

Procjena uticaja izmijenjene topografije na vrijednosti meteoroloških parametara na sjeverozapadu Crne Gore

Uvod

Da bi poljoprivredni stručnjaci, bilozi, poznavaoči šuma, zdravstveni radnici... dali svoje mišljenje o uticaju potapanja dijela teritorije na oblast poljoprivrede, šumarstva, turizma, zdravstva... neophodno je da znaju da li će doći do promjene vremenskih i klimatskih karakteristika u regionu i kojeg karaktera i intenziteta će te promjene biti.

Numeričko modeliranje atmosferskih procesa za ograničenu oblast je osnova savremene prognoze vremena, kao i analize već doživljenih situacija. Poseban značaj u analizi takvo modeliranje ima u predjelima u kojima ne postoji gusta mreža mjernih mjesta.

Ideja projekta finansiranog od strane USAID-ORT-a, a realizovanog od strane NVO Natura (Kolašin), NVO FONDAS (Podgorica), Hidrometeorološkog zavoda (Podgorica) i kompanije SEWA (Beograd) je bila da se eksperimentalnim putem, korišćenjem numeričkog Eta modela, utvrdi vjerovatnoća da će promjena topografije, odnosno stvaranje vještačke hidroakumulacije na lokalitetu Buk Bijela, usloviti promjenu vrijednosti određenih meteoroloških parametara na lokalitetu i u okruženju.

Korišćen je Eta numerički model veoma fine horizontalne i vertikalne rezolucije. Vršena je integracija za 51 dan iz 2003. godine, pri postojećim orografskim uslovima i pri simuliranom jezeru.

Tehnologija analitičko-prognostičkog sistema

Tehničko-tehnološka osnova Eta sistema predstavlja integrisan sistem koji se sastoji iz mreže računara, centra za komunikaciju u mreži i kompleta različitih softverskih sredstava. Generalno cio sistem čine:

- A. Preprocessing**
- B. Processing**
- C. Postprocessing**

- A. **Preprocessing** ili priprema početnih i graničnih uslova za rad modela, u konkretnom slučaju 51 dan 2003. godine, podrazumijeva reanalizu NCEP-a (National Center for Environmental Prediction) iz Vašingtona na horizontalnoj rezoluciji 2.5 stepena i 17 nivoa, sa graničnim uslovima na svakih 6h (00, 06, 12, 18...).
- B. **Processing** se sastojao iz jednog regionalnog numeričkog modela za širu ali ograničenu oblast, Eta modela na području Balkana horizontalne rezolucije 16km i ka kraju umetnutog Eta modela za veoma malu oblast interesovanja (Crna Gora sa najbližim okruženjem) rezolucije 4km i 60 vertikalnih nivoa. Operativne verzije modela su veoma dobro prilagođene oblasti iznad koje se koriste, što podrazumijeva da imaju detaljne informacije kako o izmjeranim podacima u slobodnoj atmosferi, tako i o podacima orografije (planine, jezera, rijeke), vrsti vegetacije, vrsti (teksturi) tla, temperaturi mora, vlažnosti tla do dubine 2m, temperaturi tla do dubine 2m, zalihama vode u tlu, visini sniježnog pokrivača, kao i hidrološke osnova u digitalnoj formi sa 1km-skrom horizontalnom rezolucijom koje su opisivale hidrološke slivove Drine, Pive i Tare.
- C. **Postprocessing** je prilagođavanje rezultata modela potrebama korisnika. Izlazni rezultati modela se dobijaju na unaprijed zadatom regionu i visinama (60 visina) do vrha atmosfere (oko 18km). Mogućnost izbora meteoroloških parametara koje proizvode numerički modeli je veoma velika:

Parametri na standardnim izobarskim nivoima 17 nivoa pritiska (hPa): 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10): Air temperature, Geopotential height, Relative humidity, Specific humidity, Omega (vertical velocity), U-wind, V-wind.

Prizemni parametri: Air Temperature, Surface lifted index, Best (4-layer) lifted index, Omega (vertical velocity), Potential temperature, Precipitable water, Pressure Relative humidity, Sea level pressure, U-wind, V-wind, Geopotential height, Land-sea mask . Air Temperature at 2 meters, Ice concentration, Potential evaporation rate, Pressure, Water runoff, Surface roughness, Specific humidity at 2 meters, Soil moisture (0-10cm), Soil moisture (10-200cm), Skin Temperature, Temperature of 0-10cm layer, U-wind at 10 m, V-wind at 10 m, Water equivalent of snow depth.

U konkretnom slučaju za Buk Bjelu su analizirani samo neki od raspoloživih parametara.

Regionalni Eta model

Eta model, zasnovan na HIBU modelu, je razvijen u saradnji Instituta za meteorologiju Univerziteta u Beogradu i Nacionalnog meteorološkog centra SAD iz Vašingtona. Naziv dolazi od vertikalne eta koordinate koja se koristi u modelu, a njena definicija je originalna ideja Prof. Fedora Mesingera. U NMC SAD u Vašingtonu model se koristi operativno (dva puta dnevno) od sredine 1993. godine, a takođe se koristi i za eksperimentalne i istraživačke svrhe. Eta model se danas koristi u preko trideset meteoroloških institucija u svijetu, prvenstveno za istraživanja, a od tog broja u šest institucija se koristi i za računanje operativne prognoze vremena.

Opšte karakteristike Eta modela:

Najznačajnije opšte karakteristike Eta modela su:

- Model za ograničenu oblast;
- Model sa primitivnim jednačinama;
- Prognoističke promjenljive su: prizemni pritisak (P_s), virtuelna temperatura (T_v), specifična vlažnost (q), komponente vjetra (u i v) i turbulentna kinetička energija (Q_2). Prizemna polja uključuju prizemnu potencijalnu temperaturu, vlažnost tla i akumulirane padavine;
- Koristi metod mreže tačaka, na polurazmaknutoj Arakavinoj E mreži (Arakawa and Lamb 1977) u transformisanim sfernim koordinatama;
- Ima ugrađenu specijalnu tehniku za sprečavanje razdvajanja rešenja (Mesinger 1973; Janjić 1974, 1979);
- Vertikalna koordinata je η (eta) koordinata, kao generalizacija δ (sigma) koordinate (Phillips 1957), sa stepenastom prezentacijom planina (Mesinger 1984). Model se može puštati i u jednom i drugom (η i δ) modu bez ikakvih izmjena u kodu;
- U horizontalnoj advekciji model ima ugrađenu kontrolu nelinearne kaskade energije (Janjić 1984);
- Vremensko diferenciranje je eksplicitno sa rascjepljivanjem (Mesinger 1977; Janjić 1979);
- Za planetarni granični sloj koristi se Melor-Jamada parametrizaciona šema nivoa 2.5 (Vager and Zilitinkevitch 1968; Zilitinkevitch 1970; Mellor and Yamada 1974, 1982; Janjić 1990, 1994); Za "prizemni" sloj se koristi Melor-Jamada parametrizaciona šema nivoa 2 sa plitkim dinamičkim turbulentnim slojem na dnu (Janjić 1990, 1994);
- Bočna difuzija je četvrtog reda sa dužuzionim koeficijentom koji zavisi od deformacije i turbulentne kinetičke energije;
- Prizemni procesi, kao što su isparavanje, sneg, topljenje, hidrologija i dr., su uključeni (Janjić 1990, 1994);
- Uključene su padavine velikih razmjera i modifikovana Bets-Miler-Janjić konvekcione šema za plitku i duboku konvekciju (Betts 1986; Betts and Miller 1986);
- Radijaciona šema je NMC, verzija GLAS (GLAS - Goddard Laboratory for Atmospheric Sciences) radijacione šeme (Davies 1982; Harshvardhan and Corsetti 1984; Harshvardhan et al. 1989; Randall et al. 1989).

Primjena Eta modela

Model je, operativno, uspješno prognozirao nailazak, razvoj i kretanje nekoliko tropskih ciklona (npr. Hugo, Allison, Chantal i dr.), a pokazao je dobre rezultate i kod samog modeliranja tropskih ciklona. Korišten je u neoperativnim istraživanjima za zavjetrene alpske ciklogeneze u Mediteranu, koje su naročito značajne za vrijeme u našim krajevima, a i za zavjetrene ciklogeneze u istočnoj Aziji u zavjetrini planina Altai-Sajen. Istraživanja su pokazala sličnost između istočno-azijskih i mediteraniskih ciklogeneza. Model je u puno navrata korišten za proučavanje olujne bure i košave. Koristi se zajedno sa modelom trodimenzionalnih trajektorija, kojim se djelić vazduha prati tokom kretanja preko orografije.

Alatka je u prognoziranju transporta zagađujućih materija kroz atmosferu, koje se zasniva na modelu trajektorija (*Slike i film*). Može se pratiti kretanje zagađujućih materija od mjesta na kome se zagađenja ispuštaju u atmosferu, pa na dalje (trajektorije unaprijed). Takođe se mogu računati trajektorije koje dolaze na određeno mesto, tako da se vidi odakle je djelić došao u to izabrano mesto (trajektorije unazad).

Račun nije ograničen ni u horizontalnom, ni u vertikalnom smislu.

Prezentacija vještackog jezera u modelu

Na osnovu projekcije polažaja budućeg jezera u modelu su izvršene odgovarajuće promjene. Prije svega izvršena je promjena tipa podloge za potrebe dijela modela koji rešava probleme interakcije atmosfere i podloge. Na mjestima na kojima će se nalaziti jezero, čvrsto tlo je zamijenjeno vodenom površinom određenih karakteristika. Pod ovim se podrazumijeva da se temperatura vode ne mijenja u toku dana, ali se uzima u obzir njena sezonska promjena. Ovo pravdamo činjenicom da je dnevna amplituda temperature vodene površine u stvarnosti znatno manja u odnosu na sezonsku i u odnosu na dnevnu temperaturnu amplitudu čvrstog tla. Sezonski raspored temperatura kreće se u tipičnim granicama za ovo područje. Od 2-3 stepena u februaru do 15 stepeni u avgustu. Formiranje ledenog pokrivača nije razmatrano s obzirom da se ovakva pojava ne očekuje u slučaju protočnog jezera.

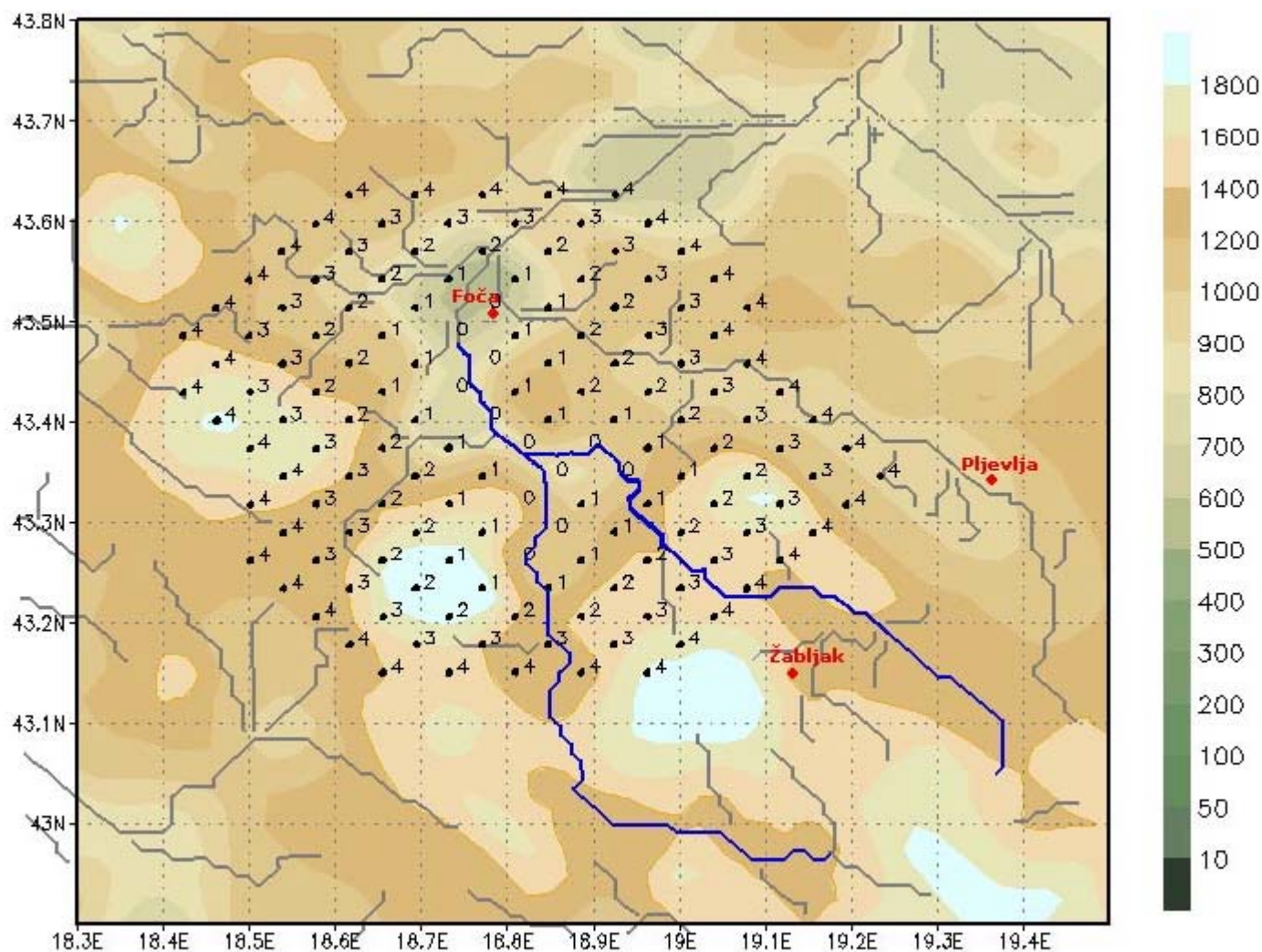
Geografski položaj jezera u modelu je urađen tako da predstavlja zadovoljavajuću aproksimaciju realnog položaja gledano iz ugla geometrije modela. Izmjena karakteristike podloge urađena je u tačkama koje leže duž tokova rijeka Pive na jugu, Tare na istoku i Drine na sjeveru, gledano u odnosu na usće Pive u Taru, koje predstavlja, na neki način, centar ovog jezera. Ove modelske tačke označene su simbolom 0. Najkraće rastojanje između susjednih "dijagonalnih" tačaka (u pravcima jugozapad-sjeveroistok i jugoistok-sjeverozapad) iznosi 4.2Km. Potrebno je takođe ispuniti zahtjev da ne dolazi do diskontinuiteta u površini jezera što će biti

ostvareno samo ukoliko svaka tačka jezera bude imala najmanje još jednu susjednu tačku jezera gledano u odnosu na pomenute dijagonalne pravce. Iz ovog razloga se čini da se u pojedinim tačkama odstupilo od zahtjeva da tačka jezera leži na samom koritu rijeke, npr. na toku Pive treća tačka gledajući s juga. Ovakav zahtjev o povezanosti tačaka čini nam se veoma važnim s obzirom da je u saglasnosti s konzistentnošću numeričkih šema i geometrije modela. Konačno, ova aproksimacija izgleda prihvatljiva u pogledu dužina jezera. Kao nedostatak možemo naglasiti činjenicu da je širina jezera prenatraglašena i ona u ovom slučaju iznosi približno 4 km.

Brojevima na slici predstavljene su tačke okoline jezera koje nisu modifikovne. Brojem 1 označene su najbliže tačke jezerskim tačkama, brojem 2 sledeće najbliže itd. Tako, i tačke označene odgovarajućim brojem možemo smatrati zonom u kojoj ćemo kasnije razmatrati uticaj jezera.

U našem slučaju to su četiri zone i nulta koja predstavlja jezero i neposredno okruženje.

Na slici je prikazana i modelska orografija dobijena iz DEM (Digital Elevation Model) seta podataka rezolucije 1Km, metodom siluetnog osrednjavanja visina. Ovim metodom se dobija najbolja moguća prezentacija orografije u modelu u odnosu na zadatu horizontalnu i vertikalnu rezoluciju modela.



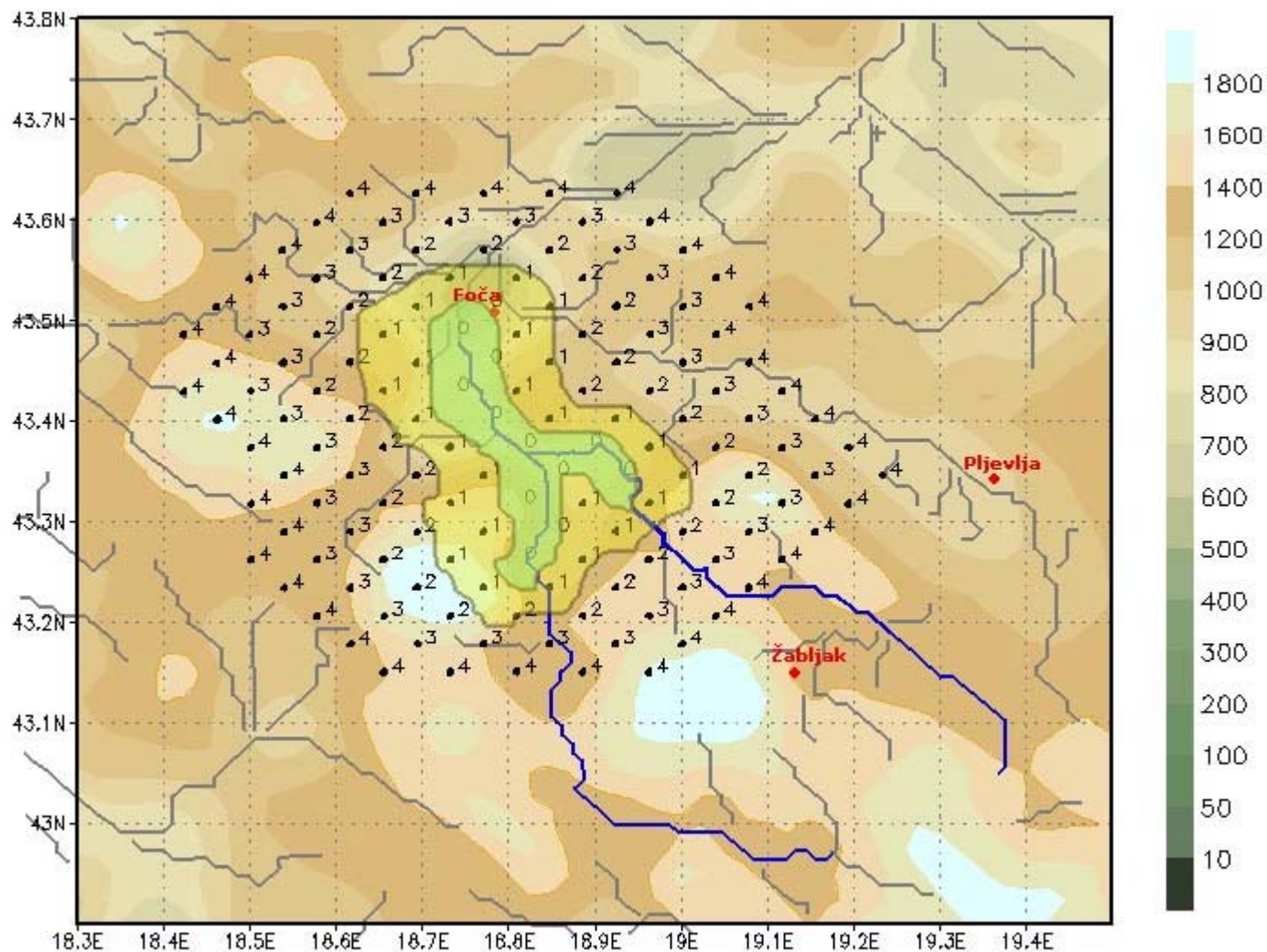
Prikaz modelskih tačaka na rezoluciji 4km u slivu rijeka Piva-Tara-Drina

Slika 1

0	–	jezero i najbliže okruženje
1	–	4 do 6 km
2	–	6 do 10 km
3	–	10 do 14 km
4	–	14 do 18 km

Grafički prikaz rezultata

Potencijalno jezero bi bilo površine 12 km², od čega na teritoriji BiH više od 9, a teritoriji Crne Gore manje od 3 km²

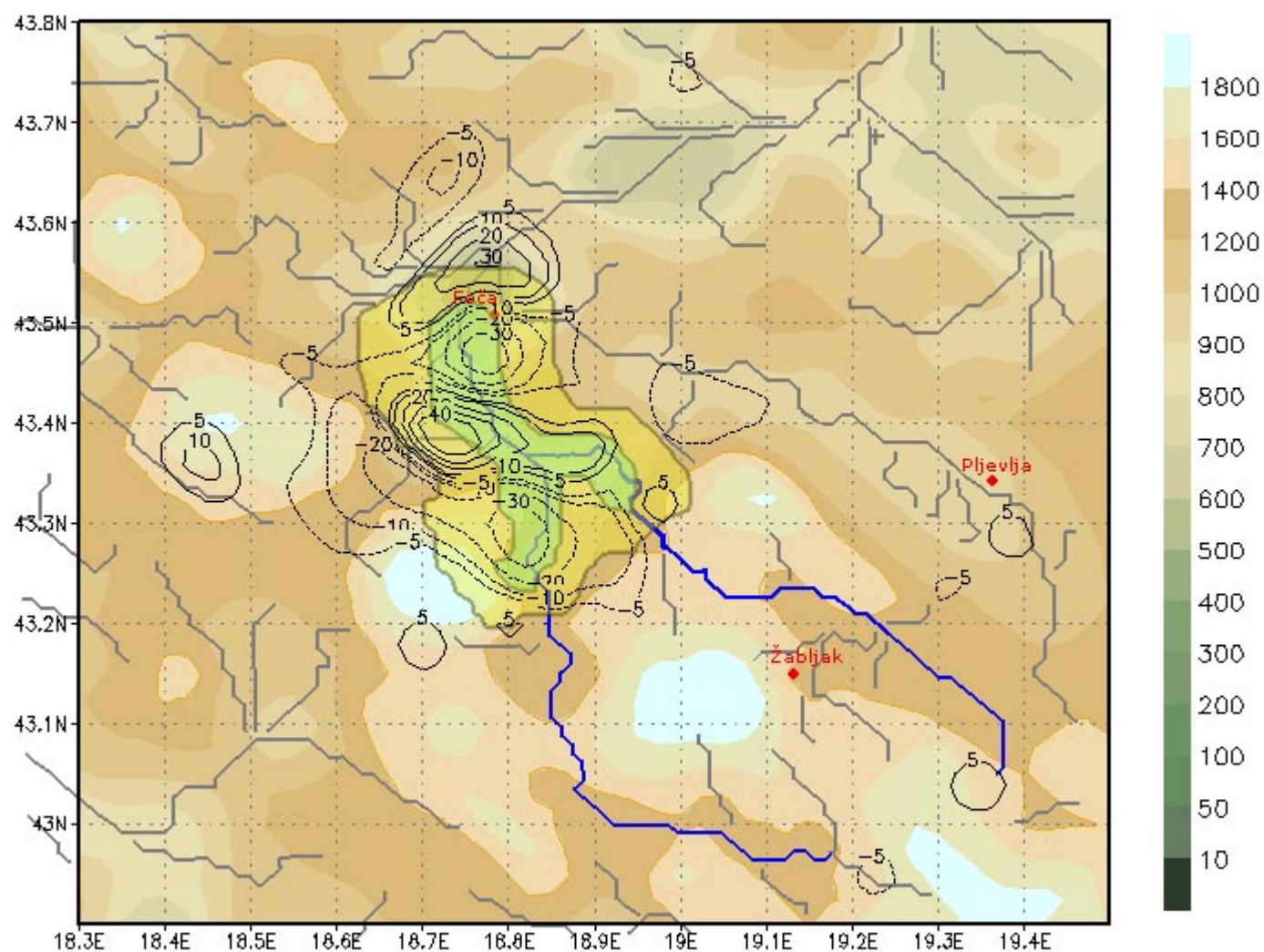


Slika 2

Na slici 2 su osjenčene zona 0 (jezero i neposredno okruženje) koja je predstavljena sa 12 tačaka i zona 1 (udaljenost od potencijalnog jezera 4 do 6 km) koja je predstavljena sa 26 tačaka u modelu.

Raspodjela razlika padavina na izabranoj teritoriji (sa jezerom i bez njega)

Razlika Ukupnih Padavina ($P_j - P$) u Kg/m^2

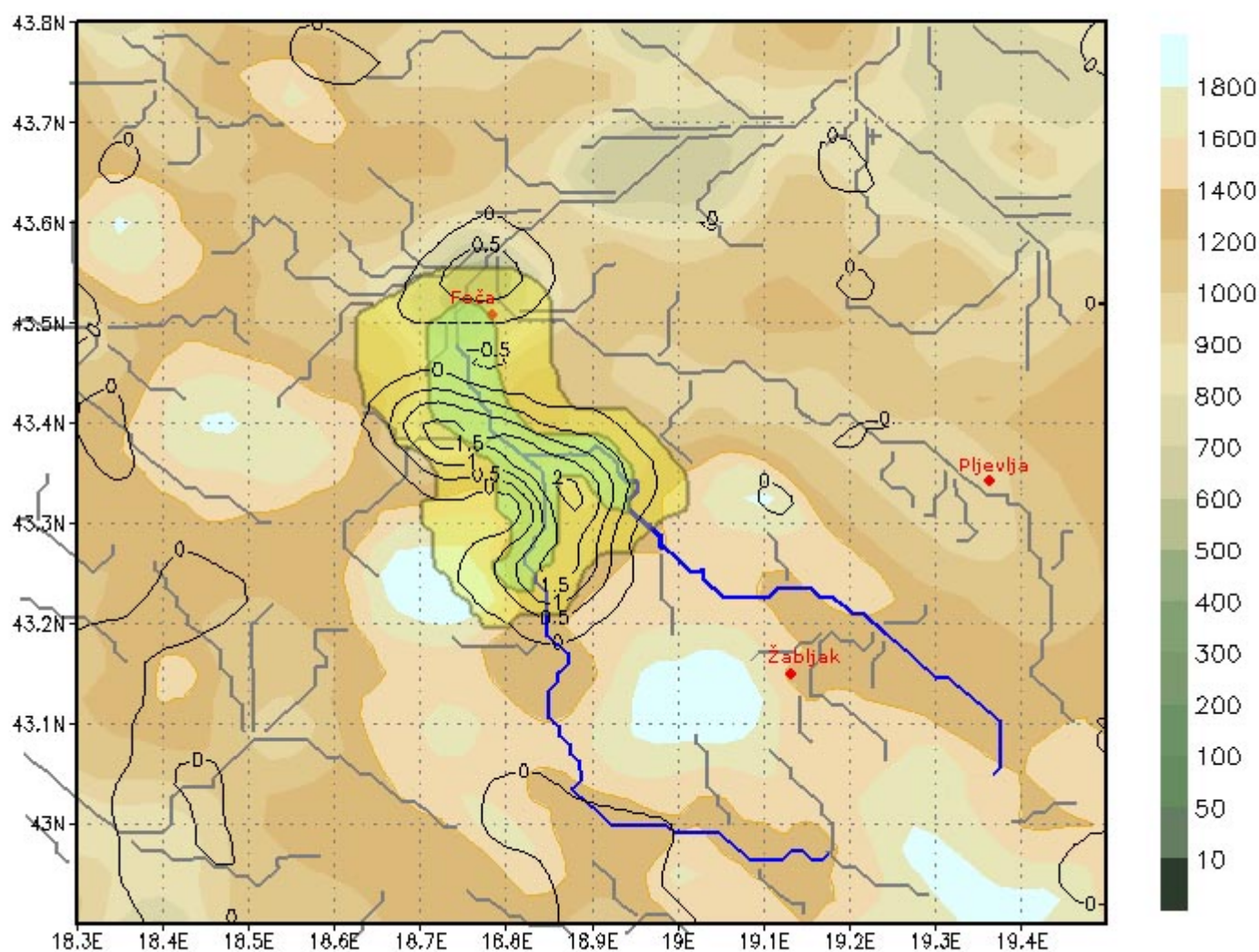


Slika 3

Punim linijama je prikazan ukupni višak padavina, a isprekidanim manjak u situaciji sa jezerom u odnosu na onu bez jezera. Ukupno je u razmatranje ušlo 51 dan od kojih 27 kišnih.

Raspodjela razlika maksimalnih dnevnih temperatura na izabranoj teritoriji (sa jezerom i bez njega)

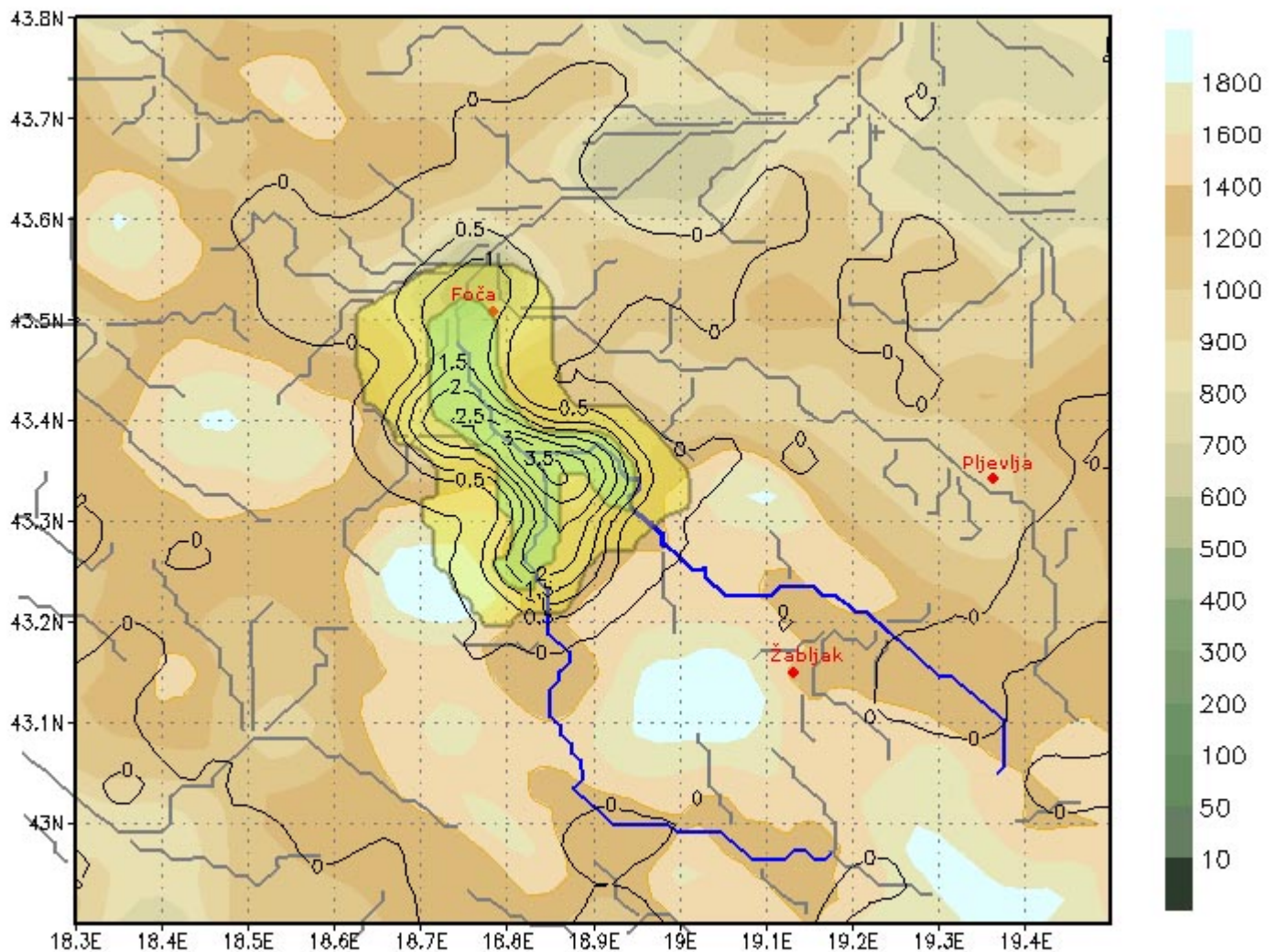
Razlika Sred. Maksimalnih Dnevnih Temperatura na 2m ($T_j - T$) u $^{\circ}\text{C}$



Slika 4

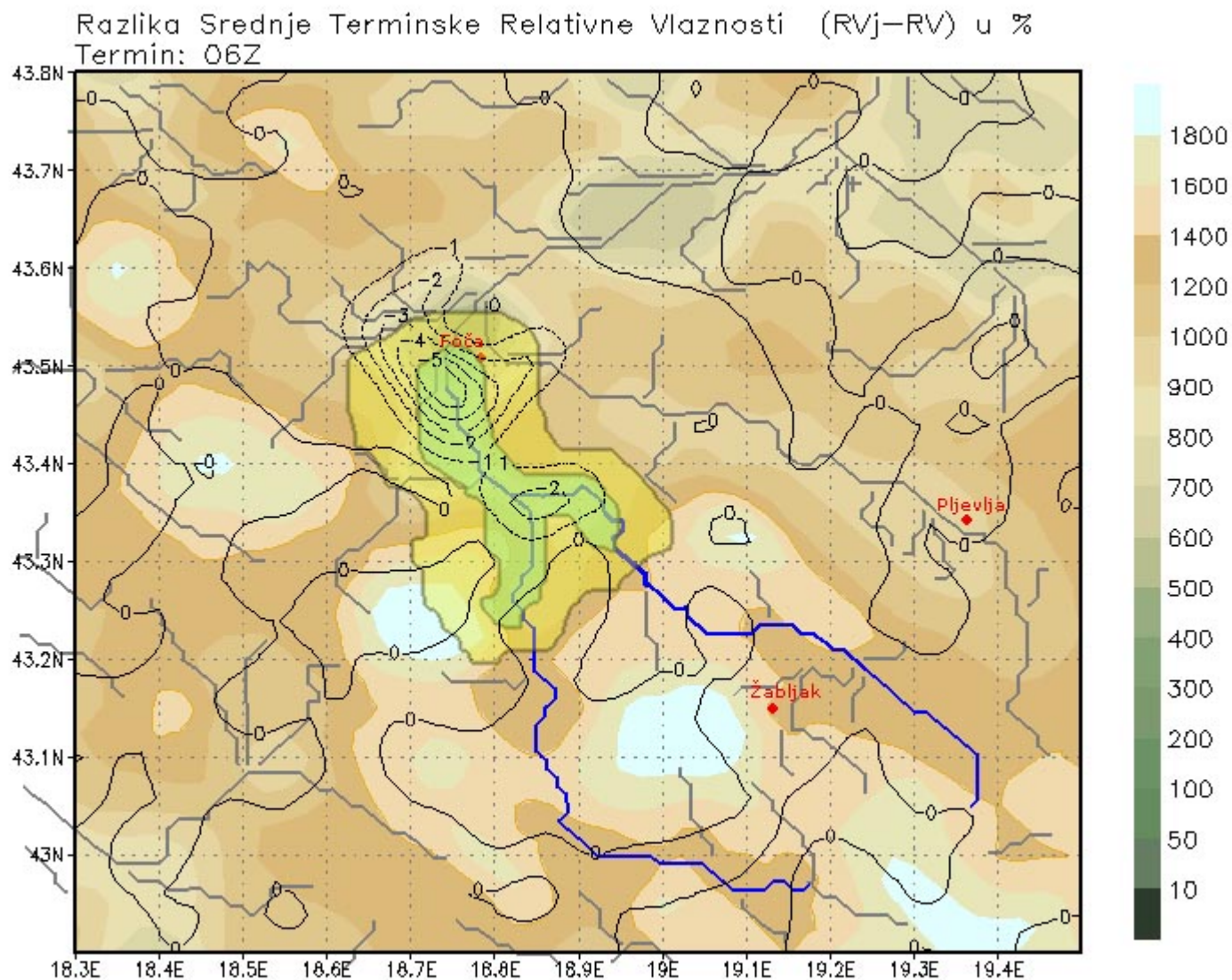
**Raspodjela razlika srednjih dnevnih temperatura na 2m na izabranoj teritoriji
(sa jezerom i bez njega)**

Razlika Srednjih Dnevnih Temperatura na 2m ($T_j - T$) u C



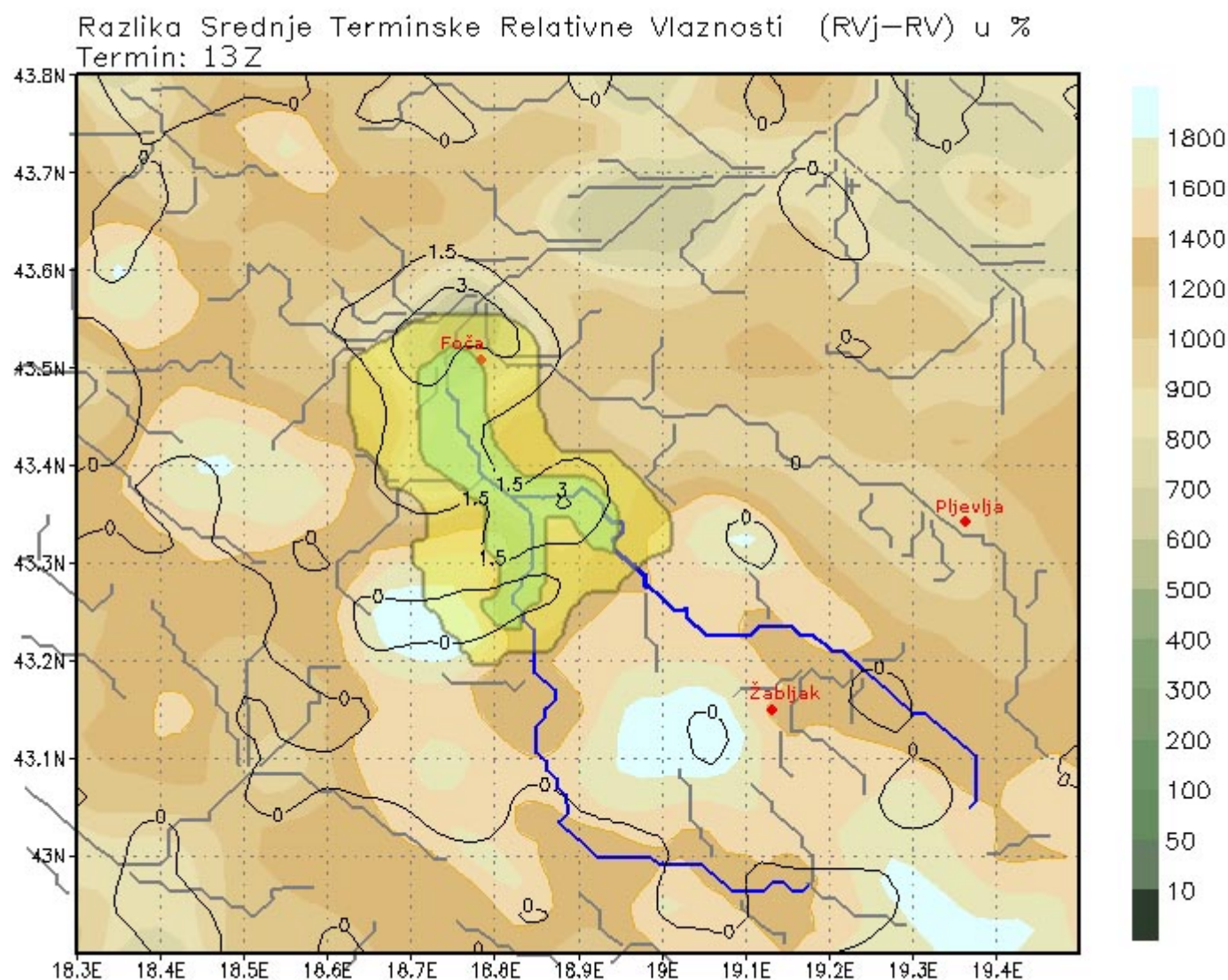
Slika 5

**Raspodjela razlika srednje terminske (u terminu 06H po UTC) relativne vlage na
izabranoj teritoriji
(sa jezerom i bez njega)**



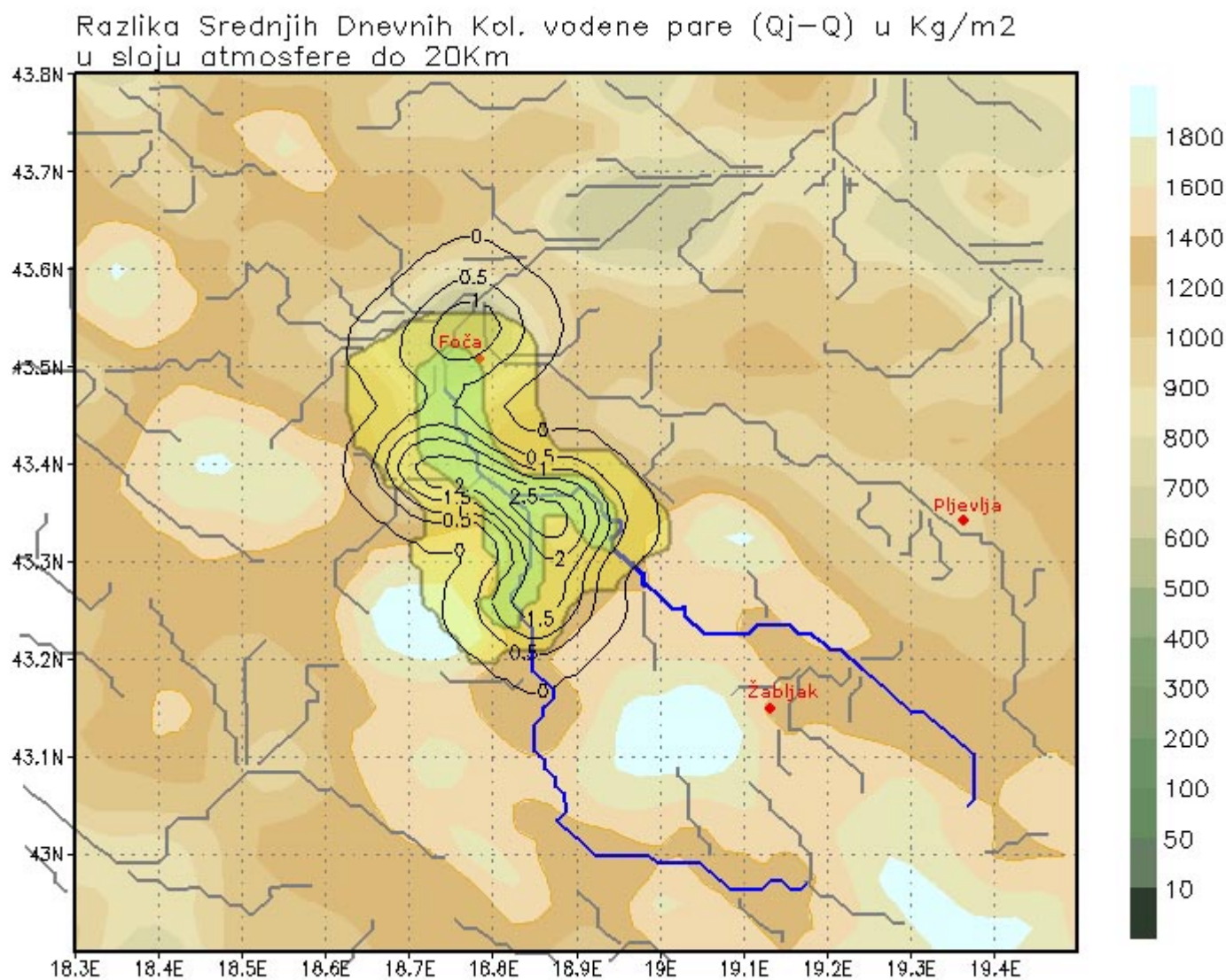
Slika 6

**Raspodjela razlika srednje terminske (u terminu 12H po UTC) relativne vlage na
izabranoj teritoriji
(sa jezerom i bez njega)**



Slika 7

**Raspodjela razlika srednjih dnevnih količina vodene pare u sloju atmosfere do 20km
visine iznad izabrane teritorije
(sa jezerom i bez njega)**



Slika 8

Tabelarni prikaz rezultata

Akumulirane Dnevne Količine Padavina [kg/m²]

Variabilnost razlika (Pj-P)

Maksimum	36.63	34.25	30.88	17.25	4.75
Znatno Preko (12%)	1.64	1.32	0.64	0.31	0.14
Iznad Normale(25%)	1.18	1.00	0.46	0.22	0.10
Ispod Normale(25%)	-1.60	-0.87	-0.63	-0.28	-0.14
Znatno Ispod (12%)	-2.07	-1.19	-0.81	-0.37	-0.17
Minimum	-37.50	-33.50	-30.75	-10.75	-8.50
Srednja Vrijednost	-0.21	0.07	-0.09	-0.03	-0.02
St. devijacija	4.13	2.78	1.61	0.75	0.35
Udaljenost od Jezera	0	1	2	3	4
Broj Racunskih Tacaka	12	26	31	36	42

Minimalna Dnevna Temperatura na 2m [°C]

Variabilnost razlika (Tj-T)

Maksimum	8.12	4.88	4.75	2.25	1.25
Znatno Preko (12%)	2.51	1.07	0.33	0.17	0.09
Iznad Normale(25%)	2.30	0.96	0.28	0.15	0.08
Ispod Normale(25%)	1.08	0.28	0.01	0.00	0.00
Znatno Ispod (12%)	0.88	0.16	-0.04	-0.03	-0.02
Minimum	-1.25	-2.00	-1.00	-1.50	-1.50
Srednja Vrijednost	1.69	0.62	0.14	0.07	0.04
St. devijacija	1.81	1.01	0.41	0.22	0.12
Udaljenost od Jezera	0	1	2	3	4
Broj Racunskih Tacaka	12	26	31	36	42

Maksimalna Dnevna Temperatura na 2m [°C]

Variabilnost razlika (Tj-T)

Maksimum	4.87	4.76	3.87	1.38	2.50
Znatno Preko (12%)	1.62	0.93	0.11	0.03	0.04
Iznad Normale(25%)	1.42	0.79	0.06	0.00	0.02
Ispod Normale(25%)	0.20	-0.01	-0.22	-0.15	-0.11
Znatno Ispod (12%)	-0.01	-0.14	-0.26	-0.17	-0.14
Minimum	-5.13	-4.13	-3.38	-3.00	-2.13
Srednja Vrijednost	0.81	0.39	-0.08	-0.07	-0.05
St. devijacija	1.81	1.19	0.42	0.22	0.20
Udaljenost od Jezera	0	1	2	3	4
Broj Racunskih Tacaka	12	26	31	36	42

Srednja Dnevna Temperatura na 2m [°C]

Variabilnost razlika (Tj-T)

Maksimum	6.23	4.10	2.53	0.84	0.41
Znatno Preko (12%)	3.23	1.04	0.15	0.04	0.02
Iznad Normale(25%)	3.07	0.93	0.13	0.03	0.01
Ispod Normale(25%)	2.08	0.23	-0.04	-0.03	-0.02
Znatno Ispod (12%)	1.91	0.11	-0.07	-0.04	-0.03
Minimum	-1.19	-0.97	-0.87	-0.81	-0.33
Srednja Vrijednost	2.57	0.58	0.04	0.00	-0.01
St. devijacija	1.47	1.04	0.24	0.09	0.05
Udaljenost od Jezera	0	1	2	3	4
Broj Racunskih Tacaka	12	26	31	36	42

Srednja Dnevna Specifična Vlažnost [kg/m²]

Variabilnost razlika (Qj-Q) u *sloju do 20km*

Maksimum	5.44	4.19	2.46	0.13	0.07
Znatno Preko (12%)	2.35	0.99	0.13	0.00	0.00
Iznad Normale(25%)	2.20	0.88	0.10	-0.01	-0.01
Ispod Normale(25%)	1.28	0.20	-0.07	-0.04	-0.03
Znatno Ispod (12%)	1.13	0.08	-0.10	-0.04	-0.04
Minimum	-0.18	-0.29	-0.27	-0.19	-0.18
Srednja Vrijednost	1.74	0.54	0.02	-0.02	-0.02
St. devijacija	1.35	1.01	0.26	0.04	0.04
Udaljenost od Jezera	0	1	2	3	4
Broj Racunskih Tacaka	12	26	31	36	42

Srednja Dnevna Specifična Vlažnost [kg/m²]

Variabilnost razlika (Qj-Q) u *sloju do 300m*

Maksimum	1.46	1.46	1.47	0.15	0.07
Znatno Preko (12%)	0.21	0.16	0.07	0.01	0.00
Iznad Normale(25%)	0.17	0.14	0.05	0.01	0.00
Ispod Normale(25%)	-0.03	-0.01	-0.02	0.00	0.00
Znatno Ispod (12%)	-0.06	-0.04	-0.03	0.00	0.00
Minimum	-0.46	-0.46	-0.06	-0.03	-0.06
Srednja Vrijednost	0.07	0.06	0.02	0.00	0.00
St. devijacija	0.29	0.22	0.10	0.01	0.01
Udaljenost od Jezera	0	1	2	3	4
Broj Racunskih Tacaka	12	26	31	36	42

Srednja Dnevna Relativna Vlažnost na 2m [%]

Variabilnost razlika (RVj-RV)

Maksimum	35.64	28.55	23.58	7.39	7.24
Znatno Preko (12%)	1.27	4.38	3.63	3.32	3.26
Iznad Normale(25%)	0.53	4.01	3.42	3.16	3.11
Ispod Normale(25%)	-3.96	1.78	2.18	2.22	2.21
Znatno Ispod (12%)	-4.71	1.41	1.97	2.06	2.06
Minimum	-17.57	-9.15	-4.08	-1.17	-0.52
Srednja Vrijednost	-1.72	2.90	2.80	2.69	2.66
St. devijacija	6.65	3.31	1.85	1.40	1.33
Udaljenost od Jezera	0	1	2	3	4
Broj Racunskih Tacaka	12	26	31	36	42

Zaključak

Najveće razlike u dobijenim rezultatima sa i bez akumulacije možemo uočiti u slučaju temperature, kako minimalne i maksimalne, tako i srednje dnevne. Posmatrajući tabelu sa srednjom dnevnom temperaturom vidimo da u 75% slučajeva imamo povećanje temperature u opsegu od 1,9 do 3,2 C. Maksimalno odstupanje koje se desilo tokom hladnog dijela godine iznosilo je 6,2 C. Udaljavajući se od jezera vidimo da vrijednosti odstupanja opadaju iz zone u zonu. Tako, u prvoj zoni porast temperature u 75% slučajeva se kreće u granicama 0.1 do 1, dok u udaljenim zonama ova razlika pada ispod vrijednosti tačnosti mjerenja od 0.1C. Što se prostorne raspodjele ovih promjena tiče treba napomenuti da su one nešto izraženije u južnom dijelu sistema koji čini potencijalna lokacija sa svojim bližim okruženjem.

Kad je riječ o sadržaju vodene pare u vazдушnom stubu do visine od 20 km razlika je primjetna samo u prve dvije zone. Možemo uočiti da su sve promjene pozitivne odnosno imamo povećanje sadržaja vodene pare u atmosferi, što se moglo i očekivati, s obzirom da bi zbog prisustva jezera došlo do povećanja isparavanja u ovoj oblasti. Maksimalna vrijednost iznosi oko 2,5 kg po kvadratnom metru, u stubu vazduha od tla do 20km visine. Razlika u sadržaju vodene pare u prvih 300 metara je takođe primjetna, ali su razlike čak i u nultoj i prvoj zoni veoma male.

Takođe vidimo da izmjene u pogledu uvođenja jezera nisu bitnije uticale na količinu padavina iznad i u okolini jezera. Srednja vrijednost razlike dnevnih količina padavina u situaciji sa i bez akumulacije je ispod 1 litra što je osjetno manje od greške koju model produkuje. Treba pomenuti da od situacije do situacije ima određenog pomjeranja zone najintenzivnijih padavina. Porast padavina se primjećuje u području na zapadnoj obali jezera, centralnom dijelu i dijelu sjevernije od Foče, dok je smanjenje evidentirano u južnom dijelu, oblast oko Pive, kao i u drinskom dijelu do Foče.

Relativna vlažnost je u slučaju postojanja akumulacije nešto niža u jutarnjim, a povećana u poslijepodnevnim satima u odnosu na situaciju bez akumulacije. No, relativna vlažnost je kompleksan parametar, jer osim od sadržaja vodene pare u vazduhu zavisi i od temperature vazduha, pa nije najpogodniji parametar za izvlačenje bilo kakvih zaključaka.

PREPORUKE:

Potrebno je koristiti model sa još boljom rezolucijom i većom oblasti integracije, kao i bez hidrostatičke aproksimacije, kako bi što bolje definisali i prepoznali lokalne uticaje.

Potrebno je izvršiti i određena precizna meteorološka mjerenja kako bi bila omogućena podešavanje (tuning) modela u postojećim uslovima, te u sledećem koraku i verifikacija modelskih rezultata u odnosu na osmatranja. Integracioni period od 51 dan je isuviše kratak za davanje konačnih zaključaka o klimatskim promjenama. Ovo istraživanje nagovještava promjene i upućuje na potrebu za produženjem integracionog perioda na najmanje 3 godine. Uz odgovarajuću pripremu i dobre računarske resurse takav projekat bi tražio 6 do 8 mjeseci za podešavanje modela, njegovo pokretanje, dobijanje i analizu rezultata.