padavine stignu do Zemljine površine, zemljište upija deo padavina, preko malih otvora u zemljištu i stenama, formirajući podzemne vode. Deo padavina koji se ne upije skuplja se u bare stajaće vode, ili otiče u potoke i reke, koji posle nalaze svoj put nazad do okeana. Čak se i podzemne vode polako pomeraju i izlaze na površinu posle određenog vremena, da bi isparile, ili našle svoj put nazad do mora.

Iznad kontinenata, veliki deo vodene pare dodaje se u atmosferu preko isparavanja sa zemljišta i slobodnih vodenih površina. Čak i biljke doprinose povećanju vlažnosti preko procesa koji se naziva transpiracija. Deo vode koji biva apsorbovan od strane korenovog sistema biljke, kreće se na gore kroz stablo i napušta biljku kroz brojne stome. Sve u svemu, isparavanje i transpiracija sa kontinentalnog područja iznosi samo 15% od ukupne količine

vodene pare koja godišnje isparava u atmosferu, dok preostalih 85% isparava iz okeana. Pošto ovaj iznos neznatno varira iz dana u dan, hidrološki ciklus je izuzetno efikasan u cirkulaciji vode u atmosferi (*Ahrens*, 2001).

Da bismo dobili nešto detaljniju sliku o vodi u atmosferi, posmatrajmo, za početak, vodu u posudi. Voda se sastoji od molekula vode koji se nalaze prilično blizu jedan drugog, pri čemu se sudaraju i kreću različitim brzinama. Na površini tečnosti, molekuli koji imaju dovoljno veliku brzinu da savladaju međumolekularne sile i da se povremeno odvoje od površine tečnosti, prelaze u vazduh iznad. Kod ovakvih molekula, koji prelaze iz tečnog stanja u gasovito se odigrava proces isparavanja. Dok neki molekuli vode napuštaju tečnost, drugi se u nju vraćaju. Oni koji se vraćaju učestvuju u procesu kondenzacije, pri čemu prelaze iz vodene pare u tečno stanje. Ako bi se iznad posude postavio poklopac, posle određenog vremena bi ukupan broj molekula koji je "pobegao" iz tečnosti (isparavanje) bio jednak broju koji se u nju vraća (kondenzacija). Kada ovaj uslov postoji, za vazduh se kaže da je zasićen vodenom parom. Za svaki ispareni molekul, jedan se mora kondenzovati, i kao rezultat ne može da postoji gubitak tečnosti ili vodene pare. Ako skinemo poklopac i duvamo preko površine vode, deo molekula vodene pare koji se već nalaze u vazduhu bi bili oduvani, stvarajući razliku između stvarnog broja molekula vodene pare i ukupnog broja koji je potreban za saturaciju. Ovo bi moglo da spreči pojavu zasićenja i omogućilo bi veću količinu isparavanja. Vetar, dakle, poboljšava isparavanje. Temperatura vode takođe utiče na isparavanje, pri čemu je važno znati da je temperatura vode, mera prosečne brzine molekula. Ako su svi drugi uslovi isti, toplija voda će ispariti lakše nego hladnija, pošto je u toplijoj vodi više molekula koji imaju dovoljnu kinetičku energiju da savladaju međumolekularne sile. Na višim temperaturama, veći deo molekula ima dovoljnu brzinu da savlada površinski napon vode, i ode u vazduh.

Ako bismo ispitivali vazduh iznad posude sa vodom, primetili bismo da se molekuli vodene pare sudaraju međusobno, kao i sa susednim molekulima drugih gasova kao što su kiseonik i azot. Takođe bismo uočili i da su sa molekulima vazduha pomešani mikroskopski delovi prašine, dima, i soli iz okeana. Pošto mnogi od njih služe kao površina na kojoj vodena para može da se kondenzuje, njih nazivamo jezgra kondenzacije. U toplom vazduhu iznad vode, molekuli vodene pare koji se brzo kreću, udaraju u jezgro tolikom jačinom, tako da se odbijaju od njega. Međutim, ako je vazduh rashlađen, molekuli se kreću mnogo sporije i više su skloni da se „nakače“ i kondenzuju na jezgrima. Kada se nekoliko milijardi ovakvih molekula kondenzuje na ovim jezgrima, formiraju se male tečne kapljice oblaka. Dake, kondenzacija je verovatnija u slučaju kada se vazduh hladi i kada se brzina molekula vodene

pare smanjuje. Kako se temperatura povećava, kondenzacija je manje verovatna pošto većina molekula ima dovoljnu brzinu (dovoljnu energiju) da ostane u obliku vodene pare. Iako je pojava kondenzacije verovatnija u slučaju kada se vazduh hladi, važno je napomenuti da bez obzira koliko hladan postane vazduh, uvek će postojati nekoliko molekula sa dovoljnom brzinom (dovoljnom energijom) koji ostaju u obliku vodene pare. U tom slučaju, očigledno je da je pri istom broju molekula vodene pare u vazduhu, pojava saturacije (zasićenja) verovatnija u slučaju hladnog nego toplog vazduha. Ovo saznanje nas dovodi do zaključka koji se može često sresti u literaturi a koji glasi: „topao vazduh može da sadrži više molekula vodene pare pre nego što dođe do zasićenja, od hladnog vazduha“ ili, jednostavnije „topao vazduh ima veći kapacitet sadržavanja vodene pare od hladnog vazduha“ (Ahrens, 2001).

Pojam vlažnosti se odnosi na bilo koji od brojnih načina za određivanje i opisivanje količine vodene pare u vazduhu. Dok je relativna vlažnost najčešće korišćena veličina prilikom opisivanja vlažnosti u atmosferi, takođe je, nažalost i najviše pogrešno shvaćena. Pojam relativne vlažnosti na prvi pogled može izgledati zbunjujuće jer ona ne ukazuje na stvarnu količinu vodene pare u vazduhu, već nam svedoči o tome koliko je vazduh blizu zasićenju. Ona predstavlja odnos pritiska vodene pare i maksimalnog pritiska vodene pare pri datoj temperaturi (ili pritisku) i izražava se u procentima. Kada vlažnost vazduha iznosi 100% tada se kaže da je vazduh zasićen. Prilikom dodavanja vodene pare vazduhu (pri konstantnoj temperaturi) relativna vlažnost vazduha se povećava, dok prilikom njenog uklanjanja dolazi do smanjenja relativne vlažnosti. Pri konstantnom sadržaju vodene pare u vazduhu, sa povećanjem temperature vazduha dolazi do smanjenja relativne vlažnosti, dok se sa smanjenjem temperature ona povećava. Na mnogim mestima, ukupan sadržaj vodene pare u vazduhu neznatno varira u toku dana, tako da je promena temperature to što primarno reguliše dnevne varijacije relativne vlažnosti. Kako se vazduh hladi tokom noći, relativna vlažnost se povećava. Obično se najveća relativna vlažnost javlja u rano jutro, tokom najhladnijeg dela dana. Kako se vazduh zagreva tokom dana, relativna vlažnost se smanjuje, pri čemu se najniže vrednosti obično javljaju tokom najtoplijeg dela popodneva.

Međutim vlažnost vazduha se takođe može izraziti i preko pritiska vodene pare – pritiska kojim molekuli vodene pare deluju na unutrašnje zidove delića vazduha. Pritisak vodene pare u vazduhu se izražava u milibarima i predstavlja parcijalni pritisak vodene pare koja se nalazi u vazduhu. Pošto je broj molekula vodene pare u bilo kojoj zapremini vazduha mnogo manji u poređenju sa ukupnim brojem molekula vazduha u istoj zapremini, iznos pritiska vodene pare je obično mali u odnosu na ukupni pritisak vazduha. Stoga, sa povećanjem broja molekula vodene pare raste i pritisak vodene pare. Pritisak vodene pare pokazuje ukupan sadržaj

vodene pare u vazduhu, dok maksimalni pritisak vodene pare opisuje koliko vodene pare vazduh može da primi pre nego što postane zasićen, pri postojećoj temperaturi. Drugim rečima, to je pritisak koji bi molekuli vodene pare vršili u slučaju da je vazduh zasićen vodenom parom pri datoj temperaturi.

Kada je vazduh potpuno zasićen vodenom parom, onda se temperatura koju vazduh ima naziva tačkom rose. Ona predstavlja temperaturu do koje vazduh treba da se ohladi (bez promene u pritisku vazduha i vlažnosti) da bi došlo do zasićenja. Visoke tačke rose ukazuju na visok sadržaj vodene pare, dok niske tačke rose ukazuju na nizak sadržaj vodene pare. Razlika između temperature vazduha i tačke rose ukazuje na to da li je relativna vlažnost niska ili visoka. Kada je ova razlika velika, tada je relativna vlažnost mala. U slučaju da ove dve veličine imaju sličnu vrednost, relativna vlažnost je visoka. Kada temperatura vazduha i tačka rose imaju istu vrednost, tada je vazduh zasićen, a relativna vlažnost iznosi 100%.

Da bi došlo do formiranja padavina, određeni uslovi moraju biti ispunjeni. U ove uslove spada: postojanje atmosferske vlažnosti (vodene pare) kao posledice isparavanja, proces kondenzacije uglavnom kao posledica dinamičkog hlađenja i prisustvo jezgra kondenzacije.

Padavine su svi oblici kondenzovane i sublimirane vodene pare u vazduhu, koji se pojavljuju na zemljinoj površini u tečnom ili čvrstom obliku. Padavine se mogu klasifikovati na više načina: na osnovu oblika, po mestu formiranja, intenzitetu i načinu postanka.

Oblici u kojima se mogu pojavljivati padavine su: rosulja, kiša, sneg, susnežica, grad, rosa, slana, inje i poledica. Po mestu formiranja postoje padavine koje se formiraju i lebde u atmosferi (horizontalne padavine) i one koje padaju iz oblaka na tlo (vertikalne padavine) (Wikipedia, 2013a). U horizontalne padavine spadaju rosa, mraz, inje i poledice dok su vertikalne padavine kiša, led, sneg i grad. Na osnovu intenziteta imamo veoma slabe (manje od 0,25 mm na sat), slabe (0,25 – 1 mm na sat), umerene (1 – 4 mm na sat), jake (4 – 16 mm na sat), veoma jake (16 – 50 mm na sat) i ekstremno jake (više od 50 mm na sat) padavine. Na osnovu načina postanka ili tačnije načinu hlađenja vazduha, padavine se dele na frontalne (podizanje toplog vazduha iznad hladnog preko frontova, tipične za jesen - zimu), konvektivne (podizanje vazduha koji se zagrejao u kontaktu sa tlom, tipične za proleće - leto) i orografske padavine (podizanje vazdušnih masa zbog savlađivanja prepreke tj. planina) (Wikipedia, 2013b).

Padavine znatno variraju u prostoru i vremenu. Poljoprivredni proizvodni sistemi su se razvili upravo uzimajući u obzir ovu varijabilnost, ali u većini regiona u svetu, varijabilnost padavina nastavlja da bude glavni izvor rizika sa kojima se farmeri suočavaju. Na primer, u zavisnosti od prostornog razmera i trajanja suše, čitave države i regioni su izloženi rizicima i

problemima koji su povezani, pre svega, sa ekonomijom i zalihama hrane (*Baigorria et al.*, 2006).

Oblaci koji su povezani sa velikim frontalnim sistemima proizvode distribuciju padavina koje imaju tendenciju da budu više uniformne u poređenju sa onima koje su posledice lokalnih konvektivnih pojava, i koje su povezane sa heterogenim masama oblaka i aktivnijom interdinamikom (*Bacchi & Kottegoda*, 1995). Studija o prostornoj raspodeli padavina postaje jednostavnija kako se vremenska skala povećava, ali može da zavisi od fluktuacija malih razmera, koje se odnose na intenzitet padavina u prostoru i vremenu (*Sen and Habib*, 2001).

Cilj ovog rada je da se na osnovu podataka o padavinama osmotrenim u okviru mreže meteoroloških stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RHMZ) u Vojvodini (Palić, Sombor, Kikinda, Novi Sad, Zrenjani, Banatski Karlovac, Sremska Mitrovica), u periodu 1986-2005 obavi analiza prostorne distribucije padavina u Vojvodini na mezo razmerama (100 – 1000 km). Ovo je obavljeno izračunavanjem korelacije (ρ_{ij}) i kovarijanse (C_{ij}) između meteoroloških stanica (i, j) za mesece: januar (frontalne padavine), mart i april (prelazni period), jul i avgust (konvektivne padavine). Izabrani parametri su izračunati na osnovu dnevnih i mesečnih količina padavina za izabrane lokalitete. Takođe, na osnovu podataka o količini padavina za 2011. i 2012. godinu izmerenih u okviru mreže automatskih meteoroloških stanica (AMS) Prognozo-izveštajne službe (PIS) Vojvodine, analizirana je prostorna distribucija padavina malih razmera (do 100 km) u Vojvodini. Posebna pažnja je posvećena uticaju stanja površine na distribuciju padavina u slučaju velike varijacije padavina u okviru malih prostornih i vremenskih razmera.

Na početku ovog rada dat je opis najvažnijih procesa koji opisuju razvoj oblaka i padavina. U drugom poglavlju biće reči i o faktorima koji utiču na distribuciju oblaka i padavina. Treće poglavlje bavi se opisom meteoroloških elemenata i pojava koje karakterišu klimu Vojvodine. Kratak opis lokacija meteoroloških stanica na kojima su vršena merenja i metoda za prikaz osmotrenih podataka nalazi se u četvrtom poglavlju rada. U petom poglavlju prikazani su rezultati osmotrenih podataka o količini padavina, data je analiza, kao i diskusija o njima. Zaključak na osnovu dobijenih rezultata dat je u šestom poglavlju.

2. Oblaci i padavine

Najuočljivija osobina Zemlje kada se posmatra sa satelita ili iz svemirskog broda jeste oblačni prekrivač. U bilo kom trenutku, oko jedne polovine Zemljine površine pokriveno je oblacima. Prilikom njihovog formiranja, dolazi do oslobađanja ogromne količine toplote. Oblaci pomažu u regulisanju energetske bilansa na Zemlji, reflektovanjem i rasejanjem

Sunčevog zračenja, kao i apsorpcijom Zemljinog infracrvenog zračenja. I naravno, bez oblaka ne bi postojali brojni oblici padavina. Ali oblaci su značajni i zbog toga što vizuelno ukazuju na fizičke procese koji se odvijaju u atmosferi, pa se može reći da su oni na neki način putokazi na nebu. Na početku ovog poglavlja, biće reći o atmosferskim procesima na koje ovi “putokazi” ukazuju, od kojih je prvi atmosferska stabilnost. Nakon toga, biće razmotreni različiti mehanizmi koji su odgovorni za formiranje većine oblaka kao i padavina. Pred kraj ovog poglavlja pažnja će biti usmerena na distribuciju oblaka i padavina, kao i faktore koji na to utiču.

2.1. Atmosferska stabilnost

Dobro je poznato da se većina oblaka formira u procesu prilikom kojeg se vazduh diže, širi i hladi. Međutim pitanje koje se postavlja jeste, zašto se vazduh u nekim slučajevima uzdiže a u drugima ne? I zašto veličina i oblik oblaka toliko varira prilikom uzdizanja vazduha? Da bi se odgovorilo na ova pitanja, pažnja treba posvetiti konceptu atmosferske stabilnosti.

Kada se govori o atmosferskoj stabilnosti, tada se prvenstveno misli na stanje ravnoteže. Vazduh se nalazi u ravnotežnom stanju kada, nakon uzdizanja ili spuštanja, teži da se vrati u prvobitan položaj – time se opire uzlaznom i silaznom kretanju. Vazduh koji se nalazi u neravnotežnom stanju, kada se malo “pogura”, kreće se dalje od svog prvobitnog položaja čime se favorizuje vertikalno kretanje. Prilikom uzdizanja delića vazduha, on se kreće ka oblasti u kojoj je pritisak okolnog vazduha niži. Ova situacija dozvoljava da se molekuli vazduha u posmatranoj zapremini delića vazduha, guraju prema spoljašnosti zidova delića, prilikom čega dolazi do širenja. Kako se delić vazduha širi, vazduh unutar njega počinje da se hladi. Ako se isti delić vazduha vraća nazad na površinu, zbog povećanja pritiska oko delića dolazi do kompresije (suzbijanje), i delić vazduha se vraća u svoju prvobitnu zapreminu, a vazduh unutar njega se zagreva. Dakle, delić vazduha koji se uzdiže se širi i hladi, dok kod delića koji tonu dolazi do suzbijanja i zagrevanja.

Ako se delić vazduha širi i hladi, ili suzbija i zagreva, bez razmene toplote sa okolinom, tada se proces koji se odigrava naziva adijabatskim procesom. Sve dok delić vazduha nije zasićen vodenom parom (relativna vlažnost je manja od 100%), gradijent adijabatskog hlađenja ili zagrevanja ostaje konstanta, i iznosi oko 1°C za svakih 100 m promene u visini. Pošto se ovaj gradijent hlađenja ili zagrevanja odnosi samo na nezasićen vazduh, on se naziva suvoadijabatski gradijent. Kako se uzdižući vazduh hladi, njegova relativna vlažnost se povećava, pri čemu se temperatura približava tački rose. Ako se vazduh ohladi do svoje

temperature tačke rose, relativna vlažnost postaje 100%. Dalje uzdizanje vazduha dovodi do kondenzacije, formiranja oblaka i do oslobađanja latentne toplote. Pošto toplota koja se dodaje prilikom procesa kondenzacije, kompenzuje hlađenje do kojeg dolazi prilikom širenja, vazduh se više ne hladi po suvoadijabatskom gradijentu već po nižem gradijentu koji se naziva vlažnoadijabatski gradijent.

Za razliku od suvoadijabatskog gradijenta, vlažnoadijabatski gradijent nije konstantan, već u velikoj meri varira sa temperaturom, a samim tim, i sa sadržajem vlage jer topao zasićen vazduh proizvodi više tečne vode od hladnog zasićenog vazduha. Dodatna kondenzacija u toplom, zasićenom vazduhu oslobađa više latentne toplote. Shodno tome, vlažnoadijabatski gradijent je mnogo manji od suvoadijabatskog kada je uzdižući vazduh topao; međutim, ova dva gradijenta su skoro ista kada je uzdižući vazduh veoma hladan. Vlažnoadijabatski gradijent varira od 0,3 do 0,7 °C/100m.

Stabilnost vazduha se može odrediti upoređivanjem temperature delića vazduha koji se uzdiže sa temperaturom okoline. Ako je uzdižući delić vazduha hladniji od svoje okoline on će biti gušći (teži) i imati tendenciju da se vrati na prvobitni nivo. U ovom slučaju, vazduh je stabilan pošto se opire uzlaznom kretanju. Ako je vazduh koji se uzdiže topliji, a samim tim manje gust (lakši) od okolnog vazduha, on će nastaviti da se uzdiže sve dok ne dostigne temperaturu okoline. Ovo je primer nestabilnog vazduha (*Ahrens*, 2001).

Temperaturni gradijent predstavlja promenu temperature vazduha sa visinom, a u ovom slučaju ova temperatura se odnosi na temperaturu okolnog vazduha. Pretpostavimo da je vertikalni temperaturni gradijent na nekom mestu manji od suvoadijabatskog gradijenta, i neka na nekom mestu delić vazduha bude pokrenut naviše. Pri kretanju uvis njegova temperatura će opadati po suvoadijabatskom gradijentu, a to znači i brže od temperature okoline. Delić pri kretanju uvis postaje hladniji od okolnog vazduha, dakle i gušći, pa zbog toga teži da se vrati na svoj početni položaj. Ova situacija se naziva statičkom stabilnošću vazduha. Shodno tome statički stabilna atmosfera postoji u slučaju kada je delić vazduha koji se uzdiže hladniji i teži (gušći) od okolnog vazduha. Pošto se stabilan vazduh suprotstavlja vertikalnom kretanju naviše, u slučaju da je primoran da se uzdiže, on će imati tendenciju da se širi horizontalno. Ako dolazi do formiranja oblaka u ovakvom vazduhu, oni će se takođe širiti horizontalno u relativno tankim slojevima, i ovi oblaci obično imaju ravne vrhove i baze. Takvi oblaci su cirostratusi, altostratusi, nimbostratusi ili stratusi. Atmosfera je stabilna kada je temperaturni gradijent mali, to jest kada je razlika u temperaturi mala između vazduha pri površini i vazduha iznad. Shodno tome atmosfera se stabilizuje kako se vazduh na površini hladi ili vazduh koji se nalazi iznad greje. Do hlađenja vazduha pri površini može doći

prilikom radijacionog hlađenja površine noću ili kada dolazi do kretanja vazduha iznad hladne površine. Očigledno je onda, da je vazduh najstabilniji rano ujutru pri izlasku Sunca, kada je vazduh pri površini najhladniji. Do zagrevanja vazduha iznad može doći npr. ako vetar donosi topliji vazduh. Ovo može dovesti do pojave inverzije, kada je vazduh koji se nalazi naodređenoj visini, topliji od vazduha pri površini.

U slučaju kada je vertikalni gradijent temperature veći od suvoadijabatskog, delić vazduha pokrenut naviše će postati topliji i lakši od okolnog vazduha, tako da će nastaviti da se kreće sve više uvis. U ovom slučaju reč je o statičkoj nestabilnosti. Atmosfera postaje još više nestabilna kako temperatura vazduha brže opada sa visinom. Do ovoga može doći kada vazduh pri površini postaje topliji ili ako vazduh iznad postaje hladniji. Shodno tome, kako se danju vazduh pri površini zagreva, atmosfera postaje nestabilnija. Vazduh iznad se može hladiti ako vetar donese hladniji vazduh ili ako vazduh (ili oblaci) emituju infracrveno zračenje nazad u svemir (radijaciono hlađenje). Baš kao što kod vazduha koji tone imamo grejanje i stabilnu atmosferu, vazduh koji se uzdiže, naročito ako imamo ceo sloj gde je vrh suv a baza vlažna, dovodi do hlađenja i pojave nestabilne atmosfere. Vazduh koji se uzdiže postaje još više nestabilan ako se uzdiže i proteže vertikalno u vazduh koji je manje gust i tada dolazi do vremenskih neprilika kao što su oluje, tornada i slično.

Pretpostavimo da je delić vazduha koji je nezasićen (ali vlažan) primoran da se uzdiže sa površine. Kako se delić uzdiže, on se širi i hladi po suvoadijabatskom gradijentu sve dok temperatura njegovog vazduha ne opadne do temperature tačke rose. Na ovom nivou, vazduh je zasićen, relativna vlažnost iznosi 100%, a dalje uzdizanje dovodi do kondenzacije i do formiranja oblaka. Iznad nivoa kondenzacije, uzdižući zasićen vazduh se hladi po vlažnoadijabatskom gradijentu. Od površine pa do neke visine iznad nivoa kondenzacije, uzdižući vazduh je hladniji od okolnog vazduha i sve do ove visine za atmosferu kažemo da je stabilna. Međutim, zbog oslobađanja latentne toplote, uzdižući vazduh na nekoj visini iznad nivoa kondenzacije postaje topliji od okolnog vazduha i atmosfera je sada nestabilna. Znači, posmatrani atmosferski sloj je prešao iz stabilnog u nestabilno stanje pošto je uzdižući vazduh bio dovoljno vlažan da postane zasićen, da formira oblak, i da oslobodi latentnu toplotu, koja zagreva vazduh. Ako se oblak ne bi formirao, uzdižući vazduh bi na svakom nivou ostao hladniji od okolnog vazduha. Ovakva atmosfera se naziva uslovno nestabilna atmosfera i ova nestabilnost se javlja ako se nezasićen stabilni vazduh na neki način dovede na nivo na kome postaje zasićen. Shodno tome, uslovna nestabilnost postoji kada se temperaturni gradijent nalazi između vrednosti suvoadijabatskog i vlažnoadijabatskog gradijenta. Pošto temperaturni gradijent u troposferi iznosi oko $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, što je vrednost koja je između

suvoadijabatskog i vlažnoadijabatskog gradijenta, atmosfera je obično u stanju uslovne nestabilnosti (Mesinger i Janjić, 1989).

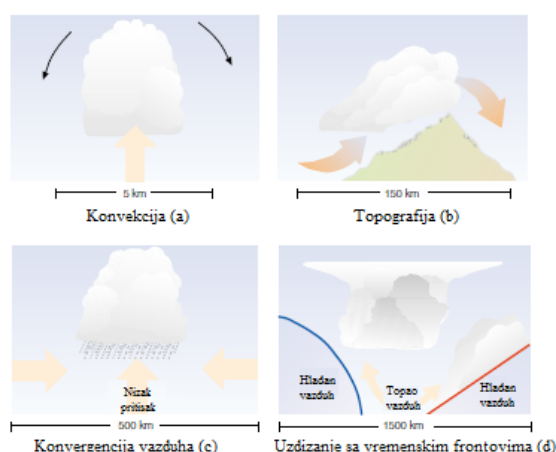
Nije teško zaključiti da kada su gore navedena dva gradijenta jednaka situacija može da se definiše kao statička indiferentnost.

Na osnovu prethodno napisanog, jasno je da se stabilnost atmosfere tokom dana menja. Pri vedrom, tihom vremenu tokom izlaska Sunca, vazduh je pri površini obično hladniji od vazduha iznad, postoji radijaciona inverzija, i atmosfera je dosta stabilna. Kako dan odmiče, Sunce zagreva površinu, a površina zagreva vazduh iznad. Kako se temperatura vazduha blizu površine povećava, niža atmosfera postepeno postaje više nestabilna, sa maksimalnom nestabilnošću koja se javlja u najtoplijem delu dana. Pri vlažnom letnjem popodnevju ovaj fenomen je povezan sa razvojem kumulusnih oblaka (Ahrens, 2001).

2.2. Razvoj oblaka i stabilnost

Pod oblakom se podrazumeva vidljiv produkt kondenzacije ili sublimacije vodene pare, koji su nagomilani na nekoj visini (Mihailović i sar., 2008). Većina oblaka se formira u procesu u kojem se vazduh uzdiže, širi i hladi. Shodno tome, sledeći mehanizmi su ti koji su odgovorni za razvoj većine oblaka:

1. zagrevanje površine i slobodna konvekcija;
2. topografija;
3. atmosferska konvergencija;
4. uzdizanje zajedno sa vremenskim frontovima.

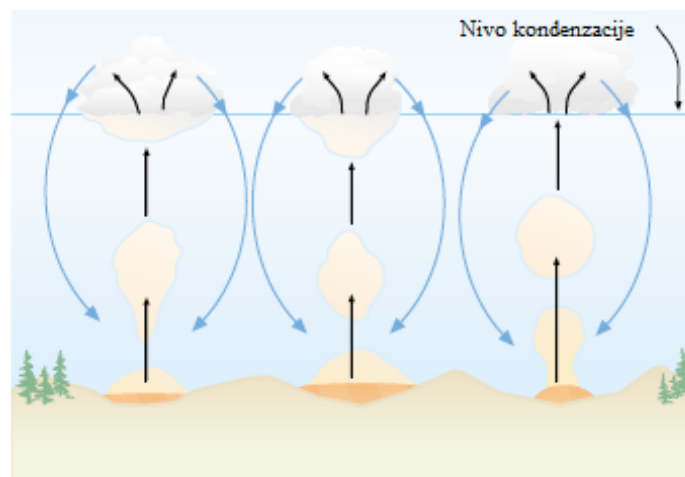


Slika 1. Primarni načini formiranja oblaka: (a) zagrevanje površine i slobodna konvekcija, (b) prisilno uzdizanje zbog topografskih prepreka, (c) konvergencija površinskog vazduha (d) prisilno uzdizanje sa vremenskim frontovima

2.2.1. Oblaci i konvekcija

Neki delovi Zemljine površine bolje apsorbiraju Sunčevo zračenje od drugih, zbog čega dolazi i do njihove bržeg zagrevanja. Vazduh koji je u dodiru sa ovakvim “vrućim tačkama” postaje topliji od svog okruženja. Topao “mehur” vazduha – termik – odvaja se od tople površine i uzdiže se, pri čemu dolazi do njegovog širenja i hlađenja. Kako se termik uzdiže, meša se sa okolnim vazduhom koji je hladniji i suvlji, i postepeno gubi svoj identitet. Njegovo uzlazno kretanje se sada usporava. Često, pre nego što se termik u potpunosti razblaži, termici koji se naknadno uzdižu prodiru u njega (penetracija) i na ovaj način pomažu vazduhu da se dodatno uzdiže. Ako se vazduh koji se uzdiže ohladi do svoje tačke zasićenja, dolazi do kondenzacije vlage, a termik postaje vidljiv u obliku kumulusnog oblaka.

Na slici 2 može se primetiti da se silazna kretanja nalaze sa spoljašnje strane kumulusnog oblaka. Ova silazna kretanja su delom uzrokovana isparavanjem oko spoljnih ivica oblaka, koji dovodi do hlađenja vazduha, čineći ga teškim. Drugi razlog silaznih kretanja je završetak konvekcionih strujanja koja su bila započeta unutar termika. Hladan vazduh se polako spušta da bi zamenio uzdižući topao vazduh. Dakle, imamo uzdižući vazduh unutar oblaka, i vazduh koji se spušta oko oblaka.



Slika 2. Vertikalna kretanja unutar konvektivnih oblaka.

Kako kumulusni oblaci rastu, oni zaklanjaju površinu Zemlje od Sunca. To, naravno, sprečava grejanje površine i konvekciju naviše. Bez kontinuiranog snabdevanja uzdižićeg vazduha, oblak počinje da se narušava, pri čemu dolazi do isparavanja njegovih kapljica. Za razliku od oštrog okvira rastućeg kumulusa, oblak sada ima nejasne ivice, sa delovima oblaka koji se protežu sa njegove strane. Kako oblak disipira (ili se kreće zajedno sa vetrom), ponovo se započinje površinsko grejanje i regeneriše drugi termik, koji postaje novi kumulus. To je

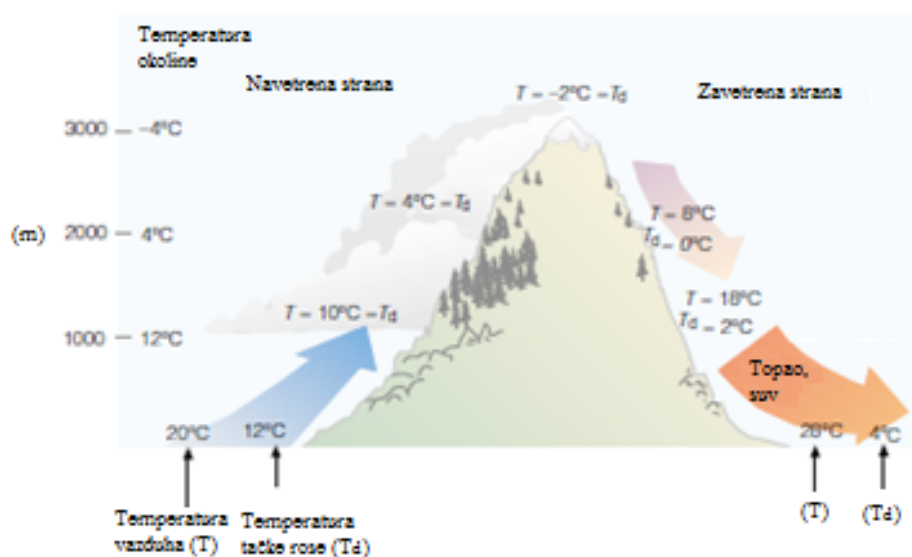
razlog zbog čega se na nebu često vidi situacija prilikom koje se kumulusi koji se formiraju, postepeno nestaju, pa zatim opet nastaju na istom mestu.

Stabilnost atmosfere igra važnu ulogu u određivanju vertikalnog porasta kumulusnih oblaka. Na primer, akobi postojao stabilni sloj (kao što je inverzija) blizu vrha kumulusa, oblak bi imao poteškoće prilikom daljeg uzdizanja. Međutim, ako iznad oblaka postoji dubok, uslovno nestabilni sloj, tada dolazi do vertikalnog razvoja oblaka. Ako je nestabilni vazduh dubok nekoliko kilometara, tada se kumululus razvija u kumulonimbus, u kome dolazi do formiranja padavina (*Ahrens, 2001*).

2.2.2. Oblaci i topografija

Vazduh koji se kreće horizontalno nije u mogućnosti da prođe kroz neke velike prepreke, kao što su planine, tako da mora da struji preko njih. Prinudno uzdizanje prilikom nailaska na topografske prepreke naziva se orografsko uzdizanje. Često, prilikom nailaska na planinski lanac dolazi do pojave uzdizanja velikih masa vazduha. Ovo uzdizanje dovodi do hlađenja i u slučaju da je vazduh vlažan, dolazi do formiranja oblaka. Oblaci koji se formiraju na ovaj način, nazivaju se topografski oblaci.

Na slici 3. nalazi se primer orografskog uzdizanja i razvoj oblaka. Može se primetiti da, nakon što se uzdigao iznad planine, vazduh na površini sa zavetrene strane je topliji nego što je bio na površini sa navetrene strane. Viša temperatura vazduha sa zavetrene strane rezultat je pretvaranja latentne toplote u osetnu toplotu prilikom kondenzacije sa navetrene strane. Takođe, uzdižući vazduh na vrhu planine je znatno topliji nego što bi bio ako se kondenzacija ne bi desila. Na slici se takođe može primetiti da je temperatura tačke rose vazduha na zavetrenoj strani niža nego što je bila pre nego što se vazduh uzdigao preko planine. Niža tačka rose i samim tim suvlji vazduh na zavetrenoj strani rezultat je kondenzacije vodene pare, koja ostaje u obliku tečnih kapljica oblaka i padavina sa navetrene strane. Ovaj region sa zavetrene strane planine, gde je količina padavina primetno niska, a vazduh često suv, naziva se kišna senka. Iako su oblaci više prisutni sa navetrene strane planine, oni mogu, pod određenim atmosferskim uslovima, da se formiraju i sa zavetrene strane (*Ahrens, 2001*).



Slika 3. Orografsko uzidzanje i razvoj oblaka.

Sada, pošto je razmatran koncept o stabilnosti i obrazovanju oblaka, pažnja se usmerava na sićušne čestice oblaka i njihovu transformaciju u padavine. Sledeće poglavlje, dakle, opisuje procese prilikom kojih nastaju padavine kao i tipove padavina.

2.3.Procesi kod padavina

Padavine predstavljaju produkt vodene pare, u čvrstom i tečnom agregatnom stanju koji se formiraju u atmosferskom vazduhu neposredno uz površinu tla ili u višim slojevima atmosfere i koji padaju na površinu. Padavine, kao meteorološki element imaju sledeće karakteristike: oblik, trajanje, količinu i intenzitet. Oblik padavina je određen različitim formama tečne i čvrste faze vode. Oblici u kojima se mogu pojavljivati padavine su: rosulja, kiša, sneg, susnežica, grad, rosa, slana, inje i poledica. Trajanje padavina predstavlja vremenski interval od početka do završetka padavina. Količina padavina je zapremina vode od padavina, na jediničnoj površini (1 m^2) izražena u litrima. Količina padavina se izražava i u milimetrima, pri čemu zapremina od 1l odgovara visini vode od 1 mm. Konačno, intenzitet padavina predstavlja količinu padavina u jedinici vremena pri čemu se obično za jedinicu vremena uzima 1 čas ili 1 minut (*Mihailović i sar.*, 2008).

Poznato je da oblačno vreme ne mora obavezno biti praćeno padavinama. Nasuprot, oblaci mogu da se formiraju, zadržavaju i po nekoliko dana, a da ne proizvode padavine. Šta dovodi onda do situacije da kapljice oblaka rastu do veličine pri kojoj mogu da proizvode kišu? I zašto neki oblaci stvaraju kišu, a drugi ne?

Veličina prosečne kapljice oblaka je izuzetno malai njen prosečni prečnik iznosi 0,02 mm što je 100 puta manje od tipične kapi kiše. Shodno tome, oblaci su sastavljeni od mnogo malih kapljica – previše malih da bi padale u obliku kiše te je i samo blago strujanje vazduha naviše dovoljno da ove sićušne kapljice budu zadržane. Te kapljice koje ipak padaju na dole, spuštaju se polako i isparavaju u suvljem vazduhu ispod donje baze oblaka.

Kao što je već ranije spomenuto, kondenzacija započinje na sitnim česticama koje se nazivaju jezgra kondenzacije. Porast kapljica oblaka putem kondenzacije je spor i čak i pod savršenim uslovima, bilo bi potrebno nekoliko dana da ovaj proces sam stvori kapljice kiše. Očigledno je, dakle, da je proces kondenzacije sam po sebi previše spor da bi stvorio kišu. Ipak, zapažanja su pokazala da do razvoja oblaka, kao i stvaranja kiše može doći za manje od sat vremena. Pošto je potrebno oko jedan milion kapljica oblaka (prosečne veličine) za stvaranje kapljice kiše (prosečne veličine), mora da postoji neki drugi proces zbog kojeg kapljice kiše narastu i postanu dovoljno teške da padnu u obliku padavina. Iako još uvek nisu poznati svi procesi koji se odigravaju prilikom stvaranja kiše, postoji jedan važan proces koji se ističe: proces sudaranja – srastanja.

U oblacima čiji su vrhovi topliji od -15°C , sudaranje između kapljica igra važnu ulogu u stvaranju padavina. Da bi došlo do dovoljno sudaranja za proizvodnju kišne kapi, neke kapljice oblaka moraju biti veće od drugih. Veće kapljice se mogu formirati na većim jezgrima kondenzacije, kao što su čestice soli, ili preko slučajnih sudaranja kapljica. Ono što je poznato jeste da veće kapljice padaju brže od manjih kapljica. Ove veće kapljice na svom putu preteču i sudaraju se sa manjim kapljicama, pri čemu dolazi do njihovog sjedinjenja (Ahrens, 2001).

2.3.1. Tipovi padavina

Padavine se javljaju pod uslovom da je vazduh zasićen, do čega dolazi prilikom uzdizanja vazduha, koji se obično javlja u jedan od tri načina.

Konvekција se javlja kada Zemljina površina, uglavnom u ekvatorijalnim regionima, u uslovno nestabilnoj i vlažnoj atmosferi, postaje toplija od svoje okoline, što za posledicu ima značajno isparavanje. Konvektivne padavine (KP) padaju iz konvektivnih oblaka, kao što je kumulonimbus. Ovo su pljuskovite padavine sa brzom promenom intenziteta. Konvektivne padavine su lokalne prirode, padaju samo iznad određenih područja i vreme trajanja ovih padavine je relativno kratko. Sve ovo je posledica toga što konvektivni oblaci imaju ograničen horizontalni opseg. Ove padavine, iako karakteristične za letnji period godine (jul i avgust) mogu da se jave i u prelaznim periodima kao što su proleće i jesen.

Frotnalne padavine (FP) padaju iz nimbostratusnih oblaka. Kada se sretnu mase vazduha različitih gustina, topao vazduh je prinuđen da se uzdiže iznad hladnijeg vazduha i ako se steknu odgovarajući uslovi, vazduh postaje zasićen, što za posledicu ima stvaranje padavina. Frontovi dovode do naglih promena u temperaturi, vlažnost i pritisku vazduha. Topli frontovi su praćeni dugotrajnom slabom i sipećom kišom, dok je kod hladnih frontova trajanje padavina kraće, ali intenzivnije. Ovakve padavine su katrakteristične za zimske (januar) i jesenje periode.

Orografske padavine (OP) se javljaju u situaciji kada su mase vazduha primorane da se uzdižu prilikom nailaska na određene prepreke, kao što su na primer visoke planine. Zbog uzdizanja vazduha dolazi do adijabatskog hlađenja, što za posledicu ima pojavu kondenzacije i stvaranje padavina. U planinskim predelima, koji su izloženi relativno konzistentnim vetrovima, sa navetrene strane planina preovladava vlažnija klima u odnosu na zavetrenu stranu i ove padavine se skoro uvek javljaju sa navetrene strane planine (Wikipedia, 2013c).

2.4.Distribucija oblaka i padavina

Nekoliko studija je pokazalo da varijabilnost karaktera površine zemljišta, mezo razmera, može da utiče na količinu i prostornu distribuciju padavina (*Pielke et al.*, 1998, *Andre et al.*, 1989, *Blyth et al.*, 1994, *Chen and Avissar*, 1994, *Avissar and Liu*, 1996). Promene u karakteristikama površine zemljišta, za rezultat imaju promene u energetsom bilansu površine kao i promene u bilansu vlažnosti, što utiče na fluks toplote i vlažnosti unutar planetarnog graničnog sloja, kao i druge veličine koje utiču na aktivnost kumulusnih konvektivnih oblaka. Prostorna struktura površinskog grejanja, na koje utiče i sama struktura zemljišta, favorizuje određene regione za razvoj duboko kumulusnih oblaka. Da bi došlo do formiranja oblaka potrebna je toplotna energija. Ova toplotna energija se dobija preko osetne toplote na Zemljinoj površini i prilikom oslobađanja toplote pri kondenzaciji vodene pare (latentna toplota kondenzacije) (*Pielke*, 2001). Interakcija između Zemljine površine i atmosfere je veoma važna za razvoj kumulusnih konvektivnih padavina i vlažnost zemljišta igra jednu od najvažnijih uloga u ovoj interakciji. Određene studije sugerišu da bi vlažnost zemljišta trebala biti povezana sa relativno velikim vlažnim statičkim energijama pograničnog sloja, koje favorizuju pojavu padavina. Pošto je vlažnost zemljišta posledica prethodnih padavina, između ove dve veličine postoji pozitivna povratna sprega (*Elfaith and Eltahir*, 1998). Povećana evapotranspiracija i raspoloživa energija u vlažnijim oblastima, podstiče lokalni maksimum vlažne statičke energije planetarnog graničnog sloja, koji zauzvrat povećava verovatnoću pojave padavina (*Taylor et al.*, 1997).

2.4.1. Faktori koji utiču na distribuciju oblaka i padavina

Varijabilnosti veličina koje karakterišu Zemljinu površinu, kao što je topografija, vlažnost površine zemljišta, albedo i vegetacija, mogu u velikoj meri da utiču na lokalne cirkulacije, redistribucijom Sunčeve energije u flukseva osetne i latentne toplote (*Collins and Avissar, 1994*).

Određene studije su pokazale kako specifični karakter površine zemljišta (prisustvo različitih oblika vegetacije i reljefa, golog zemljišta, urbanih površina) mogu da utiču na formiranje plitkih konvektivnih oblaka i padavina. Ove studije pokazuju da termalne nehomogenosti površine zemljišta, mogu izazvati termalne cirkulacije, koje mogu da dovedu vlagu do većih visina u vazduhu, gde može doći do formiranja padavina, naročito u poluaridnim regionima, gde je podela energije na površini u velikoj meri zavisna od ranijih padavina (*Avissar and Liu, 1996*).

Diskontinuitet vlažnosti na površini zemljišta, koji generiše cirkulacije mezo razmera, može značajno da utiče na vreme i nastanak oblaka, kao i na intenzitet i distribuciju padavina. Može se reći da horizontalnom distribucijom padavina dominira jedan od dva procesa: turbulentno kretanje ili cirkulacija mezo razmera. U slučaju da u zagrevanju i transportu vlage u planetarnom graničnom sloju učestvuje samo trubulencija, padavine su nasumično raspoređene, aproksimativno istog intenziteta. Međutim, u slučaju cirkulacije mezo razmera, intenzivne padavine su dominantne na početku ovakve cirkulacije. Dominacija ova dva režima u velikoj meri zavisi od površine zemljišta.

Reakcija atmosfere na vlažnost površine zemljišta je veoma nelinearna i komplikovana zbog uticaja različitih faktora. Međutim rezultati pokazuju da horizontalna distribucija vlažnosti zemljišta, u velikoj meri utiče na razvoj oblaka i padavina, naročito u suvljoj atmosferi. U slučaju suvlje atmosfere dolazi do povećanja površinskog turbulentnog fluksa latentne toplote, pošto više vodene pare isparava sa zemljišta u atmosferu, naravno, pod uslovom da postoji raspoloživa voda na zemljinoj površini za isparavanje. Ovo lokalno snabdevanje atmosfere vodenom parom je veoma važno za formiranje oblaka i padavina. Istraživanja su pokazala da u slučaju da je niži deo atmosfere vlažniji, iznad vlažnog zemljišta dolazi do formiranja tankih oblaka. Međutim u slučaju da je niža atmosfera suvlja, u tim delovima atmosfere pojava konvektivnih oblaka je mnogo učestalija (*Chen and Avissar, 1994*).

Osmotreno je da se oblaci mnogo brže fomiraju iznad vlažnih površina (veliki fluks latentne toplote, mali fluks osetne toplote) kao što su, na primer, šume (*Rabin et al., 1990*).

Razlika u vremenu pojavljivanja padavina je posledica toga što voda koja isparava sa vlažnog zemljišta vlaži atmosferu u nižem, relativnom hladnom, planetarnom graničnom sloju koji favorizuje raniju pojavu oblaka. Ovakvi tanki oblaci koji se javljaju iznad vlažnih površina, rano u toku dana, ne dostižu do većih visina. Relativno gusti oblaci veće debljine, javljaju se popodne iznad suvljeg zemljišta, kao posledica jakog vertikalnog turbulentnog mešanja, naročito u prednjem delu cirkulacije. Na osnovu numeričkih simulacija pokazano je da se prethodna situacija javlja u slučaju kada imamo oblast sa dva ekstremna tipa vlažnosti. U slučaju dominacije vlažnog zemljišta iznad iste oblasti, veliki fluks latentne toplote snabdeva atmosferu velikom količinom vodene pare. Kao rezultat, u ranim popodnevним časovima pojavljuju se tanki oblaci, aproksimativno iste veličine u plitkom sloju mešanja iznad cele oblasti, međutim, najvažniji oblaci se opet formiraju na početku cirkulacije u popodnevним časovima. U slučaju homogene raspodele vlažnosti po celoj oblasti, oblaci su uniformno raspoređeni preko cele oblasti. U slučaju da preovlađuje suvlje zemljište, oblaci su nasumično raspoređeni. Ovakvi oblaci su veoma tanki i najčešće ni ne proizvode padavine (*Chen and Avissar, 1994*).

U slučaju kada postoji vlažno zemljište iznad veće oblasti, formiranje oblaka je povećano zbog isparavanja sa površine zemljišta. Kada je ista oblast sačinjena od suvljeg zemljišta, oblaci su mali i u širini i u visini. Pod istim atmosferskim uslovima, vlažnije zemljište obezbeđuje više vodene pare atmosferi od suvlje površine, što za posledicu ima veće snabdevanje vodenom parom za formiranje oblaka. Ovo povećava količinu padavina i stoga nije iznenađujuće da se minimum padavina javlja iznad uniformno suvih oblasti. Takođe na sve ovo utiče i vetar, pri čemu vetar u pravcu cirkulacija mezo razmera smanjuje intenzitet padavina (*Chen and Avissar, 1994*). Može se reći da postoji snažna povratna sprega između povećane vlažnosti zemljišta i padavina (*Walker and Rowntree, 1977*).

Ideja da promene tipa i zastupljenosti vegetacije mogu dovesti do velikih promena u klimi, postoji već dugo vremena. Određene studije ukazuju na to da bi se lokalne padavine povećale u slučaju da se golo zemljište zameni oblastima koje su prekrivene šumama. Takođe, postoje i spekulacije o tome da bi šume, koje izvlače vodu iz dubljih i stabilnijih rezervoara, u odnosu na druge vegetacije, mogli da ublaže pojavu suše (*Brooks, 1928*). Pored toga, uništavanje šuma iznad velikih oblasti bi dovelo do isušivanja zemljišta i smanjenja godišnjih količina padavina u posmatranim regionima (*Stebbing, 1935*).

Određene studije predlažu da pošumljavanje velikih oblasti može dovesti do povećanja količine padavina, čije povećanje može pomoći u održavanju šuma, a istovremeno smanjiti potrebe za navodnjavanjem u područjima blizu šuma. Pretpostavlja se da bi se ovo povećanje

padavina javilo kao posledica povećanja vlažnosti zbog povećanog intenziteta evapotranspiracije, smanjenja brzine vetra i povećanja turbulentnog mešanja, koje bi stimulisalo konvektivne padavine.

Promene u albedu zbog pojave vegetacije umesto golog zemljišta, dovode do povećanja neto zračenja koje biva apsorbovano od strane površine. U zavisnosti od količine i tipa vegetacije, ova povećana energija dovodi do povećane evaporacije, transpiracije i transporta osetne toplote. Povećana evapotranspiracija za posledicu ima pojavu vlažnije atmosfere sa većom vlažnom statičkom energijom (Anthes, 1984). Visok albedo pustinja doprinosi smanjenom neto bilansu zračenja na površini pustinje, relativno u odnosu na okruženje. Cirkulacije koje nastaju u ovim predelima potiskuju pojavu padavina i povećavaju aridnost. Zamena pustinjskih oblasti sa oblastima pod vegetacijom dovelo bi do povećanja apsorbovane energije kao i do povećane pojave padavina, i smanjivanja aridnosti.

Povećana hrapavost vegetacionih oblasti, a naročito oblasti prekrivenih šumama, u odnosu na golo zemljište, smanjuje brzinu vetra i povećava intenzitet turbulencije. Oba ova efekta su povoljna za pokretanje konvekcija malih razmera iznad ovakvih oblasti. Shodno tome, pojačana konvekcija posledica je jačeg turbulentnog mešanja koje je rezultat veće hrapavosti površine zbog više vegetacije (Rosenan, 1963).

Anthes (1984) je otišao korak dalje i predložio da određeni razmaci između vegetacije u poluaridnim regionima mogu da optimizuju količinu kumulusnih padavina. Ovakvo povećanje u padavinama nastaje zbog razvoja lokalnih cirkulacija koje vodenu paru, dobijenu transpiracijom, koncentriše u duboko kumulusne oblake. On je pretpostavio da bi povećanje površina pod vegetacijom iznad velikih oblasti, ali u neuniformnom smislu, dovelo do povećanja varijacija vertikalnih kretanja. Zamenjivanje uniformne sa neuniformnom vegetacijom bi dovelo do povećanja padavina, zbog razlika u zagrevanju, koje bi se javile kao posledica odgovarajuće distribucije vegetacije.

U slučaju frontalnih padavina, mehanizmi koji dovode do povećanja padavina uključuju: efekte trenja, koje može da izazove promene u horizontalnoj konvergenciji i vertikalnim brzinama koje su povezane sa konvergencijom; i brzo isparavanje padavina sa vegetacije ili golog zemljišta, koje može da dovede do povećanja odnosa mešanja u planetarnom graničnom sloju. Prvi proces takođe igra ulogu i u povećanju orografskih padavina (Cotton and Anthes, 1989).

3. Klima Vojvodine

Panonski (ili Karpatski) basen nalazi se u jugoistočnom delu centralne Evrope, na granici između Centralne Evrope, Istočne Evrope i Jugoistočne Evrope (Balkan). Nizije su okružene Karpatima, Alpima, Dinaridima i Balkanskim planinama i proširuju se otprilike do Beča na severozapadu, do Zagreba na jugozapadu, do Beograda na jugoistoku i do Satu Mare na severoistoku. Reke Dunav i Tisa dele basen otprilike na pola.

Vojvodina je uglavnom ravničarska oblast koja se nalazi u severnom delu Srbije, na južnom delu Panonske nizije [18° 51' - 21° 33'E, 44° 37' - 46° 11'N i 75- 641 m iznad nadmorske visine (planina Fruška Gora nalazi se na jugu)]. Ona je najvažnija oblast za proizvodnju useva u Srbiji. Srednja godišnja temperatura je 11 °C i srednja godišnja količina padavina je 602 mm (*Lalić et al.*, 2012).

Geografski regioni koji čine Vojvodinu su Banat, Bačka i Srem, kao i mali severni deo Mačve. Reljef Vojvodine je pretežno ravničarski, izuzev Srema, kojim dominira planina Fruška gora, i jugoistoka Banata, sa Vršачkim planinama. Najveći hidrografski potencijal čini reka Dunav sa svojim pritokama: Tisa, Sava i Begej (*Wikipedia*, 2013d).

Vojvodina prema geografskom položaju leži u oblasti umereno-kontinentalne klime. Po Kepenovoj klasifikaciji ovaj klimatski tip odgovara umereno kišnom tipu, sa toplim letima, maksimumom padavina u leto i sekundarnim maksimumom padavina u poznu jesen. S obzirom da je razmak između najsevernije i najjužnije tačke na teritoriji Vojvodine ispod 2° geografske širine i uz konstataciju da je orografski sklop njenog terena bez veće i šire izlomljenosti, može da se zaključi da u njoj ne dolazi do izrazitije temperaturne razlike između pojedinih lokaliteta i rejona kao što je to slučaj u drugim delovima Srbije.

Vojvodina je kao deo Panonske nizije najvećim delom opkoljena planinskim masivima, što ima znatnog uticaja na formiranje osnovnih klimatskih obeležja. Veća otvorenost Vojvođanskog područja prema severu i zapadu uslovljava jače uticaje vazdušnih strujanja i vremenskih promena iz ovih pravaca. Leti, usled pomeranja subtropskog pojasa visokog pritiska prema severu, područje Vojvodine često se nalazi pod uticajem tzv. Azorskog anticiklona, sa dosta stabilnim vremenskim prilikama i povremenim kraćim pljuskovitim padavinama lokalnog karaktera. Međutim, zimi su vremenske prilike pod uticajem ciklonske aktivnosti sa Atlanskog okeana i Sredozemnog mora i tzv. Sibirskog anticiklona.

Osim količine, režim i distribucija padavina su najznačajnije karakteristike ovog klimatskog elementa. Pod režimom padavina podrazumeva se vremenski raspored padavina u toku godine, dok se pod distribucijom podrazumeva prostorna raspodela padavina. Padavinski

režim u Vojvodini nosi delom obeležje srednjoevropskog ili preciznije podunavskog režima raspodele padavina, sa vrlo velikom neravnomernošću raspodele po mesecima. Na padavinski režim ovog područja velikog uticaja imaju i depresije koje se progresivno kreću od Đenovskog preko Tršćanskog zaliva pravo na istok, dolinama Save i Dunava prema Crnom Moru.

Za prikaz klimatskih elemenata koji slede korišćen je niz podataka 1948. – 1995. godine dobijene iz mreže standardnih meteoroloških stanica, pri čemu je za neke stanice bilo i manjih prekida (*Katić et al.*, 1979).

3.1. Relativna vlažnost i oblačnost

U Vojvodini je srednja godišnja relativna vlažnost 75% dok je u vegetacionom periodu 70%, pri čemu su najsuvlji meseci jun i avgust sa 68%, a najvlažniji decembar i januar sa 86%. Tako je zimi i noću relativna vlažnost veća, a danju i u leto manja. Slabiji pad relativne vlažnosti u prvoj polovini godine karakterističan je za Vojvodinu i dovodi se u vezu sa pojačanom ciklonskom aktivnošću u proleće i rano leto.

Srednji stepen pokrivenosti vidljivog nebeskog prostora oblacima određuje se oblačnošću prema rasponu od 0 do 100%. U Vojvodini zimski meseci su oblačniji od letnjih što je izrazita posledica čestih prodora hladnog vazduha iz zapadnog i severozapadnog kvadranta u zimsko doba godine. Mesec sa najmanjom oblačnošću u Vojvodini je avgust (37%), dok je decembar mesec sa najvećim brojem oblačnih dana. U vegetacionom periodu područje Vojvodine ima prosečnu oblačnost 55%, koja iznosi oko 86% srednje godišnje oblačnosti. Inače, prostorna raspodela oblačnosti u Vojvodini pruža izrazitu sliku klimatske nehomogenosti ovog područja. U godišnjoj raspodeli ističu se tri oblasti sa povišenim vrednostima: zapadno od Karpata (Srednji Banat), jugozapadno od Fruške Gore (Južni Srem) i jugoistočno od planine Meček (Severna Bačka). To su često navetrene zone sa jezerom hladnog vazduha, iznad kojeg duvaju veoma jaki vetrovi. Između ovih “grebena” oblačnosti raspoređene su zone sa manjom oblačnošću, odnosno vedrijim nebom.

Treba napomenuti da se ovakav prostorni raspored oblačnosti slaže i sa fizičkim predstavama lokalnih nepogoda. U stvari, hladan vazduh se u jezeru hladnog vazduha tokom prepodnevničkih časova brže zagreje od okolnog, tako da atmosfera postane nestabilna: topao vazduh se uzdiže, stvarajući kumulne tipove oblaka, koji se, pri povoljnim kondenzacionim uslovima, mogu razviti u oblake gradobitnog tipa. To je razlog što su u ovim područjima Vojvodine dosta česte lokalne nepogode.

Broj vedrih dana na području Vojvodine se u godišnjoj raspodeli formira kao najviša vrednost u rejonu srednjeg i istočnog Banata, a takođe u rejonu severne Bačke i Srema. Moglo bi da se kaže da je neujednačeno formiranje oblačnosti u Vojvodini u velikoj meri uslovljeno kretanjem barometarskih depresija ali i orografijom, što je od suštinskog značaja za obrazovanje padavinskog režima Vojvodine koji je takođe neujednačen. Severni delovi Vojvodine, naročito oni na severozapadu, imaju veći broj oblačnih dana u odnosu na južne, pri čemu severne i južne padine Fruške gore i zapadne padine Karpata sa svoje strane utiču poznatim orografskim efektom na povećanje broja oblačnih dana (*Katić et al.*, 1979).

3.2. Padavine

Padavine su veoma značajni klimatski elementi koji imaju presudan značaj u razvoju biljaka. Otuda i veliki značaj koji se pridaje obradi ovog klimatskog elementa. Vojvodina zauzima površinu od približno 20.000 km² i raspoložne relativnom gustom mrežom meteoroloških stanica.

Vojvodina je poznata po podunavskom tipu režima padavina koga obeležava najveća količina padavina u mesecu junu (glavni maksimum padavina), i obično u oktobru (sekundarni maksimum padavina) dok je njihova najniža vrednost u toku zime - januara, odnosno februara meseca. Međutim, u određenim periodima se pokazuju izvesna odstupanja, pri čemu se sekundarni maksimum pomera za novembar. Ova promena samo potvrđuje njihovu nestalnost koja je posledica promenljivih vremenskih stanja koja su rezultat smenjivanja prodora raznoraznih vazdušnih masa u pojedinim dobima godine. Najveća količina padavina u Vojvodini pada u mesecu junu u dosta mirnom području srednjeg i južnog Banata kao i Zapadnog Srema, sa vrednostima iznad 80 mm sa jedne strane i dosta ograničenog područja severnog i srednjeg dela Bačke sa vrednostima ispod 70 mm s druge strane. Tačnije, najveće junske padavine kolebaju se između 93 mm u Pančevu i 65 mm u Paliću. Meseci sa najmanjom količinom padavina su mart i oktobar sa vrednostima između 27 mm (Palić) i 41 mm (Pančevo), a ne februar ili januar kao što bi to moglo da se očekuje.

Godišnja količina padavina u Vojvodini pokazuje veoma neujednačen raspored, ne samo u širim područjima Pokrajine, već i kada se posmatraju razlike koje se javljaju kod bliskih stanica u istom rejonu. Ovo se odnosi ne samo na padavinama oskudne rejone Severne Bačke i Severnog Banata, gde godišnje u proseku padne manje od 550 mm padavina, već još više, na brdovito područje Vršackih planina i Fruške Gore, tj. Severnog Srema i jugoistočnog dela Banata, sa više od 670 mm godišnjih padavina. Opšti prosek padavina za Vojvodinu iznosi 145 mm zimi, 148 mm u proleće, 129 mm u jesen i 341 mm u periodu vegetacije.

Česti prolazi barometarskih depresija južno i zapadno od Vojvodine dovode, najčešće, do prodora vlažnog atlantskog vazduha sa severozapada i izlučivanja obilnijih padavina u zapadnom delu Pokrajine. Brdoviti predeli Fruške Gore i Vršачkih planina izazivaju prisilno uzdizanje i povećano izlučivanje padavina u ne tako uzanom pojasu oko ovih područja. Najzad, rečne doline češće opasane vegetacijom, stvaraju u izvesnom smislu bolje uslove za obrazovanje oblaka a pri tome i za veća izlučivanja padavina. Sa druge strane, najseverniji pojas Pokrajine, a takođe i središnja područja Bačke i Banata predstavljaju zone zastoja, u kojima prodori vlažnog vazduha usporavaju kretanje, jednom rečju smanjuju svoju aktivnost i ne izlučuju padavine u istom obliku kao na zapadu i jugu. To su, ujedno, područja sa najmanjim visinama padavina u Pokrajini (Katić *et al.*, 1979).

4. Materijal i metod

U ovom delu rada dat je kratak opis: a) lokaliteta meteoroloških stanica na kojima su obavljena merenja i b) metoda koji su korišćeni za obradu podataka i izračunavanje odgovarajućih parametara.

4.1. Opis lokaliteta i setova podataka

4.1.1. Meteorološke stanice iz mreže RHMZ - a

Za potrebe analize prostorne distribucije padavina u Vojvodini korišćeni su podaci iz mreže stanica RHMZ-a koje su ravnomerno raspoređene na teritoriji Vojvodine (Tabela 1). Iz vremenskih serija podataka koje su bile na raspolaganju izabrane su dnevne količine padavina izmerene na navedenim lokacijama za period 1986.-2005. jer je samo za ovaj period mogao da se formira kontinuiran niz dnevnih podataka koji je neophodan za studije ove vrste.

Stanica	Geografski položaj	
	Geografska širina	Geografska dužina
Palić	46°06' N	19°45' E
Sombor	45°47' N	19°07' E
Kikinda	45°50' N	20°27' E
Novi Sad	45°15' N	19°51' E
Zrenjanin	45°23' N	20°22' E
Banatski Karlovac	45°30' N	21°10' E
Sremska Mitrovica	44°59' N	19°37' E

Tabela 1. Geografski položaji meteoroloških stanica.

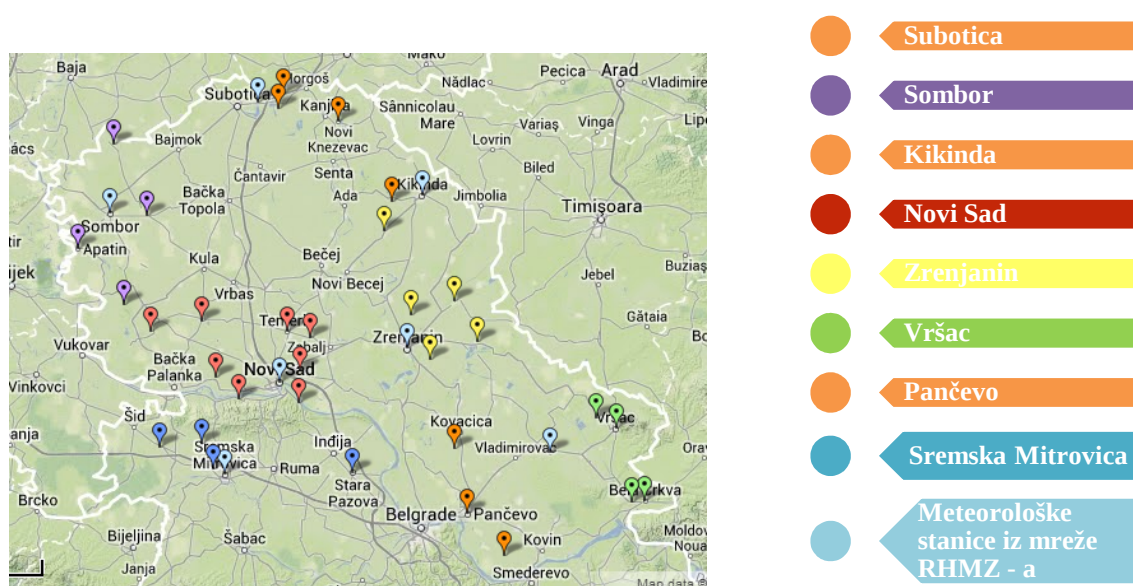
4.1.2. Meteorološke stanice iz mreže PIS - a

Za potrebe realizacije ovog rada korišćene su dnevne količine padavina izmerene na 35 meteoroloških stanica u Vojvodini. U Tabeli 2 se mogu pronaći nazivi regiona kojima pripadaju date stanice, broj stanica za svaki region, kao i geografska dužina i širina datih lokaliteta.

Osmotreni podaci su preuzeti sa internet stranice Portala Prognozo-izveštajne službe zaštite bilja AP Vojvodine: <http://www.pisvojvodina.com>. Na ovoj stranici je omogućen pristup automatskim agrometeorološkim stanicama iMETOS austrijske kompanije Pessl instruments za različite lokacije širom Vojvodine.

Region	Broj meteoroloških stanica	Geografski položaj	
		Geografska širina	Geografska dužina
Subotica	3	46°06' N	19°39' E
Sombor	4	45°47' N	19°07' E
Kikinda	3	45°50' N	20°27' E
Novi Sad	8	45°15' N	19°51' E
Zrenjanin	5	45°23' N	20°22' E
Pančevo	4	44°52' N	20°38' E
Sremska Mitrovica	4	44°59' N	19°37' E
Vršac	4	45°07' N	21°18' E

Tabela 2. Geografski položaji regiona meteoroloških stanica u Vojvodini (Srbija).



Slika 4. Pozicije meteoroloških stanica za date regione u Vojvodini.

4.2. Obrada podataka

4.2.1. Podaci sa meteoroloških stanica iz mreže RHMZ - a

Prostorna analiza padavina mezo razmera obavljena je izračunavanjem korelacije, ρ_{ij} između meteoroloških stanica i i j i kovarijanse, C_{ij} između meteoroloških stanica na osnovu podataka o dnevnim i mesečnim količinama padavina na ovom području. Relacije koje su korišćene za izračunavanje navedenih parametara mogu da se napišu u obliku:

$$\rho_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (1)$$

$$C_{ij} = \frac{1}{n} \sum (x_i - \mu_i)(x_j - \mu_j) \quad (2)$$

gde su: i i j meteorološke stanice, x_i i x_j količine padavina na meteorološkim stanicama i i j [mm], μ_i i μ_j srednje količine padavina na meteorološkim stanicama i i j [mm], σ_i i σ_j standardne devijacije količine padavina [mm], n broj osmatranja, ρ_{ij} korelacija između meteoroloških stanica i i j pri čemu se za ρ_{ii} uzima vrednost 1, i C_{ij} kovarijanse između meteoroloških stanica i i j [mm²].

Koeficijenti ρ_{ij} i C_{ij} su izračunati tako što su podaci o dnevnim količinama padavina za period od 20 godina podeljeni na 5 setova (januar, mart, april, jul i avgust). Kako bi se izbegle nerealno velike vrednosti za koeficijente ρ_{ij} i C_{ij} , dani u kojima su na obe lokacije izostale padavine nisu uzimani u obzir. Ista procedura je sprovedena prilikom analize distribucije mesečnih količina padavina ali su umesto dnevnih korišćene mesečne sume padavina za izabrani mesec u svakoj od godina. S obzirom na to da izabrani koeficijenti opisuju korelaciju između padavina registrovanih na lokalitetima i i j to ih čini matricom čije dimenzije odgovaraju broju stanica. Kako bi se analiza i prikazivanje rezultata delimično pojednostavila, uobičajeno je da se jedan lokalitet izabere za referentni. U ovoj analizi to je bio Zrenjanin.

4.2.2. Podaci sa meteoroloških stanica iz mreže PIS - a

Prostorna analiza padavina malih razmera je manje jednoznačna s obzirom na to da se prethodno iznesena analiza ne može primeniti na niz podataka od 2 godine. Ipak, ovako gusta mreža stanica je dragocena za istraživanje fenomena koji mogu da se uoče samo na malim prostornim i vremenskim razmerama. Iz tog razloga su ovom prilikom analizirane varijacije količine padavina na AMS koje se nalaze na maloj udaljenosti (tipično 5-60 km), u okviru jednog (ili najviše nekoliko) dana, tj. u okviru jedne padavinske epizode i u vreme kada se

javljaju uglavnom frontalne padavine ili kombinacija frontalnih i konvektivnih padavina (april) i konvektivne padavine (jul).

Podaci su prikazani na 290-osnom koordinatnom sistemu u kome svaka osa predstavlja jedan dan, pri čemu se 290 odnosi na 290. dan u godini – 18. oktobar (poslednji dan u godini za koji imamo podatke o količini padavina). Na svakom grafiku kao maksimalna dnevna količina padavina uzet je iznos od 50 mm. Međutim postoji nekoliko stanica (Hajdukovo (2011), Kljaljićevo (2012), Bački Vinograd (2012), Bela Crkva (2011, 2012), Crvena Crkva (2012), Vršac (2011, 2012) i Vršački Ritovi (2011, 2012)) kod kojih dnevna količina padavina premašuje ovaj iznos, zbog čega je na tim graficima ovo odstupanje obeleženo na poseban način.

5. Rezultati

5.1. Prostorna analiza padavina mezo razmera

5.1.1. Analiza zasnovana na dnevnim količinama padavina

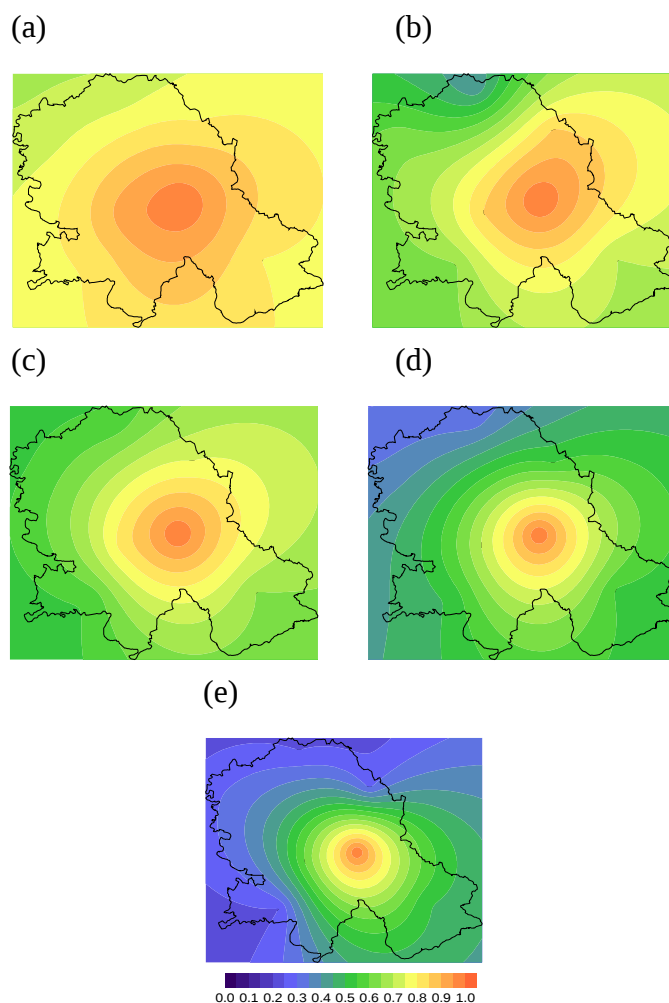
Kao što je i očekivano, korelacije imaju veće vrednosti prilikom sezone frontalnih padavina (januar-mart), nego tokom sezone konvektivnih padavina (jul i avgust) (Tab. 3 i 4). Prilikom sezone KP korelacija ne prelazi vrednost od 0,8, dok su vrednosti tokom sezone FP bliže vrednosti 1. Slika 5 pokazuje prostornu varijabilnost korelacije i može se primetiti da tokom sezone FP (januar) korelacije sporije opadaju sa povećanjem rastojanja dok je ovo opadanje veoma intenzivno tokom sezone KP. Ovo se objašnjava veličinom vremenskih frontova ili ćelija, koje učestvuju u padavinskim procesima. Oblasti sa višim vrednostima korelacije su bile veće tokom sezone FP, nego tokom sezone KP. Korelacije su bile manje koncentrične tokom januara nego tokom jula. Takođe, tokom sezone FP postoji veća usmerenost (anizotropija) u prostornoj varijaciji ρ_{ij} u odnosu na sezonu KP. Naime, može se uočiti da se pravac najvećeg gradijenta ρ_{ij} , (NW-SE) poklapa sa pravcem dominantnog prostiranja frontova u posmatrano doba godine u ovim regionima. Prostorne varijacije ρ_{ij} koje su karakteristične za distribuciju dnevnih količina padavina koje se javljaju u konvektivnim sistemima (KP), tipično pokazuju korelacije, koje brzo opadaju u svim pravcima, pri manjim rastojanjima (*Baigorria et al.*, 2006).

Mesec	Zrenjanin	Palić	Sombor	Kikinda	Novi Sad	Banatski Karlovac	Sremska Mitrovica
	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}
Januar	1,00	0,71	0,72	0,81	0,93	0,80	0,81
Mart	1,00	0,41	0,63	0,85	0,85	0,70	0,64
April	1,00	0,56	0,56	0,75	0,82	0,65	0,56
Jul	1,00	0,32	0,37	0,54	0,70	0,54	0,51
Avgust	1,00	0,25	0,31	0,29	0,61	0,51	0,25

Tabela 3. Korelacija, ρ_{ij} između meteoroloških stanica i i j za januar, mart, april, jul i avgust, zasnovan na dnevnim količinama padavina.

Mesec	Srednja vrednost ρ_{ij}	Standardna devijacija ρ_{ij}
Januar	0,83	0,10
Mart	0,73	0,18
April	0,70	0,16
Jul	0,57	0,21
Avgust	0,46	0,26

Tabela 4. Srednja vrednost i standardna devijacija korelacije za januar, mart, april, jul i avgust, zasnovan na dnevnim količinama padavina.



Slika 5. Prostorna varijacija korelacije, na osnovu količine dnevnih padavina (1986 - 2005).

(a) januar, (b) mart, (c) april, (d) jul, (e) avgust.

5.1.2. Analiza zasnovana na mesečnim količinama padavina

Na osnovu podataka o mesečnim količinama padavina izračunate su vrednosti koeficijenta korelacije, ρ_{ij} (Tab. 5) i njegove standardne devijacije (Tab. 6) za izabrane lokalitete u Vojvodini u odnosu na Zrenjanin. Iz prikazanih rezultata može se uočiti da su vrednosti ρ_{ij} dobijene za mesec januar (sezona FP) veće nego za jul (sezona KP). Postoji razlika u prostornoj distribuciji korelacije izračunate na osnovu dnevnih i mesečnih količina padavina pri čemu su vrednosti dobijene u slučaju mesečnih podataka veće od odgovarajućih vrednosti izračunatih na osnovu dnevnih količina padavina. Međutim, može takođe da se zapazi da se orijentacija najvećih gradijenata ρ_{ij} poklapa u oba slučaja. Prostorna varijabilnost koeficijenta korelacije, koji je dobijen na osnovu mesečnih količina padavina (standardna devijacija 0.04-0.14) je manje izražena nego u slučaju dnevnih količina padavina (standardna devijacija 0.1-0.26) (Tab. 6 i 4). Ovo je posledica činjenice da su dnevne količine padavina

povezane sa veličinama padavinskih ćelija koje proizvode padavine u datim padavinskim epizodama. Međutim u slučaju mesečnih podataka, padavinske varijacije su regulisane različitim klimatskim, okeanskim, topografskim i geografskim faktorima. Stoga bi mesečni podaci o količini padavina mogli da budu korisni za obezbeđivanje sezonske prognoze padavina, čija je pojava povezana sa atmosferskim cirkulacijama.

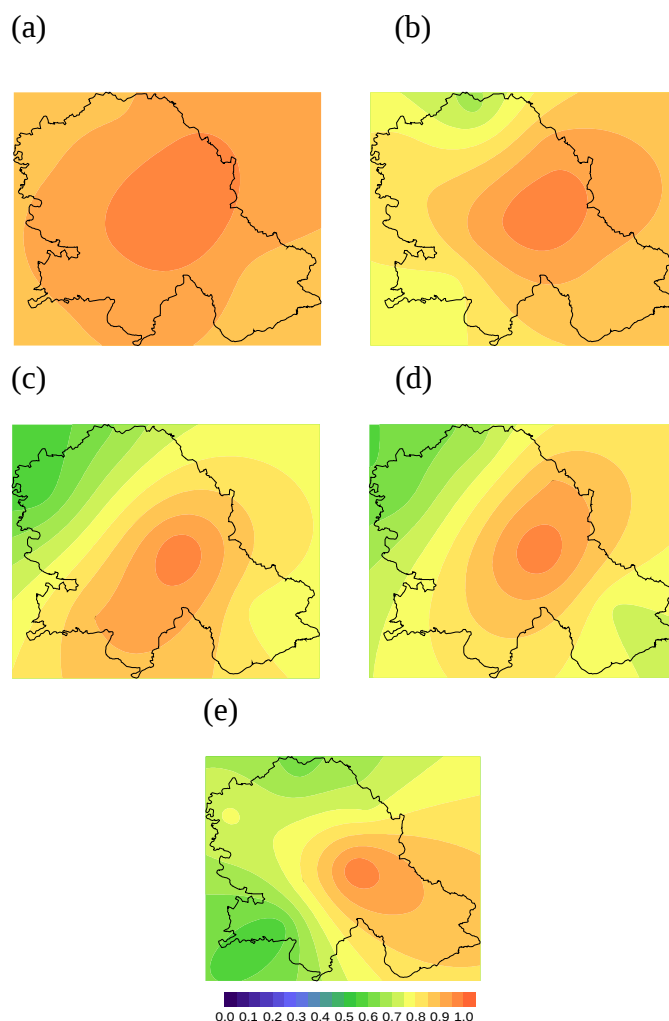
Na slici 6 možemo primetiti da se oblasti u kojima su koeficijenti korelacije homogeni, malo menjaju sa udaljenošću od referentne stanice. Takođe, gradijenti koeficijenta korelacije su manji prilikom korišćenja mesečnih, nego prilikom korišćenja dnevnih podataka (Baigorria *et al.*, 2006).

Mesec	Zrenjanin	Palić	Sombor	Kikinda	Novi Sad	Banatski Karlovac	Sremska Mitrovica
	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}	ρ_{ij}
Januar	1	0,89	0,89	0,96	0,97	0,88	0,91
Mart	1	0,68	0,84	0,93	0,93	0,87	0,78
April	1	0,66	0,56	0,83	0,89	0,78	0,90
Jul	1	0,67	0,61	0,9	0,88	0,74	0,83
Avgust	1	0,63	0,76	0,73	0,81	0,89	0,57

Tabela 5. Korelacija između meteoroloških stanica i i j za januar, mart, april, jul i avgust, zasnovan na mesečnim količinama padavina.

Mesec	Srednja vrednost ρ_{ij}	Standardna devijacija ρ_{ij}
Januar	0,93	0,04
Mart	0,86	0,10
April	0,80	0,14
Jul	0,80	0,13
Avgust	0,77	0,14

Tabela 6. Srednja vrednost i standardna devijacija korelacije za januar, mart, april, jul i avgust, zasnovan na mesečnim količinama padavina.



Slika 6. Prostorna varijacija korelacije, na osnovu količine mesečnih padavina (1986 - 2005).

(a) januar, (b) mart, (c) april, (d) jul, (e) avgust.

5.2. Prostorna analiza padavina malih razmera

Prostorna analiza padavina malih razmera izvršena je na osnovu podataka koje smo preuzeli sa 35 meteoroloških stanice čije lokacije se nalaze u regionima meteoroloških stanica iz mreže RHMZ koje su korišćene za analizu padavina mezo razmera. Analizom je obuhvaćene period od 1. januara do 18. oktobra tokom 2011. i 2012. godine. Zbog uštede u prostoru, u radu neće biti prikazani rezultati dobijeni za sve ispitivane stanice, već samo oni na kojima se jasno uočava prostorna i vremenska (sezonska) varijabilnost padavina te se stoga mogu smatrati i najreprezentativnijima. U daljoj analizi biće korišćeni podaci iz dva regiona u Bačkoj (Novi Sad i Subotica), dva u Banatu (Vršac i Pančevo) i jednog u Sremu (Sremska Mitrovica).

Analiza se odnosi na prelazni period u kome se javljaju i frontalne i konvektivne padavine (april: 91-120 dan u godini) i period konvektivnih padavina (jul: 182-212 dan u

godini). KP su karakteristične za letnji period godine (jul i avgust) međutim javljaju se i u prelaznim periodima kao što je april. Naravno, u ovo doba godine se javljaju takođe i frontalne padavine, međutim analiziranjem podataka razdvojili smo periode kada su padavine bile frontalnog tipa u odnosu na konvektivne. Ono što se želi identifikovati jeste da na relativno bliskim lokalitetima postoji značajna razlika u količini KP padavina dok je u slučaju FP ova razlika manje izražena.

Prilikom analize prostorne distribucije na malim razmerama u Vojvodini, važno je imati u vidu da je Vojvodina kao deo Panonske nizije, najvećim delom opkoljena planinskim masivima, što ima znatnog uticaja na formiranje osnovnih klimatskih obeležja. Veća otvorenost Vojvođanskog područja prema severu i zapadu uslovljava jače uticaje vazdušnih strujanja i vremenskih promena iz ovih pravaca. Severne i južne padine Fruške gore, Vršačke planine kao i zapadne padine Karpata sa svoje strane utiču poznatim orografskim efektom na povećanje broja oblačnih dana i padavina. Česti prolazi barometarskih depresija južno i zapadno od Vojvodine dovode, najčešće, do prodora vlažnog atlantskog vazduha sa severozapada i izlučivanja obilnijih padavina u zapadnom delu Pokrajine. Brdoviti predeli Fruške Gore i Vršačkih planina izazivaju prisilno uzdizanje i povećano izlučivanje padavina u ne tako uzanom pojasu oko ovih područja. Prethodno izložena saznanja se u potpunosti slažu sa rezultatima koji su prikazani na Slikama 6-11. Pojava konvektivnih padavina u letnjem periodu je veoma izražena u prethodno spomenutim područjima.

Padavine koje se javljaju na području Vršca (Sl. 7) su veoma upečatljive i posledice su orografskog uzdizanja vazdušnih masa. Tu se može uočiti i određena pravilnost u raspodeli padavina, pošto se obe godine, krajem jula dešava skoro identična situacija, stim da je 2012. količina padavina bila mnogo veća nego 2011. Takođe se i najveća količina padavina u posmatranom periodu javljala u ovom regionu. Tokom jula, sa izuzetkom Crvene Crkve, na svim lokalitetima mogu da se uoče kratkotrajne, intenzivne padavine.

Za region Pančevo (Sl. 8), koji se takođe nalazi u Banatu, može se primetiti da su najveće količine padavina na lokalitetima: Banatski Karlovac, Banatski Brestovac i Pančevo. Ipak, konvektivne padavine ne mogu da se uoče jasno u Pančevu tokom leta 2011. niti na lokalitetu Debeljača tokom 2012. što svedoči o tome koliko su konvektivne padavine lokalne prirode.

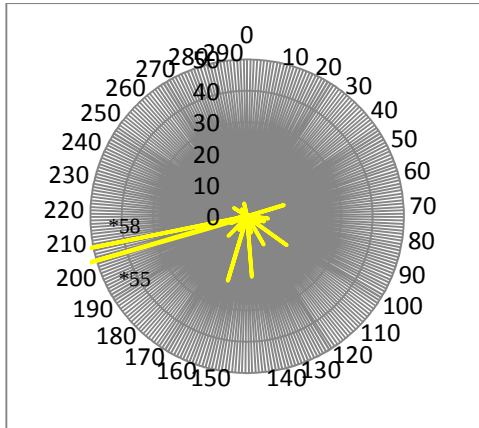
U slučaju Novog Sada (Sl. 9) možemo primetiti da se najveća količina padavina javlja na lokalitetu Gložan koji je u blizini leve obale Dunava, kao i mestima Čerević i Sremski Karlovci koja se nalaze sa navetrene strane Fruške Gore u odnosu na pravac dominantnih vetrova u posmatrano doba godine. Ova količinina padavina je značajno veća od one koja je zabeležena na lokalitetima Temerin, Gospođinci i Selenča koji se nalaze u središnjem delu

Bačke. Naime, najseverniji pojas Pokrajine, a takođe i središnja područja Bačke i Banata predstavljaju zone zastoja, u kojima prodori vlažnog vazduha usporavaju kretanje, jednom rečju smanjuju svoju aktivnost i ne izlučuju padavine u istom iznosu kao na zapadu, jugu i istoku. To su, ujedno, područja sa najmanjim visinama padavina u Pokrajini. Od ove teorije jedino odstupa Despotovo, kod kojeg su se 2011. godine javljale veoma izražene konvektivne padavine što je još jedan dokaz njihove lokalne prirode.

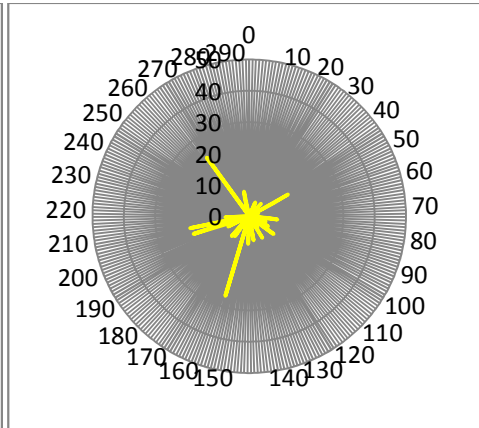
Najzad, rečne oblasti i doline opasane vegetacijom, stvaraju u izvesnom smislu bolje uslove za obrazovanje oblaka a pri tome i za veća izlučivanja padavina. Ako pogledamo rezultate dobijene za Sremsku Mitrovicu (Sl. 10), možemo primetiti da se najveća količina konvektivnih padavina pojavljuje u Lačarku, koji se nalazi veoma blizu reke Save. Takođe, rezultati dobijeni za Suboticu (Sl. 11) pokazuju da se izrazite konvektivne padavine javljaju u slučaju Hajdukova, koji se nalazi neposredno pored Ludaškog jezera i Bačkih Vinograda.

Padavinske epizode tokom aprila mogu da se uoče, u približno isto vreme na svim lokalitetima ali sa različitim, relativno malim količinama.

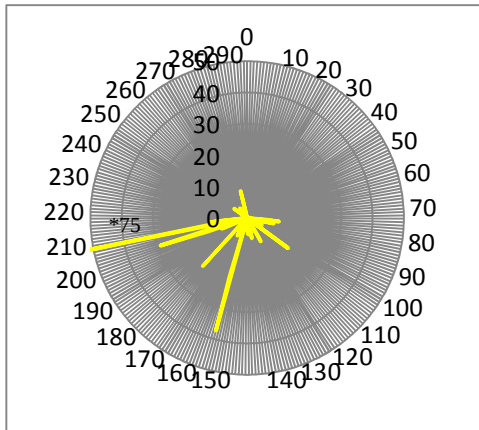
(1a)



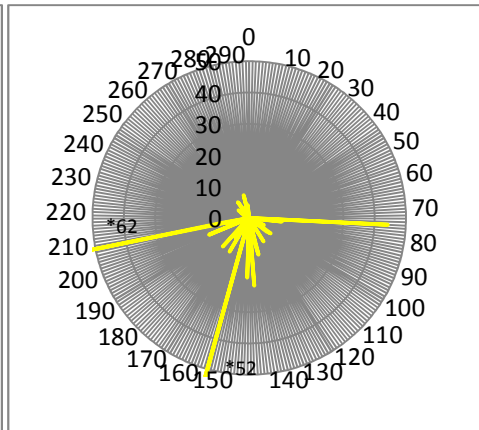
(1b)



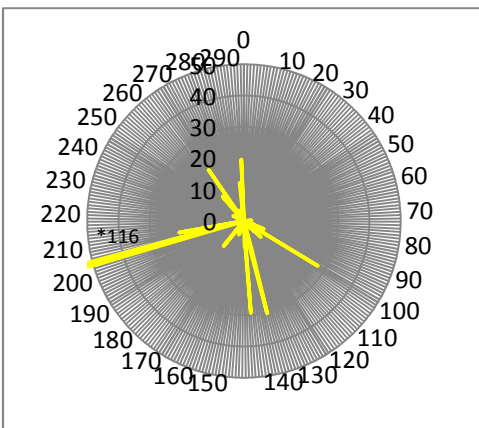
(1c)



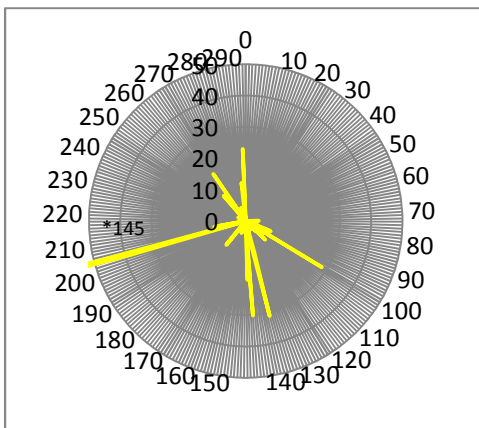
(1d)



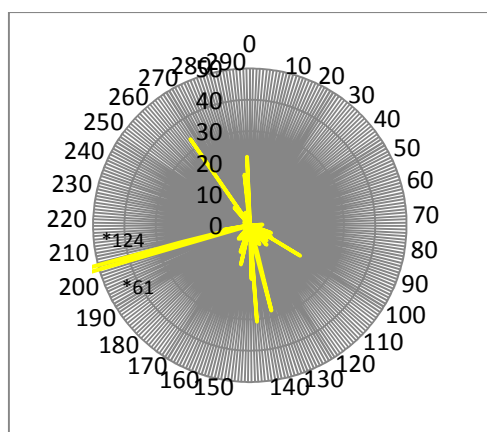
(2a)



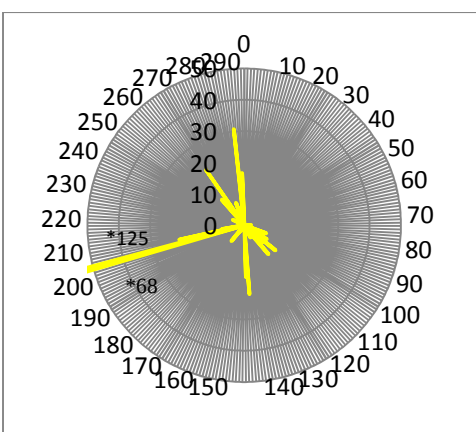
(2b)



(2c)

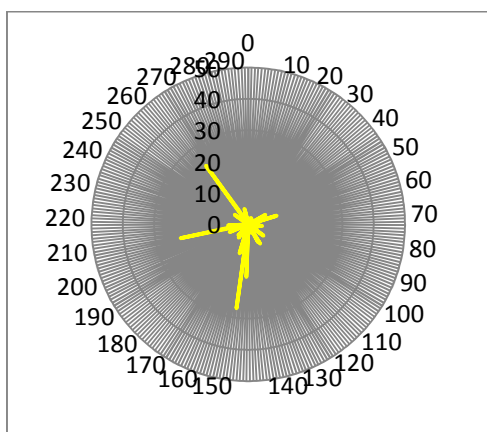


(2d)

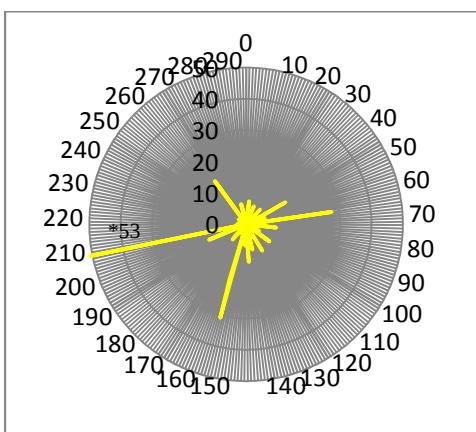


Slika 7. Količine padavina za Vršac: (1a) Bela Crkva 2011, (1b) Crvena Crkva 2011, (1c) Vršac 2011, (1d) Vršački Ritovi 2011, (2a) Bela Crkva 2012, (2b) Crvena Crkva 2012, (2c) Vršac 2012, (2d) Vršački Ritovi 2012.

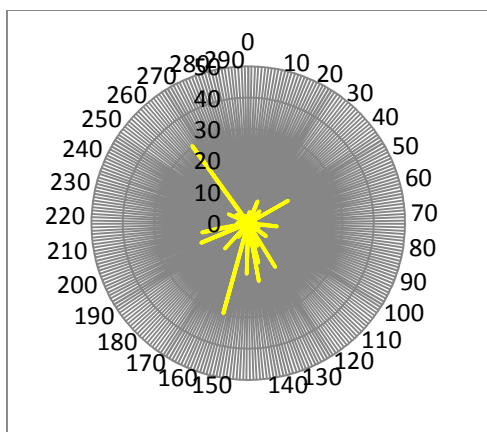
(1a)



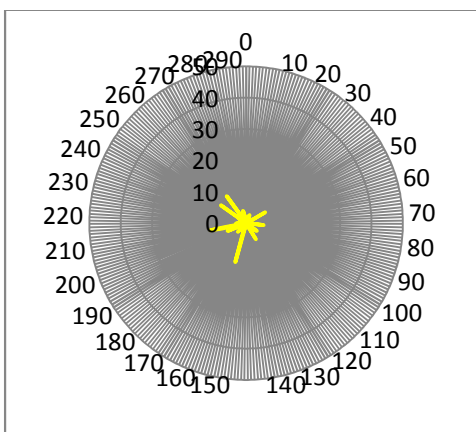
(1b)

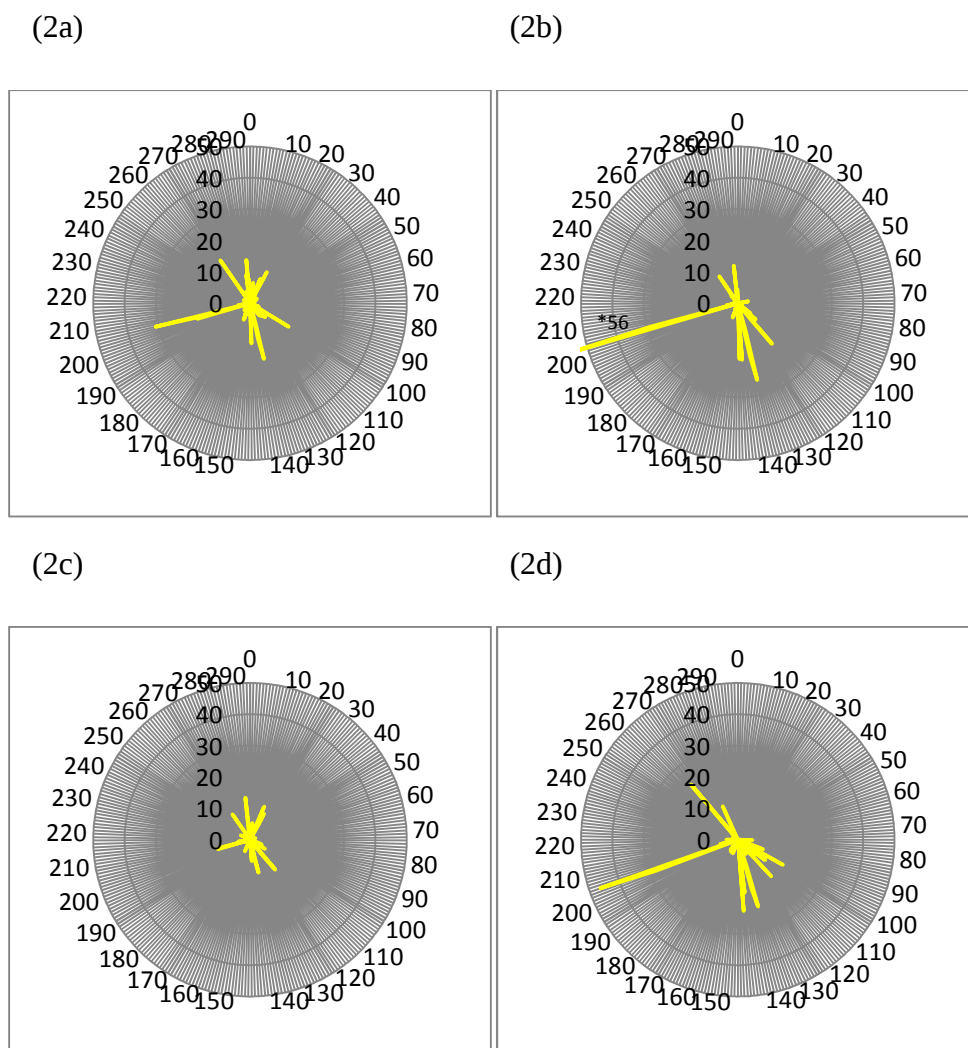


(1c)

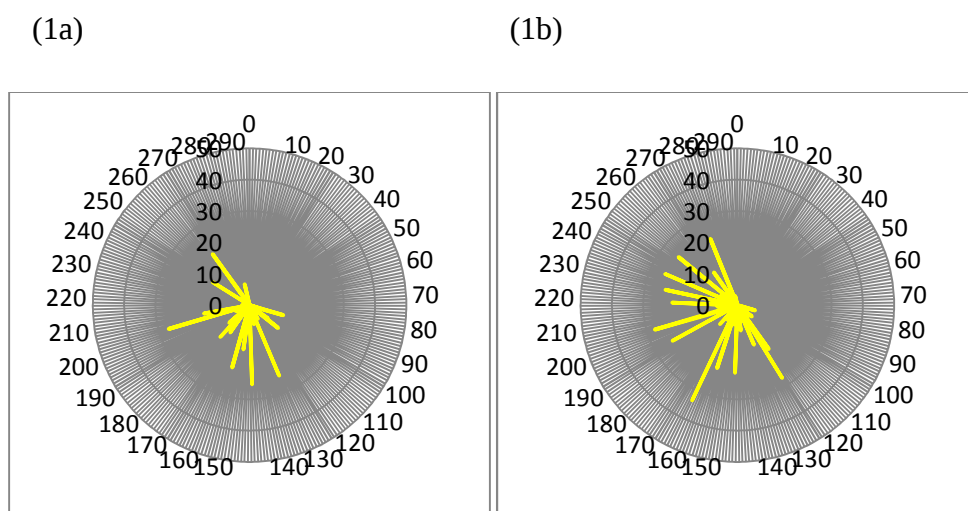


(1d)

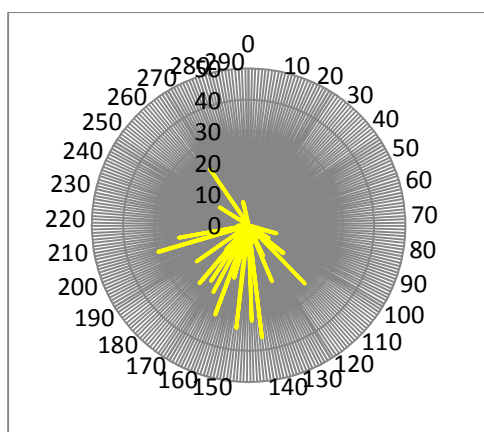




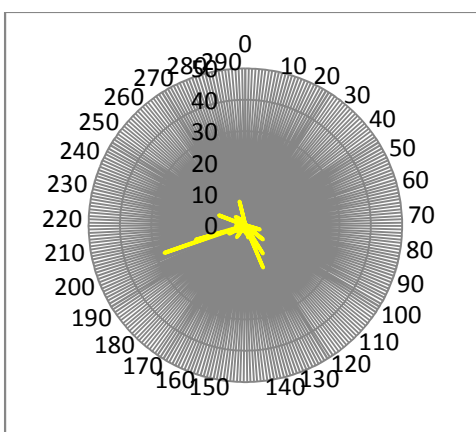
Slika 8. Količine padavina za Pančevo: (1a) Banatski Brestovac, (1b) Banatski Karlovac 2011, (1c) Debeljača 2011, (1d) Pančevo 2011, (2a) Banatski Brestovac 2012, (2b) Banatski Karlovac 2012, (2c) Debeljača 2012, (2d) Pančevo 2012.



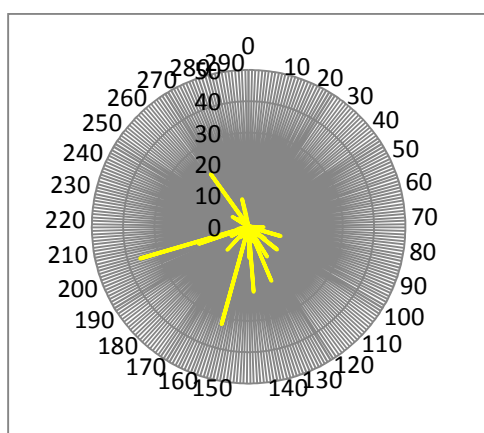
(1c)



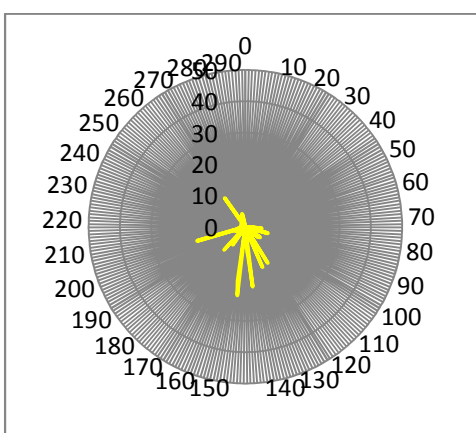
(1d)



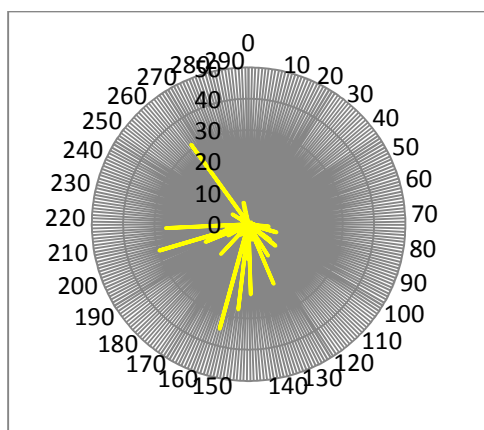
(1e)



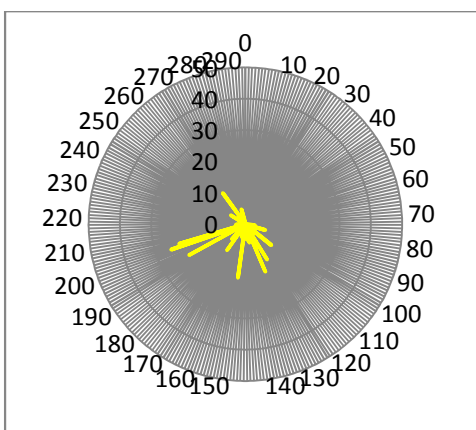
(1f)



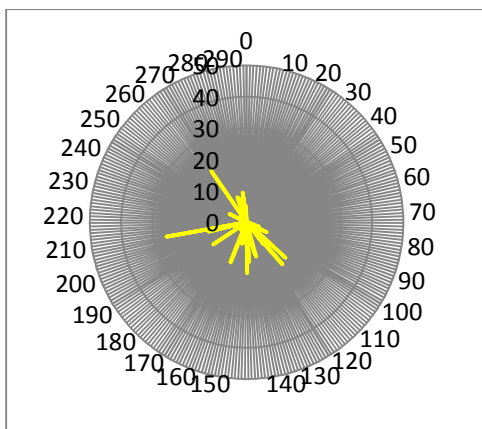
(1g)



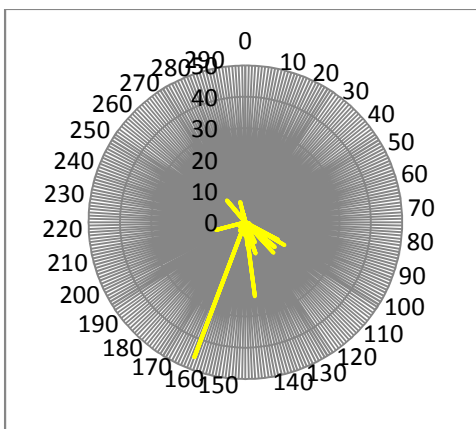
(1h)



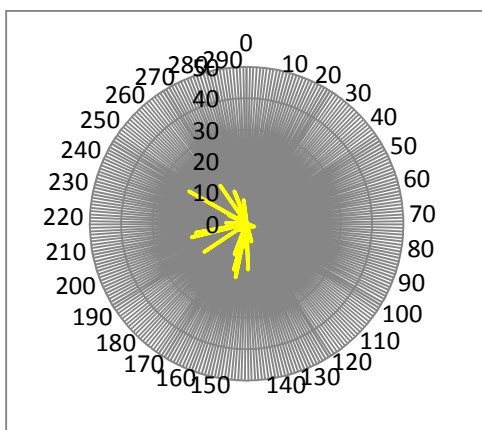
(2a)



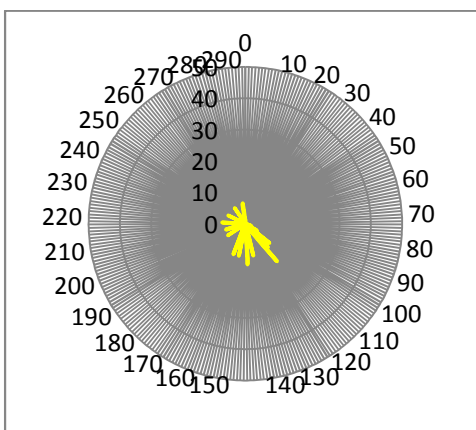
(2b)



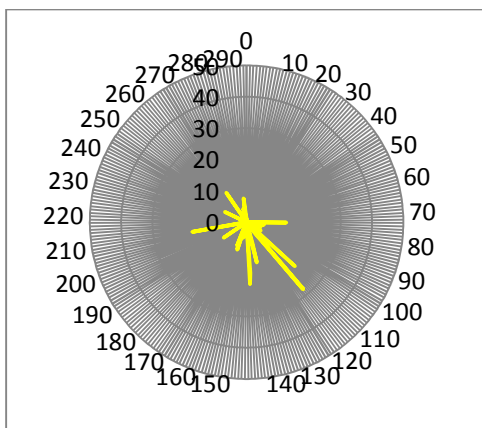
(2c)



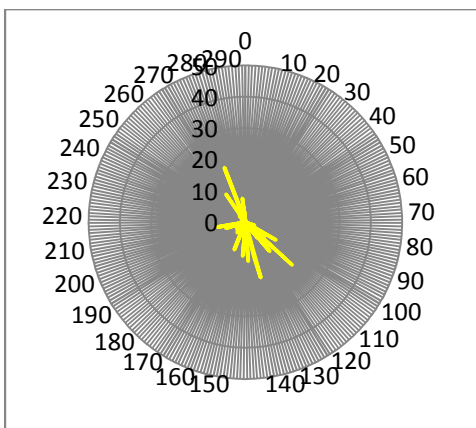
(2d)



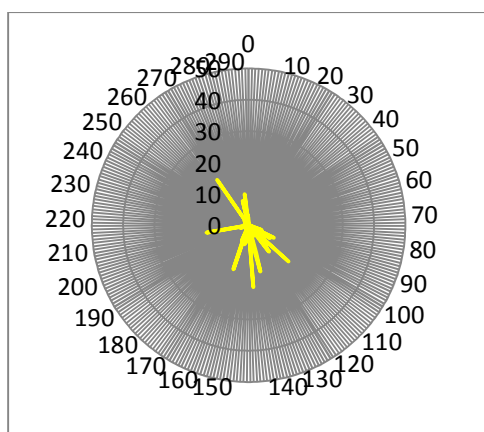
(2e)



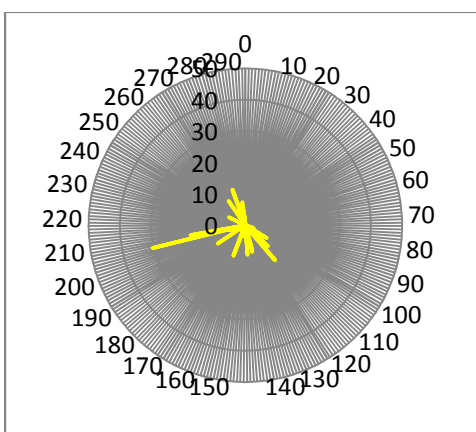
(2f)



(2g)

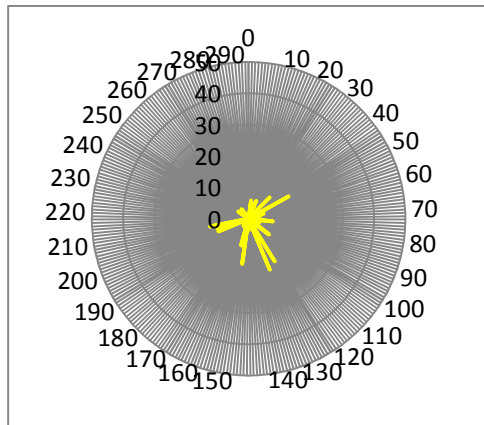


(2h)

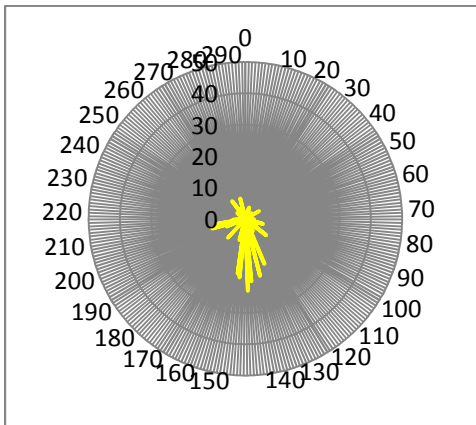


Slika 9. Količine padavina za Novi Sad: (1a) Čerević 2011, (1b) Despotovo 2011, (1c) Gložan 2011, (1d) Gospodinci 2011, (1e) Kać 2011, (1f) Selenča 2011, (1g) Sremski Karlovci 2011, (1h) Temerin 2011, (2a) Čerević 2012, (2b) Despotovo 2012, (2c) Gložan 2012, (2d) Gospodinci 2012, (2e) Kać 2012, (2f) Selenča 2012, (2g) Sremski Karlovci 2012, (2h) Temerin 2012.

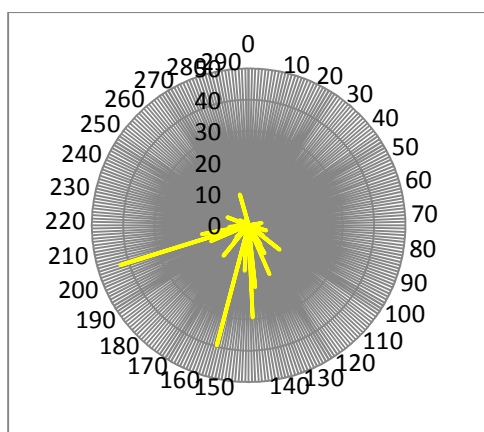
(1a)



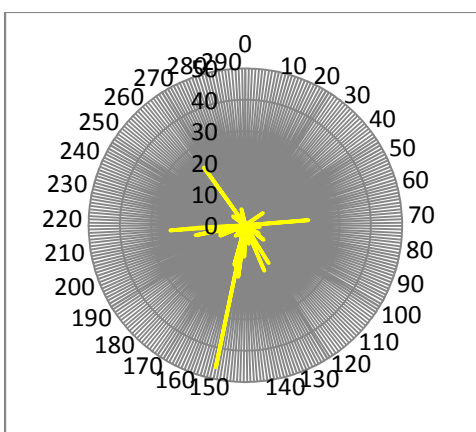
(1b)



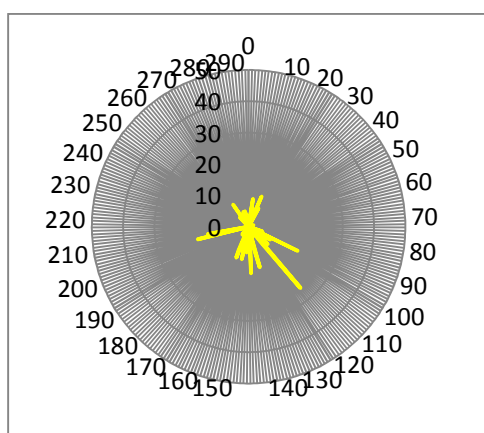
(1c)



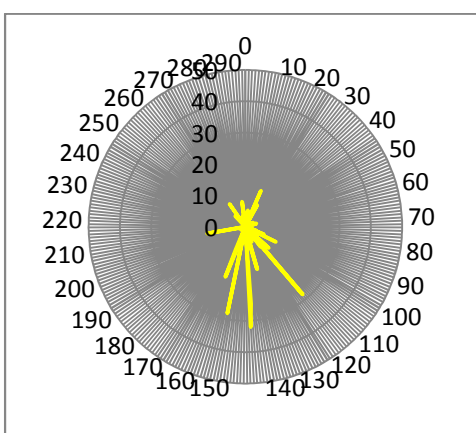
(1d)



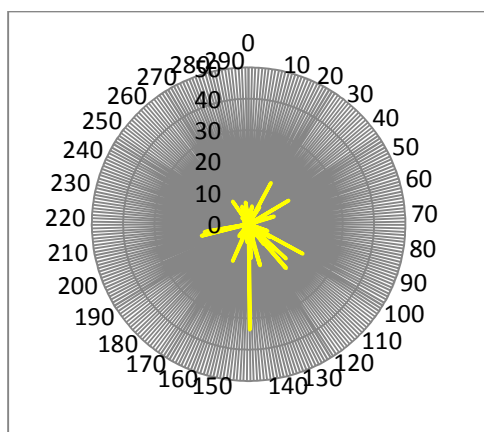
(2a)



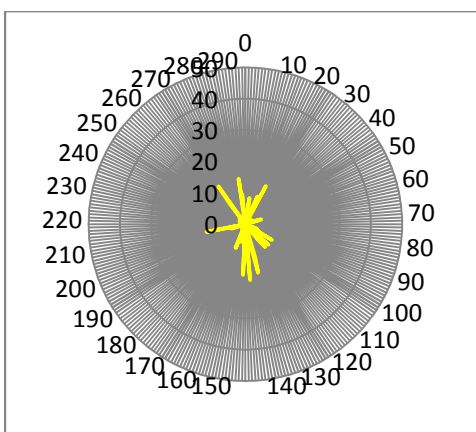
(2b)



(2c)

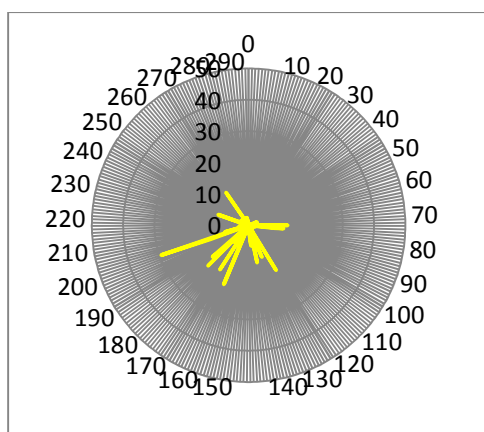


(2d)

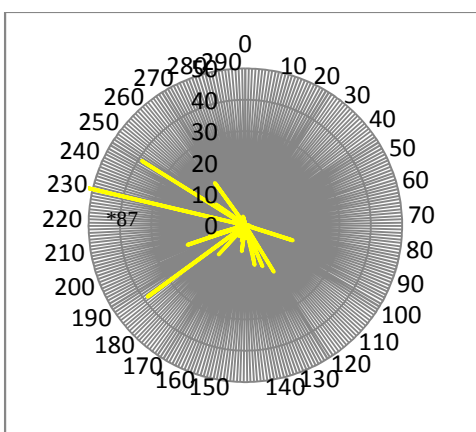


Slika 10. Količine padavina za Sremsku Mitrovicu: (1a) Čalma, (1b) Kukujevcu 2011, (1c) Laćarak 2011, (1d) Stara Pazova 2011, (2a) Čalma 2012, (2b) Kukujevcu 2012, (2c) Laćarak 2012, (2d) Stara Pazova 2012.

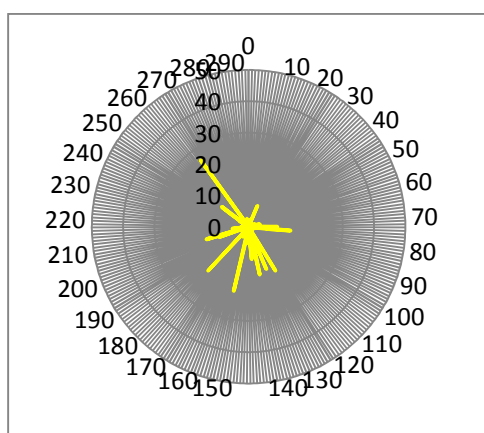
(1a)



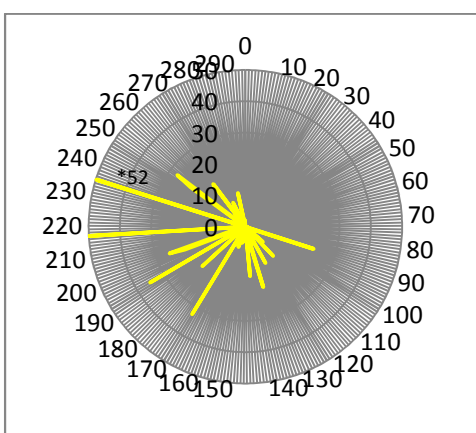
(1b)



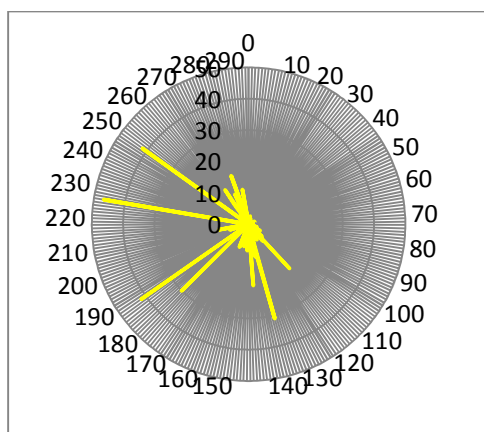
(1c)



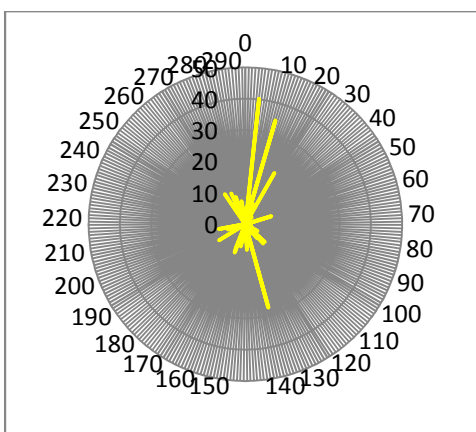
(2a)



(2b)



(2c)



Slika 11. Količine padavina za Suboticu: (1a) Bački Vinogradi 2011, (1b) Hajdukovo 2011, (1c) Palić 2011, (2a) Bački Vinogradi 2012, (2b) Hajdukovo 2012, (2c) Palić 2012.

6. Zaključak

Oblaci i padavine igraju veoma važnu ulogu u globalnom hidrološkom i energetskom ciklusu. Mogućnost da se precizno predstave njihovi efekti je od ključnog značaja ne samo za meteorologiju već i za mnoge druge nauke kao i za brojne praktične primene (poljoprivreda, saobraćaj, energetika i sl.).

Ako ljudi mogu nenamerno da modifikuju klimu i vreme, onda bi oni trebalo da budu u stanju da čine namerne promene u karakteristikama zemljišta, koje modifikuju klimu i vreme na konstruktivan način (Anthes, 1984). Prvi korak ka realizaciji prethodno opisanog jeste utvrđivanje zakonitosti koje se javljaju u prostornoj distribuciji oblaka i padavina. Takođe, sa stanovišta poljoprivredne proizvodnje od prvorazrednog značaja je poznavanje prostorne i vremenske distribucije padavina. Ovaj zahtev naročito dolazi do izražaja tokom poslednjih nekoliko decenija kada su varijabilnost padavina i pojava sušnih regiona (povećanje broja sušnih dana) na malim razmerama postali jedna od karakteristika klime ovog područja (Lalić *et al.*, 2012).

U ovom radu analizirana je prostorna distribucija padavina u Vojvodini na mezo i malim razmerama. Na osnovu podataka o padavinama osmotrenim u okviru mreže meteoroloških stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RHMZ) u Vojvodini (Palić, Sombor, Kikinda, Novi Sad, Zrenjani, Banatski Karlovac, Sremska Mitrovica), u periodu 1986.-2005., izvršena je analiza prostorne distribucije padavina u Vojvodini na mezo razmerama. Ovo je obavljeno izračunavanjem kovarijanse C_{ij} i prostorne korelacije ρ_{ij} između meteoroloških stanica i i j za mesece: januar (frontalne padavine), mart i april (prelazni period), jul i avgust (konvektivne padavine). Izabrani parametri su izračunati na osnovu dnevnih i mesečnih količina padavina za izabrane lokalitete. Takođe, na osnovu podataka o količini padavina za 2011. i 2012. godinu izmerenih u okviru mreže automatskih meteoroloških stanica (AMS) Prognozo-izveštajne službe (PIS) Vojvodine, analizirana je prostorna distribucija padavina malih razmera u Vojvodini. Posebna pažnja je posvećena uticaju stanja površine na distribuciju padavina u slučaju velike varijacije padavina u okviru malih prostornih i vremenskih razmera.

Na osnovu obavljene analize dobijenih rezultata može se zaključiti da postoji jasno izražena prostorna distribucija padavina u Vojvodini. Za FP karakteristično je da se koeficijent korelacije malo menja sa udaljavanjem od referentne stanice, tj. karakterišu ih homogene oblasti na prostoru Vojvodine. Povećanje prostornog gradijenta koeficijenta korelacije može se uočiti u prelaznom periodu, a najveće su u periodu KP. Tokom sezone FP

postoji veća usmerenost (anizotropija) u prostornoj varijaciji ρ_{ij} u odnosu na sezonu KP. Ovaj efekat je manje izražen u slučaju mesečnih podataka, kada efekti malih prostornih razmera ne dolaze do izražaja.

Slični efekti su prikazani i analizom prostorne varijabilnosti malih razmera, gde su uočeni lokaliteti sa izrazito manjom količinom padavina u odnosu na okolne lokalitete. Ovi rezultati mogu biti dragoceni za planiranje navodnjavanja, procenu sadržaja vlage u zemljištu i lokalne pojave suše, a takođe daju mogućnost proizvođačima da u periodu kada su najavljene FP, mogu očekivati da će celi regioni biti obuhvaćeni padavinama. S druge strane, izražena prostorna varijabilnost padavina i njen konvektivni karakter ukazuje na to da je nemoguće sa sigurnošću prognozirati pojavu padavina u razmeri od nekoliko dana, naročito na malim prostornim razmerama. Na relativno bliskim lokalitetima postoji značajna razlika u količini KP padavina dok je u slučaju FP ova razlika manje izražena.

7. Literatura

1. Ahrens D. C., 2001: Essentials of Meteorology. *Pacific Grove, CA*, pp. 454.
2. Andre J. C., Bougeault P., Mahfouf J-F, Mascart P., Noilhan J., Pinty J-P., 1989: Impacts of forest on mesoscale meteorology. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **B324**, 40- 422.
3. Anthes R.A 1984: Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative cover in semiarid regions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **23**, 541-554.
4. Avissar R., Liu Y., 1996: Three – dimensional numerical study of shallow convective clouds and precipitation induced by land surface forcing. *Journal of Geophysical Research* , **101**, 7499-7518.
5. Bacchi, B., Kottegoda. N. T. 1995: Identification and calibration of spatial correlation patterns of rainfall. *J. Hydrol* **165**, 311-348.
6. Baigorria A. G., Jonesa W. J., O'Brien J. J., 2006: Understanding rainfall spatial variability in southeast USA at different timescales. *International journal of climatology* **27**, 749-760.
7. Blyth E. M., Dolman A. J., Noilhan J., 1994: The effect of forest on mesoscale rainfall: An example from HARPEX – MOBILHY. *Journal of Applied Meteorology*, **33**, 445 – 454.
8. Brooks C. E. P., 1928: The influence of forests on rainfall and runoff. *Quart J. Roz. Meteor. Soc.*, **54**, 1-7.
9. Chen F., Avissar R., 1994: Impact of land – surface moisture variability on local shallow convective cumulus and precipitation in large – scale models. *Journal of Applied Meteorology*, **33**, 1382-140.
10. Collins D., Avissar R., 1994: An evaluation with the Fourier amplitude sensitivity test (FAST) of which land-surface parameters are of greatest importance for atmospheric modeling. *J. Climate*, **7**, 681-703.
11. Cotton W. R., Anthes R. A., 1989: Storm and Cloud Dynamics. *Academic Press, San Diego, CA*, pp. 883.
12. Dalu G. A., Pielke R. A., Baldi M., Zeng X., 1996: Heat and momentum fluxes induced by thermal inhomogeneities. *Journal of Atmospheric Science*, **53**, 3286-3302.
13. Elfatih A., Eltahir B., 1998: A soil moisture–rainfall feedback mechanism. *Water resources research*, **34(4)**, 765-776.

14. Katić P., Đukanović D., Đaković P., 1979: Klima SAP Vojvodine. *Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*, str. 237.
15. Lalić B., Eitzinger J., Mihailović D.T., Thaler S. and Jančić M., 2012: Climate change impacts on winter wheat yield change – which climatic parameters are crucial in Pannonian lowland?. *The Journal of Agricultural Science*, Available on CJO doi:10.1017/S0021859612000640.
16. Mesinger F., Janjić Z. I., 1989: Meteorologija Deo I. *Institut za meteorologiju, Fizički fakultet, Beograd*.
17. Mihailović D. T., Lalić B., Arsenić I., 2008: Praktikum iz meteorologije. *Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*, str. 261.
18. Pielke R. A. Sr., 2001: Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Reviews of Geophysics*, **39**, 151-177.
19. Pielke R. A., Avissar R., Raupach M., Dolmann J. A., Zeng X., Denning S., 1998: Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate. *Global Change Biology* **4**, 461-475.
20. Rabin R. M., Stadler S., Wetzel P. J., Stensrud D. J., Gregory M., 1990: Observed effects of landscape variability on convective clouds. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **71**, 272-280.
21. Rosenan N., 1963: *Changes of climate. Proc. Rome Symp., UNESCO, WMO*, 67-73.
22. Sen Z., Habib Z., 2001: Monthly spatial rainfall correlation functions and interpretations for Turkey. *Hydrological Sciences-Journal* **46(4)**, 525-535.
23. Stebbing E. P., 1935: *The encroaching Sahara. Geogr. J.*, **86**, 509-510.
24. Taylor C. A., Said F., Lebel T., 1997: Interactions between the land surface and mesoscale rainfall variability during HAPAX-Sahel. *Monthly Weather Review*, **125(9)**, 2211-2227.
25. Walker J., Rowntree P. R., 1977: The effects of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model. *Qurt. J. Roy. Meteor. Soc.*, **103**, 29-46.
26. Wikipedia contributors, (verzija tekta: Oktobar 14, 2013a): Padavina. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, <http://bs.wikipedia.org/wiki/Padavina>
27. Wikipedia contributors, (verzija tekta: Oktobar 1, 2013b): Precipitaiton. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Precipitation>
28. Wikipedia contributors, (verzija tekta: Oktobar 15, 2013c): Precipitatin types. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, http://en.wikipedia.org/wiki/Precipitation_types

29. Wikipedia contributors, (verzija teksta: Oktobar 8, 2013d): Vojvodina. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Vojvodina>

BIOGRAFIJA

Beata Bukosa je rođena 14.01.1989. godine u Zrenjaninu. Osnovnu školu „Sonja Marinković“ i gimnaziju „Zrenjaninska Gimnazija“ završila je u Zrenjaninu. Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, Departman za fiziku, smer fizičar-meteorolog upisala je 2007. godine. Diplomске-master studije na istom fakultetu, modul fizika-meteorologija upisala je 2011. godine.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Master rad

VR

Autor:

Beata Bukosa

AU

Mentor:

Prof. dr. Darko Kapor, Prof. dr. Branislava Lalić

MN

Naslov rada:

Analiza prostorne distribucije padavina u Vojvodini (2011 - 2012)

NR

Jezik publikacije:

Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda:

Srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Republika Srbija

ZP

Uže geografsko područje:

Vojvodina

UGP

Godina:

2013

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa:

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

MA

Fizički opis rada:

(poglavlja/strana/citata/tabela/slika/grafika/priloga)

FO

Naučna oblast:

Fizika

NO

Naučna disciplina:

Meteorologija

ND

Predmetna odrednica/ključne reči

Količina padavina, prostorna distribucija padavina, faktori koji utiči na prostornu distribuciju padavina, konvektivne padavine, frontalne padavine

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

Važna napomena:

VN

nema

Izvod:

IZ

Na osnovu podataka o padavinama osmotrenim u okviru mreže meteoroloških stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RHMZ) u Vojvodini (Palić, Sombor, Kikinda, Novi Sad, Zrenjani, Banatski Karlovac, Sremska Mitrovica), u periodu 1986-2005, obavljena je analiza prostorne distribucije padavina u Vojvodini na mezo razmerama (100 – 1000 km). Ovo je obavljeno izračunavanjem korelacije ρ_{ij} i kovarijanse C_{ij} između meteoroloških stanica i i j za mesece: januar (frontalne padavine), mart i april (prelazni period), jul i avgust (konvektivne padavine). Izabrani parametri su izračunati na osnovu dnevnih i mesečnih količina padavina za izabrane lokalitete. Takođe, na osnovu podataka o količini padavina za 2011 i 2012 godinu izmerenih u okviru mreže automatskih meteoroloških stanica (AMS) Prognoznno-izveštajne službe (PIS) Vojvodine, analizirana je prostorna distribucija padavina malih razmera (do 100 km) u Vojvodini. Posebna pažnja je posvećena uticaju stanja površine na distribuciju padavina u slučaju velike varijacije padavina u okviru malih prostornih i vremenskih razmera.

Datum prihvatanja teme od NN

veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Član:

Član:

7.10.2013

31.10.2013

Dr Darko Kapor, red. prof.

Dr Branislava Lalić, vanr. prof., mentor

Dr Igor Balaž

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Beata Bukosa

AU

Mentor/comentor:

Darko Kapor, PhD, Branislava Lalić, PhD

MN

Title:

Analysis of spatial distribution of precipitation in Vojvodina
(2011 - 2012)

TI

Language of text:

Serbian (Latin)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2013

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića
4, Novi Sad

PP

Physical description:

(7/49/0/6/11/0/0)

PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Meteorology

SD

Subject/ Key words:

The amount of precipitation, spatila distribution of rainfall,
factors that influence the spatial distribution of precipitation,
convective precipitation, frontal precipitation

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

Based on precipitation data, observed from the network of
meteorological stations of the Republic Hydrometeorological

AB

Service of Serbia (RHMZ) in Vojvodina (Palic, Sombor, Kikinda, Novi Sad, Zrenjanin, Banatski Karlovac, Sremska Mitrovica), in the period 1986-2005, an analysis was made of the spatial distribution of precipitation in Vojvodina on meso scales (10 – 100 km). This is done by calculating the correlation ρ_{ij} and covariance C_{ij} between weather stations i and j for months: January (frontal precipitation), March and April (transition period), July and August (convective precipitation). The selected parameters are calculated based on the daily and monthly rainfall amount for the selected locations. Also, based on the data of rainfall in 2011 and 2012, measured in a network of automatic weather stations (AMS) of Forecasting – reporting service (PIS) of Vojvodina, an analysis was made of the spatial distribution of precipitations on small scales (up to 100 km) in Vojvodina. Special attention is given to the influence of surface conditions on the distribution of precipitation in the case of large variations in rainfall within the small spatial and temporal scale.

7.10.2013

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

31.10.2013

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Darko Kapor, PhD, full professor

Member:

Branislava Lalić, PhD, Associate professor, mentor

Member:

Igor Balaž, PhD