

SPREMINJANJE KONTINENTALNOSTI V EVROPI V OBDOBJU 1938-2018

Tanja Vajs

diplomirana geografinja

Ptujska Cesta 46 b, SI-9250 Gornja Radgona, Slovenija

e-mail: vajs.tanja@gmail.com

UDK: 911.2:551.583

COBISS: 1.01

Izveček

Spreminjanje kontinentalnosti v Evropi v obdobju 1938-2018

V članku obravnavamo spreminjanje kontinentalnosti v Evropi v obdobju 1938-2018. Pri tem uporabimo neobdelane podatke za povprečne mesečne temperature zraka, pridobljene iz spletne strani »European Climate Assessment & Dataset«, za 443 klimatskih postaj. Podatke izluščimo in obdelamo s programskim paketom MATLAB, rezultate izrišemo s programom Excel in programskim okoljem ArcGIS. Rezultati kažejo, da med obravnavanimi indeksi kontinentalnosti (indeks kontinentalnosti po Supanu, Gorczyńskem in Conradu) prihaja do razlik. Prav tako smo ugotovili, da so se trendi indeksov kontinentalnosti v obravnavanem obdobju spremenili. Pokazali smo, da postaja podnebje v Evropi bolj maritimno predvsem na območju Severne in Vzhodne Evrope, v nekaterih predelih pa postaja bolj kontinentalno, predvsem na območju ob Sredozemskem morju.

Gljučne besede

indeksi kontinentalnosti, trendi indeksov kontinentalnosti, globalno segrevanje, indeks kontinentalnosti po Supanu, indeks kontinentalnosti po Gorczyńskem, indeks kontinentalnosti po Conradu, Evropa

Abstract

Changing Continentality in Europe between 1938-2018

The article analyzes continentality changes in Europe in the period between 1938 and 2018. We use the raw data of monthly air temperature averages, obtained from the website: European Climate Assessment & Dataset, collected by 443 climate stations. The data is processed with the program MATLAB and the results are plotted with Excel and ArcGIS. The results show that there are differences between the Supan, Gorczyński and Conrad Continentality Indices. We also found that in the period from 1938 to 2018, the trends of continentality indices have changed. Our results have shown that the climate in some parts of Europe is becoming more maritime, especially in the Northern and Eastern regions, while in other territories it is becoming more continental, especially in the Mediterranean coastal regions.

Key words

Continentality indices, trends of the continentality indices, global warming, Supan continentality index, Gorczyński continentality index, Conrad continentality index, Europe

Uredništvo je članek prejelo 7.12.2019

1. Uvod

Že konec 19. stoletja so pričeli klimatologi opozarjati na človekove posege v sestavo zemeljskega ozračja in na globalno segrevanje, pri čemer so bile prve študije objavljene v prvi polovici 20. stoletja. Leta 1992 je bila v Rio de Janeiro (Brazilija) sprejeta Okvirna konvencija Združenih narodov o podnebni spremembi (»United Nations Framework Convention on Climate Change«), v kateri so definirali, da podnebne spremembe povzročajo antropogene dejavnosti, zaradi katerih se spreminja sestava ozračja na globalni skali, in tako prispevajo k naravnemu spreminjanju podnebja tekom nekega obdobja (Medmrežje 1). Danes so posledice globalnega segrevanja vidne že po vsem svetu. Zaradi vedno višjih temperatur v ozračju in posledično toplejšega podnebja, se tudi v prihodnje pričakuje večja intenzivnost vremenskih pojavov, kot so ekstremno visoke temperature, poudarjena suša, močni vetrovi, s čimer bo prisotno večje izhlapevanje vode ter s tem več padavin in poplav. Prav tako pa v prihodnosti pričakujemo pospešeno izmenjavo med hitrimi padavinami in poplavami ter hudo vročino in poudarjeno sušo (Tome 2006, Ciaranek 2016, Apostol in Sirghea 2015). Globalno segrevanje se odraža še v pospešenem taljenju gorskih ledenikov in ledenikov okrog zemeljskih polov, izumiranju nekaterih živalskih in rastlinskih vrst... Znanstveniki so na podlagi modelskih napovedi temperatur opazili, da bodo spremembe v višjih geografskih širinah bistveno večje kot v nižjih. Zaradi spreminjanja temperatur se posledično spreminjata maritimnost in kontinentalnost podnebja (Tome 2006).

Kontinentalnost in maritimnost sta pomembna podnebna parametra, ki opisujeta lokalne klimatske razmere in nam kažeta, v kolikšni meri na podnebje vplivajo interakcije kopnega in morja, z advekcijo zračnih mas (Stonevicius et al. 2018, Ciaranek 2014). Oba parametra sta dinamična in sta povezana s podnebnimi spremembami in s spremembami v atmosferskem kroženju (Stonevicius et al. 2018). Kontinentalnost podnebja odraža vpliv celine in fizikalnih lastnosti kopnega, medtem ko vpliv večjih vodnih teles, kot so morja in oceani, oblikujejo t.i. oceanske ali maritimne klimatske poteze (Vilček et al. 2015). Na podnebno kontinentalnost vplivajo predvsem naslednje podnebne spremenljivke: atmosferska cirkulacija (na kontinentalnost Evrope vpliva advekcija zračnih mas iz Atlantskega oceana in Evrazije; t.i. zahodna cirkulacija), geografska širina, oddaljenost regije od okoliških morij in oceanov (kar se na primeru Evrope odraža predvsem preko geografske širine), nadmorska višina in relief (Stonevicius et al. 2018, Ciaranek 2014, Apostol in Sirghea 2015). Zaradi tega izračuni indeksov kontinentalnosti običajno temeljijo na letni temperaturni amplitudi zraka in geografski širini. Pri tem je večja letna temperaturna amplituda zraka povezana z večjimi toplotnimi razlikami. Kontinentalnost je pomemben kazalec tudi z vidika biogeografije in ekologije, saj pripomore k razumevanju prostorske porazdelitve flore in favne. Fitogeografija s pomočjo indeksov kontinentalnosti ali indeksov maritimnosti pojasnjuje spremembe vegetacijskih razmer, postopen prehod iz gozdov v stepe in polpuščave ter postglacialni razvoj vegetacije (Vilček et al. 2015). Spremembe v kontinentalnosti vplivajo tako na naravne (vegetacijske cone), kot tudi na antropogene sisteme (vodne vire in kmetijstvo), zato so raziskave sprememb kontinentalnosti zelo pomembne (Stonevicius et al. 2018). Korelacija med razvojnimi fazami rastlin in meteorološkimi parametri je lahko zelo uporabna pri napovedovanju kmetijske proizvodnje. Abiotski dejavniki, ki se upoštevajo pri fenoloških raziskavah, so običajno podnebni dejavniki; predvsem temperature zraka in časovna dinamika padavin (Baltas 2007).

Kontinentalnost in maritimnost sta tesno povezana z razlikami med segrevanjem in ohlajanjem kopnega in morja. Za razumevanje razlik med segrevanjem in ohlajanjem kopnega in morja, se je potrebno seznaniti z dvema fizikalnima količinama: specifično toploto in toplotno kapaciteto. Specifična toplota je toplota, ki je potrebna, da se 1 kg snovi segreje za 1 K in ima enoto J/kgK, torej je ta fizikalna količina odvisna od vrste snovi. V primerjavi s tem nam toplotna kapaciteta pove, kolikšna toplota je potrebna, da se snov segreje za 1 K oz. koliko toplote mora snov oddati, da se ohladi za 1 K; merska enota toplotne kapacitete je J/K (Kladnik 1995). Sončna energija se absorbira v morju in kopnem različno, odvisno od njune toplotne kapacitete, zaradi tega se kopno in morje različno hitro ogrevata in ohlajata (Kladnik 1995). Voda v primerjavi s kopnim odbija več žarkov in se počasneje ogreva. V vodi prodre sevanje do globine 20 metrov in tako ogreva v globino večjo vodno maso kot na kopnem. Obenem kopno slabše prevaja toploto v nižje plasti, zato je ogrevanje površja hitrejše, prav tako pa je hitrejše tudi ohlajanje (Roth 1992). Zaradi različne specifične toplote in toplotne kapacitete zraka, morja in kopnega so zaloge in prenosi energije med njimi različni. Skupna masa ozračja ima vrednost okrog $5,3 \cdot 10^{15}$ kg, in ker je specifična toplota (pri stalnem tlaku) zraka okrog 1000 J/kgK, je toplotna kapaciteta celotnega ozračja $5,3 \cdot 10^{15}$ MJ/K. Pri oceanih upoštevamo samo vrhno plast vode do globine 240 m. Do te globine v povprečju sežejo letne spremembe temperature. V tej plasti je v vseh oceanih okrog $8,7 \cdot 10^{18}$ kg vode, toda ker je njena specifična toplota velika: 4200 J/kgK, je toplotna kapaciteta zgornje plasti oceanov veliko večja od tiste za celotno ozračje: $365 \cdot 10^{15}$ MJ/K. V tleh sežejo temperaturne spremembe v letnem ciklu do povprečne globine okrog 10 m. Za povprečno gostoto tal običajno predpostavimo vrednost 2000 kg/m³, za specifično toploto pa 800 J/kgK. Od tod, za vrhno plast tal, v kateri se temperatura spreminja, dobimo oceno za toplotno kapaciteto okrog $2,4 \cdot 10^{15}$ MJ/K. Iz Preglednice 1 vidimo, da je že samo v tistem vrhnjem delu oceanov, ki se jim temperatura spreminja, daleč največ akumulirane toplote (Rakovec in Vrhovec 2007).

Preglednica 1: Toplotne kapacitete celotnega ozračja, celotne svetovne vode v vrhnji plasti oceanov do globine 240 m (do katere sežejo letne spremembe temperature) in vode v vrhnji plasti kopnih tal do globine 10 m.

	Ozračje	Vrhnja plast oceanov	Vrhnja plast tal
toplotna kapaciteta [MJ/K]	$5,3 \cdot 10^{15}$	$365 \cdot 10^{15}$	$2,4 \cdot 10^{15}$
razmerje kapacitet [/]	1	69	0,5

Vir: Rakovec in Vrhovec 2007.

Vrhnja plast oceanov izmenjuje toploto z ozračjem in preko njega tudi s kopnim. O tem, pri katerem toplotnem stanju se ustvarja toplotno ravnovesje torej najbolj odloča stanje v oceanih. Prav tako na morebitno divergenco advektivnega toplotnega toka na nekem mestu na Zemlji najbolj vpliva prenos toplote z oceanskimi tokovi. Zaradi tega, ker je toplotna kapaciteta vrhnje plasti oceanov 138-krat večja kot toplotna kapaciteta vrhnje plasti kopnega, se morje počasneje segreva in ohlaja kot kopno, kar posledično vpliva na parametra maritimnosti in kontinentalnosti, ki nam definirata, v kolikšni meri na podnebje vplivajo interakcije morje in kopnega (Rakovec in Vrhovec 2007).

Ena izmed glavnih značilnosti podnebja osrednje Evrope je tranzicijski soobstoj maritimnih in kontinentalnih podnebnih značilnosti (Stonevicius et al. 2018 in Ciaranek 2014). Značilnosti kontinentalnega podnebja so predvsem vroča poletja in mrzle zime ter višje spomladanske temperature (Ciaranek 2014). Kontinentalno

podnebje je suho, v primerjavi z maritimnim, ki je običajno povezano z majhnimi letnimi temperaturnimi razponi (Andrade in Corte-Real 2015). Danes se zaradi globalnih podnebnih sprememb trend temperature zraka povečuje skoraj povsod po svetu. V zadnjih desetletjih je bilo najhitrejše globalno segrevanje v srednjih geografskih širinah severne poloble, kjer je bilo ugotovljeno povečanje amplitude letnega cikla. Pri tem so se zimske temperature zraka rahlo povečale, spremembe v poletnih temperaturah pa so bile večje. Vendar se spremembe v letni temperaturni amplitudi zraka v različnih regijah zelo razlikujejo, zato se posledično razlikujejo trendi podnebne kontinentalnosti (Stonevicius 2018).

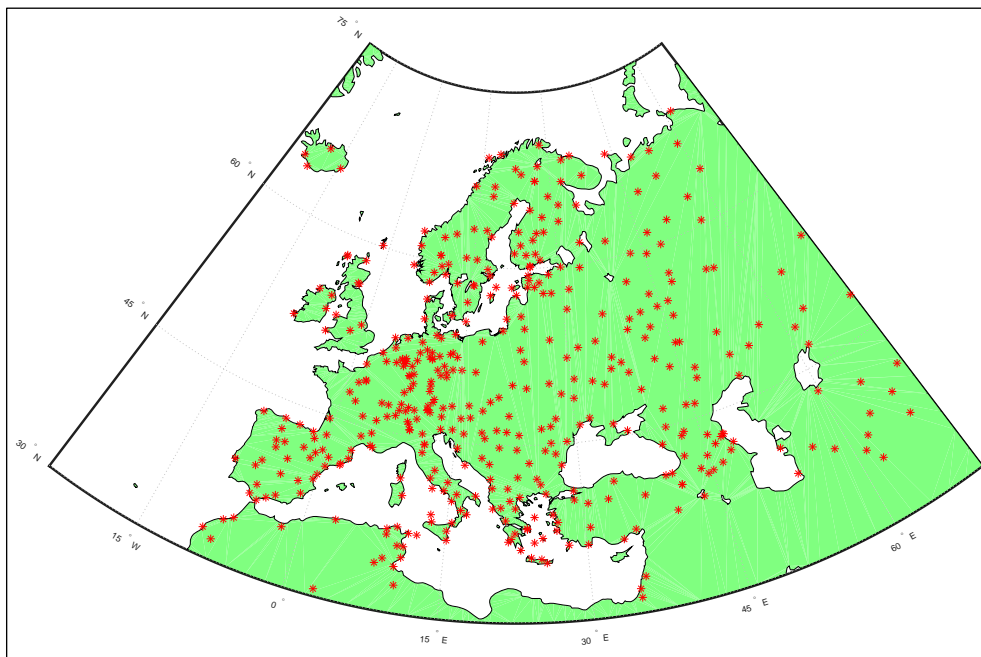
Analize regionalnih značilnosti kontinentalnosti in maritimnosti v Evropi so pokazale, da postaja podnebje vse bolj kontinentalno v Severni Evropi, medtem ko se je kontinentalnost zmanjšala v nekaterih delih Sredozemlja (Stonevicius et al. 2018; Andrade in Corte-Real). Rahel upad kontinentalnosti so zabeležili še v Srednji Evropi (Nemčija, Češka, Avstrija, Poljska in Madžarska) (Ciaranek 2014). Druga študija je pokazala izrazito zmanjšanje kontinentalnosti v vzhodnem delu Evrope in rahlo povečanje v Zahodni Evropi (Apostol in Sîrghiea 2015). Poleg tega so raziskovalci ugotovili, da vzorci regionalne cirkulacije (kroženja) zraka (npr. čez Sredozemlje) bistveno ne vplivajo na trende kontinentalnosti, ampak nanje pomembneje vplivajo obsežne atmosferske cirkulacije čez Severni Atlantik.

V smeri proti severnemu polu se kopenska masa povečuje, zato je kontinentalnost manj izrazita v obdobjih z okrepljeno zonalno cirkulacijo, v nasprotju s tem pa postane kontinentalnost bolj izrazita pri okrepljeni meridionalni cirkulaciji in z večjim vplivom kontinentalnih arktičnih zračnih mas (Stonevicius 2018). Kljub številnim raziskavam je do sedaj relativno malo raziskav analizirali časovno dinamiko kontinentalnosti in njene spremembe na svetovni ravni.

2. Metodologija

V prispevku želimo ugotoviti, kako se je za izbrane klimatske postaje v obdobju 1938-2018 spreminjala kontinentalnost v Evropi. Zato smo izračunali in analizirali indekse kontinentalnosti po Górczynskem, Supanu in Conradu ter njihove trende. V statistično analizo podatkov smo skupno vključili 443 klimatskih postaj. Od tega je bilo 387 evropskih klimatskih postaj, zraven tega smo dodali še 56 neevropskih klimatskih postaj. Neevropske klimatske postaje smo dodali izključno zato, da smo dobili pri konturnih izrisih indeksov kontinentalnosti in njihovih trendov manj »popačene« izrise. Podnebne podatke smo pridobili iz spletne strani: »European Climate Assessment & Dataset«, ki se nahaja na spletni povezavi: <https://www.ecad.eu/download/millennium/millennium.php> (Medmrežje 2).

Pridobili in uporabili smo podnebne podatke za povprečne mesečne temperature zraka. Ti podatki se nahajajo v .txt formatu in vsebujejo neobdelane klimatske podatke za 4783, povečini evropskih klimatskih postaj. Za obdelavo meteoroloških podatkov smo uporabili programski paket MATLAB (verzije R2014b) s katerim smo implementirali 14 programskih kod ter izluščili tiste klimatske postaje po celotni Evropi (po vseh geografskih širinah in nadmorskih višinah)ki jim manjka čim manj podatkov, hkrati pa smo želeli zagotoviti čim daljše časovno obdobje. Slika 1 nam prikazuje porazdelitev izbranih klimatskih postaj.



Slika 1. Prostorski izris vseh 443 klimatskih postaj (Medmrežje 2).

Vir: Lasten kartografski izris, 2019.

V statistično analizo podatkov smo vključili naslednje Evropske države: Albanija, Avstrija, Belorusija, Belgija, Bosna in Hercegovina, Bolgarija, Hrvaška, Danska, Estonija, Finska, Francija, Nemčija, Gibraltar (del Združenega kraljestva), Grčija, Hrvaška, Islandija, Irska, Italija, Latvija, Litva, Madžarska, Črna Gora, Maroko, Nizozemska, Norveška, Poljska, Portugalska, Makedonija, Romunija, Rusija, Srbija, Slovaška, Slovenija, Španija, Švedska, Švica, Turčija (evropski del), Ukrajina in Združeno kraljestvo. V statistično analizo torej nismo vključili naslednjih Evropskih držav: Andora, Ciper, Češka, Lihtenštajn, Luksemburg, Malta, Moldavija, Monako, Vatikan in San Marino. Za boljši kartografski izris smo vključili še nekatere neevropske države: Alžirija, Armenija, Azerbajdžan, Gruzija, Gibraltar, Izrael, Kazahstan, Tunizija, Turkmenistan in Uzbekistan.

Naredili smo konturne izrise indeksov kontinentalnosti in njihovih trendov, za kar smo uporabili programski paket ArcGIS, verzije 10.5 (CITAT). Pri konturnih izrisih smo uporabili programsko orodje »Spatial Analyst Tools«. Za interpolacijsko metodo smo izbrali metodo »Kriging«, s katero smo naredili diskretne konturne izrise. H konturnim izrisom smo vstavili izoliniije, to so črte, ki povezujejo območja z enako temperaturo, kontinentalnostjo oz. enakimi trendi. To smo naredili s programskim orodjem »Contour« v sklopu programa ArcGIS. Pri izrisih s programskih paketom ArcGIS smo opazili »popačenje podatkov« na mejah evropskega kontinenta, predvsem na območju Sredozemlja. Zaradi tega smo s programom Excel (verzije Office 15), k 321 Evropskih klimatskim postajam dodali še 122 neevropskih klimatskih postaj, ki so se nahajale izven robov evropskega kontinenta. S pomočjo Excela smo prav tako filtrirali podatke in izrisali grafikone.

S programskim paketom MATLAB smo izračunali naslednje indekse kontinentalnosti: indeks kontinentalnosti po Supanu, Gorczyńskem in Conradu.

2.1 Indeks kontinentalnosti po Gorczyńskem

Leta 1920 je Gorczyński predlagal prvo enačbo za izračun indeksa kontinentalnosti (Apostol in Sirghea 2015; Vilček et al. 2016). Indeks kontinentalnosti po Gorczyńskem (K_G) je najbolj pogosto uporabljen indeks in ga izračunamo po enačbi:

$$K_G = 1,7 \frac{A}{\sin \varphi} - 20,4, \quad (3)$$

kjer je A letna temperaturna amplituda povprečne temperature najtoplejšega in najhladnejšega meseca v stopinj Celzijah in φ geografska širina v stopinjah. Pri tem je K_G podan v odstotkih. Glede na enačbo (3) je Gorczyński predlagal tri razrede kontinentalnosti (glej preglednico 2) (Vilček et al. 2016).

Preglednica 2: Kategorije podnebne karakterizacije po Gorczyńskem, pri čemer je K_G indeks kontinentalnosti po Gorczyńskem, podan v odstotkih.

Vrsta podnebja	Vrednost K_G [%]
maritimno	0-33
kontinentalno	34-66
ekstremno kontinentalno	67-100

Vir: Andrade in Corte-Real 2015; Apostol in Sirghea 2015; Vilček et al. 2016; Baltas 2017.

Leta 2014 je Ciaranek (Ciaranek 2014) ugotovil, da je enačba (3) uporabna samo za območja med geografsko širino 30° in 60° severne geografske širine (območja na katerih prevladuje kopno), medtem ko dobimo za oceanska območja negativne vrednosti indeksa (Vilček et al. 2016).

2.2 Indeks kontinentalnosti po Supanu

Indeks kontinentalnosti po Supanu (I_C) je v izvirniku opredelil Supan, leta 2011 pa so ga uporabili Rivas-Martinez in sodelavci leta 2011. Indeks je definiran kot:

$$I_C = T_{\max} - T_{\min}, \quad (2)$$

pri čemer T_{\max} predstavlja povprečno mesečno temperaturo najtoplejšega meseca in T_{\min} povprečno mesečno temperaturo najhladnejšega meseca, pri čemer sta obe temperaturi izraženi v stopinjah Celzijah (Vilček et al. 2016). Knoch in Schulze (1952) ter Hesse (1966) so uporabili naslednje razrede indeksa kontinentalnosti po Supanu (glej Preglednico 3), da bi opredelili podnebno kontinentalnost.

Preglednica 3: Kategorije podnebne karakterizacije, ki so jo uporabili Knoch in Schulze (1952) ter Hesse (1966), kjer je I_C indeks kontinentalnosti po Supanu, podan v stopinj Celzijah.

Vrsta podnebja	Vrednost I_C [°C]
ekvatorialno	< 2,5
oceansko (maritimno)	2,5-10
prehodno oceansko (maritimno)	10-25
kontinentalno podnebje	25-40
ekstremno (izjemno) kontinentalno	> 40

Vir: Vilček et al. 2016.

2.3 Indeks kontinentalnosti po Conradu

Prvo korelacijo med letnim spreminjanjem temperature in geografsko širino sta določila Conrad in Pollak (Apostol in Širghea 2015). Conradov indeks kontinentalnosti (K_C) izvira iz leta 1950 in je definiran kot :

$$K_C = 1,7 \frac{A}{\sin(\varphi + 10)} - 14, \quad (4)$$

kjer je K_C podan v odstotkih, A v stopinj Celzijah in φ v stopinjah. Veliki letni razpon temperatur zraka se odraža v večjih vrednostih indeksa in posledično kaže na bolj kontinentalno podnebje. Najmanjše razlike je mogoče opaziti v najbolj oceanskih podnebnih razmerah. Conradov indeks kontinentalnosti je uporaben v regijah, z izrazitimi sezonskimi spremembami temperature zraka (Stonevicius et al. 2018). Leta 2015 sta Andrade in Corte-Real na podlagi enačbe (4) ustvarila kategorije podnebne karakterizacije v odstotkih (Preglednica 4) (Andrade in Corte-Real 2015).

Preglednica 4: Kategorije podnebne karakterizacije po Conradu, pri čemer je K_C Conradov indeks kontinentalnosti, podan v odstotkih.

Vrsta podnebja	Vrednost K_C [%]
hiper-oceansko	od -20 do 20
oceansko/maritimno	20-50
sub-kontinentalno	50-60
kontinentalno	60-80
ekstremno/hiper-kontinentalno	80-120

Vir: Andrade in Corte-Real 2015; Vilček et al. 2016.

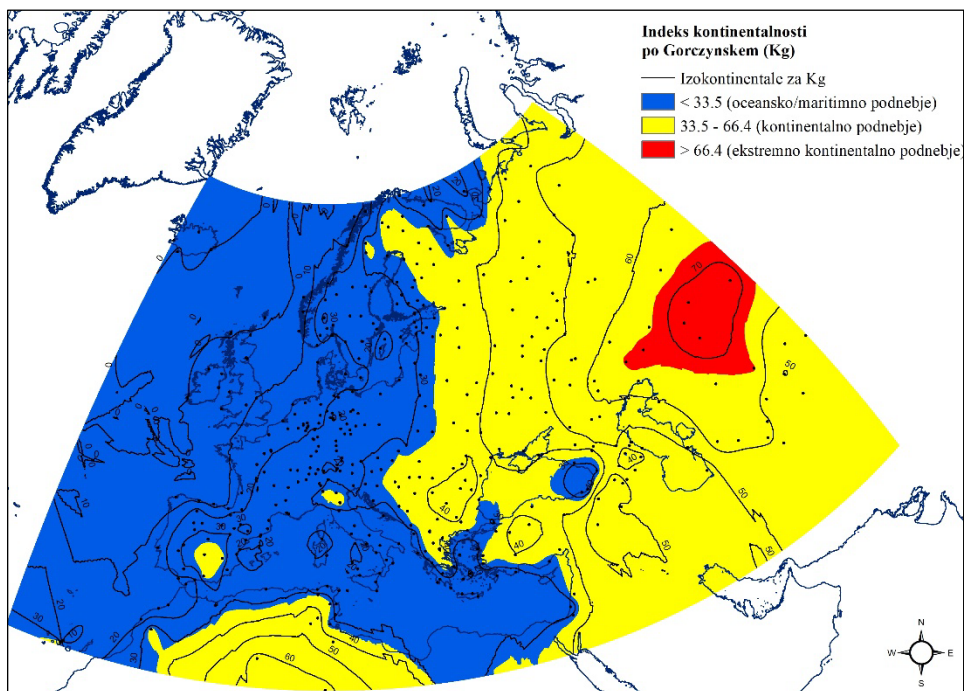
3. Rezultati in diskusija

3.1 Indeks kontinentalnosti po Gorczyńskem

Glede na podnebno tipizacijo indeksa kontinentalnosti po Gorczyńskem (Preglednica 2) smo naredili konturno karto razredov (Slika 2).

Iz Slike 2 vidimo, da se indeks kontinentalnosti po Gorczyńskem v Evropi povečuje v smeri od jugozahoda proti severovzhodu, pri čemer se njegove vrednosti gibajo med -1,4478 % (oceansko podnebje) in 62,3694 % (kontinentalno podnebje) (Medmrežje 2). Glede na podnebne značilnosti Evropo delimo v zahodni del, v katerem se pojavlja oceansko podnebje ($K_G < 33,5$ %) in vzhodni del, v katerem se pojavlja kontinentalno podnebje ($33,5 < K_G < 66,4$ %). Izjema v zahodnem delu, kjer se pojavlja kontinentalno podnebje so le majhna območja v jugovzhodni Španiji, severni Italiji in na skrajnem severu Švedske. Ekstremno kontinentalno podnebje v Evropi ni zastopano ($67 < K_G < 100$) (Medmrežje 2).

Za oceanska območja v Evropi dobimo za rezultat indeksa izračunane negativne vrednosti, iz česar lahko sklepamo, da je enačba za izračun indeksa kontinentalnosti po Gorczyńskem uporabna le za geografsko širino med 30° in 60° severne geografske širine, torej območja, kjer prevladuje kopno) (Vilček et al. 2016).



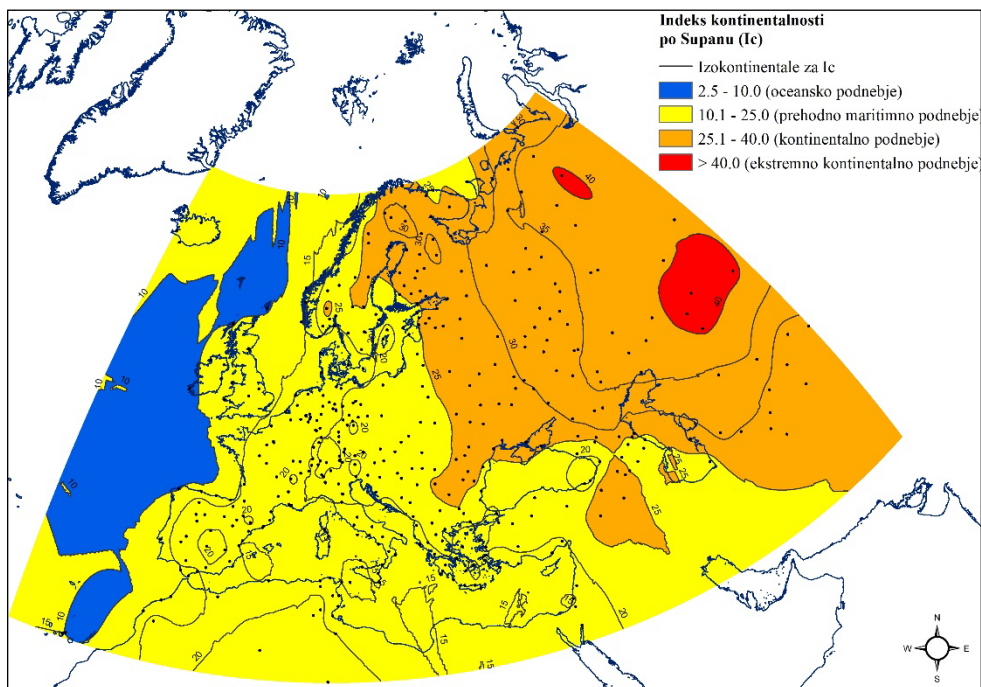
Slika 2: Karta razredov indeksa kontinentalnosti po Gorczynskem (Medmrežje 2).

Vir: Lasten kartografski izris, 2019.

3.2 Indeks kontinentalnosti po Supanu

Glede na podnebno tipizacijo indeksa kontinentalnosti po Supanu (Preglednica 3) smo naredili konturno karto razredov (Slika 3) (Medmrežje 2).

Iz Slike 3 vidimo, da se indeks kontinentalnosti po Supanu v Evropi povečuje v smeri od jugozahoda proti severovzhodu, pri čemer se njegove vrednosti gibajo med 7,7985 °C (oceansko/maritimno podnebje) in 36,9823 °C (kontinentalno podnebje) (Vilček et al. 2016; Medmrežje 2). Ekvatorialnega podnebja v Evropi ni ($I_c < 2,5$ °C), oceansko podnebje ($2,5 < I_c < 10,0$ °C) pa je zastopano le na skrajnem severozahodu Španije in skrajnem severnem delu Združenega kraljestva. V Evropi prevladujeta prehodno maritimno podnebje ($10,0 < I_c < 25,0$ °C), ki se nahaja v večjem delu Zahodne Evrope in kontinentalno podnebje ($25,0 < I_c < 40,0$ °C) ki zajema večji del Vzhodne Evrope. Meja med prehodnim maritimnim in kontinentalnim podnebjem poteka od juga proti severu po osrednjem delu Bolgarije, vzhodnem delu Romunije, vzhodni Ukrajini, vzhodni Belorusiji, osrednji Latviji, vzhodni Estoniji, južni Finski, osrednji Švedski, do skrajnega severa Švedske. V Evropi se prav tako ne pojavlja ekstremno kontinentalno podnebje ($I_c > 40$ °C), ki je prisotno le v nekaterih območjih Azije (Slika 3) (Vilček et al. 2016; Medmrežje 2).



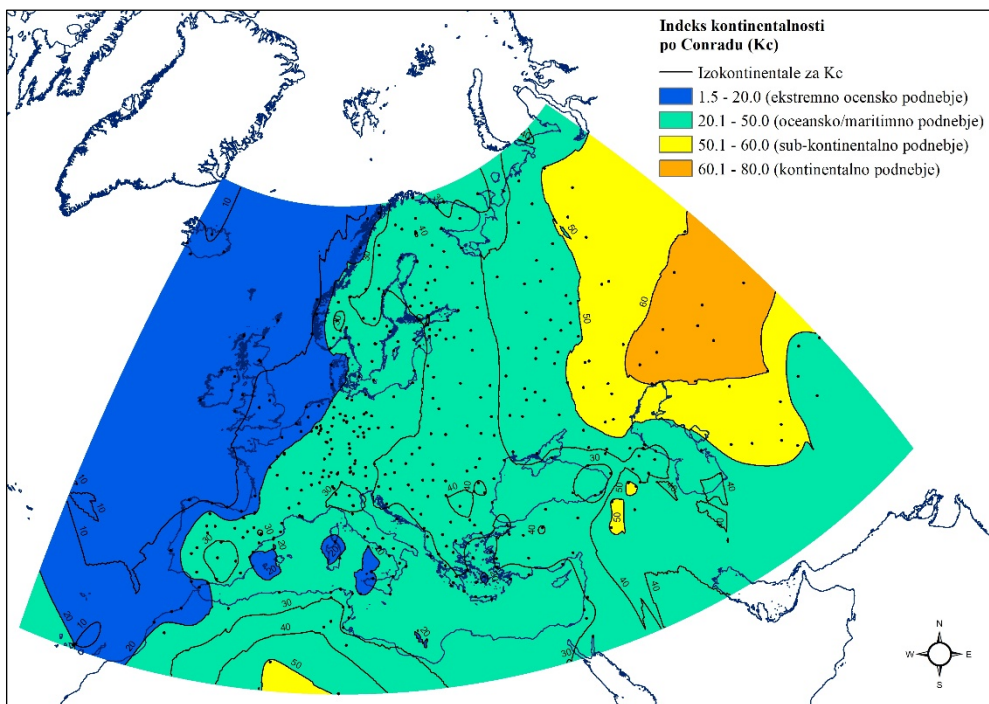
Slika 3: Karta razredov indeksa kontinentalnosti po Supanu (Medmrežje 2).

Vir: Lasten kartografski izris, 2019.

3.3 Indeks kontinentalnosti po Conradu

Glede na podnebno tipizacijo indeksa kontinentalnosti po Conradu (Preglednica 4) smo naredili konturno karto razredov (Slika 4) (Medmrežje 2).

Iz Slike 4 vidimo, da se indeks kontinentalnosti po Conradu v Evropi povečuje v smeri od jugozahoda proti severovzhodu, pri čemer se njegove vrednosti v Evropi gibajo med 3,5188 % (hiper-oceansko podnebje) in 58,9100 % (sub-kontinentalno podnebje) (Medmrežje 2). V Evropi prevladuje oceansko/maritimno podnebje ($20 < K_C < 50$) ki se nahaja v večinskem delu Evrope, razen skrajnem zahodu in nekaterih območjih ob Sredozemskem morju. V manjši meri je v Evropi prisotno še ekstremno oceansko podnebje ($80 < K_C < 120$) in sub-kontinentalno podnebje ($50 < K_C < 60$). Ekstremno oceansko podnebje se pojavlja v Evropi ob obalah Severnega Atlantika (zahodni del Portugalske, skrajni severozahodni in severni del Španije, skrajni zahodni del Francije, Belgije, Nizozemske, Nemčije in Danske ter skrajni zahodni del Norveške). Ekstremno oceansko podnebje ima v Evropi še celotno Združeno kraljestvo, Irska in Ferski otoki, pojavlja pa se tudi ponekod na obalah Sredozemskega morja (Balearski otoki, Menorka, Korzika, Sardinija in skrajni zahodni del Sicilije). Sub-kontinentalno podnebje se v Evropi nahaja na njenih mejah z Azijo, na območju jugozahodnega dela Rusije. Kontinentalno podnebje se v Evropi ne pojavlja, vendar iz slike vidimo, da je prisotno v Aziji, na območju Kazahstana, Uzbekistana in Rusije. Prav tako pa se v Evropi ne pojavlja ekstremno-kontinentalno podnebje (Andrade in Corte-Real 2015; Stonevicius et al. 2018; Vilček et al. 2016, Medmrežje 2).



Slika 4: Karta razredov indeksa kontinentalnosti po Conradu (Medmrežje 2).

Vir: Lasten kartografski izris, 2019.

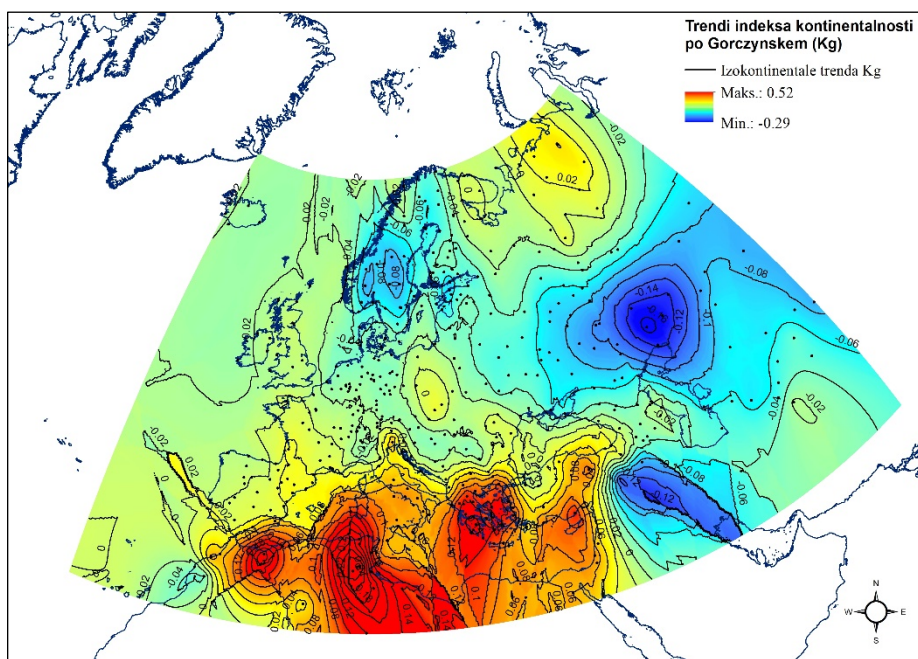
3.4 Trend indeksa kontinentalnosti po Gorczyńskem

Trendi indeksa kontinentalnosti po Gorczyńskem povečujejo od severa proti jugu, odstopanja so le na območju Rusije, kjer je trend indeksa najmanjši (Slika 5).

Vrednosti trenda indeksa se v Evropi gibajo med $-0,1255\%$ za klimatsko postajo Helsinki (Finska) in $0,2410\%$ za klimatsko postajo Samos (Grčija). To pomeni, da se je med leti 1938 in 2018 (v 81 letih) trend kontinentalnosti najbolj zmanjšal v Helsinkih in sicer za $10,1639\%$, medtem ko se je v Samosu v enakem časovnem obdobju najbolj povečal in sicer za $19,5235\%$. Na Sliki 5 ima najmanjšo vrednost trenda indeksa kontinentalnosti meteorološka postaja v Diyarbakiru (Turčija), ki znaša $-0,2820\%$ in največjo vrednost Gafsa (Tunizija), ki znaša $0,5127\%$, vendar se ti dve državi nahajata izven Evrope. To pomeni, da se je med leti 1938 in 2018 kontinentalnost v Diyarbakiru zmanjšala za $22,8420\%$, v Gafsi pa povečala za $41,5277\%$. Na Sliki 5 vidimo, da je najmanjši trend kontinentalnosti v Evropi na območju Rusije, medtem ko je največji na območju Sredozemskega morja (Medmrežje 2).

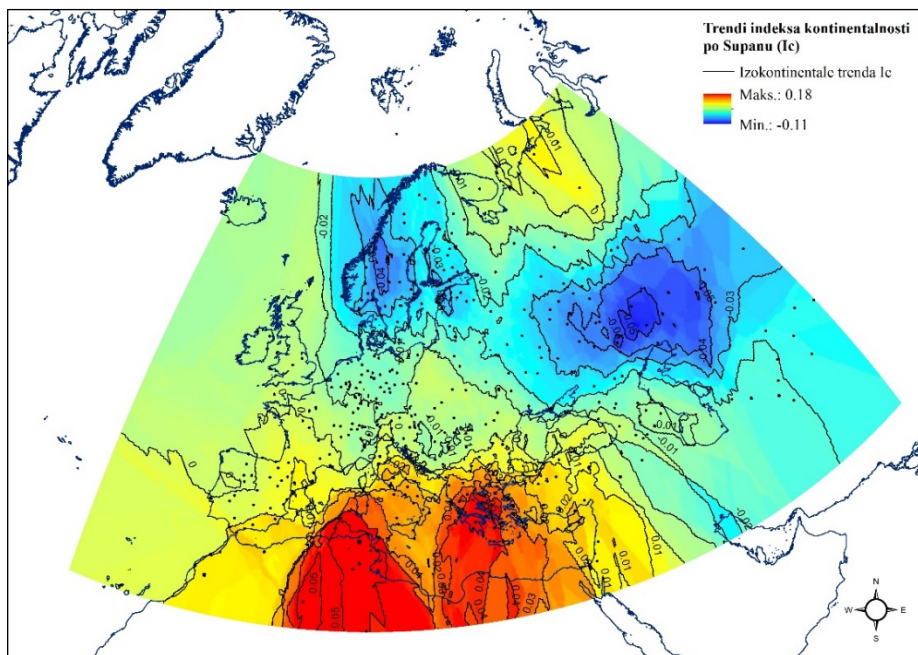
3.4 Trend indeksa kontinentalnosti po Supanu

Trendi indeksa kontinentalnosti po Supanu povečujejo od severa proti jugu, odstopanja so le na območju Rusije, kjer je trend indeksa najmanjši (Slika 6).



Slika 5: Zvezna karta trendov indeksa kontinentalnosti po Gorczyńskem (Medmrežje 2).

Vir: Lasten kartografski izris, 2019.



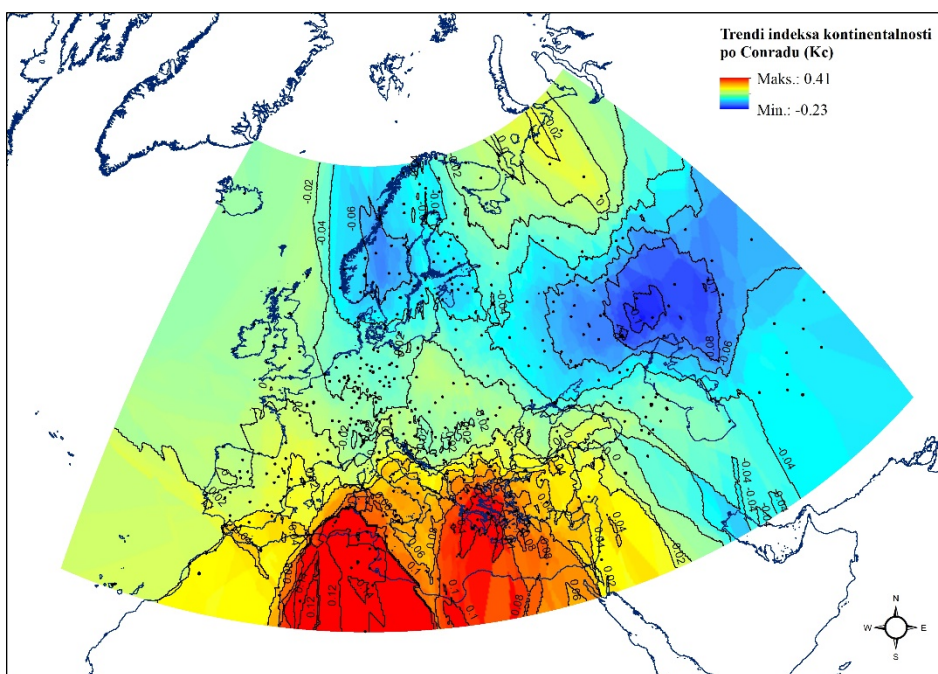
Slika 6: Zvezna karta trendov indeksa kontinentalnosti po Supanu (Medmrežje 2).

Vir: Lasten kartografski izris, 2019.

Vrednosti trenda indeksa se v Evropi gibajo med $-0,0640\text{ }^{\circ}\text{C}$ za klimatsko postajo Helsinki (Finska) in $0,09398\text{ }^{\circ}\text{C}$ za klimatsko postajo Rivolto (Italija). To pomeni, da se je med leti 1938 in 2018 (v 81 letih) trend kontinentalnost v Helsinkih zmanjšal za $5,1832\text{ }^{\circ}\text{C}$, medtem ko se je v Rivoltu v enakem časovnem obdobju povečal za $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na sliki 6 ima najmanjšo vrednost trenda indeksa kontinentalnosti klimatska postaja v Diyarbakiru (Turčija), ki znaša $0,1919\text{ }^{\circ}\text{C}$ in največjo vrednost Gafsa (Tunizija), ki znaša $0,17047\text{ }^{\circ}\text{C}$, vendar se ti dve državi nahajata izven Evrope. To pomeni, da se je med leti 1938 in 2018 (v 81 letih) kontinentalnost v Diyarbakiru povečala za $8,2499\text{ }^{\circ}\text{C}$, v Gafsi pa za $13,8081\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.5 Trend indeksa kontinentalnosti po Conradu

Trendi indeksa kontinentalnosti po Conradu povečujejo od severa proti jugu, odstopanja so le na območju Rusije, kjer je trend indeksa najmanjši (Slika 7) (Medmrežje 2).



Slika 7: Zvezna karta trendov indeksa kontinentalnosti po Conradu (Medmrežje 2).
Vir: Lasten kartografski izris, 2019.

Vrednosti trenda indeksa kontinentalnosti po Conradu se v Evropi gibajo med $-0,11569\text{ }^{\circ}\text{C}$ za klimatsko postajo Helsinki (Finska) in $0,199285\text{ }^{\circ}\text{C}$ za klimatsko postajo Samosa (Grčija). To pomeni, da se je med leti 1938 in 2018 (v 81 letih) trend kontinentalnosti najbolj zmanjšal v Helsinkih in sicer za $9,3701\text{ }^{\circ}\text{C}$, medtem ko se je v Samosu v enakem časovnem obdobju najbolj povečala in sicer za $16,1421\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na sliki 7 ima najmanjšo vrednost trenda indeksa kontinentalnosti meteorološka postaja v Diyarbakiru (Turčija), ki znaša $-0,2334\text{ }^{\circ}\text{C}$ in največjo vrednost Gafsa (Tunizija) $0,4141\text{ }^{\circ}\text{C}$, ki znaša $0,5127\text{ }^{\circ}\text{C}$, vendar se ti dve državi nahajata izven Evrope. Iz Slike 7 vidimo, da je najmanjši trend kontinentalnosti med leti 1938 in 2018 v Evropi na območju Rusije, Norveške in Švedske, medtem ko je največji na območju Sredozemskega morja in njegovi okolici, pri čemer med državami najbolj izstopajo

Italija, Slovenija in Hrvaška. Pri tem je potrebno opozoriti, da pri enotah delež 100 % ne predstavlja celote, ampak je to delež indeksa kontinentalnosti po Conradu, podanega v preglednici 4 (Medmrežje 2).

3.5 Sintezni pregled stanja kontinentalnosti in trendov indeksov kontinentalnosti

Iz rezultatov razberemo, da se glede na vse obravnavane klimatske indekse kontinentalnost v Evropi povečuje v smeri od jugozahoda proti severovzhodu. Ob primerjavi diskretnih kart klimatskih indeksov ugotovimo, da med posameznimi klimatskimi indeksi prihaja do razlik.

Ugotovili smo, da oceansko/maritimno podnebje glede na indeks kontinentalnosti po Gorczyńskem obsega Južno Evropo, Zahodno Evropo, zahodni del Srednje in Severne Evrope ter manjši del Jugovzhodne Evrope, v primerjavi s tem pa oceansko podnebje po Supanu obsega le vzhodni del Atlantskega oceana in le skrajni jugozahodni del Irske. Conrad pa razlikuje med ekstremnim oceanskim podnebjem in oceanskim podnebjem: ekstremno oceansko podnebje se v Evropi nahaja na skrajnem priobalnem delu, in sicer v zahodnem delu Portugalske, severni Španiji, zahodni Franciji, zahodni del Belgije, Nizozemske in Norveške. Ekstremno oceansko podnebje se nahaja tudi ob nekaterih delih Sredozemskega morja, prav tako pa obsega celotno Veliko Britanijo, Irsko in Islandijo. Medtem ko oceansko podnebje zajema skoraj celotno Evropo razen manjšega dela Vzhodne Evrope.

Po Gorczyńskem se kontinentalno podnebje nahaja v Jugovzhodni Evropi, delu Severne Evrope (del Finske, Estonije, Latvije in Litve) ter celotni Vzhodni Evropi. V primerjavi s tem se po Supanu kontinentalno podnebje nahaja v vzhodnem delu Vzhodne Evrope in nekaterih predelih Severne Evrope (vzhodna Švedska in pretežni del Finske), Conrad pa razlikuje med sub-kontinentalnim in kontinentalnim podnebjem. Sub-kontinentalno podnebje se nahaja v zahodnem delu Vzhodne Evrope, medtem ko se kontinentalno podnebje v Evropi ne nahaja.

Vsem trem indeksom kontinentalnosti je skupno, da se ekstremno kontinentalno podnebje v Evropi ne nahaja (Vilček et al. 2016; Medmrežje 2).

Trendi indeksa kontinentalnosti se pri vseh klimatskih postajah v večji meri povečujejo od severa proti jugu, do večjih odstopanj prihaja le na območju Rusije, Švedske in Norveške. Ugotovili smo, da imajo enake meteorološke postaje v Evropi največji in najmanjši trend indeksa in sicer ima največjo vrednost trenda indeksa klimatska postaja Helsinki (Finska) in najmanjšo klimatska postaja Samos (Grčija). Manjše odstopanje je pri indeksu kontinentalnosti po Supanu, kjer je trend kontinentalnosti glede na indeks kontinentalnosti prav tako največji za klimatsko postajo Helsinki, medtem ko je najmanjši za klimatsko postajo Rivotto (Italija); vendar ta klimatska postaja prav tako kot Samos (Grčija) leži ob Sredozemskem morju. Glede na vse obravnavane indekse kontinentalnosti je najmanjši trend kontinentalnosti v Evropi na območju Severne Evrope, največji pa na območjih Sredozemskega morja in njegovi okolici (Medmrežje 2). Povzamemo lahko, da pri primerjavi trendov indeksa kontinentalnosti po Gorczyńskem, Supanu in Conradu ugotovimo, da so trendi kontinentalnosti med seboj dobro primerljivi. Prav tako smo ugotovili, da globalno segrevanje posredno vpliva na kontinentalnost in je usmerjeno v dve skrajnosti: hitro večanje kontinentalnosti na območju Severne in Vzhodne Evrope (območja Vzhodne Rusije, Norveške in Švedske), po drugi strani pa tudi v hitro manjšanje kontinentalnosti ob Sredozemskem morju.

4. Zaključek

Vsi obravnavani indeksi kontinentalnosti se povečujejo v smeri od jugozahoda proti severovzhodu. Trendi indeksa kontinentalnosti so po vseh indeksih, najmanjši na območju Severne Evrope in Rusije in se povečujejo proti Južni Evropi. Iz rezultatov trendov kontinentalnosti po Gorczyńskem in Conradovem smo ugotovili, da imajo enake meteorološke postaje v Evropi največji in najmanjši trend indeksa in sicer ima največjo vrednost trenda indeksa klimatska postaja Helsinki (Finska) in najmanjšo klimatska postaja Samos (Grčija). Trend kontinentalnosti je glede na indeks kontinentalnosti po Supanu prav tako največji za klimatsko postajo Helsinki, medtem ko je najmanjši za klimatsko postajo Rivolto (Italija). Glede na indeks kontinentalnosti po Gorczyńskem, ki je tudi največkrat uporabljen indeks kontinentalnosti v literaturi, smo pokazali, da v Evropi prevladujeta oceansko ($K_g < 33,5 \%$) in kontinentalno podnebje ($33,5 < K_g < 66,4 \%$). Lahko bi rekli, da glede na podnebne značilnosti Evropo delimo v zahodni del, v katerem se pojavlja oceansko podnebje in vzhodni del, v katerem se pojavlja kontinentalno podnebje. Izjema v zahodnem delu, kjer se pojavlja kontinentalno podnebje so le majhna območja v jugovzhodni Španiji, severni Italiji in na skrajnem severu Švedske. Ekstremno kontinentalno podnebje v Evropi ni zastopano ($67 < K_g < 100$) (Medmrežje 3). Trenda indeksov po Gorczyńskem in Conradu in se med seboj najbolj ujemajo, prav tako pa se z njima dobro ujema indeks kontinentalnosti po Supanu, ki ima manjša odstopanja (Medmrežje 2).

Po vseh indeksih kontinentalnosti je najmanjši in negativen trend kontinentalnosti v Evropi na območju Severne Evrope (Norveške in Švedske) in Vzhodne Rusije, največji in pozitiven pa na območjih Sredozemskega morja in njegovi okolici. Vrednosti trenda indeksa kontinentalnosti po Gorczyńskem se v Evropi gibajo med $-0,1255 \%$ za klimatsko postajo Helsinki (Finska) in $0,2410 \%$ za klimatsko postajo Samos (Grčija). To pomeni, da se je med leti 1938 in 2018 (v 81 letih) trend kontinentalnosti najbolj zmanjšal v Helsinkih in sicer za $10,1639 \%$, medtem ko se je v Samosu v enakem časovnem obdobju najbolj povečal in sicer za $19,5235 \%$. Najmanjši trend kontinentalnosti po Gorczyńskem je v Evropi na območju Rusije, medtem ko je največji na območju Sredozemskega morja. Povzamemo lahko, da bomo v prihodnosti območja v Severni Evropi (predvsem Norveška, Švedska) in Vzhodne Evrope (predvsem območje Rusije; še posebej Vzhodni del Rusije) postajala čedalje bolj maritimna, medtem ko bodo območja ob Sredozemskem morju postajala čedalje bolj kontinentalna (Medmrežje 2).

Literatura

- Tome, D. 2006: Ekologija: Organizmi v prostoru in času. Tehniška Založba Slovenije. Ljubljana
- Stonevicius, E., Stankunavicius, G., Rimkus E., 2018: Continentality and oceanity in the mid and high latitudes of the northern hemisphere and their links to atmospheric circulation, *Advances in Meteorology*: 4: 1-12.
- Vilček, J., Škvarenina, J., Vido, J., Kandrik, R., Škvareninová, J., Nalevanková, P., 2015: »Changers« of the thermal continentality in Central Europe between the years 1951 and 2013: case study – Slovak Republic, *Earth. Syst. Dynam. Discuss.* 6(2): 1261-1275.
- Ciaranek, D., 2014: Variability of the thermal continentality index in Central Europe, *Aerul si Apa: Componente ale Mediului*. 307-313.
- Andrade, C., Corte-Real, J. A., 2015: Spatial Distribution of Climate Indices in the Iberian Peninsula, *AIP Conf. Proc.* 1648(1): 110006-1 - 110006-4.

- Apostol, L., Sirghea, L., 2015: Thermal continentalism in Europe, *Aerul și Apa: Componente ale Mediului*. 1: 49-55.
- Rakovec, J., Vrhovec, T., 2007: *Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike*. DMFA. Ljubljana.
- Kladnik, R., 1995: *Energija, toplota, zvok, svetloba. Fizika za srednješolce*. DZS. Ljubljana.
- Roth, G. D., 1992: *Vremenslovje za vsakogar*. Državna založba Slovenije. Ljubljana.
- Vilček, J., Škvarenina, J., Vido, J., Nalevanková, P., Kandrič, R., Škvareninová, J., 2016: Minimal change of thermal continentality in Slovakia within the period 1961-2013, *Earth. Syst. Dynam.* 7: 735-744.
- Baltas, E., 2007: Spatial distribution of climatic indices in northern Greece, *Meteorol. Appl.* 14: 69-78.
- Medmrežje 1: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf> (30. 4. 2019).
- Medmrežje 2: <https://www.ecad.eu//dailydata/index.php> (11. 12. 2018).
- Medmrežje 3: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>19 (23. 05. 2019).

CHANGING CONTINENTALITY IN EUROPE BETWEEN 1938-2018

Summary

As early as in the late 19th century, scientists have already begun to warn about human activities, altering the atmosphere in a way, which could cause global warming. On May 1992 "The United Nations Framework Convention on Climate Change" was adopted, which emphasized that climate change is caused by anthropogenic activities, which change the composition of the atmosphere on a global scale and thus contribute to the climate change (Internet 1). Today, the effects of global warming are visible all over the world. Due to the increasing atmospheric temperatures and the consequent warmer climate, more intense weather events are expected in the future, such as extremely high temperatures, drought, strong winds, which will result in more water evaporation and thus more precipitation and floods (Tome 2006, Ciaranek 2016, Apostle and Sirghea 2015). Global warming is also reflected in the melting of mountain glaciers and the melting of glaciers around the earth's poles, the extinction of some animal and plant species etc. Due to changing temperatures, important climatic parameters are changing: the maritimity and continentality of the climate, which are describing local climatic conditions (Tome 2006, Stonevicius et al., 2018, Ciaranek 2014). Both of these parameters are dynamic and related to climate change and changes in atmospheric circulation (Stonevicius et al. 2018). The continentality reflects the influence of the continent and the physical properties of the land, while the influence of larger bodies of water, such as seas and oceans, shapes so-called oceanic or maritime climate moves, the so called oceanicity (Vilček et al. 2015). The continentality of the climate is particular influenced by the following climate variables: atmospheric circulation (continental Europe is affected by the advection of air masses from the Atlantic Ocean and Eurasia; the so-called western circulation), latitude, the distance of the region from surrounding seas and oceans (in the case of Europe this is mainly reflected by latitudes), altitude, and relief (Stonevicius et al. 2018; Ciaranek 2014; Apostle and Sirghea 2015).

The purpose of the article was to find out how continentality in Europe was changing for selected European climate stations from 1938-2018. Therefore, we calculated and analyzed the continentality indices according to Gorczynski, Supan and Conrad and their trends. We use the raw data of monthly air temperature averages, obtained from the website: European Climate Assessment & Dataset, collected by 443 climate stations (387 were European climate stations and 56 were non-European climate stations). We added non-European climate stations due to the fact that the contours of the continental indices and their trends are less distorted. We have obtained the climate data from the website: "European Climate Assessment & Dataset", which is available at: <https://www.ecad.eu/download/millennium/millennium.php> (Internet 2). Climate data for average monthly air temperatures were obtained and used. This data is in .txt format and contains raw climate data for 4783, mostly European climate stations. The data is processed with the program MATLAB, through which we implemented 14 program codes. Thus, we eliminated those climate stations which lacked as little data as possible, are spread throughout Europe (across all latitudes) and lie at different altitudes, and at the same time we wanted to ensure the period last as long as possible.

According to Gorczynski, the continental climate is found in Southeastern Europe, part of Northern Europe (part of Finland, Estonia, Latvia and Lithuania) and throughout Eastern Europe. By contrast, according to Supan, the continental climate is located in the eastern part of Eastern Europe and some parts of Northern Europe (Eastern

Sweden and most of the Finland), while the Conrad distinguishes between the sub-continental and continental climates. The sub-continental climate in Europe is located on its borders with Asia, in the southwestern part of Russia, while the continental climate is not located in Europe.

It is common for all three continental indices that extreme continental climate is not found in Europe (Vilček et al. 2016; Internet 2).

Trends in the continental index are increasing for all climate stations from north to south, with major variations occurring only in Russia, Sweden and Norway. We found that the same climate stations in Europe have the largest and the smallest trend of the index, namely the highest trend index has the climate station Helsinki (Finland) and the smallest has climate station Samos (Greece). There is a slight deviation in the Supan continental index, where the continental trend with respect to the continental index is also the highest for the Helsinki climate station, while the lowest for the Rivotto (Italy) climate station; however, just like Samos (Greece), this climate station lies along the Mediterranean Sea. Considering all the continental indices considered the smallest continental trend in Europe is in the Northern Europe area and the largest in the Mediterranean Sea area and its surroundings (Internet 2). It can be summarized that when comparing the trends of the continental indices according to Gorczynski, Supan and Conrad, we can conclude that the trends of continence are well comparable. Our results have shown that the climate in some parts of Europe is becoming more maritime, especially in the Northern and Eastern regions (areas of Eastern Russia, Norway and Sweden), while in other territories it is becoming more continental, especially in the Mediterranean coastal regions.

