

UTJECAJ ZIMSKE SJEVERNO-ATLANTSKE OSCILACIJE NA PROLJETNE TEMPERATURE TLA U HRVATSKOJ

Influence of the winter North Atlantic Oscillation on spring soil temperatures in Croatia

TOMISLAV STILINOVIĆ¹, IVANA HERCEG-BULIĆ², VIŠNJICA VUČETIĆ³

¹Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet - Sveučilište u Zagrebu

²Geofizički zavod Andrija Mohorovičić, Prirodoslovno-matematički fakultet - Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

³Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb
tomislav.stilinovic@gfz.hr

Primljeno 1. travnja 2014., u konačnom obliku 11. srpnja 2014.

Sažetak: Sjeverno-atlantska oscilacija (NAO – eng. North Atlantic Oscillation) ima izrazit utjecaj na klimatska obilježja Europe, pa tako i na Hrvatsku, a taj se utjecaj uočava u mnogim atmosferskim parametrima (npr. temperatura zraka, tlak, oborina, strujanje zraka...). Tlo zbog svojih karakteristika ima relativno dugo vrijeme odziva, pa stoga postoji mogućnost utjecaja NAO pojave s vremenskom odgodom putem anomalija varijabli definiranih na ili u tlu, koje se mogu uočiti u sezonama koje slijede nakon same NAO pojave. U ovom je radu ispitana veza između zimske NAO pojave i temperatura tla u Hrvatskoj u proljeće za razdoblje od 1961. do 2012. godine. Dobiveni rezultati ukazuju na vezu između siječanjske NAO pojave i temperature tla u proljetnim mjesecima. Iako je ta veza relativno slaba, ona je statistički značajna i uglavnom prisutna na svim dubinama tla. Uočava se ovisnost te povezanosti o dubini tla, koja ukazuje na nelinearnost. Nadalje, dobiveni rezultati sugeriraju i na postojanje prostorne razdiobe ispitanog utjecaja NAO oscilacije, a koja je vjerojatno uvjetovana karakteristikama tla i lokalnim utjecajima.

Cljučne riječi: NAO, temperatura tla

Abstract: North Atlantic Oscillation (NAO) has a distinct influence on the climate characteristics in Europe, as well on Croatia. Since the surface, due to its physical properties has a longer response time, there is a possible time delayed influence of the NAO event. In this paper, we examined correlation of winter NAO events and soil temperatures in the subsequent seasons in Croatia for the period between 1961-2012. The results show that there is such a correlation between January NAO and soil temperature during the spring period. Even though the correlation is relatively weak, it is apparent and statistically significant at all depths. The effect of depth on the correlation indicates a certain non-linearity. The results also point to a possible spatial distribution of the effect of the NAO oscillation, which is most likely caused by the characteristics of the soil and local influence.

Keywords: NAO, soil temperature

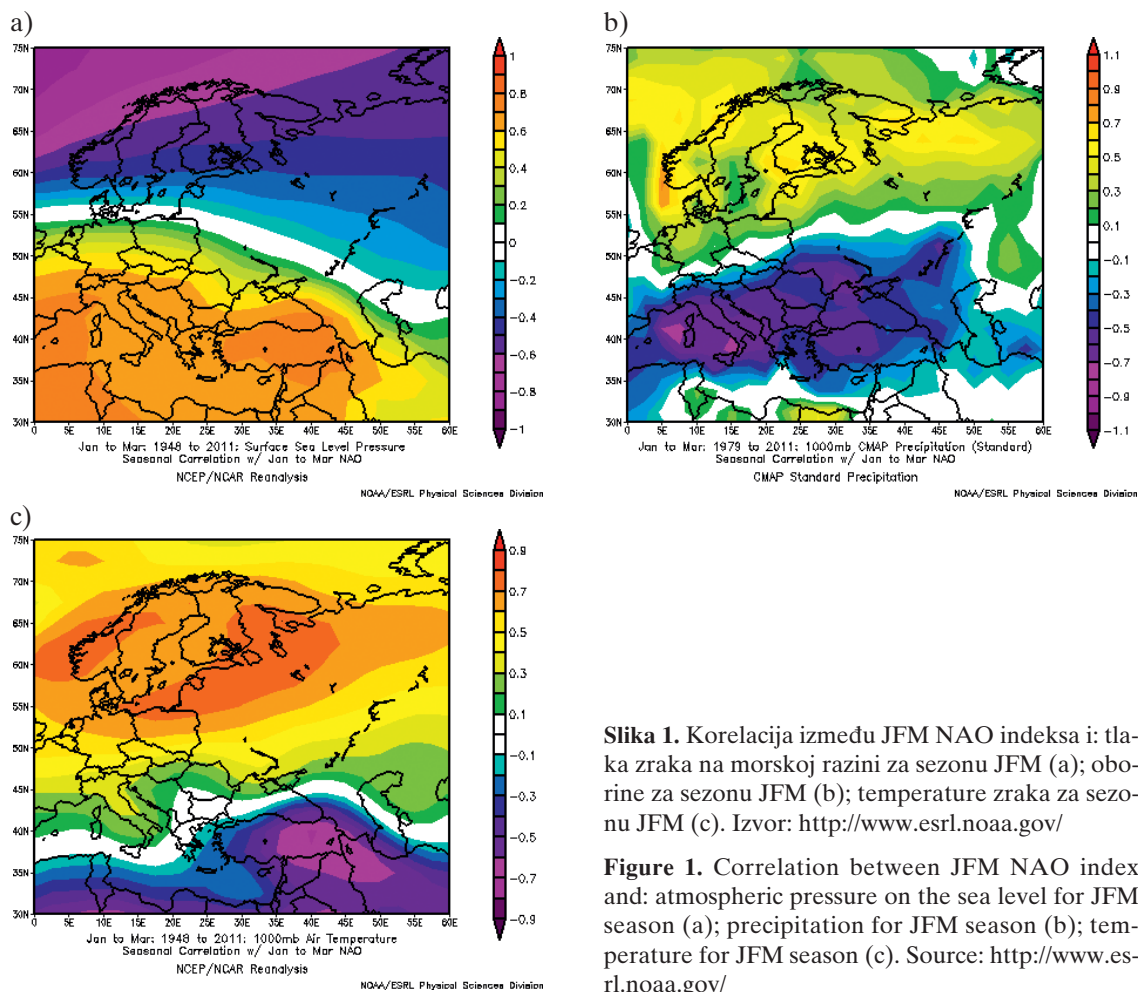
1. UVOD

Sjeverno-atlantska oscilacija (NAO – eng. North Atlantic Oscillation) je jedan od najistaknutijih elemenata klimatske varijabilnosti na sjevernoj hemisferi. Ona je regionalna manifestacija hemisferskog cirkulacijskog polja

poznatog kao Arktička oscilacija (Thompson i Wallace, 1998; Thompson i Wallace, 2001). NAO pojava je najduže proučavani meteorološki fenomen, za kojeg posjedujemo dugogodišnje podatke. Definirao ju je Sir Gilbert Walker (Walker, 1926; Walker i Bliss, 1932) kao simultano kolebanje atmosferskog tlaka

između Islanda i Azora. Upravo razlika tlakova između tih dvaju područja čini izvedenu mjeru koju nazivamo NAO indeks. Vrijednost NAO indeksa određuje se na temelju mjerenja razlike reduciranog tlaka zraka na dvije postaje. Zbog dugog niza mjerenja najčešće se upotrebljavaju podatci postaja Lisabon, Portugal i Stykkisholmur/Reykjavik, Island. Općenito, zime s pozitivnom NAO oscilacijom karakterizira ispod prosječna količina oborine i niže temperature zraka u području južne Europe, te iznad prosječne količine oborine i više temperature zraka u području sjeverne Europe. Mnoge studije koje se bave proučavanjem utjecaja NAO pojave, pokazale su da se utjecaj NAO pojave smanjuje prema istočnom djelu Sredozemlja, ali taj utjecaj jača prema kraju zimske sezone (npr. Krichak i sur., 2014). NAO diktira klimatsku varijabilnost od istočnih obala SAD-a, pa sve do Sibira, i to pogotovo u zimskim mjesecima kada je i sama oscilacija najizraženija.

Promjene tlaka zraka povezane s NAO oscilacijom uzrokuju promjene meridionalnog gradijenta tlaka i tako modificiraju prevladavajuće zapadne vjetrove u umjerenim širinama kao i advekciju zraka s Atlantika. Tijekom pozitivne NAO faze meridionalni gradijent je jači od uobičajenog, pa je stoga i zonalno strujanje jače (a time je povećana i advekcija vlažnog zraka s Atlantika). Suprotno, tijekom negativne NAO faze, meridionalni gradijent tlaka je slabiji od uobičajenog, pa je i zonalno strujanje oslabljeno. Takve promjene u atmosferskoj cirkulaciji imaju izrazit utjecaj na vremenska obilježja Europe koji se uočava u mnogim meteorološkim parametrima, kao što je olujna aktivnost, temperatura zraka, tlak zraka, oborina i mnogi drugi. Prema Rodwell i sur. (1999) atmosferski procesi povezani s NAO pojavom odgovorni su za trećinu međugodišnje varijabilnosti temperature zraka na sjevernoj hemisferi tijekom zime. U zimskim mjesecima je NAO oscilacija najintenzivnija, pa se tada i uočava njen najjači



Slika 1. Korelacija između JFM NAO indeksa i: tlaka zraka na morskoj razini za sezonu JFM (a); oborine za sezonu JFM (b); temperature zraka za sezonu JFM (c). Izvor: <http://www.esrl.noaa.gov/>

Figure 1. Correlation between JFM NAO index and: atmospheric pressure on the sea level for JFM season (a); precipitation for JFM season (b); temperature for JFM season (c). Source: <http://www.esrl.noaa.gov/>

utjecaj na klimatsku varijabilnost, o čemu svjedoči obilje znanstvene literature (npr. Hurrell i van Loon, 1997; Hurrell i sur., 2003). Ipak, putem međudjelovanja atmosfere i podloge, moguće je vremenski odgođeno djelovanje NAO-a na klimatska obilježja narednih mjeseci. Tako su primjerice Rigor i sur. (2002) utvrdili koreliranost zimske NAO oscilacije i količine morskog leda tijekom narednog proljeća. Ogi i sur. (2003) su pokazali da zimska NAO oscilacija generira anomalije u snježnom pokrovu, morskom ledu i površinskim temperaturama mora koje perzistiraju do narednog ljeta kada imaju određen utjecaj na procese u atmosferi. Herceg-Bulić i Kucharski (2014) su detektirali sjeverni Atlantik kao moguću poveznicu između zimske NAO pojave i atmosferske cirkulacije narednog proljeća. Prema njihovim rezultatima, anomalije površinske temperature mora generirane djelovanjem zimske NAO pojave perzistiraju do narednog proljeća, koje tada utječu na atmosferu iznad sjevernog Atlantika i Europe.

Danas, kada smo sve češće svjedoci ekstremnih prilika povezanih s klimatskim promjenama koje nanose velike štete poljoprivredi i gospodarstvu, trebamo u što većoj mjeri iskoristiti agrometeorološka istraživanja pri planiranju gospodarskih aktivnosti. Cilj ovog rada je istražiti postoji li i u kojoj mjeri povezanost NAO indeksa i temperatura tla na raznim dubinama na postajama u Hrvatskoj.

2. HIPOTEZA

Dobro je poznato i dokumentirano u znanstvenoj literaturi, da NAO značajno utječe na vrijeme u Europi tijekom zime (npr. Hurrell, 1996; Hurrell i sur., 2003). To je također vidljivo na slici 1¹, gdje je prikazana korelacija između NAO indeksa i tlaka zraka (slika 1a), oborine (slika 1b) i temperature zraka (slika 1c), za zimsku sezonu siječanj-veljača-ožujak (JFM – eng. January-February-March), za razdoblje 1948.–2011. (oborina za 1979.–2011.). Slike prikazuju koeficijente korelacije između NAO indeksa i odgovarajućeg parametra i ukazuje na predznak te povezanosti za pozitivni NAO indeks. U slučaju negativnog NAO indeksa, vrijednosti poprimaju suprotan predznak. Polje tlaka (slika 1a) pokazuje da je zimi

iznad zapadne i središnje Europe pozitivna NAO pojava povezana sa smanjenim tlakom zraka iznad 55° sjeverne geografske širine, te povišenim tlakom zraka južno od 55. paralele. Ovakvom polju tlaka odgovara veći meridionalni gradijent tlaka od uobičajenog, što uzrokuje jačanje zonalnog strujanja koje prevladava na tom području. Zbog toga je pojačana i advekcija vlažnog i razmjerno toplog zraka s Atlantika u zapadnu Europu. Negativnoj fazi NAO pojave odgovara suprotna raspodjela anomalije tlaka, odnosno, viši tlak od uobičajenog nalazimo nad sjevernim djelom domene, dok je niži tlak nad južnim djelom domene. Upravo iz tog razloga dolazi do smanjenja meridionalnog gradijenta tlaka, a time i slabljenja zonalnog strujanja.

Polja oborine (slika 1b) i temperature (slika 1c) konzistentna su s poljem tlaka na slici 1a, pa su pozitivne anomalije tlaka općenito povezane s negativnim anomalijama oborine i temperature i obrnuto. Ukoliko detaljnije proučimo slike 1b i 1c, vidimo da tijekom pozitivne NAO pojave prevladava obilnija oborina, te temperature više od prosjeka nad područjem sjeverne Europe, dok je nad područjem središnje i djelom južne Europe količina oborine smanjena, a temperature su nešto više od prosjeka. Tek su nad krajnjim djelom južne Europe temperature i oborine niže od prosjeka.

Kao što je navedeno u uvodu te prikazano na slici 1b, postojanje određene faze NAO oscilacije tijekom zime izravno je povezano s količinom oborine tijekom te sezone. Oborina koja dopre do tla utječe na njegovu vlažnost, a može se i akumulirati u samom tlu. Obzirom da je vlažnost tla negativno korelirana s temperaturom tla (Karl, 1986; Huang i sur., 1996), moguće je neizravan utjecaj NAO pojave na temperaturu tla putem njegovog utjecaja na vlažnost tla. Anomalije vlažnosti tla koje su posljedica zimske oborine mogu perzistirati dulje od zimske sezone, pa je stoga moguće da utjecaj zimske NAO pojave koja je u to vrijeme najizraženija bude “zapamćen” u tlu, te vidljiv i u nekoj od narednih sezona. Ukoliko ovakva pretpostavljena ovisnost postoji, tada očekujemo da će se ona manifestirati u izmjerenim podacima. Naravno, također je moguće simultan utjecaj proljetne NAO pojave na oborinu

¹ Slike su generirane na internetskim stranicama NOAA-inog (National Oceanic and Atmospheric Administration) Earth System Research Laboratory-a (Colorado, USA) pomoću predinstalirane aplikacije.

(također i tlak i temperaturu), ali budući da je zimska NAO pojava bitno izraženija i jača od one proljetne, možemo pretpostaviti relativno slab utjecaj proljetne NAO na proljetne temperature tla.

U ovom je radu ispitana povezanost NAO pojave i temperature tla na različitim dubinama. Fizikalni mehanizam koji omogućuje ovakvu povezanost uključuje oborinu tijekom zime, a koja je povezana s NAO pojavom, akumulaciju vlage u tlu, te utjecaj vlažnosti tla na njegovu temperaturu u nekoj od narednih sezona. Taj utjecaj je svakako moduliran lokalnim čimbenicima, kao što je lokalna cirkulacija i sl. te stoga može biti izobličen tim utjecajima.

Ovakva analiza zanimljiva je sa znanstvenog stanovišta, a svakako može biti korisna i u praksi. Naime, kada je u zimskim mjesecima prisutna pozitivna NAO pojava, tada je količina oborine nad južnim djelom Europe manja od prosjeka, a temperature zraka su više, a ta dva utjecaja zajedno rezultiraju suhljim tlom. Takvo tlo može postići više temperature u proljeće što dalje može utjecati na pojavu i dugotrajnost toplinskih valova, a također je veća i opasnost od nastanka šumskih požara (Greatbatch, 2000; Fischer i sur., 2007). Duža sušna razdoblja mogu imati i znatne negativne posljedice po poljoprivredu i šumarstvo, s čime su naravno povezane i određene negativne ekonomsko-gospodarske posljedice.

3. PODATCI I METODE

U radu su korišteni podatci o srednjim mjesečnim temperaturama tla na različitim dubinama na 14 postaja: Bjelovar, Dubrovnik, Đakovo, Gospić, Knin, Križevci, Osijek, Pazin, Poreč, Rab, Sinj, Varaždin, Vinkovci i Zagreb (Maksimir) koje raspolažu s dugim vremenskim nizom podataka od 1961.-2012. godine. Podatci o temperaturi tla su za dubine 2, 5, 10, 20, 30, 50 i 100 cm. Zbog stjenovitog tla, postaje Dubrovnik, Knin, Rab i Sinj ne raspolažu podatcima o temperaturi tla na dubini od 100 cm, a neke od postaja na pojedinim dubinama imaju nepotpun niz, pa ti podatci nisu uzeti u obzir. Podatci o temperaturi tla koji nedostaju zbog prekinutosti niza su: Rab i Sinj (30 cm), Dubrovnik, Gospić, Rab, Sinj i Vinkovci (50

cm), Bjelovar, Križevci, Osijek, Pazin, Poreč, Varaždin i Vinkovci (100 cm).

Mjerenje temperatura tla u Hrvatskoj se sustavno obavlja od 1951. godine. Danas se ta mjerenja vrše na 55 meteoroloških postaja, ali broj postaja koje raspolažu s dugogodišnjim nizom mjerenja je relativno malen. Razlog tome je što su neke od postaja prekinule s radom, dok su neka mjerenja uspostavljena na novim lokacijama. Temperatura tla je veoma važna agrometeorološka veličina o kojoj ovisi velik broj procesa koji se odvijaju u tlu i na njegovoj površini (Derežić i Vučetić, 2012).

Povezanost temperature tla i NAO oscilacije ispitana je računanjem koeficijenata korelacije između siječanjskog NAO indeksa (koji je uzet kao mjera izraženosti zimske NAO pojave) i vrijednosti temperature tla za sve mjesece u proljetnoj sezoni. U ovom radu je korišten Pearsonov koeficijent korelacije, odnosno između promatranih varijabli je pretpostavljena linearna veza i neprekidna normalna distribucija. Uz određivanje vrijednosti koeficijenta korelacije, potrebno je utvrditi i njegovu statističku značajnost (signifikantnost). Statistička značajnost koeficijenta korelacije ovisna je o samom iznosu koeficijenta, te o veličini uzorka. Za određivanje statističke značajnosti koeficijenta korelacije primjenjen je dvostrani t-test. Iz tablica za granične vrijednosti t parametra, određeno je da statistički značajna vrijednost korelacije za niz od 50 podataka, na razini značajnosti od 95%, iznosi 0.278 (Dowdy i Wearden, 1983; Wilks, 1995). Dakle, sve vrijednosti izračunatih koeficijenata korelacije veće od ove kritične vrijednosti smatrat će se statistički značajnim. Naravno, relativno malen (ali statistički značajan) koeficijent pokazuje da je promatrana veza slaba iako postoji određen utjecaj promatrane pojave.

Podatke o meteorološkim parametrima promatranih u ovom radu ustupio je Državni hidrometeorološki zavod, dok su podatci o mjesečnim vrijednostima NAO indeksa preuzeti sa internetske stranice Nacionalnog centra za atmosferska istraživanja (NCAR – The National Center for Atmospheric Research²). Podatci su obrađeni pomoću programa za tablično računanje Microsoft Excel.

² <http://climatedataguide.ucar.edu/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Za svaku dubinu izračunate su korelacije između temperature tla za svaki mjesec u proljetnoj sezoni sa siječanjskim NAO indeksom. Pokazalo se da u slojevima do 50 cm, korelacija postiže svoj maksimum u ožujku ili travnju, a za dubine od 50 i 100 cm u travnju, te na pojedinim postajama u svibnju. Također su izračunate korelacije između sezonskog zimskog (JFM) NAO indeksa i temperatura tla za različite proljetne mjesece, kao i za samu proljetnu sezonu (MAM i AMJ). Međutim, analiza dobivenih rezultata je ukazala na postojanje statističke povezanosti siječanjske NAO pojave i temperature tla u određenim proljetnim mjesecima. Na temelju toga, odlučeno je

izračunati srednje vrijednosti temperature za dvomjesečje ožujak-travanj (MA – eng. March-April), a za pojedine postaje na dubinama 50 i 100 cm i vrijednosti za dvomjesečje travanj-svibanj (AM – eng. April-May) kako bi se istaknuli oni mjeseci za koje je uočena najveća povezanost. Pokazano je da statistički značajna veza postoji uglavnom za dvomjesečje MA, te na većim dubinama za dvomjesečje AM, iako je ona slaba. Dobivene vrijednosti koeficijenta korelacije prikazane su u *tablici 1*. Rezultati prikazani crvenom bojom odnose se na dvomjesečje AM, dok svi ostali predstavljaju rezultate za dvomjesečje MA, a podebljane vrijednosti su sve one koje su statistički signifikantne.

Tablica 1. Izračunate vrijednosti korelacije između siječanjskog NAO indeksa i temperatura tla za sezonu MA (AM-crveno). Podebljane vrijednosti su statistički signifikantne.

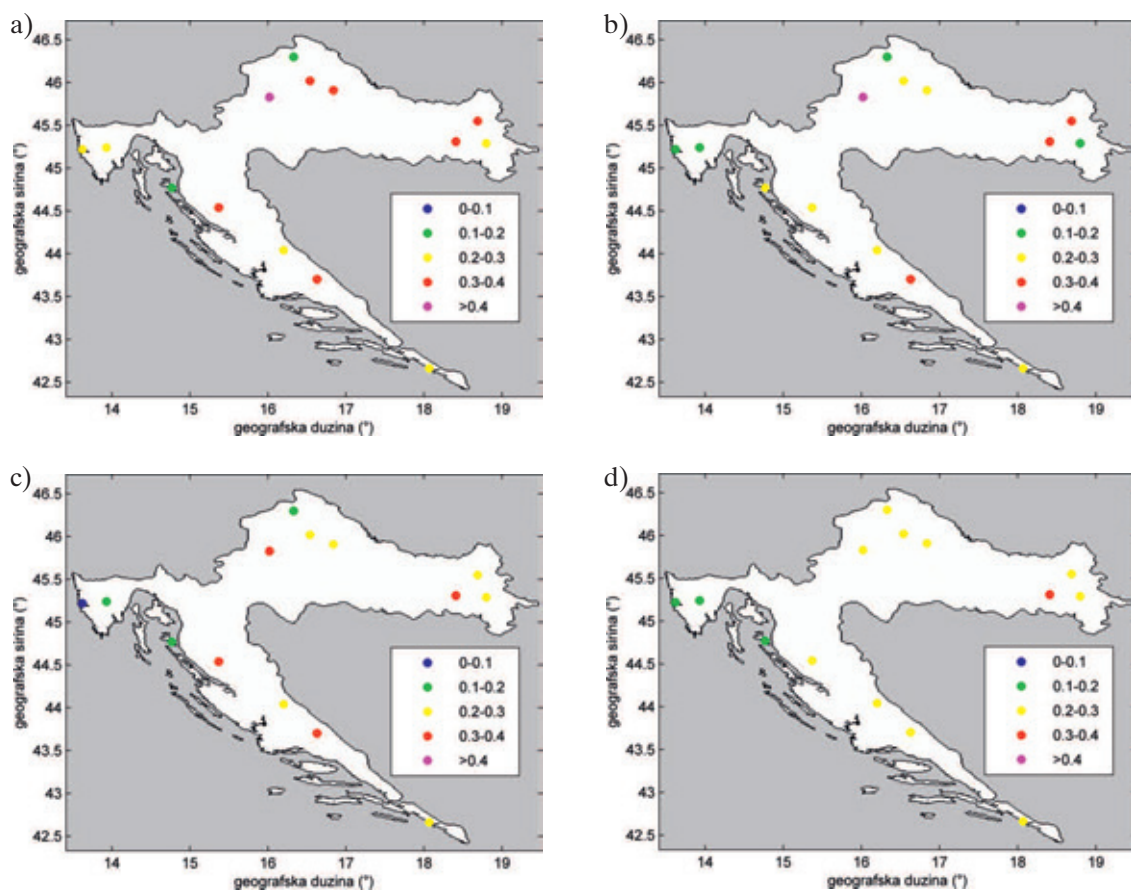
Table 1. Calculated values of correlation between January NAO index and soil temperatures for season MA (AM-red). Bold values are statistically significant.

Dubina [cm]	2	5	10	20	30	50	100
Bjelovar	0.315	0.277	0.227	0.208	0.264	0.412	
Đakovo	0.377	0.337	0.324	0.329	0.272	0.332	0.294
Gospić	0.305	0.283	0.307	0.236	0.301	0.416	0.377
Knin	0.244	0.230	0.252	0.242	0.311	0.310	
Križevci	0.308	0.289	0.284	0.275	0.306	0.418	
Osijek	0.333	0.303	0.265	0.269	0.250	0.359	
Varaždin	0.177	0.198	0.152	0.227	0.221	0.298	
Vinkovci	0.211	0.198	0.275	0.258	0.180		
Zagreb	0.439	0.415	0.388	0.298	0.295	0.316	0.260
Dubrovnik	0.266	0.280	0.294	0.277	0.283		
Pazin	0.201	0.176	0.156	0.161	0.109	0.232	
Poreč	0.210	0.152	0.094	0.108	0.200	0.222	
Rab	0.188	0.203	0.195	0.185			
Sinj	0.377	0.361	0.347	0.218			

Dobiveni rezultati ukazuju da je signifikantna povezanost temperatura tla u proljetnim mjesecima i siječanjske NAO pojave prisutna za sve promatrane postaje (slike 2 i 3). Drugim riječima, ovdje prikazani rezultati ukazuju na statistički značajan utjecaj siječanjske NAO pojave na stanje tla u Hrvatskoj tijekom određenih mjeseci narednog proljeća. Naravno, možemo pretpostaviti da orografija, vegetacija i karakteristike tla utječu na tu povezanost (kako na jačinu veze, tako i na vremenski pomak). Naime, karakteristike tla utječu na zagrijavanje tla, ali i na mogućnost zadržavanja vode u samom tlu, a time i na vlažnost tla u narednim sezonama. U skladu s time, može se očekivati da NAO pojava i s njom povezana oborina pokazuje prostorne razlike u utjecaju na temperature tla u narednim sezonama. U ovom radu smo na raspolaganju imali premali broj postaja koje raspolažu dugim nizom mje-

renja, pogotovo na većim dubinama, da bi mogli uočiti eventualnu geografsku razdiobu korelacija.

Možemo uočiti (slike 2 i 3) da je najslabija povezanost dobivena za područje Istre. S obzirom da je u proljeće učestalost lokalne cirkulacije u Istri relativno mala (iako postoji), pretpostavljamo da je jedan od mogućih uzroka slabljenja promatrane povezanosti povezan s dominacijom ciklonalnih sustava koji u travnju imaju svoj maksimum prelaska iznad Jadrana (Penzar i sur., 2001). U skladu s formacijama tlaka, na prednjoj strani ciklona se učestalo javlja jugozapadno strujanje koje donosi vlažan i topao zrak nad sjeverni dio Jadrana, te oborinu u unutrašnjosti Istre prema obroncima Učke i Ćićarije. Spomenutim mehanizmom također možemo opisati i slabiju povezanost dobivenu za postaju Rab. Od postaja u unutra-



Slika 2. Korelacija između siječanjskog NAO indeksa i dvomjesečnih (MA i AM) temperatura tla na dubini od: 2 cm (a); 5 cm (b); 10 cm (c); 20 cm (d)

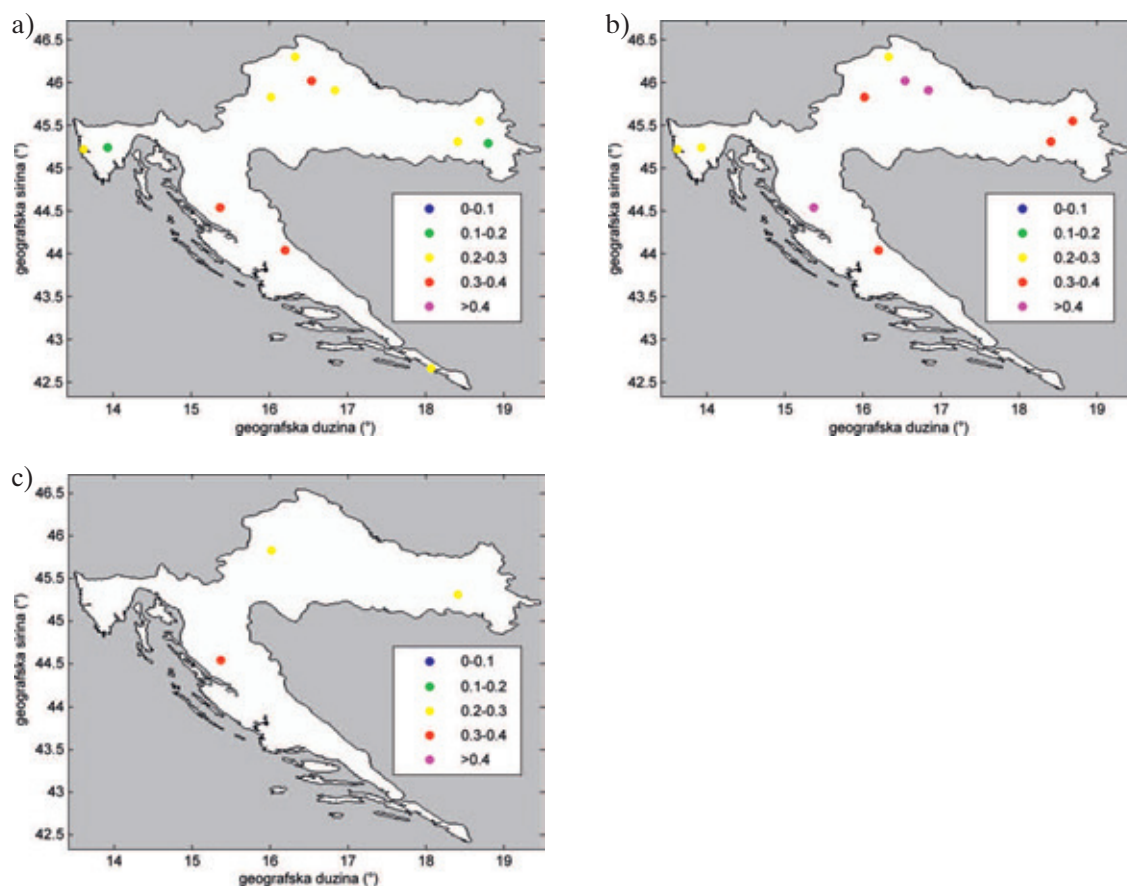
Figure 2. Correlation between January NAO index and two month mean (MA and AM) soil temperatures at a depth of: 2 cm (a); 5 cm (b); 10 cm (c); 20 cm (d)

šnjosti zemlje najslabiju vezu između zimske NAO pojave i proljetnih temperatura tla su pokazale postaje Varaždin i Vinkovci.

Ukoliko se promotre vrijednosti koeficijenta korelacije na različitim dubinama, uočava se da se oni smanjuju s dubinom. Na dubini od 2 cm (*slika 2a*) 7 je postaja s koeficijentom korelacije većim od signifikantnog, dok je na dubini od 5 cm (*slika 2b*) broj takvih postaja 6. Na dubini od 10 cm (*slika 2c*) broj takvih postaja je isto 6, ali iznosi koeficijenta korelacije su se gotovo na svim postajama smanjili. Na dubinama od 20 i 30 cm (*slika 2d i 3a*) vrijednosti koeficijenta korelacije su još uvijek u blagom padu. Ipak, nakon dubine od 30 cm veza se opet pojačava na dubini od 50 cm (*slika 3b*), dok na dubini od 100 cm (*slika 3c*) ponovno primjećujemo postojanje relativno slabe povezanosti. Možemo zaključiti da je uočena pove-

zanost NAO pojave i temperature tla ovisna o dubini.

Razlog ponovnog jačanja povezanosti siječanjske NAO pojave i proljetnih temperatura tla na većim dubinama može biti slabljenje drugih vanjskih utjecaja, a koji mogu značajnije utjecati na temperaturu tla (primjerice vjetar i oborina u simultanoj sezoni). Svakako da zbivanja u atmosferi tijekom simultane sezone utječu na stanje tla, ali je potrebno određeno vrijeme da odziv tla bude vidljiv na većim dubinama (tj. odziv tla na atmosfersku pobudu kasni u odnosu na vrijeme pobude, a vrijeme kašnjenja se povećava s dubinom, na što upućuju i rezultati ovog istraživanja). Naime, prema *tablici 1*, određene postaje ukazuju na povećanje koeficijenta korelacije s dubinom (npr. Bjelovar, Đakovo, Knin, Križevci...), dok postaje Bjelovar, Đakovo i Gospić popri-



Slika 3. Korelacija između siječanjskog NAO indeksa i dvomjesečnih (MA i AM) temperatura tla na dubini od: 30 cm (a); 50 cm (b); 100 cm (c)

Figure 3. Correlation between January NAO index and two month mean (MA and AM) soil temperatures at a depth of: 30 cm (a); 50 cm (b); 100 cm (c)

maju signifikantne korelacije za AM sezonu samo na većim dubinama tla. Stoga je moguće da je na ovim dubinama utjecaj zimske NAO pojave relativno izraženiji u odnosu na simultane utjecaje, pa je i sama korelacija veća. Na ovim dubinama se također uočava dodatno kašnjenje od mjesec dana u odzivu na siječanski NAO u odnosu na rezultate na manjim dubinama. U Hrvatskoj raspoložemo s malim brojem postaja s dugim nizom izmjerenih podataka za temperature na većim dubinama, pa tako na dubini od 100 cm raspoložemo s podacima sa samo tri postaje, pa se ovaj rezultat ne može smatrati pouzdanim.

5. ZAKLJUČCI

U ovom je radu ispitan utjecaj zimske NAO pojave na temperature tla tijekom naredne sezone. Ta je veza ispitana računanjem korelacije između NAO indeksa i temperature tla izmjerenih na različitim dubinama u Hrvatskoj. Ovakva povezanost je pretpostavljena obzirom na značajan utjecaj zimske NAO pojave na temperaturu i oborinu na području južne Europe. Obzirom da se voda koja kao oborina padne na tlo može akumulirati u tlu na raznim dubinama, vremenski uvjeti tijekom zime mogu značajno utjecati na vlažnost tla u narednim sezonama, a time i na njegovu temperaturu. Na taj način je pretpostavljena moguća fizikalna povezanost zimske NAO pojave i temperature tla u narednim sezonama.

Ovim je radom pokazano postojanje vremenski odgođenog utjecaja siječanjske NAO pojave na temperature tla u proljetnim mjesecima, a prema raspoloživim podacima, ta je povezanost statistički značajna. Pomak maksimalnih vrijednosti koeficijentata korelacije s dubinom prema kasnijim razdobljima u odnosu na siječanski NAO ukazuje da njegov odgođeni utjecaj na temperature tla ovisi o dubini. Ta ovisnost nije linearna, tj. uočava se da se koeficijenti korelacije smanjuju s dubinom idući od dubine 2 cm do dubine 30 cm, a nakon toga opet rastu na dubini od 50 cm. Rezultati ukazuju na moguću prostornu raspodjelu povezanosti siječanjske NAO pojave i temperature tla u proljeće. Zbog premalog broja postaja koje raspoložu dugim nizom mjerenja, pogotovo na većim dubinama, ovaj rezultat nije bilo moguće detaljnije ispitati u ovom radu.

Analiza i rezultati prikazani u ovom radu su posebice zanimljivi i potencijalno korisni ako se uzme u obzir da je tijekom druge polovice 20. stoljeća uočena tendencija prevladavanja pozitivne NAO pojave (Hurrell, 1996; Visbeck i sur., 2001). U skladu s tim, u drugoj polovici 20. stoljeća su u području južne Europe (a time i Hrvatske) prevladavale sušnije i toplije zime od uobičajenih. Takve zime pogoduju sušnijem i toplijem tlu tijekom narednog proljeća. Ukoliko se prevladavanje pozitivne NAO oscilacije nastavi i u budućnosti, to zajedno sa opaženim globalnim zatopljenjem može imati značajne posljedice na klimu našeg područja.

LITERATURA

- Derežić, D. i V. Vučetić, 2012: Tendencija povećanja srednje temperature tla u Hrvatskoj, Hrvatski meteorološki časopis – Croatian Meteorological Journal 46.
- Dowdy, S. and S. Wearden, 1983: *Statistics for Research*, Wiley, Hoboken, NY, USA.
- Fischer, E.M., S.I. Seneviratne, D. Lüthi, and C. Schär, 2007: Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves, *Geophysical Research Letters*, Vol. 34, Issue 6.
- Greatbatch, R.J., 2000: The North Atlantic Oscillation, *Stochastic and Environmental Risk Assessment*, 14, 213–242.
- Herceg-Bulić, I. and Kucharski, F., 2014: North Atlantic SSTs as a link between wintertime NAO and the following spring climate, *Journal of Climate*, 27, 186–201.
- Huang, J., H.M. van den Dool, K.P. Georgarakos, 1996: Analysis of Model-Calculated Soil Moisture over the United States (1931–1993) and Applications to Long-Range Temperature Forecasts, *Journal of Climate*, 9, 1350–1362.
- Hurrell, J.W., 1996: Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on northern hemisphere temperature, *Geophysical Research Letters*, Vol. 23, Issue 6, 665–668.
- Hurrell, J.W., Y. Kushnir, G. Ottersen, and M. Visbeck, 2003: An overview of the North Atlantic Oscillation, *Geophysical Monograph* 134.

- Hurrell, J.W. and H. van Loon, 1997: Decadal Variations associated with the North Atlantic Oscillation, *Climatic Change*, 36, 301-326.
- Karl, T.R., 1986: The Relationship of Soil Moisture Parameterizations to Subsequent Seasonal and Monthly Mean Temperature in the United States, *Monthly Weather Review*, 114, 675-686.
- Krichak, S.O., J.S. Breitgand, S. Gualdi, S.B. Feldstein, 2014: Teleconnection-extreme precipitation relationships over the Mediterranean region, *Theor. Appl. Climatol.*, doi 10.1007/s00704-013-1036-4 <http://climatedataguide.ncar.edu/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>.
- Ogi, M., Y. Tachibana, and K. Yamazaki, 2003: Impact of the wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) on the summertime atmospheric circulation, *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, Issue 13.
- Penzar, B., I. Penzar i M. Orlić, 2001: Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana, Nakladna kuća "Dr. Feletar", Hrvatski hidrografski institut Split, Zagreb, 258. str.
- Rigor, I.G., J.M. Wallace, and R.L. Colony, 2002: On the Response of Sea Ice to the Arctic Oscillation, *J. Climate*, 15, 2546-2663.
- Rodwell, M.J., D.P. Rowell, and C.K. Folland, 1999: Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate, *Nature*, 398, 320 - 333.
- Thompson, D.W.J., and J.M. Wallace, 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophysical Research Letters*, 25, 1297-1300.
- Thompson, D.W.J., and J.M. Wallace, 2001: Regional Climate Impacts of the Northern Hemisphere Annular Mode, *Science*, 293, 85-89.
- Visbeck, M.H., et al. 2001: The North Atlantic Oscillation: Past, Present and Future, *PNAS*, 98.
- Walker, G.T., 1926: Correlation in seasonal variations of weather, IX. A further study of world weather, *Memoirs of the India Meteorological Department*, 24, 275-333.
- Walker, G.T., and E.W. Bliss, 1932: *World Weather V. Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 4, No. 36, 53-84.
- Wilks, D. S., 1995: *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Second edition, *International Geophysics Series*, Vol 59, Academic Press.