

Sredozemski oscilacijski indeks in vpliv na podnebje Slovenije

Kay Sušelj*, Klemen Bergant**

Povzetek

V članku sta predstavljena sredozemska oscilacija (MO) in pripadajoč sredozemski oscilacijski indeks (MOI). Ocenjena sta s pomočjo metode glavnih komponent kot vodilni prostorski vzorec (MO) zračnega tlaka na morskem nivoju (SLP) ter njegova izrazitost v času (MOI). Skupaj pojasnita največji možen delež variabilnosti povprečnih mesečnih vrednosti SLP nad Sredozemljem. MOI, ki odraža aktivnost ciklogeneze v Sredozemlju, je močno koreliran s severno-atlantskim oscilacijskim indeksom (NAOI), ki predstavlja izrazitost dipola v polju zračnega tlaka nad severnim Atlantikom. Proučili smo vpliv, ki ga imata MO in severnoatlantska oscilacija (NAO) na podnebje Slovenije. Ocenili smo povezave med MOI ter NAOI in odstopanji mesečnih količin padavin in povprečnih ter ekstremnih temperatur zraka od dolgoletnih mesečnih povprečij izmerjenih na izbranih klimatoloških postajah (Ljubljana, Murska Sobota, Rateče in Postojna), ter anomalijami pretokov rek na izbranih hidroloških postajah (Soča – Solkan, Mura – Gornja Radgona, Sava – Radovljica in Sava - Čatež). Tako NAOI kot MOI sta v večini primerov tesno povezana z mesečno količino padavin, še posebej v hladnem delu leta. MOI v splošnem pojasni večji delež variabilnosti padavin v Sloveniji kot NAOI. Povezava med oscilacijskima indeksoma in temperaturami je šibkejša kot v primeru količine padavin. Korelacijski koeficient med maksimalnimi temperaturami in oscilacijskima indeksoma je v večini primerov višji kot med povprečnimi ter minimalnimi temperaturami in oscilacijskima indeksoma. Ponovno je MOI v večini primerov tesneje povezan s temperaturami zraka v Sloveniji kot NAOI. Spektra MOI in NAOI kažeta pomemben delež variabilnosti pri nižjih frekvencah s periodami deset let in več. Variabilnost oscilacijskih indeksov v časovni skali nekaj desetletij, ki predstavlja izrazitost prostorskih vzorcev SLP, se odraža v variabilnosti padavin in pretokov rek v tej časovni skali. Izjema je le pretok Mure, ki ima večino povodja v avstrijskih Alpah, kjer MO nima izrazitega vpliva. V splošnem regionalni MOI bolje opiše variabilnost podnebja (količine padavin in temperature zraka) v Sloveniji ter posledično tudi variabilnost pretokov rek kot obsežnejši NAOI. Velik delež variabilnosti, predvsem pri količini padavin in pretokih rek, skladno z variabilnostjo NAOI in MOI, pripada več-desetletni časovni skali.

Uvod

Za opis variabilnosti atmosfere na regionalni do globalni skali se pogosto uporabljajo cirkulacijski indeksi, ki opisujejo časovni potek variabilnosti najznačilnejših prostorskih vzorcev različnih meteoroloških spremenljivk, ponavadi zračnega tlaka (npr. Barnston et al., 1987). Na severni polobli je največje pozornosti deležen prostorski vzorec variabilnosti zračnega tlaka, ki pripada severno-atlantski oscilaciji (angl. North Atlantic Oscillation, NAO) in predstavlja dipol v polju zračnega tlaka nad severnim Atlantikom in zahodno Evropo (Hurrell, 1995; Wanner et al., 2002). Kljub temu, da frekvenčni spekter NAOI nima izrazitih frekvenc, značilnih za oscilacije (npr. Hurrell, 2003), se v angleški literaturi za opis NAO uporablja izraz oscilacija, ki smo ga prevzeli tudi pri opisu naše študije. Severno središče NAO dipola je nad islandskim območjem nizkega zračnega tlaka, južno središče pa nad območjem visokega zračnega tlaka nad Azori. Severno-atlantski oscilacijski indeks (angl. North Atlantic Oscillation Index, NAOI) odraža izrazitost NAO v času in opisuje prevladujoč vremenski tip nad Atlantikom in zahodno Evropo. V primeru pozitivnega NAOI je meridionalni gradient zračnega tlaka nad Atlantikom in zahodno Evropo večji od povprečnega. Zahodnik je močnejši od običajnega, maksimalne hitrosti vetra so pomaknjene severneje. V primeru pozitivnega NAOI so nad zahodno Evropo in severno Ameriko izrazito višje temperature in bolj mokra obdobja, nad večjim delom

* Agencija Republike Slovenije za Okolje, Vojkova 1b, Ljubljana

** Politehnika Nova Gorica, Vipavska 13, Nova Gorica

Sredozemlja pa so izrazita obdobja suhega vremena. V primeru negativnega NAOI so zahodniki šibkejši in vpliv na podnebje je ravno obraten kot v primeru pozitivnega NAOI. Povezava med prevladujočim vremenskim tipom in NAO je predvsem izrazita v hladnem delu leta. Vrsta študij je pokazala tesno povezavo med NAOI in številnimi drugimi spremenljivkami, kot npr. temperaturo Atlantskega oceana in nekaterimi ekološkimi spremenljivkami (npr. Marshall et. al., 2001).

Conte et. al. (1989) so pokazali, da je za podnebje v Sredozemlju od NAO pomembnejši regionalni vzorec v polju zračnega tlaka, tako imenovana sredozemska oscilacija (angl. Mediterranean Oscillation, MO). To so potrdile tudi nadaljnje študije (Corte-Real et. al., 1995; Maheras et. al., 1999; Dünkeloh & Jacobeit, 2003) v katerih se je MO izkazal kot najizrazitejši regionalni vzorec zračnega tlaka, ki vpliva predvsem na padavine nad Sredozemljem.

Namen naše študije je bil ugotoviti ali je MO le regionalni del NAO, ali predstavlja samostojen cirkulacijski oziroma oscilacijski vzorec. V ta namen smo naredili primerjavo prostorskih vzorcev MO in NAO ter pripadajočih indeksov za obdobje 45 let, izračunanih iz povprečnih mesečnih vrednosti zračnega tlaka na morskem nivoju (SLP). V nadaljevanju smo preverili vpliv MO in NAO na podnebje Sloveniji, pri čemer smo upoštevali meritve temperature zraka in količine padavin na izbranih klimatoloških postajah, ter pretoke nekaterih večjih rek. Ker je znano, da precejšen delež variabilnosti NAOI pripada nižjim frekvencam (časovnim periodam deset let in več) (npr. Marshall et. al., 2001), in ker ima MOI podoben frekvenčni spekter kot NAOI, smo preverili, če so nižje frekvence poudarjene tudi v spektrih variabilnosti izbranih podnebnih spremenljivk na območju Slovenije.

Podatki in izračun severno-atlantske ter sredozemske oscilacije

Za izračun oscilacijskih indeksov se običajno uporabljata dva pristopa:

1. Indeks izračunamo na podlagi vnaprejšnjega poznavanja problematike, npr. znanja o legi središč oscilacijskega vzorca. V primeru NAO lahko indeks ocenimo kot standardizirano razlika odstopanj SLP od dolgoletnih povprečij, izmerjenih na postajah blizu središč nizkega in visokega zračnega tlaka, npr. Gibraltarja oziroma Lizbone za južno središče ter Reykjavika za severno središče (Hurrell, 1995).
2. S pomočjo multivariatnih statističnih metod, npr. metode glavnih komponent (angl. Principal Component Analysis, PCA) (von Storch & Zwiers, 1999), izoliramo iz prostorsko-časovnega polja odstopanj zračnega tlaka od dolgoletnih povprečij prostorske vzorce in časovne poteke njihove izrazitosti, ki pojasnijo čim večji delež variabilnosti polja. Dobljen prostorski vzorec predstavlja oscilacijo, pripadajoč časovni potek pa oscilacijski indeks.

Oscilaciji in pripadajoča indeksa predstavljani v tem delu, so izračunani s pomočjo PCA. Za povprečne mesečne vrednosti SLP smo uporabili rezultate reanaliz Evropskega centra za srednjeročno meteorološko napoved (ECMWF) (Kållberg et. al., 2004). ECMWF je v okviru projekta ERA-40 za obdobje 1957-2002 rekonstruiral meteorološke spremenljivke na pravilni $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ mreži. Mesečne vrednosti SLP so izračunane kot povprečje dnevni vrednosti, slednje pa ocenjene kot povprečje vrednosti ob štirih terminih v dnevu (ob 00UTC, 06UTC, 12UTC in 16UTC).

Iz SLP polj smo najprej izločili letni cikel ter standardizirali podatke za posamezno mrežno točko. Pri odstranitvi letnega cikla smo ločeno za vsako mrežno točko in vsak mesec od vrednosti SLP odšteli dolgoletno povprečje za izbran mesec. V naslednjem koraku smo pri standardizaciji podatkov izračunali varianco odstopanj SLP na posamezni

mrežni točki ter z njenim korenem delili časovno vrsto podatkov. Z odstranitvijo letnega cikla smo želeli odstraniti signal, ki je posledica astronomskih dejavnikov in bi lahko zasenčil pomemben signal podnebne variabilnosti. Standardizacija izenači vpliv podatkov z različnih mrežnih točk na prostorski vzorec, poleg tega pa so standardizirane vrednosti SLP uporabljene tudi v pristopih izračunavanja oscilacijskih indeksov na podlagi meritev na posameznih postajah. Podatke smo ločili po letnih časih: zima (december-februar), pomlad (marec-maj), poletje (junij-avgust) in jesen (september-november) ter napravili izračune ločeno za posamezne letne čase.

Namen PCA metode je, da predstavimo variabilnost izbrane meteorološke spremenljivke s , merjene na N različnih lokacijah ob T različnih časih, kot vsoto kombinacij ortogonalnih prostorskih vzorcev in pripadajočih časovnih potekov. Pri tem za izračunavanje prostorskih vzorcev in časovnih potekov najprej podatke o spremenljivki s zberemo v matriko \mathbf{S} dimenzije $N \times T$. Prostorski vzorci in časovni poteki so izbrani tako, da pojasnijo čim večji delež variabilnosti spremenljivke s pri pogoju, da so prostorski vzorci ortogonalni. To pomeni, da prvi prostorski vzorec in prvi časovni potek skupaj pojasnita največji možni delež variabilnosti spremenljivke s . Drugi prostorski vzorec je ortogonalen s prvim in s pripadajočim časovnim potekom pojasnita največji možen delež preostale variabilnosti spremenljivke s , ki ne pripada prvemu paru prostorskega vzorca i pripadajočega časovnega poteka. Podobno so tretji in nadaljnji prostorski vzorci ortogonalni na vse prejšnje, s tem da skupaj s časovnimi poteki pojasnijo največji možen del variabilnosti spremenljivke s . Izkaže se (npr. von Storch & Zwiers, 1999), da so prostorski vzorci, urejeni po vrsti, lastni vektorji kovariančne matrike S , torej lastni vektorji matrike $\mathbf{S} \cdot \mathbf{S}^T$ (T pomeni transponiranje matrike), ki pripadajo lastnim vrednostim urejenim po velikosti. V našem primeru vodilni prostorski vzorci predstavljajo oscilacijo (NAO ali MO), pripadajoči časovni poteki pa oscilacijske indekse (NAOI ali MOI).

Severno-atlantska in sredozemska oscilacija ter pripadajoča indeksa

NAO smo izračunali kot prvi PCA prostorski vzorec SLP nad atlantsko-evropskim območjem (40°V-90°Z, 20°S-80°S). Velikost območja sovпада z območjem, ki ga je v svoji študiji uporabil Hurrell (1995). Geografsko območje za izračun MO zajema Sredozemsko morje in okolico (30°V-40°Z, 30°S-60°S), in je v skladu s območjem, ki so ga v svoji študiji upoštevali Supić et. al. (2004).

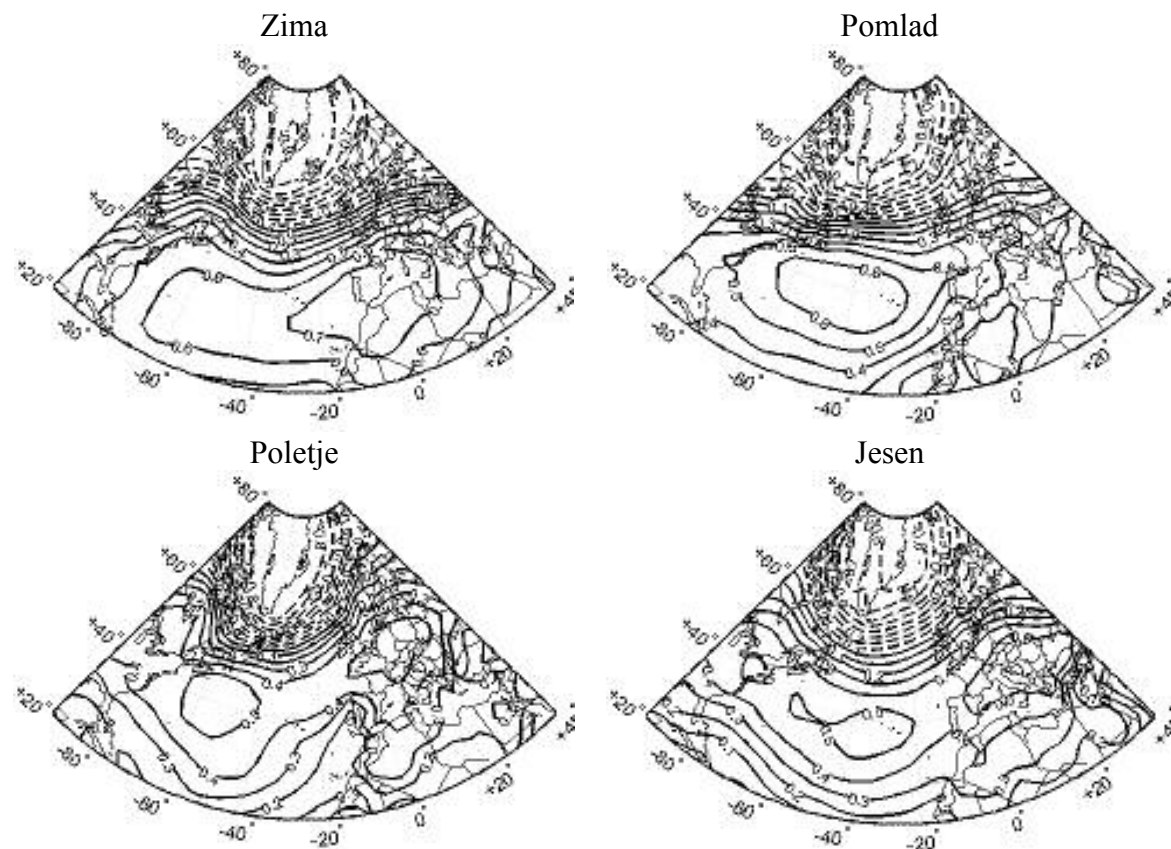
Prostorski vzorec NAO predstavlja dipolno obliko polja zračnega tlaka z dvema središčema (slika 1). Južno središče, ki je pozimi nad jugozahodno Evropo, se spomladi pomakne proti Atlantiku, poleti skoraj doseže severno-ameriško obalo ter se jeseni pomakne nazaj proti Evropi. Poleti in jeseni se prvotnemu južnemu središču pridruži še dodatno središče nad zahodno Evropo. Lokacija severnega središča je sezonsko bolj stabilna in se pomika iznad osrednje Grenlandije (spomladi) do vzhodne Grenlandije (jeseni). Čeprav se lokacija predvsem južnega središča spreminja z letnimi časi, se NAOI izračunan ločeno za posamezne letne čase skoraj ne razlikuje od NAOI izračunan hkrati za vse podatke. Linearni korelacijski koeficient med njima je za vse letne čase večji od 0.99.

MO, izračunan kot prvi PCA prostorski vzorec SLP nad Sredozemljem, vključuje le eno središče, ki leži nad osrednjim in zahodnim Sredozemljem. Lega središča MO se za razliko od južnega središča NAO tekom leta skoraj ne spreminja.

Pripadajoča indeksa, MOI in NAOI sta močno korelirana, kar je razvidno tudi iz podobnosti prostorskih vzorcev na območju Sredozemlja. Linearni korelacijski koeficient med MOI in NAOI znaša 0.79 pozimi, 0.47 pomladi in poleti ter 0.60 jeseni. Podobnost med južnim središčem NAO in MO je največja pozimi, kar se odraža v najbolj tesni

povezavi med NAOI in MOI, manjša jeseni ter najmanjša pomladi in poleti. Glede na majhno spremenljivost MO vzorca tekom leta in izrazito podobnost med MO in NAO le pozimi in deloma jeseni, sklepamo, da MO ni le regionalna reprezentacija NAO temveč gre za samostojen regionalni oscilacijski vzorec. Predvidevamo, da MO skupaj z MOI opisuje aktivnost sredozemske ciklogeneze. V Sredozemlju so namreč tri aktivna območja ciklogeneze (nad Genovskim zalivom, Atlasom in Iberskim polotokom). Glede lego središča sklepamo, da MO predstavlja predvsem ciklogenezo nad Genovskim zalivom, ki je izmed navedenih treh območij ciklogeneze izrazita praktično preko celotnega leta (Trigo & Davies, 1999). Seveda pa NAO in MO nista neodvisna. Območje, ki vključuje NAO, zajema tudi območje MO. Zato se MO deloma odraža v vzorcu NAO (Glowieka-Hense, 1990), kar kažejo visoke korelacije med NAOI in MOI. Slednje je verjetno odraz vpliva prodora hladnih front iznad Atlantika nad območje Alp, ki ga zajamemo z NAOI, kot enega izmed vzrokov za nastanek sredozemske ciklogeneze (Trigo et. al., 2002).

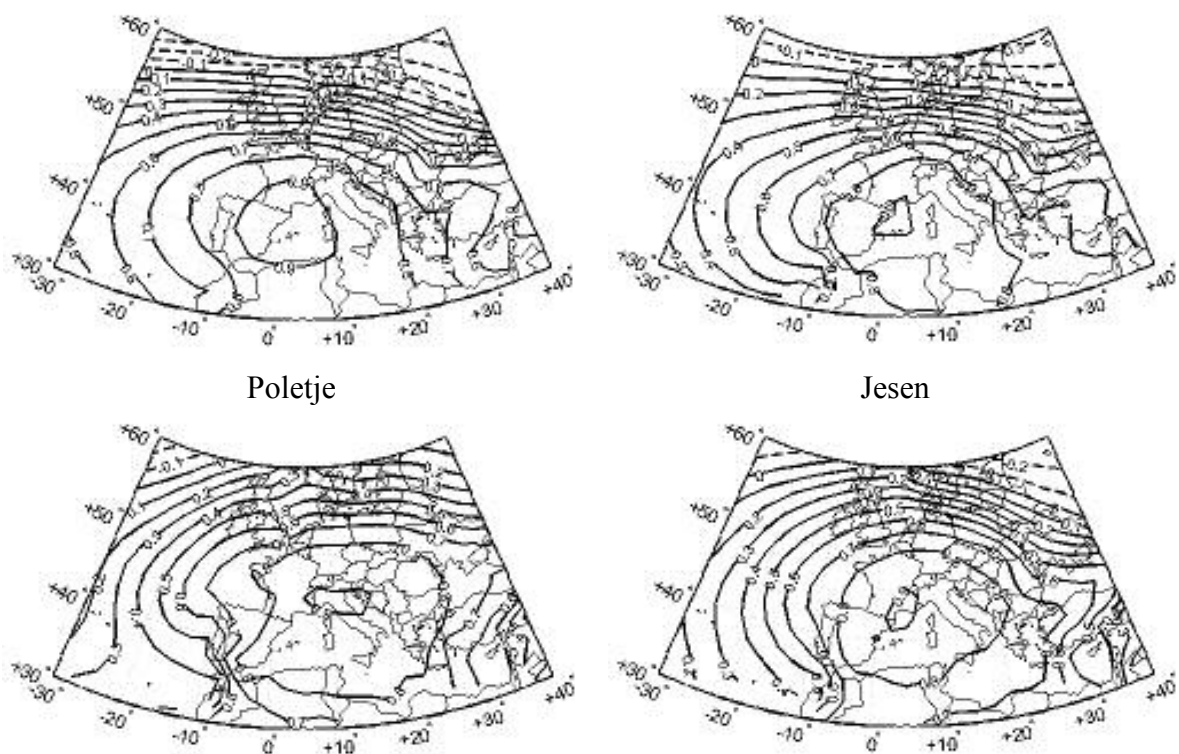
Spekter obeh oscilacijskih indeksov, MOI in NAOI, za frekvence s periodo več kot dve leti, je prikazan na sliki 3. Izračunan NAOI spekter, podobno kot spektri prikazani v literaturi (npr. Hurrell et. al., 2003), kaže povečano moč pri periodah med 2.2 let in 2.7 let, pri 3.5 letni periodi in pri periodah daljših od 7 let ter manj moči pri periodah med 4 in 7 let. MOI ima podoben spekter kot NAOI, le bistveno manj moči je pri periodah med 2.2 in 2.7 let. Podobnost spektrov NAOI in MOI dodatno kaže na povezavo med NAO in MO.



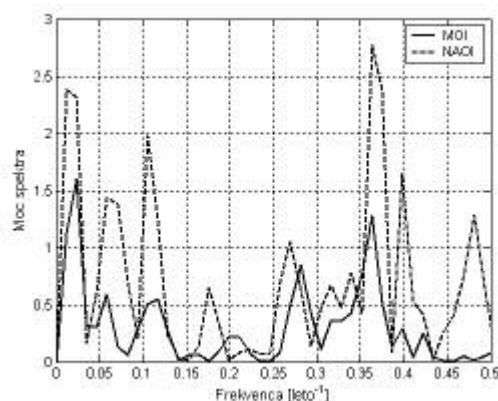
Slika 1: NAO vzorec pozimi (zgoraj levo), spomladi (zgoraj desno), poleti (spodaj levo) in jeseni (spodaj desno).

Zima

Pomlad



Slika 2: MO vzorec pozimi (zgoraj levo), spomladi (zgoraj desno), poleti (spodaj levo) in jeseni (spodaj desno).



Slika 3: Frekvenčni spekter MOI in NAOI.

Vpliv severno-atlantske in sredozemske oscilacije na podnebje Slovenije

Proučili smo vpliv oscilacijskih indeksov na podnebje Slovenije. Povezave med njimi smo ocenili na osnovi vrednosti linearnega korelacijskega koeficienta med oscilacijskima indeksoma in odstopanji povprečnih mesečnih vrednosti maksimalnih, minimalnih ter povprečnih dnevni temperatur zraka ter mesečnih količin padavin od dolgoletnih mesečnih povprečij. Pri tem smo uporabili podatke izmerjene na štirih klimatoloških postajah: Ljubljana-Bežigrad, Rateče-Planica, Postojna in Murska Sobota. Postaje so bile izbrane kot predstavnice različnih podnebnih območij Slovenije, hkrati pa smo upoštevali le tiste, za katere razpolagamo z meritvami izbranih spremenljivk v celotnem obravnavanem obdobju 1957-2002. Poleg vpliva na podnebje smo preučili tudi vpliv oscilacijskih indeksov na mesečna odstopanja pretokov nekaterih rek od dolgoletnega

mesečnega povprečja, saj so le ti v veliki meri odvisni od integralnih vrednosti podnebnih razmer na povodju. Uporabili smo pretoke Soče v Solkanu, Save v Radovljici, Save v Čatežu ter Mure v Gornji Radgoni. Povodje Soče v Solkanu obsega severozahodni in zahodni del Slovenije, povodje Save v Radovljici severni del Slovenije, Save v Čatežu celotno osrednjo in severno Slovenijo (približno polovico površine) ter Mure v Gornji Radgoni predvsem južni del Avstrije. Korelacijski koeficienti med oscilacijskima indeksoma in meteorološkimi spremenljivkami so prikazni v tabelah 1-4, korelacijski koeficienti med oscilacijskima indeksoma in pretoki je prikazan v tabeli 5. Glede na dolžino časovnega niza je korelacijski koeficient signifikanten pri stopnji zaupanja 99%, če je večji od 0.2 ali manjši od -0.2 (Storch in Zwiers, 1999).

Korelacijski koeficient med padavinami in NAOI ter MOI je v vseh primerih negativen (tabela 1). To pomeni, da je ob izrazitejšem jedru nizkega zračnega pritiska ter s tem aktivnejši ciklogenezi v Sredozemlju količina padavin nad Slovenijo večja. Absolutne vrednosti korelacijskih koeficientov so pozimi in jeseni največje, kar kaže na najtesnejšo povezavo med MO in količino padavin v Sloveniji v teh letnih časih. Razlog za to je, da na vreme v Sloveniji v hladni polovici leta vpliva predvsem sinoptična situacija, ki jo zajamemo z MOI in deloma tudi z NAOI, v topli polovici leta pa imajo izrazitejši vpliv na padavine lokalni dejavniki (npr vpliv reliefa na konvekcijo in proženje neviht). MOI je skoraj v vseh primerih tesneje povezan s padavinami kot NAOI. Rezultat je pričakovan, saj MOI odraža aktivnost sredozemske ciklogeneze, ki je poglaviti vir padavin v Sloveniji (Vrhovec et. al., 2003).

	Ljubljana	Murska Sobota	Rateče	Postojna
Zima	-0.54 (-0.37)	-0.49 (-0.29)	-0.51 (-0.32)	-0.44 (-0.28)
Pomlad	-0.23 (-0.08)	-0.11 (-0.01)	-0.19 (-0.06)	-0.21 (-0.04)
Poletje	-0.36 (-0.23)	-0.31 (-0.17)	-0.36 (-0.42)	-0.41 (-0.33)
jesen	-0.47 (-0.31)	-0.43 (-0.24)	-0.40 (-0.26)	-0.53 (-0.30)

Preglednica 1: Korelacijski koeficient med MOI (oziroma NAOI) in padavinami na izbranih klimatoloških postajah v posameznih letnih časih. Statistično značilne vrednosti pri 99% stopnji zaupanja so prikazane s poudarjenim tiskom.

Povezave med MOI in NAOI ter temperaturo zraka, tako povprečno kot ekstremnima, so šibkejše kot v primeru padavin (tabele 2-4). Za letne čase in lokacije, ko so korelacijski koeficienti statistično signifikantni, so le-ti pozitivni. To pomeni, da so z manjšo aktivnostjo sredozemske ciklogeneze, oziroma s prevladujočim anticiklonalnim vremenom, povezane višje temperature zraka. V večini primerov so korelacije med MOI in temperaturami večje kot med NAOI in temperaturami zraka, kar dodatno pojasnjuje, da regionalni atmosferski vzorec MO izraziteje vpliva na vreme in podnebje v Sloveniji kot obsežnejša atmosferska tvorba NAO. Podobno kot pri padavinah so na večini postaj temperature, tako povprečne kot ekstremne, boljše korelirane z MOI pozimi, kar je podobno kot pri padavinah zaradi izrazitejšega vpliva sinoptične situacije, ki jo zajamemo z MO oziroma z NAO. Izmed temperatur zraka so najboljše korelirane z MOI (kot tudi NAOI) maksimalne temperature, najslabše pa minimalne temperature. Minimalne temperature so z MOI (NAOI) signifikantno korelirane le v zimskem delu leta, v toplem delu leta pa so močno odvisne od lokalnih pojavov, kot npr. ohladitev ob nevihtah. Predvidevamo, da maksimalne temperature niso tako izrazito podvržene lokalnim vplivom. Opazen je tudi različno močan vpliv MO (oziroma NAO) na temperature na različnih postajah. Predvsem temperature v Murski Soboti so slabše korelirane z MOI kot temperature na ostalih postajah. Razlog je verjetno v tem, da na podnebje SV dela Slovenije vplivajo predvsem

kontinentalne zračne mase iz Panonske nižine, vpliv vremenskih tvorb, ki prihajajo iz Sredozemlja ali Atlantika (in se odražajo v MOI in NAOI), pa je tam manjši.

	Ljubljana	Murska Sobota	Rateče	Postojna
Zima	0.20 (0.33)	0.23 (0.39)	0.33 (0.39)	0.24 (0.33)
Pomlad	0.26 (0.13)	0.16 (0.09)	0.25 (0.15)	-0.00 (0.09)
Poletje	0.11 (0.21)	0.02 (0.17)	0.14 (0.23)	-0.06 (0.04)
Jesen	-0.02 (0.03)	-0.13 (-0.03)	0.04 (0.11)	-0.14 (-0.08)

Preglednica 2: Enako kot preglednica 1, le da za povprečne temperature namesto padavin.

	Ljubljana	Murska Sobota	Rateče	Postojna
Zima	0.26 (0.27)	0.19 (0.23)	0.48 (0.42)	0.46 (0.40)
Pomlad	0.38 (0.23)	0.28 (0.18)	0.38 (0.16)	0.39 (0.30)
Poletje	0.18 (0.11)	0.21 (0.08)	0.23 (0.18)	0.22 (0.11)
Jesen	0.16 (0.06)	0.04 (-0.04)	0.32 (0.23)	0.23 (0.19)

Preglednica 3: Enako kot preglednica 1, le da za maksimalne temperature namesto padavin.

	Ljubljana	Murska Sobota	Rateče	Postojna
Zima	0.25 (0.42)	0.42 (0.61)	0.40 (0.48)	0.24 (0.33)
Pomlad	0.01 (0.09)	0.06 (0.09)	0.05 (0.16)	-0.00 (0.09)
Poletje	-0.03 (0.08)	-0.17 (0.12)	-0.02 (0.08)	-0.06 (0.04)
Jesen	-0.13 (0.14)	-0.15 (0.07)	0.02 (0.16)	-0.14 (0.08)

Preglednica 4: Enako kot preglednica 1, le da za minimalne temperature namesto padavin.

Pretoki rek v veliki meri odražajo kumulativno količino neto padavin (razliko med prejeto količino padavin in izgubami zaradi evapotranspiracije) po povodju ter spremembe zalog vode v snegu ter tleh. Ker je evapotranspiracija tesno povezana s temperaturo zraka in so padavine negativno korelirane z obema oscilacijskima indeksoma, temperature zraka pa pozitivno, je pričakovati, da bodo pretoki rek negativno korelirani z NAOI in MOI.

Pretok Soče v Solkanu in pretok Save v Čatežu je v vseh sezonah statistično značilno koreliran z MOI. Korelacijski koeficienti so precej boljši med pretoki in MOI kot med pretoki in NAOI. Pretoka Save v Radovljici in predvsem Mure v Gornji Radgoni pa sta slabše korelirana z oscilacijskima indeksoma. Pretok Mure je statistično značilno koreliran z MOI le jeseni. Razlog za slabo korelacijo je verjetno predvsem v rečnem oziroma padavinskem režimu. Mura in deloma tudi Sava v zgornjem toku imata snežni režim (Kolbezen et. al., 1998). Velik del vode, ki odteče v reko je posledica taljenja snega, ki se akumulira čez zimo in se tali proti pomladi in poleti. V tem primeru povprečni mesečni pretoki niso povezani le s prejeto količinami padavin v izbranem mesecu. Poleg tega severovzhodna Slovenija prejme največ padavin poleti z nevihtami, ki jih tako MOI kot NAOI ne opišeta najbolje, saj gre pogosto za lokalno pogojene pojave. Za razliko od severovzhodne Slovenije, prejme jugozahodni in severozahodni del Slovenije največ padavin ravno jeseni, ko so sredozemski cikloni (predvsem Genovski) najpogostejši, prav tako pa le-ti prispevajo dobršen delež k skupni letni količini padavin tudi v osrednji in jugovzhodni Sloveniji.

	Soča Solkan	Mura Gornja Radgona	Sava Radovljica	Sava Čatež
Zima	-0.41 (-0.30)	-0.12 (0.01)	-0.28 (-0.14)	-0.46 (-0.31)
Pomlad	-0.25 (-0.18)	0.06 (0.09)	-0.13 (-0.10)	-0.22 (0.12)
Poletje	-0.30 (-0.31)	-0.15 (-0.01)	-0.22 (-0.19)	-0.26 (-0.07)
Jesen	-0.39 (-0.29)	-0.25 (-0.14)	-0.35 (-0.24)	-0.38 (-0.23)

Preglednica 5: Korelacijski koeficient med MOI in pretoki na izbranih hidroloških postajah ter med NAOI in pretoki (v oklepajih) po sezonah. Statistično značilne vrednosti pri 99% stopnji zaupanja so odebeljene.

Povezava med variabilnostjo podnebja Slovenije in oscilacijskima indeksoma z vidika dolgoletne dinamike

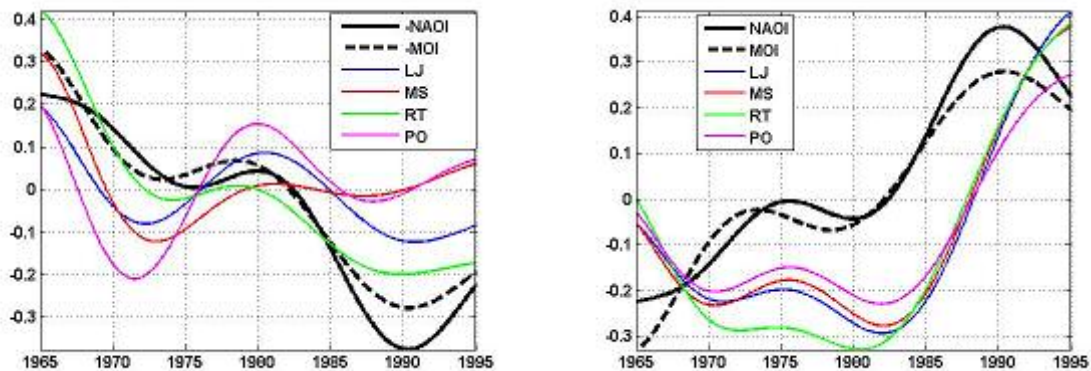
Znano je, da dobršen delež variabilnosti NAOI pripada frekvencam s periodami deset let in več (Hurrell et. al., 2003). Podobne lastnosti smo pokazali tudi za variabilnost MOI. Ker so povezave predvsem med MOI in padavinami statistično značilne, smo preverili če je variabilnost padavin skladna z variabilnostjo MOI, torej če so v spektru količine padavin na izbranih klimatoloških postajah poudarjene nižje frekvence.

Na sliki 4 so prikazane časovna vrsta -NAO, -MOI ter količine padavin (levo) in NAO, MOI ter povprečne temperature zraka (desno) na izbranih klimatoloških postajah. Na sliki 5 so prikazane časovne vrste -NAO in -MOI ter časovne vrste pretokov rek na izbranih hidroloških postajah. Vse časovne vrste so bile glajene z butterworthovim filtrom (Parks & Burrus, 1987), ki prepušča nizkofrekvenčne signale in izloči visokofrekvenčne. Filter ima v frekvenčnem spektru zvezen odziv in pri frekvenci 1/15/let prepušča polovično moč signala.

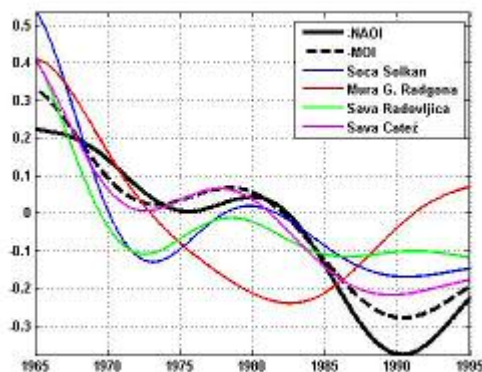
Zaznati je, da tako MOI kot NAOI v obravnavanem obdobju kažeta naraščajoč trend, kar kaže na vse pogostejša sušnejša obdobja nad Sredozemljem oziroma manjšo pojavnost sredozemskih ciklonov. Viden je maksimum indeksov v prvi polovici sedemdesetih in na začetku devetdesetih let. Časovni potek padavin je na vseh postajah podoben kot časovni potek -MOI ali -NAOI. Nadpovprečno sušni sta bili v obravnavanem obdobju 1957-2002 prva polovica sedemdesetih let in prva polovica devetdesetih let, nadpovprečno mokra pa so bila šestdeseta leta in začetek osemdesetih let.

Časovni potek povprečnih, maksimalnih in minimalnih temperatur zraka je zelo podoben, zato so prikazane le vrednosti za povprečne temperature. Podobnost med temperaturami zraka in oscilacijskimi indeksi je manjša kot v primeru padavin. Do začetka sedemdesetih let so se vrednosti oscilacijskih indeksov povečevale, temperature zraka pa nekoliko zniževale. Skladen je visok trend naraščanja oscilacijskih indeksov in temperatur od prve polovice osemdesetih let.

Pretoki rek vsi razen Mure prikazujejo podoben časovni potek kot padavine, torej podoben kot -NAOI in -MOI. Pretok Mure v Gornji Radgoni je odvisen predvsem od padavin v avstrijskih Alpah, ki niso pod sredozemskim vplivom in jih MOI ne opiše najbolje.



Slika 4: Časovne vrste oscilacijskih indeksov pomnoženih z minus ena in padavin (levo) ter oscilacijskih indeksov in povprečnih temperatur (desno). Podatki so filtrirani s filtrom, ki ima polovično moč pri frekvenci $1/15 \text{ let}^{-1}$. Oznake za klimatske postaje so naslednje: LJ... Ljubljana, MS...Murska Sobota, RT...Rateče in PO...Postojna.



Slika 5: Podobno kot slika 4, levo le namesto padavin so prikazani pretoki rek na izbranih hidroloških postajah.

Zaključki

V članku smo pokazali, da regionalni sredozemski oscilacijski indeks (MOI), ki opisuje aktivnost sredozemske ciklogeneze, pojasni večji delež variabilnosti količine padavin in temperaturo zraka v Sloveniji kot severno-atlantski oscilacijski indeks (NAOI). V hladnem delu leta, ko je vreme nad Slovenijo odvisno predvsem od vremenskih tvorb v sinoptični skali, so korelacije med MOI in padavinami najtesnejše. Podobno velja tudi za temperaturo zraka, pri čemer so z MOI in NAOI najtesneje povezane maksimalne temperature. Razlog za slednje je verjetno v manjši odvisnosti maksimalnih temperatur zraka od lokalnih vplivov v primerjavi z minimalnimi in tako tudi povprečnimi temperaturami zraka. Pretoki rek, ki so povezani predvsem s prejeto količino padavin, so v mesečni skali šibkeje povezane z MOI na delih rek, ki imajo pretežno snežni režim in tesneje na rekah oziroma delih rek, ki imajo pretežno dežni režim. Razlog je v akumulaciji padavin v snegu, ki lahko vplivajo na pretoke rek šele mnogo po prejetju padavin.

Dobršen delež variabilnosti MOI in NAOI pripada periodam daljšim od deset let, torej dolgoletni dinamiki. To se odraža tudi v variabilnosti padavin in pretokov rek, ki so z MOI in NAOI povezani. Variabilnost padavin v tej časovni skali je pomembna predvsem z vidika proučevanja dolgoletnih trendov oziroma sprememb prejete količine padavin ter

pretokov rek in iskanja vzrokov zanje. Naša študija kaže, da se podnebne spremembe zadnjih 50 let nad območjem Slovenije odražajo tudi v šibkem trendu zmanjševanja količine padavin in zmanjševanja pretokov rek, ki so deloma povezani s trendom manjše pogostosti sredozemskih ciklonov. Vendar pa je trend zmanjševanja padavin bistveno manjši od trenda naraščanja MOI (oziroma NAOI), kar kaže na to, da samo z dinamiko izrazitosti MO (oziroma NAO) ne moremo v celoti pojasniti spremenljivosti podnebnih razmer v Sloveniji.

Literatura

- Barnston, A. G & R. E. Livezey. 1987. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review*, 115 (1083-1126)
- Conte M., A. Giuffrida & S. Tedesco 1989. The Mediterranean Oscillation. Impacts on Precipitation and Hydrology in Italy. *Proceedings on Conference on Climate and Water*.
- Corte-Real, J., X. Zhang & X. Wang 1995. Large-Scale Circulation Regimes and Surface Climate Anomalies Over the Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 15 (1135-1150)
- Dünkeloh A & J. Jacobeit 2003. Circulation Dynamics of Mediterranean Precipitation Variability 1948-1998. *International Journal of Climatology*, 23 (1843-1866).
- Glowieka-Hense, R. 1990. The North Atlantic Oscillation in the Atlantic-European SLP, *Tellus*, 42A, 497-507.
- Hurrell, J. W. 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*, 269 (676-679)
- Hurrell, J. W., Y. Kushnir, M. Visbeck & G. Ottersen 2003. The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impacts, vol 134, poglavje: An Overview of the North Atlantic Oscillation. *Geophysical Monograph Series*.
- Kållberg, P., A. Simmons, S. Uppala, & M. Fuentes 2004. The ERA 40 Archive. European Centre for Medium-Range Weather Forecast.
- Kolbezen, M., J. Pristov 1998: Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije
- Maheras, P., E. Xoplaki, T. Davies, J. Martin-Vide, M. Bariendos & M. J. Elkoforado 1999. Warm and Cold Monthly Anomalies Across the Mediterranean Basin and Their Relationship With Circulation: 1860-1990. *International Journal of Climatology*, 19 (1697-1715)
- Marshall, J., Y. Kushnir, D. Battisti, P. Chang, A. Czaja, R. Dickson, J. Hurrell, M. McCartney, R. Saravanan & M. Visbeck. 2001. North atlantic Climate Variability: Phenomena, Impacts and Mechanisms. *International Journal of Climatology*, 21 (1863-1898)
- Parks, T.W., & C.S. Burrus. 1987. *Digital Filter Design*. John Wiley & Sons (New York)
- Supić, N., B. Grbec, I. Vilibić & I. Ivančić 2004. Long-term changes in hydrographic conditions in northern Adriatic and its relationship to hydrological and atmospheric processes. *Annales Geophysicae*, 22 (733-745)
- Trigo, I. F., G. R. Bigg & T. D. Davies 2002. Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review* 130(3) (549-569)
- Trigo, I. F., Davies, T. D 1999: Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region. *Journal of Climate* 12 (1685-1696)
- Von Storch, H. & F. W. Zwiers 1999. *Statistical Analysis in Climatology*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Vrhovec, T., R. Žabkar, K. Sušelj, M. Dolinar 2003. Strong Precipitation Cases and Wind Shearing in the Southeast Alps. *Book of Abstracts on MAP meeting*.
- Wanner, H., S. Bronnimann, C. Casty, D. Gyalistras, J. Luterbacher, C. Schmutz, D. B. Stephenson & E. Xoplaki 2002. North Atlantic Oscillation concepts and studies. *Surveys on Geophysics*, 22, (321-381)