

## ПРОМЕНЕ КОЛИЧИНЕ ПАДАВИНА У ПОДГОРИЦИ У ПЕРИОДУ 1951-2010.

ВЛАДАН ДУЦИЋ<sup>1</sup>, ДРАГАН БУРИЋ<sup>2\*</sup>, ЈЕЛЕНА ЛУКОВИЋ<sup>1</sup>, ГОРИЦА СТАНОЈЕВИЋ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски трг 3/3, Београд, Србија

<sup>2</sup>Хидрометеоролошког завода Црне Горе, IV Пролетерске 19, Подгорица, Црна Гора

<sup>3</sup>Географски институт "Јован Цвијић" Српске академије наука и уметности, Буре Јакишића 9, Београд, Србија

**Сажетак:** Глобално отопљавање и колебање климе је актуелна и изазовна тема. Питање које се у последње време најчешће поставља је: да ли се мења данашња клима? Истраживања из ове проблематике су углавном везана за два најважнија климатска елемента - температуру ваздуха и количину падавина. Обизором да смо нека истраживања већ радили, а била су везана за утврђивање промена температуре ваздуха у Црној Гори, основни циљ овог рада је био да се утврди шта се дешава са падавинским приликама у Подгорици у периоду систематских осматрања - да ли промене постоје, у којем обиму и да ли су оне значајне. Добијени резултати указују да се са акумулираним падавинама у Подгорици, у периоду 1951-2010., ништа битније не дешава, како на сезонском тако и на годишњем нивоу. Међугодишње варијације, које иначе карактеришу овај елемент, нису повећане у последње време. Тренд компонента показује извесне промене, али су оне статистички несигнификантне. Досадашњи резултати истраживања падавинских прилика на подручју Подгорице не уклапају се сасвим у концепт Међувладиног панела за климатске промене (IPCC), који предвиђа опште смањење количине падавина у нашим крајевима и повећање варијабилности.

**Кључне речи:** промене сезонских и годишњих сума падавина, тренд, колебање, категоризација, Подгорица.

### Увод

Према тврдњи Међувладиног панела за климатске промене (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), у другој половини 20. и почетком 21. века је присутан глобални антропогени утицај на климу – антропогени ефекат стаклене баште. У Трећем извјештају IPCC се наводи да су падавине у XX веку расле по стопи од 0,5-1% по декади над већим делом умерених и виших ширина континената, док се у суптропским крајевима количина смањивала за 0,3% по декади. Даље се каже да је током XX века постојао релативно мали пораст подручја захваћених екстремном сушом или влажношћу (IPCC, 2001). Ипак, закључују да су те промене у вези са унутардеценијским и вишедеценијским климатским колебањима, у првом реду узроковане ENSO феноменом (Ел Нињо јужна осцилација).

У документу IPCC посвећеном регионалном аспекту климатских колебања<sup>1</sup> се каже да: "И поред тога што постоје извесне регионалне разлике, у целини гледано, нивои годишњих количина падавина у Европи не показују никакав значајан тренд, посебно након 1950. године". Дакле, по подацима IPCC из 2001. године, у Европи није било статистички значајног тренда падавина. Међутим, према извештају Европске агенције за заштиту природе<sup>2</sup> (EEA – European Environment Agency), ако се

\* E-mail: [dragan.buric@meteo.co.me](mailto:dragan.buric@meteo.co.me)

<sup>1</sup><http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/097.htm>, <sup>2</sup><http://www.eea.europa.eu/themes/climate>

посматра 20. век у целини, запажа се контраст између Северне и Јужне Европе, јер је у првој регији дошло до повећања годишње количине падавина за 10-40%, а у другој су се смањиле до 20%. Сличне податке даје и IPCC у свом Четвртом извештају, објављеном 2007. У истом извештају се каже да су у већем делу Европе промене биле највеће за зимску сезону.

По пројекцијама IPCC, током XXI века падавине ће се повећати у вишим ширинама и вероватно опасти у највећем делу суптропских копнених региона. Пројекције IPCC, засноване на растућем утицају емисије CO<sub>2</sub> на климу, показују пораст за 1-2% по декади у годишњој суми падавина у Северној Европи, односно снижавање до 1% по декади у Јужној Европи. Смањење количине падавина у Јужној Европи, региону коме припада и Црна Гора, било би праћено учесталијим сушама са значајним последицама на пољопривреду и водне ресурсе. За регион Југоисточне Европе, коме припада и Црна Гора, најизразитији пад предвиђа се у топлијој половини године - око 22% до краја века. Дакле, уколико се обистине пројекције повећања гасова стаклене баште (GHG гасова) у атмосфери, модели IPCC предвиђају знатно топлију климу, нарочито током летњих месеци, као и мању количину падавина у медитеранској Европи. Општа оцена је да ће регион Јужне Европе бити погођен високим температурама и сушама, те ће нето ефекти бити углавном негативнији са растом интензитета климатских промена (IPCC, 2007).

Моделирање промене количине падавина је знатно сложеније у односу на температуру. Ипак, модели IPCC предвиђају пораст зимских сума падавина на простору Европе у целини, у просеку за око 21%. Међутим, у појединим деловима Јужне Европе се и зими може очекивати смањење падавина. Лети се очекује смањење количине падавина у већем делу Европе, за цео континент око 11%, а на подручју Медитерана око 22% до краја века. По пројекцијама IPCC, модел А1Б (умерена опција) предвиђа значајно смањење летњих сума падавина у Црној Гори (око 22%, а по најнеповољнијој опцији и преко 50% садашњих нормала) и нешто мање током јесени. У пролеће се не очекују битније промене (незнатан раст), док ће се зимске суме благо повећати. Процене су да ће смањење током лета и јесени бити знатно веће од повећања падавина током зиме и пролећа, те ће годишње суме у Црној Гори имати негативну тенденцију<sup>3</sup>.

Многи научници се не слажу са ставовима IPCC-а. Kiktev и др. (2007) у свом истраживању упоређују резултате израчунатих трендова за екстремне годишње температуре ваздуха и падавинске суме из опсервационих података и резултата модела који су кључни у Четвртом извештају IPCC за симуирање трендова у другој половини 20. века. Ови аутори закључују да модели показују умерене способности када је реч о показатељима екстремних температурних догађаја и слабе или одсуство способности за падавинске екстреме. Stephens и др. (2010) у својој анализи падавина за океанске површине указују да климатски модели подцењују падавинске интензитета за 1.3 до 1.9 пута у односу на мерењима утврђене вредности, док кад је реч о учесталости падавина модели показују двоструко веће вредности.

Полазећи од ставова да су поплаве данас без преседана услед глобалног загревања, Pielke R. (1999) каже да су медији склони да сваки екстремни временски догађај повежу са растом глобалне температуре. У истом раду аутор истиче да је "заправо немогуће приписати многе временске догађаје глобалном загревању". У прилог таквој констатацији, он наводи бројне неклиматске факторе који могу утицати на поплаве у будућности, као што су: нарушавање брана и насипа, промену употребе земљишта, све већу концентрацију становништва и објеката у деловима који су подложни поплавама и друге друштвене утицаје.

<sup>3</sup>[http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/eusoils\\_docs/other/EUR\\_23291.pdf](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/EUR_23291.pdf)

Crisci и др. (2002) у својој регионалној анализи екстремних падавинских догађаја за Тоскану (Италија) утврђују одсуство статистички значајних трендова у овим догађајима за већину станица у периоду 1950-1994. Слично, Clark и Rendell (2006) анализирају трендове екстремних падавинских догађаја који резултирају поплавним догађајима и клижењем земљишта у јужној Италији за период 1950-2000. Резултати су показали да је учесталост екстремних падавинских догађаја на овом простору опала за више од 50% у 1990-им у односу на 1950-те што је праћено и повећаном површинском стабилношћу рељефа јужне Италије и западног дела централног Медитерана.

Rodrigo и др. (2001) указују на повезаност варијабилности сезонских падавина у Европи са циркулацијом атмосфере и закључују да "садашње позитивне температурне аномалије за западну Европу и сушни услови за јужну Европу и Медитеран су у јакој вези са постојаношћу и изузетно позитивном фазом NAO (Северно Атланска осцилација) индекса почев од 1980-е". Такође, истичу да је најјачи сигнал падавина са циркулацијом за зисмку сезону и да се под утицајем NAO феномена може објаснити 40% варијабилности падавина у току зиме. Сличне резултате дају Tomozeiu и др. (2002) који за подручје северне Италије у периоду 1960-1995. проналазе значајно смањење зимских падавина истичући да забележене промене могу бити последица интезивне позитивне фазе NAO.

Huntington T. (2006) полази од констатације да постоји "теоријско очекивање да ће отопљење резултирати повећањем евапорације и падавина, што ће довести до хипотезе да једна од главних последица ће бити интензификација (убрзање-појачање) воденог циклуса". Његова истраживања показују да је интензификација хидролошког циклуса током XX века била слаба и да може али и не мора бити узрокована глобалним загревањем, додајући и то да "овде (тропске ширине) изгледа нема интензификације опасних временских догађаја".

Дакле, према извештајима IPCC, ЕЕА и многим стручним радовима, може се закључити да постоје контрадикторности у погледу процене промена количине падавина у прошлом и пројекција за 21. век. У овом раду су презентовани резултати истраживања промене количине падавина у Подгорици. Дата је детаљна анализа тренда, колебања и категоризације сезонских и годишњих сума падавина у периоду 1951-2010. година како би се видело да ли су промене у складу са општом представом о аридизацији ових предела.

### **Методологија истраживања**

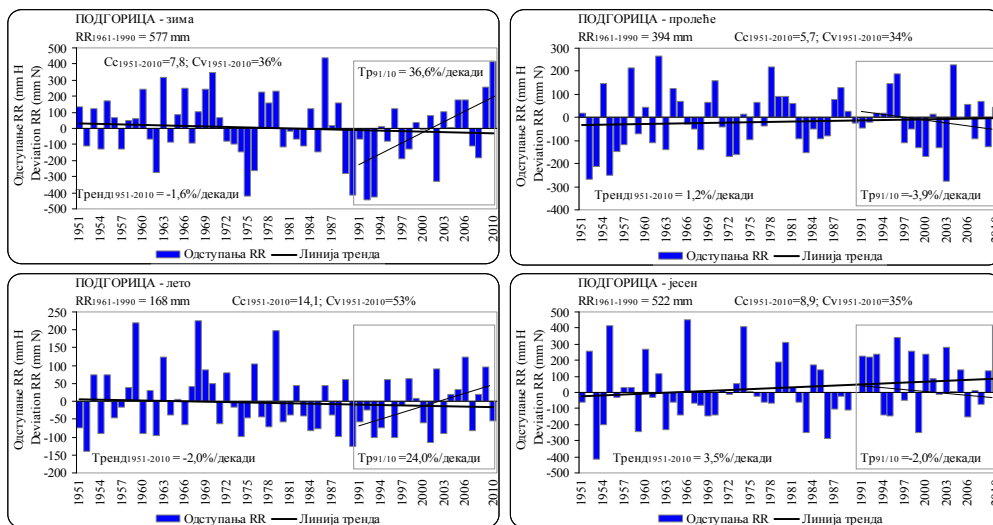
За анализу промена количине падавина коришћени су подаци метеоролошке станице Подгорица, за период 1951-2010. година. У питању је главна метеоролошка станица на којој раде професионални осматрачи, па је било за очекивати да су мерења поуздана, што је и утврђено тестирањем и провером података (коришћена CLIDATA база података Хидрометеоролошког завода). Када је утврђено да је низ релативно хомоген, други корак у обради података за потребе анализе подразумевао је његово комплетирање по дужини. Интерполација и екстраполација недостајућих података урађена је методом квоцијента, а проверена методом Кригинга. У том поступку су за референтни низ коришћене 2 најближе станице (Голубовци и Даниловград) за које је добијена висока и статистички значајна вредност коефицијента корелације. Интерполација је рађена на нивоу месечних вредности.

У раду су коришћени уобичајени математичко-статистички методи – линијски тренд, метод перцентиља, клизни средњаци, стандардизована одступања, коефицијент варијације итд. Тренд је прорачунат методом најмањих квадрата, а

статистичка значајност одређена на основу укупног броја елемената низа умањеног за 2 ( $n-2$  степени слободе) и коефицијента детерминације ( $R^2$ ), односно помоћу Студентовог теста. Како би се могла вршити компарација добијених резултата са различитих локација, WMO препоручује да се тренд падавина прорачунава у % у односу на нормалу ( $N$ ) последњег стандардног климатског периода 1961-1990. година. Изражавање тенденције количине падавина у апсолутним вредностима (mm или  $\text{lit}/\text{m}^2$ ) може створити погрешну слику. У извештајима IPCC, WMO и Националних метеоролошких служби, тренд падавина се даје у % нормале на 10 година ( $\%N/10\text{г}$ ).

### Тренд и колебање сезонских сума падавина у Подгорици

Прорачун тренда је показао да су сезонске промене акумулираних падавина у другој половини XX и почетком XXI века, у математичком смислу, безначајне. Дакле, у анализираном периоду у коме је по извештајима IPCC присутан доминантан антропогени утицај на климу, нема статистички значајног тренда промене количине падавина у Подгорици ни у једној сезони, што је у складу са променама у Европи као целини. У периоду од 1951. до 2010. године, зимске и летње суме падавина су се смањиле по линији тренда, а пролећне и јесење повећале. Тренд пада летњих сума падавина износи 3,4 mm по декади или 2,0% нормале 1961-1990. за 10 година. Односно, кумулативни пад у овом периоду је 19,8 mm или 11,8% нормале. Најмање промене по линији тренда регистроване су у пролећној сезони, 4,8 mm по декади или 1,2 %N/10 година - кумулативни пораст у 60-годишњем периоду износи, у статистичком смислу, безначајних 28,5 mm или 7,2%. Такође, ни у зимској сезони нема статистички значајног тренда промене количине падавина, -9,5 mm по декади или -1,6 %N/10 год. (слика 1).



Слика 1. Тренд промена сезонских сума падавина у Подгорици, период 1951-2010. година

Највеће промене по линији тренда добијене су за јесењу сезону, али су и оне, строго математички посматрано, статистички безначајне. У периоду 1951-2010. година, јесење суме падавина су се повећавале просечним интензитетом од 18,2 mm по декади или 3,5 %N/10 година - укупни пораст у овом периоду износи 107,3 mm или 20,5%. Међутим, у периоду 1991-2010. година, сезонске суме падавина показују супротну тенденцију у односу на цео посматрани период.

По пројекцијама IPCC, у региону Јужне Европе би требало до даће до смањења падавина, лети за око 5-15 % до 2025. године, а зими до слабијег раста (Поповић Т., Јовановић О., 1994). По палеоклиматском аналогу климе Холоценског оптимума, који дају Budiko и др. (1992), наше ширине су биле богатије падавинама, генерално, него данас. Међутим, Zubakov A. (1986) истиче да је у нашим ширинама у оптимуму Холоцена било мање падавина.

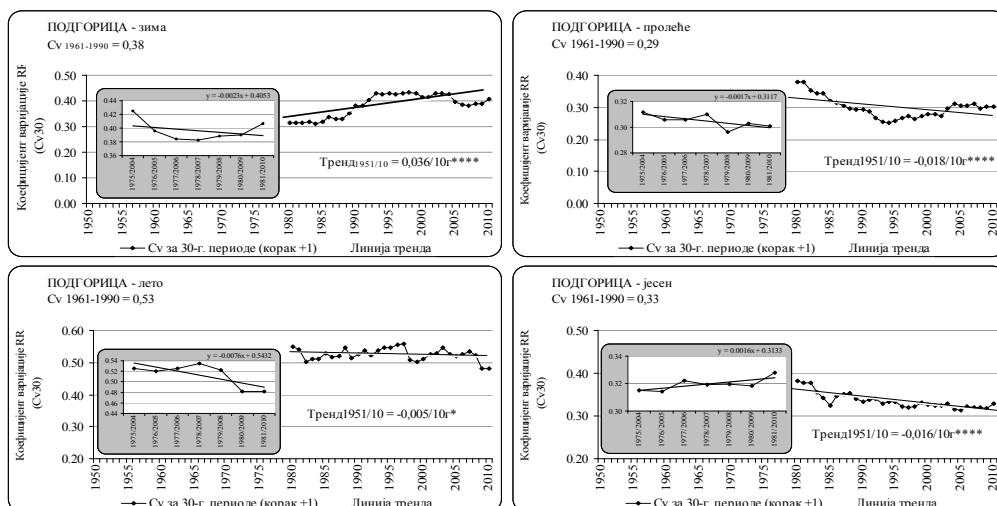
Ове и сличне контрадикторности указују да се не може са сигурношћу говорити какве промене падавинских прилика би требало очекивати под утицајем евентуалног антропогеног ефекта стаклене баште (Дуцић В., Радовановић М., 2005). Ипак, када је у питању подручје Подгорице, основна развојна тенденција (тренд компонента) указује да су сезонске промене, у математичком смислу, безначајне.

У извештајима IPCC, WMO и појединим стручним радовима се истиче да би у условима отопљавања требало очекивати повећање интензитета и учесталости екстремних временских догађаја. Другим речима, повећање честине сушних и влажних временских јединица (у овом случају сезона) морало би да се одрази и на показатеље колебања. У вези с тим, проверено је шта се дешава са дисперзијом података у датој временској серији, односно обрађени су и ти подаци за сваку сезону посебно. При томе, за утврђивање величине колебања коришћене су две мере варијације – коефицијент колебања по Хелману (Cc) и коефицијент варијације (Cv).

Коефицијент колебања представља екстремно колебање за дату временску јединицу у одређеном периоду. Добија се као однос године (сезоне) са највећом и године (сезоне) са најмањом сумом падавина за посматрани период. Друга мера дисперзије (Cv), која је поузданија за ову врсту анализе, претставља однос стандардне девијације и просечне вредности за дати период, и углавном се изражава у процентима. Обзиром да се ради о веома променљивом елементу, није пожељно разматрати колебање за краће временске јединице, те је варијабилност сезонских количина падавина у Подгорици, у периоду 1951-2010. година, прорачуната за 30-годишње периоде с помаком од једне године (корак + 1, укупно 31 временска серија).

Тренд коефицијента колебања падавина (Cc) може само прелиминарно указати да ли је дошло до повећања екстремних догађаја у једном или другом правцу. На основу овог показатеља не могу се изводити озбиљнији закључци. Много реалнију слику колебања количине падавина пружа коефицијент варијације (Cv), јер овај параметар узима у обзир стандардну девијацију. Варијабилност сезонских сума падавина по линији тренда, у периоду 1951-2010., изражена Cv за 30-годишње периоде с помаком од једне године, повећана је само у зимској сезони, док је у остала три годишња доба смањена. Важно је истаћи да је тренд варијабилности летњих сума падавина значајан само на 90% нивоу поверења, а у осталим сезонама на свим нивоима вероватноће ризика прихватања хипотезе (слика 2).

У 20. и почетком 21. века, до интензивнијег отопљавања на глобалном нивоу дошло је крајем овог периода - последња  $\frac{1}{4}$  20. и почетак 21. века (IPCC, 2007). Ако отопљавање заиста има утицаја на падавинске прилике, по моделима IPCC је за очекивати повећање варијабилности падавина у Подгорици, јер је у сва четири годишња доба присутан тренд пораста температуре (Бурић Д. и др., у штампи). Међутим, у последњих седам покретних временских серија (1975/2004,...1981/10), три сезоне показују тренд смањења варијабилности падавина, који је најизразитији током зиме и лета (уметнути графикони на претходној слици), а само су јесење суме постале мало варијабилније.

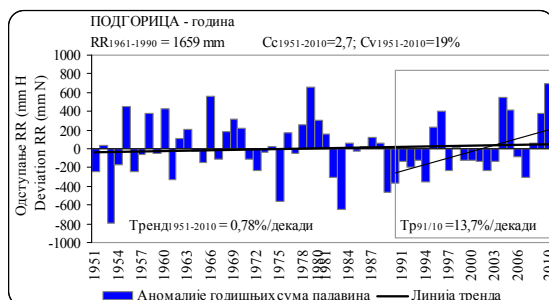


Слика 2 Коефицијент варијације сезонских сума падавина за 30-годишње периоде с кораком од једне године и трендови, период 1951-2010. (\*(\*\*\*\*\*) - значајно за  $\alpha=0.10$  (0.01))

### Динамика промена годишње количине падавина у Подгорици

У просечној години у Подгорици се излучи  $1659 \text{ lit/m}^2$  падавина, углавном од кише. Количина падавина које настају од снега је безначајна. Ово је значајна висина воденог талога, па би се могло закључити да Подгорица обилује водом. Међутим, осим приличне неравномерности расподеле падавина у години и испаравања, геолошки (крачњак) и педолошки (шљунак и дробина) покривач условљавају веома брзо понирање воде, тако да је њена ефективна корист знатно умањена. Такође, без обзира што је ово знатна количина воденог талога, мора се рећи да је ипак мала у односу на блиске приморске планине. То значи да је Подгорица у тзв. кишној сенци и поред прилично велике количине падавина (Бурић Д. и др., 2007).

Као резултат сезонских трендова, тенденција годишњих сума падавина је статистички несигнификантна (слика 3). Математички прорачуни показују да су се годишње количине падавина, у посматраном периоду, повећавале просечним интензитетом од 0,78% (12,9 mm) по декади или укупни добитак износи 2,26% (37,4 mm). Повећање годишњих количина падавина по линији тренда, у периоду 1951-2010., последица је, пре свега, јесењег суфицита (0,35% по години), јер су промене у осталим сезонама минорне.



Слика 3. Аномалије и тренд годишњих сума падавина у Подгорици, период 1951-2010. година

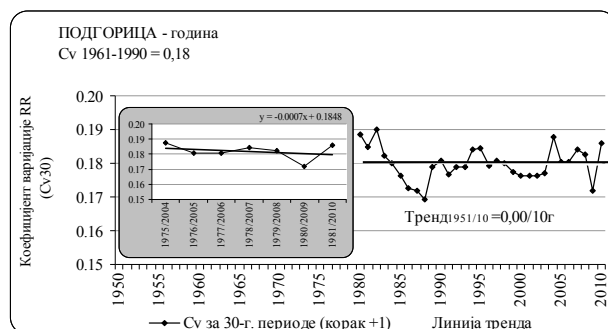
Говорећи о могућим будућим променама количине падавина, у документу IPCC се каже да су, за разлику од температуре ваздуха чији се раст очекује у целој Европи, промене падавина сложеније (IPCC, 2007). Ипак, када је у питању подручје Медитерана, односно наши предели, у извештајима IPCC се истиче да ће, као одраз отопљавања изазвано доминацијом антропогеног ефекта стаклене баште, доћи до аридизације, генерално. Како је већ поменуто, у Подгорици се аридизација не уочава. Шта више, у последње две декаде (1991-2010) годишње суме падавина региструју статистички значајан тренд пораста, 13,7 %Н/декади.

Дуцић В. и др. (2007) истичу да се и на подручју Србије не уочавају значајне промене годишњих сума падавина у другој половини 20. века. Прорачуни су показали да само 2 од 20 посматраних метеоролошких станица региструју статистички значајан тренд пада декадних годишњих сума падавина (Сремска Митровица и Неготин). За остале станице (90%), као и за Србију у целини, аутори су утврдили да се са годишњим сумама падавина на нивоу декада ништа значајно не дешава.

Да би се проверило шта се дешава са дисперзијом количине падавина на годишњем нивоу, примењена је иста статистика као и за сезонске вредности – коефицијент колебања (Сс) и коефицијент варијације (Св). Такође, због објективних разлога (велика променљивост овог елемента), варијабилност годишњих количина падавина је испитана за 30-годишње периоде с помаком од једне године (корак + 1, укупно 31 временска серија).

Коефицијент колебања по Хелману (Сс), за цео период (1951-2010) има вредност 2,7, што значи да је најкишовитија година са 2356,9 mm (2010) била за 2,7 пута богатија падавинама од најсувље са 869,6 lit/m<sup>2</sup> (1953). То значи да амплитуда годишњих сума падавина, у анализираном 60-годишњем периоду, износи 1487,3 mm, што представља 89,6% просечне годишње висине.

Коефицијент варијације (Св) годишњих количина падавина у Подгорици, као поузданија мера растурања појединачних вредности у низу, такође показује да се практично ништа не дешава, односно да није дошло до повећања екстремних догађаја у једном или другом правцу. Тренд варијабилности годишњих количина падавина у периоду 1951-2010. и у последњих седам временских серија (1975-2010, незнатан пад), прорачунат за 30-годишње периоде с помаком од једне године, раван је нули (слика 4).



Слика 4. Коефицијент варијације годишњих количина падавина за 30-годишње периоде с кораком од једне године и његова тенденција у Подгорици, периоду 1951-2010.

Имајући у виду добијене резултате, може се констатовати да се са акумулираним падавинама у Подгорици, у периоду 1951-2010., ништа битније не дешава, како на сезонском тако и на годишњем нивоу. Међугодишње варијације

акумулираних падавина, које иначе карактеришу овај елемент, нису повећане у последње време. Шта више, у последњих седам временских серија (1975/2004,...1981/2010), односно у периоду за који IPCC тврди да је присутна доминација антропогеног отопљавања и да би због тога требало очекивати повећање честине екстремних догађаја, присутан је тренд смањења варијабилности и сезонских (осим за јесењу сезону) и годишњих сума падавина. Тренд компонента показује извесне промене, али су оне статистички несигнификантне. Досадашњи резултати истраживања падавинских прилика на подручју Подгорице се, дакле, не уклапају сасвим у концепт IPCC, који предвиђа опште смањење количине падавина у нашим крајевима и повећање варијабилности. Ипак, на основу увида у стручну литературу, стиче се утисак да се још увек не може извести генерални закључак како би евентуални антропогени ефекат стаклене баште требало да утиче на падавине, што је ова анализа делимично и потврдила.

У многим радовима се истиче да би разлоге промене количине падавина требало тражити у осцилацијама природних фактора. У суштини, количина и режим падавина у првом реду зависе од синоптичких услова. С тим у вези, сматрамо да би промене количине падавина, пре свега, требало тражити у променама циркулације атмосфере. У научној јавности присутне су сумње да евентуални антропогени ефекат стаклене баште условљава и промене атмосферске циркулације. Међутим, многи истраживачи истичу да је циркулација ваздуха под доминантним утицајем осцилација природних фактора, пре свега Арктичке осцилације (Graversen G., Christiansen, B 2003; Дуцић В, Радовановић М., 2005; Дуцић В., 2008; Baldwin M., Thompson D. 2009).

### **Категоризација сезонских и годишњих сума падавина у Подгорици**

Анализа колебања сезонских и годишњих сума падавина из 60-годишњег низа података, као и њихова категоризација, заснована је на примени најчешће коришћених метода – стандардизована (нормализована) одступања и перцентици. Аномалије су израчунате у односу на референтни климатски период 1961-1990. година. Преимущество перцентици при анализи, односно класификацији аномалија, у односу на стандардну девијацију и друге методе, је у томе што су интервали класа мањи, па се јасније идентификују ретки догађаји. Вредности перцентици се крећу од 0 до 100, односно они деле уређени низ на 100 једнаких делова. Тако на пример, 40. перцентил означава да 40% података има мању вредност од његове апсолутне вредности. На крају овог кратког објашњења, поставља се логично питање: зашто користити квалитативни аспект у анализи падавинских аномалија, а не апсолутне вредности? Наиме, ако кажемо да количина падавина неке временске јединице одступа нпр. 50 mm у односу на одговарајућу нормалу, тиме нису дата нека битна обележја, да ли је то много, мало, значајно или је пак то нормална појава, или ретка, или екстремно ретка појава за дату просторну јединицу. Дакле, потребно је тачно објашњење бројева, односно квалитативно одређење појединих метеоролошких појава у односу на тзв. нормалне климатске услове. Из тог разлога је квалитативно одређење аномалија дато само у навођењу броја опажених честина за сваку карактеристику.

Ни једна сезона у Подгорици, у периоду 1951-2010., није имала карактер екстремног догађаја када су падавине у питању – изван опсега  $\pm 3$  стандардизована одступања. Да се са сезонским количинама падавина у Подгорици ништа карактеристично не дешава, потврђују и клизни 11-годишњи средњаци. У периоду опсервације, покретне 11-годишње средине ни код једне сезоне нису изашле из опсега  $\pm 1$  СТДЕВ, нити показују устаљену тенденцију у једном или другом правцу. Заједничка карактеристика сезона је и готово исти број година са дефицитом и

суфицитом падавина, као и доминација одступања у опсегу климатске нормале ( $\pm 1$ СТДЕВ). Према стандардизованом одступању, у 58,3% случајева (35 година) су пролећне количине падавина биле у границама нормалног опсега, летње 61,7% (37 год.), јесење 63,3% (38 год.), а зимске чак 70,0% (42 год.).

Класификација појединачних вредности сезонских сума падавина показује да категорији *кишно*, у 60-годишњем периоду, припада: 10 зима, по 9 лета и пролећа и 11 јесени. *Врло кишних* зима није било у периоду 1951-2010. година, док се као такво карактерише само 1 пролеће, 2 лета и 4 јесени. Са друге стране, честина појаве *сушних* лета и пролећа износи по 12 од 60, зима 7, а пролећа 6. Стандардизована одступања даље показују да се ниједно лето у Подгорици, у посматраном периоду, не карактерише као *врло сушно*, односно карактерише само по 1 зима и јесен и 3 пролећа. *Екстремно кишних* и *екстремно сушних* сезона, како је већ поменуто, није било у периоду од 1951. до 2010. године (табела 1).

**Табела 1. Класификација сезонских сума падавина на основу стандардизованих аномалија и перцентиала, Подгорица 1951-2010.**

| Карактеристика  | Класификација<br>(СТДЕВ.одст.- $\sigma$ ) | Опажена честина (бр.година)* |    |    |    |
|-----------------|-------------------------------------------|------------------------------|----|----|----|
|                 |                                           | З                            | П  | Л  | Ј  |
| Екстремно сушно | $< -3\sigma$                              | 0                            | 0  | 0  | 0  |
| Врло сушно      | $-2 - (-3)\sigma$                         | 1                            | 3  | 0  | 1  |
| Сушно           | $-1 - (-2)\sigma$                         | 7                            | 12 | 12 | 6  |
| Нормално        | $\pm 1\sigma$                             | 42                           | 35 | 37 | 38 |
| Кишно           | $1 - 2\sigma$                             | 10                           | 9  | 9  | 11 |
| Врло кишно      | $2 - 3\sigma$                             | 0                            | 1  | 2  | 4  |
| Екстремно кишно | $> 3\sigma$                               | 0                            | 0  | 0  | 0  |
| Карактеристика  | Класификација<br>(Перцентил)              | Опажена честина (бр.година)  |    |    |    |
|                 |                                           | З                            | П  | Л  | Ј  |
| Екстремно сушно | $< 2$                                     | 0                            | 3  | 0  | 1  |
| Врло сушно      | $2 - 9$                                   | 5                            | 4  | 3  | 4  |
| Сушно           | $9 - 25$                                  | 6                            | 15 | 17 | 8  |
| Нормално        | $25 - 75$                                 | 34                           | 26 | 25 | 28 |
| Кишно           | $75 - 91$                                 | 11                           | 6  | 10 | 7  |
| Врло кишно      | $91 - 98$                                 | 4                            | 5  | 3  | 8  |
| Екстремно кишно | $> 98$                                    | 0                            | 1  | 2  | 4  |

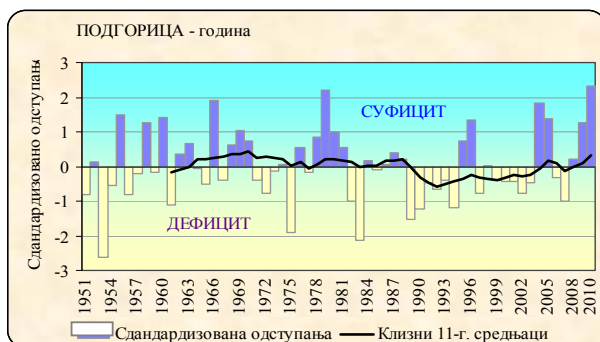
\*З-зима; П-пролеће; Л-лето; Ј-јесен

Методом перцентиала добијени су нешто другачији резултати анализе аномалија сезонских сума падавина у односу на нормалу 1961-1990. И по овом показатељу, који је осетљивији у односу на нормализовано одступање, ни једна зима се не карактерише као екстремни догађај – екстремно влажна или екстремно сушна. Такође, ни једно лето у Подгорици, у периоду 1951-2010., не оцењује се као екстремно сушно, док два задовољавају услове класе екстремно влажно – кишно (лето 1959 и 1979. године). Екстремно сушних пролећа било је 3 од 60, а јесени 1, док је у погледу екстремне влажности тај однос супротан (1 пролеће и 4 јесени). Вредности перцентиала такође показују да су сезонске суме падавина у највећем броју случајева биле у опсегу уобичајних вредности (25-75. перцентиала), односно доминацију класе нормално у односу на остале класе. Дакле, као нормална појава у погледу висине падавина, на основу перцентиала, од укупног броја честина (60) оцењено је: 25 лета, 26 пролећа, 28 јесени и 34 зиме.

Дакле, ова анализа је показала да сумње како ће отопљавање повећати честину екстремних догађаја и код падавинских прилика, како истиче IPCC, не стоје када су у питању сезонске суме падавина. У Подгорици, на основу стандардизованих одступања, таквих догађаја није ни било у периоду од 60. година. На основу

перцентила, екстремних зима у погледу укупних падавина (екстремно сушних и екстремно кишних), такође није било, што није у складу са претпоставкама о антропогеном утицају на повећање сушности или пак влажности за ово годишње доба. Ни у летњој сезони није било екстремних догађаја у погледу сушности, што се такође не уклапа у концепт опште антропогене аридизације. У пролеће и јесен је, када се посматрају суме падавина у овим сезонама, било екстремних појава, 4 односно 5. Међутим, у последње три деценије је само једанпут пролеће било екстремно сушно (2003. године), а јесен екстремно кишна (2010), док су остали екстремни догађаји у ова два годишња доба (свих 7), регистровани у првој половини посматраног периода. Ни ова констатација не иде у прилог повећању честине екстремних падавинских појава као одраз повећања интензитета отопљавања.

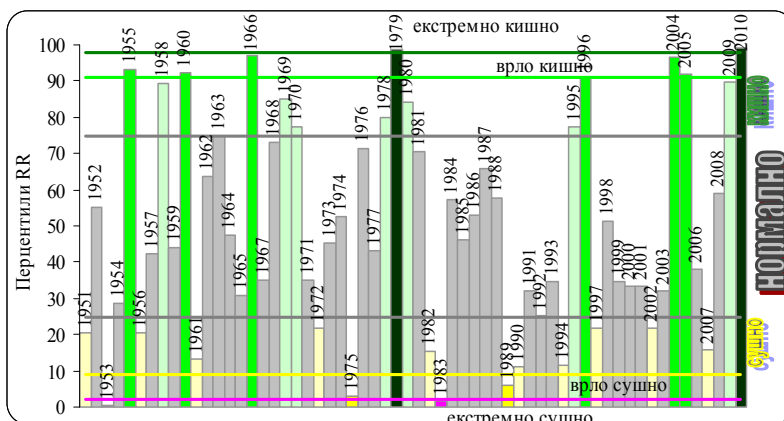
На слици 5 приказан је ход годишњих акумулираних падавина и клизни 11-годишњи средњаци. Годишње висине су дате у виду стандардизованих одступања нормале 1961-1990. У периоду 1951-2010., ни једна година се не оцењује као екстремни догађај (екстремно кишна и екстремно сушна, изван опсега  $\pm 3$  СТАДЕВ), што је у складу са променама сезонских сума. У опсегу нормалних вредности ( $\pm 1$  СТАДЕВ или  $\pm 300$  mm), од 1359 mm до 1959 mm, налази се 40 година или 66,7% података. И клизни 11-годишњи средњаци јасно показују да се, у средњој вредности, са падвинским приликама у Подгорици ништа карактеристично не дешава – ниједна вредност покретног средњака у периоду 1951-2010. није превазишла опсег  $\pm 1$  нормализованог одступања, нити показују устаљену тенденцију.



Слика 5. Стандардизована одступања годишњих количина падавина и клизни 11-годишњи средњаци у Подгорици за период 1951-2010.

Да су падавине један од најпроменљивијих метеоролошких елемената, говори чињеница да се као најдужи непрекидни низ у коме су годишње суме биле у опсегу нормалних вредности, без већих колебања, издваја подпериод од само 7 година, и то крај обрађене временске серије (1997-2003). У осталим подпериодима, дакле и краћим, приметне су међугодишње варијације, што није неуобичајено за овај елемент.

Према вредностима перцентила, падавинске прилике су, посматрано на годишњем нивоу, у већем делу анализираног периода биле у интервалу нормале (31 година). По овом показатељу су по две године оцењене као екстремно сушне (1953. и 1983.) и екстремно влажне – кишне (1979. и 2010.). Категорији сушно припада 10, а врло сушно 2 године. Са друге стране, кишних је било 7, а врло кишних 6 година у периоду 1951-2010. година (слика 6).



Слика 6. Аномалије годишњих сума падавина изражене у перцентилима нормале, Подгорица 1951-2008.

Аномалије падавина се могу изразити на више начина: преко перцентила, процентуалног учешћа у нормалној суми и других величина које се користе у метеоролошкој статистици. Тако се нпр. процентуално учешће годишњих сума, у периоду од 1951. до 2010. године, креће од 52,4% до 142,0% просечног годишњег износа.

### Закључак

У периоду 1951-2010. година, у коме је по IPCC присутан доминантан антропогени утицај на климу, не постоји статистички значајан тенд промена сезонских и годишњих количина падавина у Подгорици, што је у складу са променама у Европи као целини. Са друге стране, варијабилност сезонских сума падавина у периоду 1951-2010., изражена коефицијентом варијације ( $C_v$ ) за 30-годишње периоде с помаком од једне године, показује смањење у прелазним годишњим добима, односно повећање у зимској и летњој сезони. Важно је истаћи да је тренд варијабилности сезонских сума падавина у Подгорици статистички значајан. Међутим, када је у питању колебање годишњих сума падавина, резултати анализе показују да се не уочава повећање варијабилности. Тренд варијабилности у периоду 1951-2010., прорачунат за 30-годишње периоде с помаком од једне године, раван је нули. Шта више, у последњих пет временских серија (1975/2004,...1981/2010), односно у периоду за који IPCC тврди да је присутна доминација антропогеног отопљавања и да би због тога требало очекивати повећање честине екстремних догађаја, присутан је тренд смањења варијабилности падавина у Подгорици, и то не само на годишњем већ и на нивоу сезона.

Имајући у виду добијене резултате, може се констатовати да се са акумулираним падавинама у Подгорици, у периоду 1951-2010., ништа битније не дешава, како на сезонском тако и на годишњем нивоу. Међугодишње варијације, које иначе карактеришу овај елемент, нису повећане у последње време. Тренд компонента показује извесне промене, али су оне статистички несигнификантне. Досадашњи резултати истраживања падавинских прилика на подручју Подгорице се, дакле, не уклапају сасвим у концепт IPCC, који предвиђа опште смањење количине падавина у нашим крајевима и повећање варијабилности. Ипак, на основу увида у стручну литературу стиче се утисак да се још увек не може извести генерални закључак како би евентуални антропогени ефекат стаклене баште требало да утиче на падавине, што је ова анализа делимично и потврдила.

Количина и режим падавина у првом реду зависе од синоптичких услова. С тим у вези, сматрамо да би промене количине падавина, пре свега, требало тражити у променама циркулације атмосфере. У научној јавности присутне су сумње да евентуални антропогени ефекат стаклене баште условљава и промене атмосферске циркулације. Међутим, многи истраживачи истичу да је циркулација ваздуха под доминантним утицајем осцилација природних фактора.

## Литература

- База података Хидрометеоролошког завода Црне Горе, Подгорица.
- Baldwin, M.P. and Thompson, D.W.J. (2009). A critical comparison of stratosphere-troposphere coupling indices. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 135, 1661-1672.
- Бурић, Д., Ивановић, Р., Митровић, Ј. (2007). *Клима Подгорице*. Подгорица: Хидрометеоролошки завод Црне Горе.
- Бурић, Д., Дуцић, В., Луковић, Ј. (у штампи). *Колебање климе у Црној Гори у другој половини XX и почетком XXI вијека*. Подгорица: Црногорска академија наука и умјетности.
- Budyko, M.I., Borzenkova, I.I., Menzulin, G.V. (1992). *Предстоящие изменения регионального климата*. Москва: Известия АН, серия географическая, 4, Наука.
- Clarke, M.L. and Rendell, H.M. 2006. Hindcasting extreme events: The occurrence and expression of damaging floods and landslides in southern Italy. *Land Degradation & Development* 17: 365-380.
- Crisci, A., Gozzini, B., Meneguzzo, F., Pagliara, S. and Maracchi, G. 2002. Extreme rainfall in a changing climate: regional analysis and hydrological implications in Tuscany. *Hydrological Processes* 16: 1261-1274.
- Дуцић, В. и Радовановић, М. (2005). *Клима Србије*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства.
- Ducic, V, Milovanovic, B., Lukovic, J. (2007). Connection between ENSO Index, NAO Index and Decadal-scale Variability of precipitation in Serbia. Y: *International Conference "Global Changes and Regional Challenges"*(3). Sofia: St. Kliment Ohridski' University Press, pp. 137-142.
- Дуцић, В. (2008). Савремена колебања глобалне климе – утицај људи или природе. *Астрономски магазин бр. 34, стр. 22-25*.
- Graversen, G.G. and Christiansen, B. (2003). Downward propagation from the stratosphere to the troposphere: A comparison of the two hemispheres. *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, no. d24, 480, doi: 10.1029/2003JD004077.
- Huntington, T. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle, Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, vol. 319.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001a). *The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001b). *The Science of Climate Change: Summary for Policymakers*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007a). *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007b). *Climate Change: Mitigation. Contribution of Working Group 3 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kiktev, D., Caesar, J., Alexander, L.V., Shiogama, H. and Collier, M. 2007. Comparison of observed and multimodeled trends in annual extremes of temperature and precipitation. *Geophysical Research Letters* 34.
- Pielke, R.A. (1999). Nine fallacies of floods. *Climate Change* 42., pp. 413-438.
- Поповић, Т. и Јовановић, О. (1994). Процена климатских промена на подручју СР Југославије до 2020. године. *11. саветовање хидрауличара и хидролога, ЈДХИ и ЈДХ*. Београд: Савезни хидрометеоролошки завод.
- Rodrigo, F.S., Pozo-Vazquez, D., Esteban-Parra, M.J. and Castro-Diez, Y. 2001. A reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation index back to A.D. 1501 using documentary data in southern Spain. *Journal of Geophysical Research* 106: 14,805-14,818.
- Stephens, G.L., L'Ecuyer, T., Forbes, R., Gettleman, A., Golaz, J.-C., Bodas-Salcedo, A., Suzuki, K., Gabriel, P. and Haynes, J. 2010. Dreary state of precipitation in global models. *Journal of Geophysical Research* 115: 10.1029/2010JD014532.
- Tomozieu, R., Lazzeri, M. and Cacciamani, C. 2002. Precipitation fluctuations during the winter season from 1960 to 1995 over Emilia-Romagna, Italy. *Theoretical and Applied Climatology* 72: 221-229.
- Вујевић, П. (1956). *Климатолошка статистика*. Београд: Научна књига.
- Zubakov, A. (1986). *Глобалные климатические события плейстоцена*. Ленинград: Гидрометеоиздат.

## THE CHANGES OF PRECIPITATION IN PODGORICA FOR PERIOD 1951-2010

VLADAN DUCIĆ<sup>1</sup>, DRAGAN BURIĆ<sup>2\*</sup>, JELENA LUKOVIĆ<sup>1</sup>, GORICA STANOJEVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*University of Belgrade – Faculty of Geography, Studentski trg 3/3, Belgrade, Serbia*

<sup>2</sup>*Hydrometeorological Service of Montenegro, IV Proleterske 19, Podgorica, Montenegro*

<sup>3</sup>*Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA, Djure Jakšica 9, Belgrade, Serbia*

**Abstract:** The global warming and climate change are the actual and challenging topics. Recently there is one question, frequently asked: whether today's climate is changing? The studies of this issues are mainly related to the two the most important climatic elements – air temperature and precipitation amounts. We have done research about temperature variability for Montenegro and the main aim of this paper is analysis precipitation changes for station Podgorica (Montenegro) in the period of sistematic observation – are there changes, to what extent and whether they are significant. According to the results, acumulated precipitation do not show significant changes for annual and seasonal values in the period 1951-2010. The interannual variations of the precipitation (which are characteristic for this climate element) do not show increases in recent times. The component trend shows some changes, but statistically insignificant. The previous results for precipitation conditions in Podgorica are not in accordance with the concept of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) which predicted a general decrease in precipitation and increase variability on this area.

**Key words:** precipitation, trend, variability, Podgorica.

### Introduction

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in the second half of the 20th and early 21st century, there is a global antropogenic impact on climate – the anthropogenic greenhouse effect. The Third IPCC report says that in the 20th the precipitation have increased at a rate of 0.5-1% per decade over most moderate and higher latitudes, while the subtropical regions have decreased by the amout of 0.3% per decade. Further they state that during the 20th century there was a relatively small increase of areas affected by drought or extreme humidity (IPCC, 2001). However, they conclude that these changes are related to the decadal climate fluctuations, primarily caused by El Niño-Southern Oscillation (ENSO).

The IPCC document devoted to regional aspect of climate fluctuations<sup>1</sup> saying that: “Although there are some regional differences, overall, a series of annual precipitation in Europe show no significant trend, especially after 1950“. According to the IPCC from 2001 there was no statistically significant precipitation trend in Europe. But, according to European Environment Agency<sup>2</sup> (EEA), if we observe the 20th century in general, there is a contrast between North and South Europe, as in the first region have increased annual precipitation of 10-40% while the other had decreased to 20%. Similar data gives the IPCC in its Fourth report, published in 2007. This report says that in most of Europe were the greatest changes for the winter season.

According to IPCC projections, during 21st century, the precipitation will increase at higher latitudes and possibly fall in most subtropical land regions. The IPCC projections, based on the growing impact of CO<sub>2</sub> emissions on climate show a rise of 1-2% per decade in annual amount of precipitation for North Europe, or reduction to 1% per decade in South Europe. Reducting of precipitation amount in Southern Europe, a region where is Montenegro, would be accompanied by more frequent droughts with significant impacts on agriculture and water resources. For the region of Southeast Europe, where is Montenegro, the largest decrease is expected in the warmer half of year – about 22% by the end of the century. So, if the projections of increases in greenhouse gases (GHG) in the atmosphere realize, IPCC models predict

\*

E-mail: [dragan.buric@meteo.co.me](mailto:dragan.buric@meteo.co.me)

significantly warmer climate, especially during the summer months, and a small amount of precipitation in Mediterranean Europe. The general assessment is that the region of Southern Europe will be affected by high temperatures and droughts, and net effects will be mostly negative with the increase in the intensity of climate change (IPCC, 2007).

Modeling changes in precipitation is much complex in relation to temperature. However, IPCC models predict increasing winter precipitation sum on Europe as a whole, an average of about 21%. But, in some parts of Southern Europe we can expect a decrease in winter precipitation. For summer is expected to reduce the amount of rainfall in the most of Europe, for the entire continent of about 11%, and about 22% by the end of century for Mediterranean region. According to IPCC projections, the model A1B (moderate option) provides a significant reduction in summer precipitation sum in Montenegro (about 22%, and over 50% of current normal in the most unfavorable option) and slightly less in the fall. In the spring do not expect significant changes (slight increase), while the winter amounts will have slightly increase. The estimates are that the reduction in the summer and fall will be significantly greater than the increase in precipitation during winter and spring, and the annual amount in Montenegro will have a negative tendency<sup>3</sup>.

Many scientists disagree with the views of the IPCC. Kiktev et al. (2007) in their study comparing the results of the calculated trends for extreme annual air temperature and precipitation amounts from observational data and model results that are crucial in the Fourth IPCC report for simulate trends in the second half of the 20<sup>th</sup> century. They conclude that the models show moderate skill for extreme temperature events and weak or absence skill for extreme precipitation events. In their study of rainfall for oceans Stephens et al. (2010) show that climate and weather models underestimate of intensity for 1.3 to 1.9 time in relation to observed values, and overestimate in the frequency for two times.

Starting from the premise that today the floods are generated by global warming, Pielke (1999) says that the media tends to link every extreme weather events with the rise in global temperatures. In the same article the author points out that "in fact not possible to connect many weather events to global warming". To support this statement, he cites a number of non-climate factors that may affect flooding in the future, such as violation of dams and embankments, land use change, concentration of growing population and buildings in areas that are vulnerable to floods and other social influences.

In their regional analysis of extreme precipitation events in Toskana (Italy) Crisci et al. (2002) determined the absence of statistically significant trends in these events for the majority of stations for the period 1950-1994. Similarly, Clark and Rendell (2006) were analyzing the trends for extreme precipitation events which resulting in flood events and slipping land in southern Italy for the period 1950-2000. The results showed that the frequency of extreme precipitation events in this region declined by more than 50% in the 1990s compared to 1950s and which is accompanied by increased stability of the surface terrain of southern Italy and central parts of the western Mediterranean.

Rodrigo et al. (2001) suggest an association between seasonal variation of rainfall in Europe with atmospheric circulation and conclude that "the current positive temperature anomalies in western Europe and drought conditions in southern Europe and the Mediterranean are in close connection with persistence and a very positive phase of NAO (North Atlantic Oscillation) index from 1980s". Also, they point out that the strongest signal for precipitation and atmospheric circulation is for winter season and under the influence NAO can explain 40% variability during the winter. Similar results give Tomozeiu et al. (2002) which find a significant decrease in winter precipitation for northern Italy in period 1960-1995 pointing out that the observed changes may be due to intense positive NAO phase.

Huntington T. (2006) starts with the statement that "there is a theoretical expectation that warming will result in increased of evaporation and precipitation, leading to hypothesis that one of the main result will be the intensification (acceleration-strengthening) water cycle". His research shows that the intensification of the hydrological cycle during the twentieth century was

weak and that may or may not be caused by global warming, adding that "here (tropical latitudes) does not seem intensification of dangerous weather events".

Therefore, according to reports of the IPCC, the EEA and many papers can be concluded that there are the contradictions in terms of estimate of precipitation change in the past century and projections for the 21st century. This paper presented results of analysis of precipitation changes in Podgorica. There is a detailed analysis of trends, seasonal fluctuations and categorization the annual and seasonal amounts of precipitation in the period 1951-2010 in order to see if the changes are in line with the general notion about aridization these areas.

### **Research methodology**

For the analysis of changes in precipitation amounts we use the data from meteorological station Podgorica for period 1951-2010. This is main weather station with professional observers, and it was expected that the measurements are reliable, what is determined by testing and checking of data (it is used database CLIDATA of Hydrometeorological Service). When we determined that the series are relatively homogeneous, the second step in the processing of data for analysis included the completion of its length. Interpolation and extrapolation of missing data was done using the method quotient, proven by method of Kriging. In this process, the reference range used the two nearest stations (Golubovci and Crkvenica) where there are high and statistically significant values of correlation coefficient. Interpolation is done at the monthly level.

We used a common mathematical and statistical methods in the research - trend line, the method of percentiles, moving averages, standardized deviation, coefficient of variation etc. The trend is calculated using least squares and the statistical significance is determined on the total number of elements in the array minus two ( $n-2$  degrees of freedom) and the coefficient of determination ( $R^2$ ), using Student's test. In order to make comparison of results from different locations, WMO recommends that the trend of precipitation is calculated in % with regard to normal (N) of the last standard climatic period 1961-1990. Expression of rainfall trends in absolute values (mm or lit/m<sup>2</sup>) can give a misleading picture. In the reports of the IPCC, WMO and National Meteorological Services, the trend of rainfall is given in % of normal at 10 years (% N/10y).

### **The trends and seasonal fluctuations in rainfall amount in Podgorica**

The calculation of trend showed that the seasonal changes of accumulated precipitation in the second half of 20th and early 21st century, in mathematical terms, are insignificant. So, in the analyzed period for which is the dominant anthropogenic influence on climate according to IPCC reports, there is no statistically significant change in precipitation trend in Podgorica in any season, what is in accordance with changes in Europe as a whole. In the period from 1951 to 2010, the winter and summer precipitation amounts were reduced (decreased) by (per) the trend line, and increased for spring and autumn. The downward trend of summer precipitation sum is 3.4 mm per decade or 2.0% of normal 1961-1990 for 10 years. Respectively, the cumulative decline in this period was 19.8 mm or 11.8% of normal. At least changes per trend line are registered in the spring season, 4.8 mm per decade or 1.2% N/10 years - a cumulative increase in the 60-year period is, in statistical terms, insignificant (28.5 mm or 7.2%). Also, even in winter there is no statistically significant trend of precipitation change, -9.5 mm per decade, or -1.6% N/10 years (Figure 1).

**Figure 1. The trend of seasonal changes in precipitation amounts, period 1951-2010**

The biggest changes per trend line are obtained for the fall, but they were also, strictly mathematically speaking, statistically insignificant. In the period 1951-2010, the autumn rainfall amounts were increased an average intensity of 18.2 mm per decade or 3.5% N/10 years - an

overall increase is 107.3 mm or 20.5% in this period. However, in the period 1991-2010, the seasonal rainfall amounts show the opposite trend in relation to the whole observed period.

According to IPCC projections, the region of South Europe will have a decline in summer precipitation by about 5-15% till 2025, and in winter lower growth (Popovic T., Jovanovic O., 1994). According to analogue of Holocene paleoclimate optimum, that is given by Boudica et al. (1992), our latitudes were richer in precipitation, generally, than it is today. However, Zubakov A. (1986) points out that in the Holocene optimum in our latitudes was less precipitation.

These and similar contradictions show that one can not say with certainty; which changes of the precipitation conditions would be expected under the influence of possible anthropogenic greenhouse gases (Ducic V., Radovanovic M., 2005). However, for the area of Podgorica, a basic developmental tendency (trend of components) indicates that seasonal changes in the mathematical sense, are insignificant.

Reports IPCC, WMO and some professional papers point out that in warming conditions should expect an increase in intensity and frequency of extreme weather events. In other words, the increasing frequency of droughts and wet weather units (in this case the seasons) would have to be reflected on the indicators of fluctuations. In this respect, we have checked what happens to the dispersion of data in a given time series, and that data have been processed for each season separately. Thereby, to determine the size of the fluctuations were used two measures of variation - coefficient fluctuation by Helman (Cc) and coefficient of variation (Cv).

The coefficient of fluctuation is a extreme fluctuation for a given time unit in a given period. It is obtained as the ratio of the annual (season) with the highest amount of precipitation and the year (season) with the least amount of precipitation for the given period. Another measure of dispersion (Cv), which is more reliable for this type of analysis, represents the ratio of standard deviation and average values for a given period, and is expressed as a percentage. Since this is a very variable element, it is not desirable to consider the fluctuation in a shorter time unit, and the variability of seasonal precipitation in Podgorica in the period 1951-2010, calculated for a 30-year periods with a shift of one year (up + 1, a total of 31 time series).

Trend of coefficient fluctuation of precipitation (Cc) may only preliminary points whether there was an increase of extreme events in one direction or another. Based on this indicator cannot be make more serious conclusions. Much more realistic picture of fluctuations in precipitation gives the coefficient of variation (Cv), because this parameter takes into account the standard deviation. The variability of seasonal precipitation amounts per line trend in the period 1951-2010 expressed Cv for a 30-year periods with a shift of one year, is increased only in the winter season, while the other three seasons is decreased. It should be noted that the trend variability of summer precipitation amounts is only significant at 90% confidence level, and in the other seasons at all levels of probability of risk of accepting the hypothesis (Figure 2).

The intense global warming is at the end of the 20th and early 21st century - the last ¼ 20th and the beginning of the 21st century (IPCC, 2007). If the warming does have an impact on precipitation conditions, according to IPCC models it is expected to increase variability of precipitation in Podgorica, because in all four seasons there is increasing trend of temperatures (Buric et al., in press). However, in the last seven moving time series (1975/2004, ...1981/10), the three seasons showed a decreasing trend of precipitation variability, which is most pronounced in winter and summer (insert charts in the figure 1), and only autumn amounts have become little more variable.

**Figure 2. The coefficient of variation of seasonal precipitation amounts for 30-year periods with a step of one year and trends, period 1951-2010. (\*(\*\*\*\*\*) – significant at  $\alpha=0.10$  (0.01))**

### **The dynamics of annual precipitation change in Podgorica**

The average annual amount of precipitation in Podgorica is 1659 liter/m<sup>2</sup>, mostly rainfall type. Participation of snow in the total amount of precipitation is insignificant. The given precipitation rate is quite high and may lead to conclusion that the area of Podgorica has

abundant of water. However, the distribution of rainfall throughout the year is uneven including high rate of evaporation. Geological structure of limestone causes rapid infiltration, so all these factors decrease water effectiveness. It is important to add that mountain regions in the surrounding are getting much higher rates of precipitations. Therefore Podgorica region is considered to be in rain shadow although it receives relatively high amount of rainfall (Buric et al., 2007).

Liner trend analysis has shown statistically insignificant trend (figure 3). Results showed increase of 0.78% (12.9mm) per decade or 2.26% (37.4mm) in the total period. This increase could be explained by seasonal variations especially autumn precipitation increase of 0.35% per year. Changes in other seasons are minor.

**Figure 3. Anomalies and precipitation annual amounts in Podgorica, 1951-2010**

Speaking about possible future changes in rainfall, the IPCC document is said that, unlike the air temperature which is expected to grow throughout the Europe, more complex changes are in precipitation (IPCC, 2007). However, when it comes to the Mediterranean area, the IPCC report points out that, as a reflection of the warming caused by the dominance of anthropogenic greenhouse gases, there will be aridization generally. As already mentioned, in the area of Podgorica process of aridization so far has not been noticed. Moreover, in the last two decades (1991-2010) annual precipitation sum registered a statistically significant trend of 13.7% N / decade.

Ducic V. et al. (2007) showed that there is no significant change in amount rainfall in Serbia in the second half of the 20th century. Calculations showed that only 2 of 20 observed weather stations registered a statistically significant downward trend in annual precipitation sums per decade (Sremska Mitrovica and Negotin).

In order to check what happens to the dispersion of rainfall per year the coefficient of fluctuation (CC) and coefficient of variation (Cv) have been calculated. Also, due to objective reasons (high volatility of this element), the variability of annual precipitation is investigated for a 30-year period with a lag of one year (up + 1, a total of 31 time series).

The coefficient of variations by Helman (Cc) for the entire period (1951-2010) has a value of 2.7, which means that the rainiest year with 2356.9 mm (2010) was 2.7 times richer than the driest one 869.6 lit/m<sup>2</sup> (1953). This means that annual precipitation range, in the analyzed 60-year period is 1487.3 mm, which represents a 89.6% of the average annual level.

The coefficient of variation (Cv) of annual rainfall in Podgorica, as reliable measure of dispersion of individual values in the series, also shows that practically nothing happens, that there was an increase of extreme events in one direction or another. The trend of annual precipitation variability in the period 1951-2010 and in the last seven time series (1975-2010, a slight decrease), calculated for a 30-year periods with a shift of one year is equal to zero (Figure 4).

**Figure 4 The coefficient of variation of annual rainfall for the 30-year periods with one year lag and its tendency in Podgorica, the period 1951-2010.**

Taking into account these results, it can be concluded that with the accumulated rainfall in Podgorica in the period 1951-2010 nothing significant is happening, both on seasonal and annual scale. Interannual variations of accumulated rainfall, which normally characterize this element, were not increased in recent years. Moreover, in the last seven time series (1975/2004, ...1981/2010), or the period for which the IPCC claims that there is a dominance of anthropogenic warming and that would be expected due to increased frequency of extreme events, there is a downward trend variability in seasonal (except for the fall season) and annual precipitation sums. The trend component shows some changes, but they are statistically insignificant. Past results of precipitation conditions in Podgorica, therefore, does not quite fit into the concept of the IPCC, which predicts a general decrease in rainfall in this area and increase variability. However, on the basis of the literature, it seems that still a general conclusion cannot be stated, as this analysis is partly confirmed.

In many papers it is stated that the reasons for precipitation changes should be sought in natural factors. In fact, the amount of the precipitation regime depends on the synoptic conditions. Therefore precipitation changes should be studied in relation to atmospheric circulation changes at present the scientific community doubt that any anthropogenic greenhouse conditions and changes in atmospheric circulation. However, many researchers point out that the air circulation is under the dominant influence of the natural oscillations, primarily the Arctic Oscillation (Graversen, Christiansen, 2003; Ducic, Radovanovic, 2005; Ducic, 2008; Baldwin, Thompson, 2009).

### **Categorization of seasonal and annual precipitation sums in Podgorica**

Analysis of seasonal and annual rainfall change of 60 years data series, and their categorization is based on application of commonly used methods - standardized (normalized) deviations and percentiles. Anomalies are calculated relative to standard period 1961-1990. Percentile advantage in the analysis and classification of anomalies in relation to the standard deviation and other methods is that the intervals are of smaller classes and more clearly identify rare events. Percentile values range from 0 to 100, and they share data series at 100 equal parts. For example, 40 percentile means that 40% of the data has a lower value than its absolute value. At the end of this brief explanation, the logical question is: why use a qualitative aspect in the analysis of precipitation anomalies, not absolute values? Namely, if we say that certain amount of rainfall retires for example 50 mm compared to the corresponding normal, it is not given any specific explanation in terms of, is this high value, small, important or is this normal, or rare, or extremely rare occurrence for a given period of time. Therefore, it is correct explanation of numbers and qualitative determination of certain meteorological phenomena in relation to the so-called normal climatic conditions. For this reason, the qualitative anomalies determination is only given in relation to frequency of each feature.

No season in Podgorica in the period 1951-2010 has shown extreme precipitation events out the range of  $\pm 3$  standardized anomalies. It is confirmed by moving 11-year averages as for all seasons data are within the range  $\pm 1$ STDEV and do not show tendency in one direction or another. The common characteristic of the seasons is almost the same number of years with rainfall deficits and surpluses, as well as the dominance of climate variations within the normal range ( $\pm 1$ STDEV). According to the standardized deviation, in 58.3% of cases (35 years) spring precipitation were within the normal range, summer 61.7% (37 yr.), autumn 63.3% (38 yr.), and winter to 70% (42 years).

Classification of individual values of seasonal precipitation sums shows that the category of rainy in the 60-years period belongs: 10 winters, 9 summers and springs and 11 falls. There were no very rainy winters in the period 1951-2010 years, but there was 1 spring, 2 summers and 4autumns. On the other hand, the frequency of summer drought and spring is 12 out of 60, 7 winters and 6 springs. Standardized deviations show that no summer in Podgorica, is characterized as very dry. There are only one fall and winter and 3 springs in this category. There were no extremely wet and extremely dry seasons in the entire period 1951 by 2010 (table 1).

**Table 1 The classification of seasonal rainfall amount on the basis of standardized anomalies and percentiles in Podgorica for the period 1951-2010.**

| Characteristics | Classification<br>(STDEV. $\sigma$ ) | Frequency (no. of years)* |    |    |    |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------|----|----|----|
|                 |                                      | W                         | S  | S  | A  |
| Extremely dry   | $> -3\sigma$                         | 0                         | 0  | 0  | 0  |
| Very dry        | $-2 - (-3)\sigma$                    | 1                         | 3  | 0  | 1  |
| Dry             | $-1 - (-2)\sigma$                    | 7                         | 12 | 12 | 6  |
| Normal          | $\pm 1\sigma$                        | 42                        | 35 | 37 | 38 |
| Rainy           | $1 - 2\sigma$                        | 10                        | 9  | 9  | 11 |
| Very rainy      | $2 - 3\sigma$                        | 0                         | 1  | 2  | 4  |
| Extremely rainy | $> 3\sigma$                          | 0                         | 0  | 0  | 0  |

| Characteristics | Classification<br>(STDEV.σ) | Frequency (no. of years)* |    |    |    |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|----|----|----|
|                 |                             | W                         | S  | S  | A  |
| Extremely dry   | > 2                         | 0                         | 3  | 0  | 1  |
| Very dry        | 2 – 9                       | 5                         | 4  | 3  | 4  |
| Dry             | 9 – 25                      | 6                         | 15 | 17 | 8  |
| Normal          | 25 – 75                     | 34                        | 26 | 25 | 28 |
| Rainy           | 75 – 91                     | 11                        | 6  | 10 | 7  |
| Very rainy      | 91 – 98                     | 4                         | 5  | 3  | 8  |
| Extremely rainy | > 98                        | 0                         | 1  | 2  | 4  |

\*W-winter; S-spring; S-summer; A-autumn

Using percentile method different results have been obtained for seasonal rainfall anomalies in relation to normal period 1961-1990. According to this indicator, which is more sensitive than the normalized deviation, no winter is characterized as an extreme event - extremely wet or extremely dry. Also, no summer in Podgorica in the period 1951-2010 is evaluated as extremely dry, while the two satisfy the conditions of extremely wet - rainy (summer in 1959 and 1979). The extremely dry spring, there were 3 of 60, a fall 1, while the extreme humidity is opposite (1 spring and 4 autumns). Percentile values also show that seasonal rainfall amounts in most cases were within the usual values (25-75 percentile) or normal class domination over other classes. So, as normal in terms of the amount of rainfall, based on the percentile of total frequency of (60) was assessed: 25 summers, 26 springs, 28 autumns and 34 winters.

Therefore, this analysis showed that IPCC claims that warming will undoubtedly increase the frequency of extreme precipitation events is not the case in seasonal precipitation sums. In Podgorica, on the basis of standardized deviations, such events did not exist during the investigated period of 60 years. On the basis of percentile, extreme winters in terms of total precipitation (extremely dry and extremely wet) have not shown which is inconsistent with assumptions about the anthropogenic impact on increasing dryness or humidity for this period. Even in summer season, there were no extreme events in terms dryness, which also does not fit the general concept of anthropogenic aridization. In spring and autumn, considering rainfall amounts in this seasons, was 4 and 5 extreme events. However, in the last three decades spring has only once been extremely dry (2003), and fall extremely rainy (2010), while the other extreme events in the two seasons (all 7), registered in the first half of the period. This fact does not support the increase of extreme precipitation frequency as a result of warming.

Figure 5 shows the annual accumulated rainfall and sliding 11-year averages. The annual amounts are given in relation to normal deviations 1961-1990. In the period 1951-2010 there was no year described as an extreme event (extremely rainy and extremely dry, outside the range  $\pm 3$  STDEV), which is in line with changes in seasonal totals. Within the range of normal values ( $\pm 1$ STDEV or  $\pm 300$  mm), from 1359 mm to 1959 mm, are 40 years or 66.7% of the data. The 11-year sliding averages show clearly that nothing dramatically happen in Podgorica as there is no value in the period 1951-2010 that has exceeded the range  $\pm 1$  normalized deviations, or show an established trend.

**Figure 5 The standardized deviations of annual rainfall and sliding 11-year averages in Podgorica for the period 1951-2010**

Period of seven years did not show any variations (1997-2003). In other sub-period inter-annual variations are evident, which is not uncommon for this element.

According to the percentile values, precipitations were in the range of normal values (31 years). Last two years are estimated as extremely dry (1953 and 1983) and extremely

wet (1979 and 2010). To the category of dry belong 10 years and very dry 2 years. On the other hand, rainy was 7, a very rainy period of 6 years in the period 1951-2010 (Fig. 6).

**Figure 6 Anomalies of annual precipitation sums expressed in percentile of normal, Podgorica 1951-2008.**

Anomalies of rainfall can be expressed in various ways over percentile, percentage of the normal amount of and other quantities used in the meteorological statistics. Percentage of the annual amount in the period since 1951 until 2010 is ranging from 52.4% to 142.0% of the average annual amount.

### **Conclusion**

In the period 1951-2010 for which the IPCC claims dominance of anthropogenic influence on climate, there is no statistically significant trend change in seasonal and annual precipitation in Podgorica, which is in line with changes in Europe as a whole. On the other hand, the seasonal variation of rainfall amount in the period 1951-2010 expressed by coefficient of variation (CV) for the 30-years period with a lag of one year, indicates a decrease in the transitional seasons, or an increase in winter and summer season. It should be noted that the trend of seasonal variation of rainfall amount in Podgorica is statistically significant. Considering annual precipitation sums, the results of the analysis show that the increase in variability. The trend of variation in the period 1951-2010 with a lag of one year is equal to zero. Moreover, in the last five time series (1975/2004, ...1981/2010), or the period for which the IPCC claims that there is a dominance of anthropogenic warming and that would be expected due to increased frequency of extreme events, there is a downward trend variability of rainfall in Podgorica, and not just at annual level, but also the seasons.

Taking into account these results, it can be concluded that the accumulated rainfall in Podgorica in the period 1951-2010 nothing significant is happening, both on seasonal and annual scale. Inter-annual variations, which normally characterize this element, were not increased in recent years. The trend component shows some changes, but they are statistically insignificant. Past results of precipitation conditions in Podgorica, therefore, does not quite fit into the concept of the IPCC, which predicts a general decrease in rainfall in this area and increase variability. However, on the basis of the literature it seems that they still cannot perform a general conclusion as to what the anthropogenic greenhouse effect should not affect the rainfall, as this analysis is partly confirmed.

The amount of the precipitation depends on the synoptic conditions. In this regard, we believe that the change in precipitation should be studied in relation to atmospheric circulation. Present scientific community doubt that any anthropogenic greenhouse conditions causes changes in atmospheric circulation. However, many researchers claim that the air circulation is influenced by fluctuations of natural factors.

### **References**

See references on page 62