Prethodno priopćenje | *Preliminary report* | UDK: 551.577:551.582](497.5 Mljet)
Primljeno (Received): 28.04.2026.; Prihvaćeno (Accepted): 02.07.2026.

ANALIZA REŽIMA OBORINA NA OTOKU MLJETU

dr. sc. Ognjen Bonacci, prof. emerit.
Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska
e-pošta: obonacci@gradst.hr

dr. sc. Tanja Roje-Bonacci, prof. emerit.
Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska

U radu se analizira oborinski režim otoka Mljeta na temelju dnevnih podataka o oborinama s postaja Goveđari, Babino Polje i Maranovići. Korišteni su podaci iz razdoblja 1981. – 2024., a analize su vršene na godišnjoj, mjesečnoj i dnevnoj vremenskoj skali. Trendovi su određeni metodom linearne regresije, Mann–Kendallovim testom i Senovim nagibom, dok su promjene režima analizirane primjenom metode RAPS. Rezultati ukazuju na opći porast godišnjih oborina, statistički značajan na postajama Babino Polje i Maranovići, uz istodobnu promjenu režima nakon 2004. godine. Analiza na mjesečnoj skali pokazuje da su trendovi sezonski ograničeni i primarno vezani uz hladni dio godine, dok u većini mjeseci dominira visoka prirodna varijabilnost bez statistički značajnih promjena. Ekstremne oborine pokazuju izraženu prostornu heterogenost i slabu međusobnu povezanost između postaja, što upućuje na dominaciju lokalnih i stohastičkih procesa. Statistički značajan porast maksimalnih dnevnih oborina utvrđen je samo na postaji Maranovići, što sugerira prostorno selektivnu intenzifikaciju ekstremnih oborinskih događaja. Rezultati potvrđuju snažan utjecaj međudjelovanja regionalnih klimatskih promjena i lokalnih geomorfoloških čimbenika na oborinski režim malih sredozemnih otoka.

Ključne riječi: oborine, otok Mljet, analiza trendova, RAPS

1. UVOD

Cijeli se prostor Mediterana smatra jednim od područja najjače pogođenih kako suvremenim klimatskim promjenama, tako i nekontroliranim i neodrživim razvojem turizma, ranjivošću ekosustava te socioekonomskim nestabilnostima. Aktualne klimatske promjene već sada uzrokuju, a u bliskoj će budućnosti uzrokovat još izraženije negativne posljedice na prirodne ekosustave, ljudska društva i njihove aktivnosti. Ovaj se prostor stoga s pravom smatra „vrućom točkom klimatskih promjena" (Giorgi i Lionello 2008.; Cos i sur. 2022; Stathi i sur. 2023; Bracchetti i sur. 2024; Lazoglou i sur. 2024).

Brojni su autori analizirali recentne trendove klimatskih parametara - prije svega temperature zraka i oborina - na prostoru Mediterana. Dok je zatopljenje nedvojbeno i statistički potvrđeno, promjene oborina regionalno su specifične, sezonski asimetrične i često statistički slabo izražene, osobito na malim otocima. Upravo kombinacija intenzivnog globalnog porasta temperatura i nepovoljno distribuiranih oborina tijekom godine predstavlja ključni rizik za hidrološku stabilnost i vodne resurse, okoliš, ali i društveno-ekonomsku održivost mediteranskih otočnih arhipelaga. Mediteran je prijelazna zona između sredozemnih ciklona, atlantskih poremećaja i suptropskih anticiklona. Pomaci u položaju i učestalosti tih sustava ne očituju se jednako na cijelom prostoru. Dok zapadni Mediteran izraženije reagira na promjene atlantske cirkulacije, istočni Mediteran i otoci bliže afričkom kopnu brže ulaze u sušniji režim. Istodobno, trendovi porasta ekstremnih oborina izraženiji su na sjevernom Mediteranu, dok južni dijelovi bilježe slabe ili negativne trendove.

U ovom će se radu analizirati oborinski režim otoka Mljeta upotrebom podataka o dnevnim oborinama izmjerenih u razdoblju od 1981. do 2024. godine na tri postaje: Goveđari, Babino Polje i Maranovići. Analize će se provesti na godišnjoj, mjesečnoj i dnevnoj razini.

2. OTOK MLJET

Na slici 1 se nalazi karta otoka Mljeta na kojoj su naznačeni položaji tri postaje čiji su podaci analizirani u ovom radu.



Slika 1: Karta Mljeta s ucrtanim položajima tri postaje

U tablici 1 uneseni su osnovni podaci o tri postaje koje se nalaze na Mljetu.

Tablica 1: Osnovni podaci o tri postaje čiji su podaci analizirani u ovom radu

POSTAJA	H (m n. v.)	GEOGR. KOORDINATE	
GOVEĐARI	30	42° 46′ 30″ N	17° 21′ 46″ E
BABINO POLJE	120	42° 44′ 05″ N	17° 33′ 13″ E
MARANOVIĆI	115	42° 42′ 53″ N	17° 40′ 03″ E

U tablici 2 nalaze se udaljenosti zračnom linijom između tri postaje. Udaljenosti između postaja izračunate su kao udaljenosti po velikoj kružnici pomoću Haversine formule (Sinnott 1984), uz pretpostavku sferične Zemlje polumjera 6371 km.

Tablica 2: Udaljenost zračnom linijom među postajama

L (km)	GOVEĐARI	BABINO P.	MARANOVIĆI
GOVEĐARI	0	16,2	25,8
BABINO POLJE		0	9,6
MARANOVIĆI			0

Mali otok Mljet nalazi se na južnome dijelu Jadranske karbonatne platforme (Bakrač i sur. 2024). Većinom je izgrađen od mezozojskih karbonatnih naslaga (Husinec 2002). Pruža se u smjeru zapad-sjeverozapad - istok-jugoistok. Pripada makrogeomorfološkoj regiji Južne Dalmacije s arhipelagom te mezogeomorfološkoj regiji Južnodalmatinskog arhipelaga (Bognar 1999). Površina mu iznosi 98,02 km^2, dok duljina obalne linije doseže 135,18 km (Duplančić-Leder i sur. 2004). Riječ je o uskom otoku čija prosječna širina iznosi 3 km, a najveća 4,8 km, dok mu je najveća duljina 37 km. Gusto je pošumljen i okružen manjim otočićima. Zapadni dio otoka i okolno more 11. studenoga 1960. godine proglašeni su nacionalnim parkom i posebnim zaštićenim područjem (Jurinović i sur. 2024). Na jugoistočnoj strani Mljeta 15. travnja 1965. godine proglašen je značajni krajobraz Saplunara. Prema popisu stanovništva iz 2021. godine, na otoku živi 1062 stanovnika. Prema Köppen-Geigerovoj (1936) klasifikaciji, na ovom području vlada Csa sredozemna klima sa suhim vrućim ljetima te blagim i kišovitim zimama (Šegota i Filipčić 2003).

Na Mljetu se razlikuju tri značajno različite reljefne cjeline: zapadni, središnji i istočni dio otoka. Zapadni dio otoka odlikuje razvedena obala i niski teren. U tom području smještena je klimatološka postaja Goveđari. Bitno geomorfološko svojstvo Mljeta česta je i izrazita izmjena uzvisina i udolina koja se najjače javlja u njegovu središnjem djelu u kojem se nalazi i najviši vrh Veliji grad koji doseže visinu od 514 m n. v. U njegovu neposrednom susjedstvu najveća je otočna udolina Babino Polje u kojoj se nalazi kišomjerna postaja Babino Polje. Istočni dio otoka je najduži i također relativno visok, a u njemu se nalazi s kišomjerna postaja Maranovići.

3. KORIŠTENE METODE

Metoda linearne regresije primijenjena je za definiranje linearnih trendova vremenskih nizova oborina P. Jednadžba pravca linearne regresije glasi:

$$Y = (A \times X) + B \quad (1)$$

Pri čemu Y označava zavisnu varijablu, a X označava nezavisnu varijablu koja u slučaju analize trenda u vremenskim nizovima predstavlja godinu t. Koeficijenti A i B su koeficijenti linearne regresije koji se računaju metodom najmanjih kvadrata koja minimizira vrijednosti kvadrata udaljenosti između opaženih podataka i pravca regresije. Koeficijent A predstavlja nagib pravca regresije. Negativna vrijednost ovog koeficijenta označava da je veza između ispitivanih parametara obrnuto proporcionalna, što ukazuje na trend opadanja, dok pozitivna vrijednost upućuje na suprotnu međuzavisnost i pojavu trenda u porastu.

Pearsonov koeficijent linearne korelacije R mjeri jakost linearne korelacije, odnosno vjerojatnost da vrijednosti jedne statističke varijable odgovara određena vrijednost druge statističke varijable pri izravnoj ili recipročnoj razmjernosti. Za svaki analizirani slučaj u ovom radu izračunate su vrijednosti Pearsonovog koeficijenata korelacije R i koeficijenata determinacije R^2. Koeficijent determinacije R^2 predstavlja kvadrat vrijednosti koeficijenta korelacije R.

Statistička značajnost monotonog porasta ili opadanja linearnih trendova vremenskih nizova analiziranih klimatoloških parametara ocjenjivana je neparametarskim Mann-Kendallovim (M-K) testom (Mann 1945; Kendall 1975). Nulta hipoteza pretpostavlja da ne postoji statistički značajan monotoni trend

analiziranog vremenskog niza, dok alternativna hipoteza pretpostavlja da statistički značajan trend postoji. Kao kriterij za prihvaćanje alternativne hipoteze uzeta je vjerojatnost M-K testa $p < 0,05$.

Za karakterizaciju linearnog trenda vremenskog niza korišteni su parametarski nagib *A* dobiven metodom najmanjih kvadrata i neparametarski Senov nagib *S* (Sen 1968). Treba napomenuti da regresijski parametar *A* ovisi o pretpostavkama normalnosti, kao i odsutnosti ekstremnih vrijednosti koje se u klimatskim i vremenskim nizovima često javljaju, posebno u recentnom razdoblju kao posljedica klimatskih promjena. Senov nagib procjenjuje trend kao medijan svih parcijalnih nagiba između parova opažanja te je stoga znatno robusniji na stršeće vrijednosti (engl. *outlier),* nelinearnosti i promjene varijance. Zbog tih svojstava Senov nagib pruža stabilniju i fizički reprezentativniju procjenu dugoročnog monotonog trenda u realnim vremenskim nizovima, dok je regresijski nagib *A* prikladniji u idealiziranim uvjetima kada su statističke pretpostavke zadovoljene. Oba su pokazatelja dimenzionalno izražena u milimetrima po godini (mm/god) kod analize nizova godišnjih oborina. Stršeća vrijednost je opažanje koje se značajno razlikuje od većine ostalih podataka i ne slijedi njihov statistički obrazac. Takve vrijednosti mogu nastati zbog prirodne varijabilnosti, ekstremnih događaja ili pogrešaka pri mjerenju te mogu značajno utjecati na rezultate statističke analize.

Za određivanje postojanja statistički značajnih podnizova - odnosno za definiranje statistički značajnih pojava skokova ili padova vrijednosti unutar analiziranog vremenskog niza - u ovome je radu korištena metoda RAPS, odnosno metoda sumarne krivulje odstupanja (engl. *Rescaled Adjusted Partial Sums*, RAPS) (Bonacci i sur. 2024). Primjenom metode RAPS moguće je odrediti podrazdoblja sa statistički značajno različitim prosječnim vrijednostima analizirane varijable. Izraz za definiranje vrijednosti RAPS-a glasi:

$$RAPS_k = \Sigma k\ ((Yk - YN)/SN) \qquad (2)$$

gdje Yk predstavlja prosječnu vrijednost analiziranog parametra u intervalu vremena k, YN je prosječna vrijednost u cijelom vremenskom nizu, a SN je standardna devijacija cijelog niza koji se sastoji od N članova, (k = 1, 2 . . ., N), predstavlja brojač tijekom sumiranja.

Za određivanje statističke značajnosti razlika između prosječnih vrijednostima dvaju podnizova u susjednim podrazdobljima koja su definirana metodom RAPS, primijenjeni su F-test i t-test. F-testom je ispitivana statistička značajnost razlike varijanci, dok se t-test koristio za procjenu razlikuju li se prosječne vrijednosti tih dvaju susjednih vremenskih podnizova statistički značajno. U oba testa izabrana je vrijednost vjerojatnosti, $p<0,05$ kao kriterij za prihvaćanje hipoteze o postojanju statistički značajne razlike između prosječnih vrijednosti podnizova.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Godina kao jedinica analize

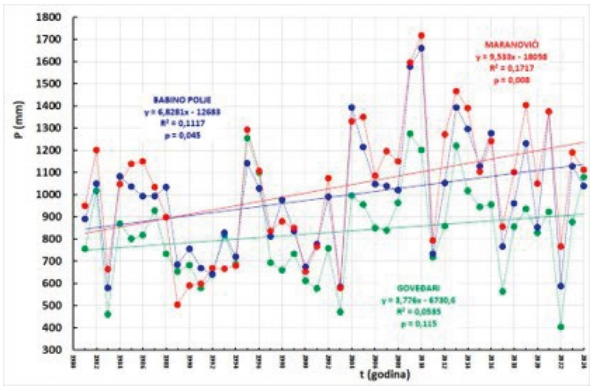
U tablici 3 prikazane su minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti godišnjih oborina te standardne devijacije nizova opaženih u razdoblju od 1981. do 2024. godine na tri postaje na otoku Mljetu.

Tablica 3: Karakteristične vrijednosti godišnjih oborina opaženih u razdoblju 1981.-2024. na tri postaje na otoku Mljetu

	GOVEĐARI	BABINO POLJE	MARANOVIĆI
PMIN (mm)	404,2	579,7	502,9
PPR (mm)	830,9	990,0	1031,4
PMAX (mm)	1274,7	1661,0	1717,2
ST. DEV. (mm)	209,7	262,4	295,5

Rezultati iz tablice 3 ukazuju na izraženu prostornu varijabilnost godišnjih oborina na malom otoku Mljetu. Postaje Babino Polje i Maranovići bilježe veće prosječne i maksimalne vrijednosti u odnosu na postaju Goveđari, što se može pripisati utjecaju orografije, nadmorske visine i udaljenosti od kontinenta. Istodobno, povećanje standardne devijacije prema istočnom dijelu otoka upućuje na veću međugodišnju varijabilnost oborina u topografski složenijim područjima.

Na slici 2 prikazani su vremenski nizovi godišnjih oborina na trima analiziranim postajama na otoku Mljetu u razdoblju 1981. – 2024.godine. Vidljivo je da na svim postajama postoji trend porasta godišnjih oborina, međutim njegova statistička značajnost nije ujednačena. Dok je na postaji Goveđari utvrđen statistički neznačajan trend porasta, na postajama Babino Polje i Maranovići on je statistički značajan. Ovakav rezultat ukazuje na prostornu varijabilnost oborinskog režima unutar relativno malog područja, ali i na opću tendenciju povećanja količine oborina u recentnom razdoblju.



Slika 2: Nizovi godišnjih oborina opaženih u razdoblju 1981. - 2024. na tri analizirane postaje

U tablici 4 unesene su vrijednosti koeficijenata determinacije R^2 između parova nizova godišnjih oborina opaženih na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024. godine.

Tablica 4: Matrica koeficijenata determinacije R^2 između parova nizova godišnjih oborina izmjerenih na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024.

R^2	GOVEĐARI	BABINO POLJE	MARANOVIĆI
GOVEĐARI	1	0,750	0,723
BABINO POLJE		1	0,889
MARANOVIĆI			1

Rezultati iz tablice 4 ukazuju na visoku međusobnu povezanost nizova godišnjih oborina između analiziranih postaja, što potvrđuje postojanje dominantnog regionalnog oborinskog signala na otoku Mljetu. Istodobno, odstupanja od još bolje korelacije upućuju na dodatni utjecaj lokalnih čimbenika, ponajprije orografije i mikrocirkulacijskih procesa.

U tablici 5 upisane su vjerojatnosti trenda p određene Mann-Kendallovim testom, Senovi nagibi S te vrijednosti A pravca regresije.

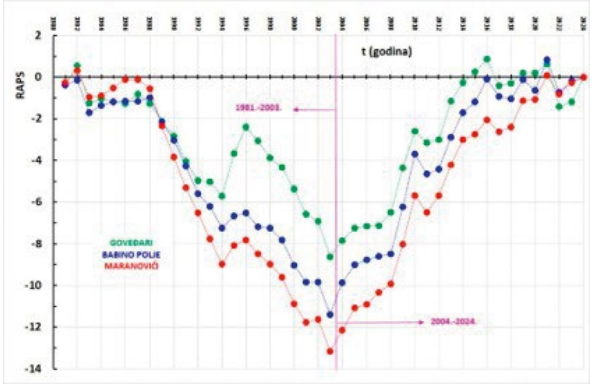
Tablica 5: Vjerojatnosti trenda p određene Mann-Kendallovim testom, Senovi nagibi S i vrijednosti A pravaca regresije izračunati za nizove godišnjih oborina na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024.

POSTAJA	p	S (mm/god)	A (mm/god)
GOVEĐARI	0,115	4,24	3,78
BABINO POLJE	0,0452	6,21	6,82
MARANOVIĆI	0,0085	9,52	9,53

Crveno su označeni slučajevi kad su trendovi porasta statistički značajni

Rezultati prikazani u tablici 5 ukazuju na postojanje pozitivnih trendova godišnjih oborina na svim analiziranim postajama, pri čemu su vrijednosti Senovog nagiba i regresijskog koeficijenta A međusobno vrlo slične. To sugerira da nizovi ne sadrže izražene strše će vrijednosti niti značajne nelinearnosti koje bi utjecale na procjenu trenda. Međutim, statistička značajnost trenda razlikuje se među postajama. Na postaji Goveđari trend nije statistički značajan, na postajama Babino Polje i Maranovići on je statistički značajan, s izraženijim intenzitetom na postaji Maranovići.

Na slici 3 prikazani su RAPS nizovi izračunati za godišnje oborine izmjerene na tri analizirane postaje u razdoblju 1981. - 2024. Uočava se da su na sve tri postaje definirana dva podrazdoblja sa statistički značajnim razlikama prosječnih vrijednosti. Radi se o podrazdobljima od 1981. do 2003. te od 2004. do 2024. Ova promjena ne predstavlja samo postupni trend, već diskontinuitet u vremenskom nizu, odnosno prijelaz u stanje s drugačijim prosječnim vrijednostima oborina.



Slika 3: RAPS nizovi izračunati za godišnje oborine izmjerene na tri analizirane postaje u razdoblju 1981. - 2024.

U tablici 6 prikazane su prosječne vrijednosti godišnjih oborina u dva podrazdoblja određena metodom RAPS te rezultati vjerojatnosti p određene F-testom i t-testom.

Rezultati prikazani u tablici 6 dodatno potvrđuju ovu promjenu. Prosječne godišnje oborine u novijem podrazdoblju (2004. – 2024.) veće su na svim analiziranim postajama u odnosu na prethodno razdoblje (1981. – 2003.). Postojanje statistički značajnih razlika potvrđeno je t-testom na svim postajama, što ukazuje na pouzdanu promjenu srednjih vrijednosti. Istodobno, rezultati F-testa pokazuju da promjene varijance nisu jednako izražene. To sugerira da je dominantna promjena u oborinskom režimu vezana uz porast srednjih vrijednosti, a ne uz povećanje varijabilnosti.

Dobiveni rezultati ukazuju na to da promjena oborinskog režima na otoku Mljetu nije isključivo rezultat linearnog trenda, već prije svega posljedica promjene režimskih uvjeta nakon početka 21. stoljeća. Uočeni

Tablica 6: Prosječne vrijednosti godišnjih oborina u dva podrazdoblja određena metodom RAPS te rezultati vjerojatnosti p određene F-testom i t-testom

POSTAJA	RAZDOBLJE	Ppr (mm)	p (F-test)	p (t-test)
GOVEĐARI	1981. - 2003.	752,2	0,782	0,0076
	2004. - 2024.	917,1		
BABINO POLJE	1981. - 2003.	859,9	0,0454	0,00042
	2004. - 2024.	1132,4		
MARANOVIĆI	1981. - 2003.	862,2	0,843	1,3E-05
	2004. - 2024.	1216,6		

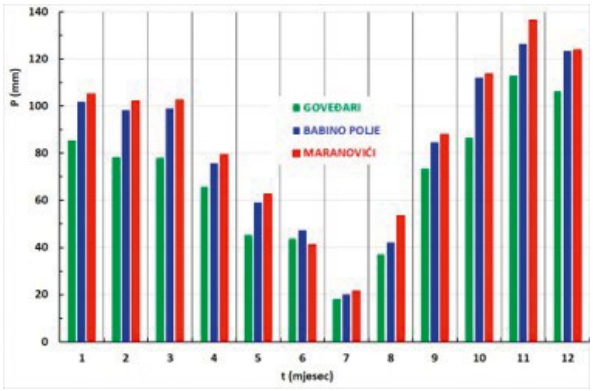
Crveno su označeni slučajevi statističko značajnih razlika varijanci (F-test) i prosječnih vrijednosti (t-test) između dva podniza

porast srednjih godišnjih oborina u razdoblju nakon 2004. godine može se dovesti u vezu s promjenama u cirkulacijskim obrascima nad Sredozemljem – posebice s promjenama u učestalosti i intenzitetu ciklonalne aktivnosti te povećanom varijabilnošću atmosferskih obrazaca povezanih s velikim skalama (npr. Sjevernoatlantska oscilacija, NAO). Takvi procesi mogu rezultirati redistribucijom oborina u prostoru i vremenu, pri čemu se u nekim područjima bilježi porast ukupnih količina, ali i veća koncentracija oborinskih epizoda.

Istodobno, uočene razlike u trendovima između postaja na relativno malim međusobnim udaljenostima upućuju na snažan utjecaj lokalnih čimbenika. Na otoku Mljetu izražena je kompleksna reljefna struktura s naglašenom izmjenom uzvisina i udolina, što presudno utječe na orografske procese i prostornu raspodjelu oborina. Osim toga, razlike u nadmorskoj visini, ekspoziciji padina, udaljenosti od obale te lokalnim cirkulacijama (npr. na relaciji kopno - more) mogu uzrokovati znatne razlike u količinama oborina čak i između bliskih postaja. U takvim uvjetima male promjene u dominantnim smjerovima strujanja ili položaju ciklona mogu dovesti do različitog oborinskog odgovora pojedinih dijelova otoka.

Također, potrebno je uzeti u obzir da su oborine visoko varijabilna meteorološka veličina s izraženom osjetljivošću na lokalne konvekcijske procese i ekstremne događaje. U uvjetima klimatskih promjena, povećana učestalost intenzivnih oborinskih epizoda može dodatno naglasiti prostornu heterogenost i dovesti do slabije koherencije trendova između postaja. Stoga uočene razlike ne predstavljaju anomaliju, već očekivanu posljedicu međudjelovanja globalnih klimatskih promjena i lokalnih geomorfoloških i meteoroloških uvjeta.

4.2. Mjesec kao jedinica analize



Slika 4: Vrijednosti prosječnih mjesečnih oborina na tri analizirane postaje u razdoblju 1981. - 2024.

Na slici 4 prikazane su vrijednosti prosječnih mjesečnih oborina na tri analizirane postaje u razdoblju 1981. - 2024. godine.

Na slici 4 vidljivo je da sve postaje pokazuju izražen sredozemni režim oborina. Maksimumi se javljaju u jesensko-zimskom razdoblju, s naglašenim vrhuncem u studenome i prosincu, dok su minimumi zabilježeni tijekom ljetnih mjeseci, osobito u srpnju. Razlike među postajama očituju se u većim količinama oborina na postajama Babino Polje i Maranovići u odnosu na postaju Goveđari, što je u skladu s njihovim većim nadmorskim visinama i izraženijim orografskim utjecajem. Dobiveni rezultati potvrđuju stabilnost sezonske raspodjele oborina, ali i postojanje značajne prostorne varijabilnosti unutar relativno malog otočnog prostora.

U tablici 7 prikazane su vrijednosti koeficijenta linearne regresije A izraženog u milimetrima na godinu i vjerojatnosti trenda p određene Mann-Kendallovim testom za svaki mjesec u razdoblju 1981. - 2024.

Tablica 7: Vrijednosti koeficijenta linearne regresije A izraženog u mm na godinu, i vjerojatnosti trenda p određene Mann-Kendallovim testom za svaki mjesec u razdoblju 1981. - 2024.

MJESEC	GOVEĐARI		BABINO POLJE		MARANOVIĆI	
	A (mm/god)	p	A (mm/god)	p	A (mm/god)	p
I.	1,349	0,040	1,970	0,0108	1,935	0,0136
II.	0,134	0,716	0,807	0,352	1,001	0,097
III.	0,153	1,000	0,124	0,808	0,035	0,919
IV.	0,155	0,723	0,171	0,919	0,756	0,257
V.	0,128	0,911	0,499	0,686	0,949	0,080
VI.	0,256	0,585	0,540	0,856	0,233	0,863
VII.	0,083	0,992	0,209	0,613	0,286	0,159
VIII.	0,235	0,9192	0,127	0,723	0,379	0,663
IX.	1,041	0,327	0,926	0,390	1,721	0,078
X.	-0,606	0,317	0,119	0,746	0,326	0,808
XI.	0,837	0,237	0,889	0,347	0,989	0,245
XII.	0,012	0,968	0,447	0,848	0,923	0,279

Crveno su označeni slučajevi kad su trendovi porasta statistički značajni
Plavo je označen trend opadanja

godine. Rezultati ukazuju na izrazito slabu i sezonski ograničenu signalizaciju trendova mjesečnih oborina na otoku Mljetu. Naime, iako su regresijski nagibi A u svim mjesecima pozitivni (osim u listopadu na postaji Goveđari), statistički značajan trend detektiran je isključivo u siječnju, i to konzistentno na sve tri postaje .

Takav rezultat sugerira da je porast godišnjih oborina (utvrđen na godišnjoj skali) primarno posljedica promjena u hladnom dijelu godine, dok u ostalim mjesecima dominira visoka prirodna varijabilnost bez jasno definiranog monotonog trenda. Posebno je važno uočiti da su proljetni i ljetni mjeseci praktički bez trenda, što je u skladu s poznatom stabilnošću sušnog dijela sredozemnog režima.

Pojavljuje se i izolirani negativni trend u listopadu (postaja Goveđari), no bez statističke značajnosti, što upućuje na to da se ne radi o sustavnoj promjeni već o lokalnoj fluktuaciji unutar stohastički dominantnog procesa oborine.

U fizikalnom smislu, ovakva raspodjela trendova implicira da su promjene oborinskog režima na Mljetu povezane s modifikacijama zimskih cirkulacijskih obrazaca (npr. ciklonalna aktivnost nad Sredozemljem), dok ljetni konvektivni režim ostaje uglavnom nepromijenjen. Time se potvrđuje da klimatski signal nije uniforman kroz godinu, već je sezonski diferenciran i koncentriran u razdobljima dominantne sinoptičke kontrole oborina.

U tablici 8 navedene su karakteristične vrijednosti nizova maksimalnih mjesečnih oborina izmjerenih na tri analizirane postaje u razdoblju 1981. - 2024. godine.

Tablica 8: Karakteristične vrijednosti nizova maksimalnih mjesečnih oborina izmjerenih na tri analizirane postaje u razdoblju 1981. - 2024.

	GOVEĐARI	BABINO POLJE	MARANOVIĆI
PMIN	82,3	107,7	117,4
PPR	196,5	220,8	225,2
PMAX	430,5	348,8	374,7
ST. DEV.	71,3	65,4	64,9

Rezultati ukazuju na izraženu prostornu varijabilnost maksimalnih mjesečnih oborina, pri čemu postaje Babino Polje i Maranovići bilježe veće srednje i maksimalne vrijednosti u odnosu na Goveđare, što je u skladu s njihovim većim nadmorskim visinama i jačim orografskim utjecajem. Istodobno, relativno slične standardne devijacije sugeriraju da je varijabilnost ekstremnih mjesečnih oborina usporediva među postajama, unatoč razlikama u apsolutnim iznosima.

U tablici 9 je prikazana matrica vrijednosti koeficijenata determinacije R^2 između parova nizova maksimalnih mjesečnih oborina izmjerenih na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024. godine.

Vrijednosti koeficijenata determinacije pokazuju umjerenu povezanost između nizova maksimalnih mjesečnih oborina, što ukazuje na djelomičnu

Tablica 9: Matrica koeficijenata determinacije R2 između parova nizova maksimalnih mjesečnih oborina izmjerenih na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024.

R^2	GOVEĐARI	BABINO POLJE	MARANOVIĆI
GOVEĐARI	1	0,557	0,424
BABINO POLJE		1	0,621
MARANOVIĆI			1

sinkroniziranost ekstremnih oborinskih epizoda na otoku. Niže vrijednosti R^2 u odnosu na godišnje oborine sugeriraju da su maksimalne mjesečne oborine pod snažnijim utjecajem lokalnih i stohastičkih procesa (npr. konvekcija), što rezultira slabijom prostornom koherencijom.

U tablici 10 navedene su vjerojatnosti trenda p određene Mann-Kendallovim testom, Senovi nagibi S te vrijednosti A pravca regresije.

Tablica 10: Vjerojatnosti trenda p određene Mann-Kendall testom, Senovi nagibi S i vrijednosti A pravaca regresije izračunati za nizove maksimalnih mjesečnih oborina na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024.

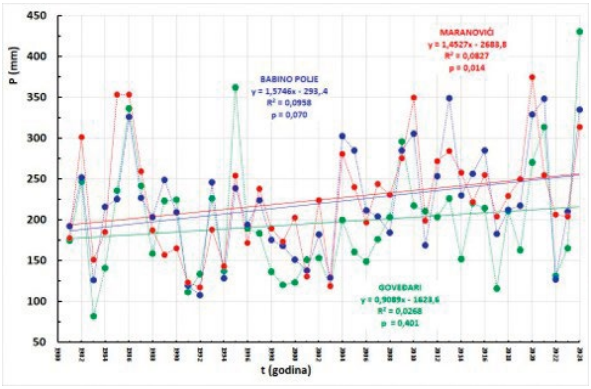
POSTAJA	p	S (mm/god)	A (mm/god)
GOVEĐARI	0,401	0,87	0,91
BABINO POLJE	0,070	1,72	1,57
MARANOVIĆI	0,014	1,74	1,45

Crveno je označen slučaj kad je trend porasta statistički značajan

Na svim postajama uočen je pozitivan trend maksimalnih mjesečnih oborina, no statistički je značajan samo na postaji Maranovići. U Babinom Polju trend je granično neznačajan, a na postaji Goveđari jasno neznačajan. Sličnost između Senovog nagiba i regresijskog koeficijenta A upućuje na odsutnost izraženih stršećih vrijednosti i relativnu linearnost signala. Dobiveni rezultati sugeriraju da se potencijalno pojačavanje ekstremnih oborinskih epizoda manifestira prostorno diferencirano, s izraženijim signalom u istočnom i orografski aktivnijem dijelu otoka.

Na slici 5 prikazani su nizovi maksimalnih mjesečnih oborina u pojedinoj godini opaženi u razdoblju 1981. - 2024. na tri analizirane postaje.

Na postaji Goveđari trend je uzlazni, ali statistički neznačajan. Na postaji Babino Polje trend je uzlazni i statistički neznačajan, ali blizu značajnosti budući da je p=0,07. Na postaji Maranovići uzlazni trend je statistički značajan. Ovi rezultati pokazuju da maksimalne mjesečne oborine rastu na sve tri postaje, ali je trend statistički pouzdano potvrđen samo na postaji Maranovići. To upućuje na moguć porast intenziteta najobilnijih mjesečnih oborinskih epizoda na istočnom dijelu otoka, dok su na Goveđarima i Babinom Polju promjene izražene slabije ili su prekrivene velikom



Slika 5: Nizovi maksimalnih mjesečnih oborina u pojedinoj godini opaženi u razdoblju 1981. - 2024. na tri analizirane postaje

međugodišnjom varijabilnošću. Dio razloga ovakvog ponašanja može se naći i u činjenici da su postaje Maranovići pa i Babino Polje bliži kopnu i te se nalaze u brdovitijem dijelu otoka, a kišomjeri se nalaze na višoj nadmorskoj visini od onog na postaji Goveđari.

4.3. Dan kao jedinica analize

U tablici 11 navedene su karakteristične vrijednosti nizova maksimalnih dnevnih oborina u pojedinoj godini izmjerenih na tri analizirane postaje u razdoblju 1981. - 2024. godine.

Tablica 11: Karakteristične vrijednosti nizova maksimalnih dnevnih oborina u pojedinoj godini izmjerenih na tri analizirane postaje u razdoblju 1981. - 2024.

	GOVEĐARI	BABINO POLJE	MARANOVIĆI
PMIN	30,2	38,4	35,2
PPR	74,8	79,8	80,9
PMAX	147,7	164,3	214,3
ST. DEV.	25,9	27,6	31,1

Rezultati ukazuju na izraženu prostornu varijabilnost ekstremnih dnevnih oborina, pri čemu postaja Maranovići bilježi najveće maksimalne vrijednosti i najveću varijabilnost, što odražava jači orografski utjecaj i veću izloženost intenzivnim oborinskim epizodama. Istodobno, relativno slične srednje vrijednosti sugeriraju da se razlike prvenstveno manifestiraju u ekstremima, a ne u tipičnim maksimalnim događajima.

U tablici 12 prikazana je matrica vrijednosti koeficijenata determinacije R^2 između nizova maksimalnih dnevnih oborina izmjerenih na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024. godine.

Niske vrijednosti koeficijenata determinacije ukazuju na vrlo slabu međusobnu povezanost nizova maksimalnih dnevnih oborina, što potvrđuje njihovu izrazito lokalnu i stohastičku prirodu. Takav rezultat implicira da su ekstremni dnevni događaji dominantno kontrolirani mezoskalnim i konvektivnim procesima,

Tablica 12: Matrica koeficijenata determinacije R2 između nizova maksimalnih dnevnih oborina izmjerenih na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024.

R^2	GOVEĐARI	BABINO POLJE	MARANOVIĆI
GOVEĐARI	1	0,212	0,118
BABINO POLJE		1	0,233
MARANOVIĆI			1

uz minimalnu prostornu koherenciju čak i na malim udaljenostima.

U tablici 13 navedene su vjerojatnosti trenda p određene Mann-Kendallovim testom, Senovi nagibi S te vrijednosti A pravca regresije za nizove maksimalnih dnevnih oborina izmjerenih na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024. godine.

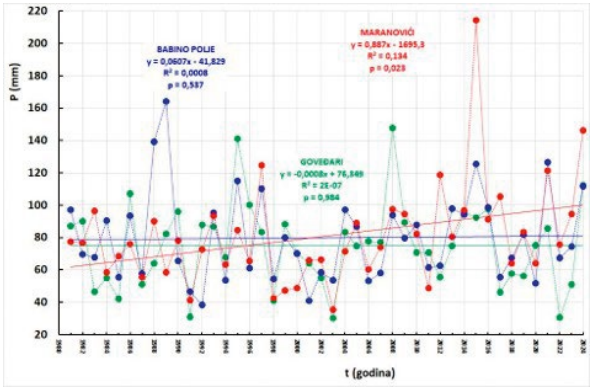
Tablica 13: Vjerojatnosti trenda p određene Mann-Kendallovim testom, Senovi nagibi S i vrijednosti A pravaca regresije izračunati za nizove maksimalnih dnevnih oborina na tri postaje u razdoblju 1981. - 2024.

POSTAJA	p	S (mm/god)	A (mm/god)
GOVEĐARI	0,984	-0,004	-0,001
BABINO POLJE	0,537	0,170	0,061
MARANOVIĆI	0,023	0,712	0,887

Crveno je označen slučaj kad je trend porasta statistički značajan

Na postajama Goveđari i Babino Polje nije utvrđen statistički značajan trend maksimalnih dnevnih oborina, dok je na postaji Maranovići detektiran statistički značajan pozitivan trend. Dobiveni rezultati upućuju na prostorno diferenciran signal intenzifikacije ekstremnih dnevnih oborina, pri čemu se klimatski utjecaj manifestira selektivno u orografski i meteorološki pogodnijim područjima.

Na slici 6 prikazani su nizovi maksimalnih dnevnih oborina opaženi u razdoblju 1981.-2024. na tri analizirane postaje.



Slika 6: Nizovi maksimalnih dnevnih oborina tijekom godine opaženi u razdoblju 1981.-2024. na tri analizirane postaje

Slika 6 pokazuje izraženu međugodišnju varijabilnost maksimalnih dnevnih oborina bez jasnog

monotonog trenda na postajama Goveđari i Babino Polje, dok se na postaji Maranovići uočava uzlazni trend s učestalijim pojavama ekstremnih vrijednosti u novijem razdoblju. Takav obrazac potvrđuje dominantno stohastički karakter ekstremnih dnevnih oborina uz prostorno diferenciranu manifestaciju mogućeg signala intenzifikacije.

5. ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA DALJNJA ISTRAŽIVANJA

Provedena analiza oborinskog režima na otoku Mljetu u razdoblju od 1981. do 2024. ukazuje na postojanje izražene prostorne i vremenske varijabilnosti oborina, kao i na složeno međudjelovanje regionalnih klimatskih promjena i lokalnih geomorfoloških čimbenika.

Potrebno je naglasiti da ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja objavljenih u radu Bonacci i sur. (2026). U tom je članku bila analizirana problematika razlika klimatskih karakteristika (temperature zraka i oborina) opaženih na tri relativno bliska otoka u Jadranskom moru, Visu, Lastovu i Mljetu. Cilj istraživanja bio je utvrđivanje pojave suše na njima. Ovaj se rad usmjerio isključivo na objašnjavanje neuobičajeno velikih razlika oborinskog režima na tri postaje na otoku Mljetu, koristeći godišnje, mjesečne i dnevne (24 sata) vremenske skale.

Na godišnjoj je skali utvrđen opći trend porasta količine oborina na svim analiziranim postajama. Taj je trend statistički značajan na postajama Babino Polje i Maranovići, dok na postaji Goveđari nije potvrđen. Analiza s pomoću metode RAPS pokazala je postojanje dvaju jasno razdvojenih podrazdoblja (1981. – 2003. i 2004. – 2024.), pri čemu je u novijem razdoblju zabilježen porast srednjih godišnjih oborina na svim postajama. Dobiveni rezultati ukazuju na to da promjene oborinskog režima nisu isključivo linearne, već uključuju i diskontinuitete povezane s promjenama cirkulacijskih obrazaca nad Sredozemljem.

Na mjesečnoj skali utvrđeno je da je signal promjene oborina sezonski diferenciran. Statistički značajan trend porasta detektiran je isključivo u zimskom razdoblju (siječanj), dok u preostalim mjesecima dominira visoka prirodna varijabilnost bez jasnog monotonog trenda. Takav rezultat potvrđuje stabilnost sušnog dijela sredozemnog režima te upućuje na to da su uočene promjene oborinskog režima primarno povezane s modifikacijama zimskih sinoptičkih uvjeta.

Analiza ekstremnih oborina (mjesečnih i dnevnih maksimuma) pokazuje izraženu prostornu heterogenost i znatno slabiju međusobnu povezanost između triju postaja u odnosu na analizu godišnjih vrijednosti. Niske vrijednosti koeficijenata determinacije za maksimalne dnevne oborine potvrđuju dominaciju lokalnih i stohastičkih procesa, osobito konvektivnih i mezoskalnih fenomena. Statistički značajan pozitivan trend maksimalnih dnevnih oborina utvrđen je isključivo na postaji Maranovići, što upućuje na prostorno selektivnu intenzifikaciju ekstremnih oborinskih epizoda, vjerojatno povezanu s lokalnim orografskim uvjetima i većom izloženošću ciklonalnim utjecajima.

Dobiveni rezultati jasno ukazuju na to da se klimatski signal na malim otocima ne manifestira uniformno, već je snažno moduliran lokalnim uvjetima poput reljefa, nadmorske visine, ekspozicije i udaljenosti od mora. U takvim uvjetima čak i male promjene u regionalnim cirkulacijskim obrascima mogu rezultirati značajnim razlikama u oborinskom odgovoru na vrlo malim međusobnim udaljenostima.

Rezultati ovog rada potvrđuju da je oborinski režim Mljeta rezultat složenog međudjelovanja globalnih klimatskih trendova i lokalnih prirodnih uvjeta, što u budućim istraživanjima zahtijeva interdisciplinarni pristup. Detaljno poznavanje varijabilnosti oborinskih procesa na malim otocima od ključne je važnosti u uvjetima intenzivnog globalnog zagrijavanja, jer upravo takvi sustavi pokazuju izrazitu osjetljivost na i najmanje promjene klimatskih čimbenika. Visoka prostorna i vremenska heterogenost oborina dodatno pojačana lokalnim geomorfološkim utjecajima, može dovesti do značajnih promjena u raspoloživosti vodnih resursa i učestalijoj pojavi ekstremnih događaja. Stoga je precizno razumijevanje tih procesa nužno za pouzdanu procjenu klimatskih rizika i planiranje održivog upravljanja otočnim okolišem.

Za potpunije razumijevanje promjena oborinskog režima na otoku Mljetu i sličnim sredozemnim otocima preporučuje se:

Proširenje skupa podataka uključivanjem duljih vremenskih nizova i dodatnih postaja kako bi se smanjila nesigurnost u detekciji trendova.

Analiza sinoptičkih i cirkulacijskih uvjeta (npr. NAO, položaj ciklona) radi boljeg razumijevanja uzroka detektiranih promjena.

Primjena visokorezolucijskih klimatskih modela kako bi se procijenio budući razvoj oborinskog režima i ekstremnih događaja.

Detaljna analiza ekstremnih oborinskih epizoda (trajanje, intenzitet, sezonalnost) s naglaskom na konvektivne procese.

Istraživanje utjecaja klimatskih promjena na hidrološke procese (npr. otjecanje, infiltracija, raspoloživost vodnih resursa) u krškim uvjetima.

Integracija geomorfoloških i meteoroloških analiza radi boljeg razumijevanja uloge reljefa u formiranju oborinskih obrazaca. ■

LITERATURA

Bakrač K, Sirenko O, Hruševar D, Baničeк I, Novak V, Kletečki N, Oros Sršen A (2024) First palynological results from Spila nad Procjepom cave, Mljet island (Croatia). Geologia Croatica 77(1), 29-39. DOI:10.4154/gc.2024.04

Bognar A (1999) Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. Acta Geographica Croatica 34(1), 7–26

Bonacci O, Žaknić-Ćatović A, Roje-Bonacci T (2024) Prominent increase in air temperatures on two

small Mediterranean islands, Lastovo and Lošinj, since 1998 and its effect on the frequency of extreme droughts. Water 16(22), 3175. DOI:10.3390/w16223175

Bonacci O, Žaknić-Ćatović A, Roje-Bonacci T (2026) Analysis of drivers of temperature and precipitation regime variability on three small islands in the Adriatic Sea and implications for drought. Atmosphere 17(5), 509. DOI:10.3390/atmos17050509

Bracchetti L, Tordoni E, Cancellieri L, Bacaro G (2024) Climate change impacts on Mediterranean ecosystems: trends, vulnerabilities and future risks. Ecological Indicators 158, 111310. DOI:10.1016/j.ecolind.2023.111310

Cos J, Doblas-Reyes FJ, Jury MW, Marcos R, Bretonnière P-A, Torre J (2022) Mediterranean climate change hotspots in CMIP5 and CMIP6 projections. Earth System Dynamics, 13(1), 321–340. DOI:10.5194/esd-13-321-2022

Duplačić-Leder T, Ujević T, Čala M (2004) Coastline lengths and area of islands in the Croatian part of the Adriatic Sea determined from the topographic maps at the scale 1:25000. Geoadria 9(1), 5–32. DOI:10.15291/geoadria.127

Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. Global and Planetary Change 63(2–3), 90–104. DOI:10.1016/j.gloplacha.2007.09.005

Husinec A (2002) Stratigrafija mezozojskih naslaga otoka Mljeta u okviru geodinamske evolucije južnog dijela Jadranske karbonatne platforme. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Jurinović L, Budinski I, Ječmenica B, Hadžalić S, Taylor L (2024) Avifauna of the national park Mljet: focus on target species and their threats. Larus 59(1), 21-46. DOI:10.21857/y54jof41wm

Kendall MG (1975) Rank Correlation Methods. 4th edition. Charles Griffin, London.

Köppen W, Geiger R (1936) Handbuch der Klimatologie: Das geographische System der Klimate. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin

Mann HB (1945) Non-parametric test of randomness against trend. Econometrica 13(3), 245-259. DOI:10.2307/1907187.

Lazoglou G, Anagnostopoulou, C, Tolika, K, Maheras P (2024) Identifying climate change hot-spots in the Mediterranean region using sensitivity and variability indices. Scientific Reports 14, 80139. DOI:10.1038/s41598-024-80139-1

Sen PK (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association 63(324), 1379–1389. DOI:10.1080/01621459.1968.10480934

Sinnott RW (1984) Virtues of the Haversine. Sky and Telescope 68(2), 159

Stathi E, Kastridis A, Myronidis D (2023) Analysis of hydrometeorological trends and drought severity in water-demanding mediterranean Islands under climate change conditions. Climate 11(5), 106. DOI:10.3390/cli11050106

Šegota T, Filipčić A (2003) Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. Geoadria 8(1), 17-37. DOI:10.15291/geoadria.93

AN ANALYSIS OF RAINFALL REGIME ON MLJET ISLAND

Abstract. The paper contains an analysis of the rainfall regime on Mljet Island based on daily rainfall data from the Goveđari, Babino Polje and Maranovići hydrological stations. The data originate from the 1981–2024 period, and the analyses have been conducted at annual, monthly and daily time scales. Trends have been determined using the linear regression method, Mann–Kendall test and Sen's slope, while the regime changes have been analyzed using the RAPS method. The results indicate a general increase in the annual rainfall, which is statistically significant at the Babino Polje and Maranovići stations, with a simultaneous regime change after 2004. The analysis at the monthly scale shows that the trends are seasonal, primarily occurring in the cold part of the year, while a high natural variability with no statistically significant changes dominates most months. Extreme rainfall shows a marked spatial heterogeneity and weak mutual connection among the stations, indicating the dominance of local and stochastic processes. A statistically significant increase in maximum daily rainfall has been determined only at the Maranovići station, suggesting a spatially selective intensification of extreme rainfall events. The results confirm a strong impact of the regional climate change and local geomorphological factors interactions on the rainfall regime of small Mediterranean islands.

Key words: rainfall, Mljet Island, trend analysis, RAPS

ANALYSE DES NIEDERSCHLAGSREGIMES AUF DER INSEL MLJET

Zusammenfassung. Die Arbeit analysiert das Niederschlagsregime der Insel Mljet anhand täglicher Niederschlagsdaten der Stationen Goveđari, Babino Polje und Maranovići. Es wurden Daten aus dem Zeitraum 1981–2024 verwendet und Analysen auf jährlicher, monatlicher und täglicher Zeitskala durchgeführt. Trends wurden mittels linearer Regression, Mann-Kendall-Test und Sen-Steigung ermittelt, während Regimewechsel mit der RAPS-Methode analysiert wurden. Die Ergebnisse deuten auf einen allgemeinen Anstieg der jährlichen Niederschlagsmenge hin, der an den Stationen Babino Polje und Maranovići statistisch signifikant ist, sowie auf eine gleichzeitige Änderung des Niederschlagsregimes nach 2004.

Eine Analyse auf monatlicher Ebene zeigt, dass die Trends saisonabhängig sind und vor allem mit der kalten Jahreszeit zusammenhängen, während in den meisten Monaten eine hohe natürliche Variabilität ohne statistisch signifikante Veränderungen vorherrscht. Extreme Niederschläge weisen eine ausgeprägte räumliche Heterogenität und eine schwache Vernetzung zwischen den Stationen auf, was auf die Dominanz lokaler und stochastischer Prozesse hindeutet. Ein statistisch signifikanter Anstieg der maximalen täglichen Niederschlagsmenge wurde nur an der Station Maranovići festgestellt, was auf eine räumlich selektive Intensivierung extremer Niederschlagsereignisse hindeutet. Die Ergebnisse bestätigen den starken Einfluss der Wechselwirkung von regionalem Klimawandel und lokalen geomorphologischen Faktoren auf das Niederschlagsregime kleiner Mittelmeerinseln.

Schlüsselwörter: Niederschlag, Insel Mljet, Trendanalyse, RAPS