

Objektna analiza padavin iz satelitskih meritev, reanaliz ERA-Interim ter modela WRF na območju Evrope in Severnega Atlantika

Veronika Hladnik^{*}, Gregor Skok^{*}

Povzetek

Objektna analiza padavin modela za napovedovanje vremena WRF, reanaliz ERA-Interim ter satelitskih meritev CMORPH je bila narejena na območju Evrope in Severnega Atlantika za obdobje med letoma 2000 in 2010. Identifikacija objektov je bila narejena z algoritmom FiT, pri čemer smo uporabili radij glajenja padavin $0,75^\circ$ in tri padavinske pragove: 0,5, 2 ter 4 mm. Preučili smo kakšna je življenjska doba padavinskih objektov na posameznem območju domene ter v katero smer se v glavnem premikajo objekti v določeni točki preučevane domene. Ugotovili smo, da se največ dolgoživih objektov pojavi jeseni. Objekti s krajšo življenjsko dobo so bolj pogosti nad kopnim, medtem ko so objekti z daljšo življenjsko dobo bolj pogosti nad Atlantikom. V večini prevladuje gibanje objektov proti vzhodu. Gibanje proti zahodu je pogosto le poleti in jeseni nad južnim delom Severnega Atlantika. Gibanja proti zahodu je nekaj več tudi nad Evropo. Ciklonalnih padavin je največ nad oceanom, odstotek se zmanjšuje proti celini ter proti jugu preučevane domene. Največji odstotek ciklonalnih padavin je pozimi, najmanjši pa poleti, ko na nekaterih predelih konvektivne padavine celo prevladujejo nad ciklonalnimi.

Ključne besede: satelitske meritve CMORPH, reanalize ERA-Interim, model za napovedovanje vremena WRF, objektna analiza, padavine

Keywords: CMORPH satellite measurements, ERA-Interim reanalysis, WRF model, object analysis, precipitation

Uvod

Padavine so ena izmed glavnih in hkrati najtežje napovedljivih komponent klimatskega sistema. Za izvedbo analiz klime na regionalni skali se pogosto uporabljajo regionalni klimatski modeli. Padavine, ki so rezultat regionalnih klimatskih modelov, so med drugim odvisne od sheme za mikrofiziko oblakov, sheme za konvekcijo, velikosti domene in lokacije mej domene (Seth, Giorgi, 1998; Miguez-Macho idr., 2004; Leduc, Laprise, 2009) ter horizontalne ločljivosti (Jacob idr., 2014; Jung idr., 2012), zato je variabilnost padavin velika. Oceno kvalitete napovedi padavin dobimo z verifikacijo, kjer padavine, ki so rezultat regionalnih klimatskih modelov, primerjamo z opazovanji.

Za analizo klime v Evropi na regionalni ali državni skali se pogosto uporablja model WRF (Weather Research and Forecasting; Skamarock idr., 2008). Za njegove začetne in robne pogoje se običajno uporabijo globalne reanalize ERA-Interim (Dee idr., 2011), ki temeljijo na satelitskih in konvencionalnih meritvah. V mnogih študijah so padavine iz modela WRF primerjali s podatki opazovanj padavin pri tleh. Talne meritve so sicer bolj kvalitetne od satelitskih meritev, vendar so na voljo večinoma le nad kopnim in le na dnevni skali (24-urne akumulacije). Satelitske meritve so na voljo povsod (tudi nad oceani) in v boljši časovni ločljivosti (tri ure).

^{*} Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Matematiko in Fiziko, Jadranska ul. 19, Ljubljana

Objektna analiza je metoda, s katero objekt definiramo kot zaključeno območje na zglajenem padavinskem polju, v katerem količina padavin v vsaki od točk objekta presega vrednost padavinskega praga. S pomočjo objektne analize ne samo določimo objekte, temveč jim lahko sledimo tudi v času. Poleg življenjske dobe lahko objektom določimo tudi smer gibanja po izbrani domeni v vsakem časovnem koraku.

V tem prispevku so predstavljeni rezultati objektne analize v smislu časovnih objektov, kot tudi skupku prostorskih objektov, ki pripadajo posameznemu ciklonu. Predstavljena je objektna analiza vseh izmerjenih oziroma napovedanih padavin ter analiza zgolj ciklonalnih padavin.

Uporabljen metoda

S pomočjo metode FiT (Forward-in-Time object identification; Skok idr., 2009, 2010, 2013) smo najprej identificirali prostorske ter nato še časovne padavinske objekte. Prostorski objekti so 2-dimenzionalni objekti, kjer dimenziji predstavljata velikost objekta v x in y smeri. Časovni objekti so 3-dimenzionalni prostorski objekti, kjer tretja dimenzija predstavlja časovno komponento oziroma življenjsko dobo objekta. Pri prostorski identifikaciji smo vsako padavinsko polje obravnavali ločeno (nismo upoštevali povezave s polji v predhodnem ali naslednjem časovnem koraku). Pri časovni identifikaciji objektov smo iskali povezavo med objekti v sosednjih časovnih korakih.

Pred uporabo FiT algoritma smo padavinska polja zgladili s pomočjo konvolucije z drsečim povprečjem s horizontalnim radijem glajenja R. Prostorski objekti imajo po glajenju s konvolucijo bolj gladke meje in so bolj podobni padavinskemu objektom, ki bi jih subjektivno določil človek. Pred uporabo algoritma smo določili tudi več padavinskih pragov za identifikacijo objektov. Vrednost praga določa mejo med padavinskim objektom in okolico. Padavinska polja smo zgladili z radijem konvolucije $0,75^\circ$ ter uporabili tri padavinske pragove 0,5, 2 ter 4 mm (Hladnik, 2014).

V naslednjem koraku smo identificirali časovne objekte. Dva prostorska objekta v sosednjih časovnih korakih predstavljata isti časovni objekt, v kolikor njun presek ni prazen. Objekt se v naslednjem časovnem koraku lahko razdeli na več delov (na več prostorskih objektov), vsi njegovi deli so v tem primeru del istega časovnega objekta. To pa ne velja, če se dva ali več padavinskih objektov v naslednjem časovnem koraku združi v en sam prostorski objekt. V tem primeru prostorski objekt v naslednjem časovnem koraku pripada le tistemu časovnemu objektu, katerega območje prekrivanja s prostorskim objektom v naslednjem časovnem koraku je največje.

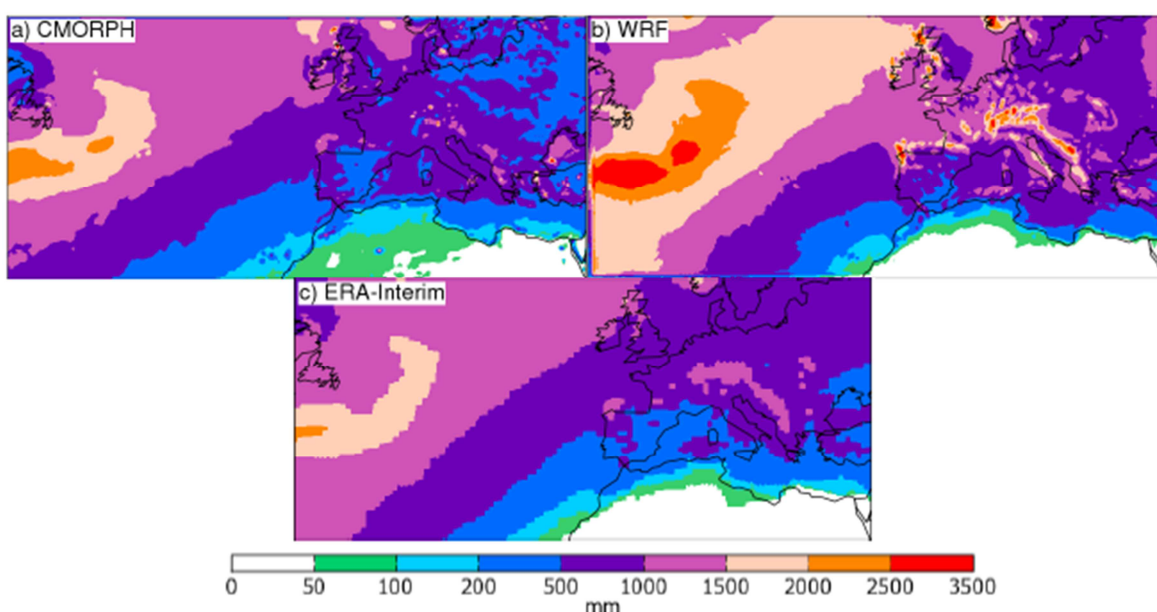
Na malo drugačen način smo se lotili analize ciklonalnih padavin. Območja ciklonov smo določili s pomočjo polj zračnega tlaka reduciranega na morsk nivo (mean sea level pressure - MSLP). Polja z ločljivostjo $0,25^\circ$ smo imeli na voljo vsakih 6 ur. Določili smo centre ciklonov, ki so predstavljali lokalne minimume v polju 3×3 točk domene. Vrednosti lokalnih minimumov so morale biti manjše od 1010 hPa. Dodatni pogoj, ki smo ga upoštevali, je bil še povprečni gradient v vseh smereh (S, J, V, Z) večji od $7,5 \text{ Pa}/1000 \text{ km}$ (Hanley in Caballero, 2012). Končno velikost ciklona smo določili tako, da smo iz središča ciklona v vsakem koraku iteracije povečali obseg ciklona v vseh štirih smereh, dokler nismo naleteli na sedlo ter je bila vrednost MSLP manjša od 1017,5 hPa.

Podatke WRF in CMORPH (Joyce, 2004) smo zgladili z radijem glajenja 3 mrežne točke, za vse tri nize podatkov pa smo uporabili padavinski prag 0,8 mm (6-urni padavinski podatki). Padavine smo pripisali ciklonu, če presek med padavinskim objektom in ciklonom ni bil prazen. Tudi padavine, ki se niso nahajale v ciklonu, ampak so bile del le-teh, smo pripisali ciklonu. Tako nismo zgrešili tudi večine frontalnih padavin, ki so del

ciklonov, a se največkrat raztezajo več 100 km izven njihovega območja. Pri časovnem sledenju ciklonov smo upoštevali, da iz enega ciklona v naslednjem časovnem koraku ne moreta nastati dva ciklona, prav tako se dva ciklona v naslednjem časovnem koraku ne moreta združiti v en ciklon.

Rezultati

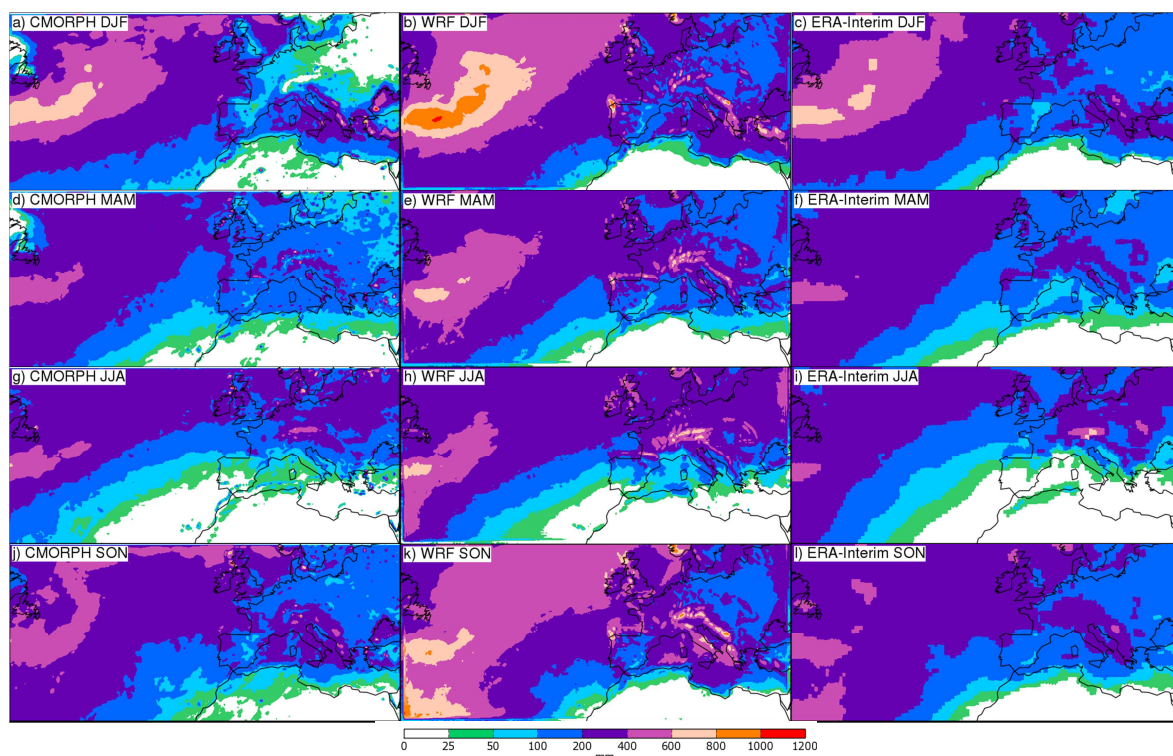
Najprej smo, da bi videli, kakšna je prostorska porazdelitev padavin na izbrani domeni, analizirali povprečne letne in sezonske akumulacije padavin (slika 1, slika 2). Prostorska razporeditev povprečnih letnih akumulacij padavin je podobna za vse tri nize podatkov, razlike so le v količini padavin, saj WRF daje tudi okoli 30 % več padavin kot ERA-Interim ter CMORPH.



Slika 1: Povprečne letne akumulacije padavin na celotni analizirani domeni za obdobje med letom 2000 ter letom 2010 za a) CMORPH, b) WRF in c) ERA-Interim.

Maksimum povprečnih letnih padavin se nahaja nad severnim Atlantikom. Veliko padavin pade tudi na območju Alp, Dinarskega gorstva, na jugu Skandinavskega polotoka, na severu Iberskega polotoka, na zahodu Britanskega otočja in v Karpatih ter drugih gorskih verigah v jugovzhodni Evropi. Na območjih z maksimalnimi vrednostmi povprečnih letnih padavin so največje vrednosti pri WRF, manjše pa pri CMORPH ter ERA-Interim. CMORPH prikaže v vzhodnem delu Evrope precej manjše količine letnih padavin glede na druga dva niza podatkov. Vrednosti so v WRF in v ERA-Interim precenjene na vzhodu Evrope ter podcenjene na zahodu severne Afrike.

Podobno velja tudi za sezonske akumulacije padavin, kar je razvidno iz slike 2. Maksimalne vrednosti povprečnih sezonskih padavin se pojavljajo na istih območjih kot pri povprečnih letnih padavinah.

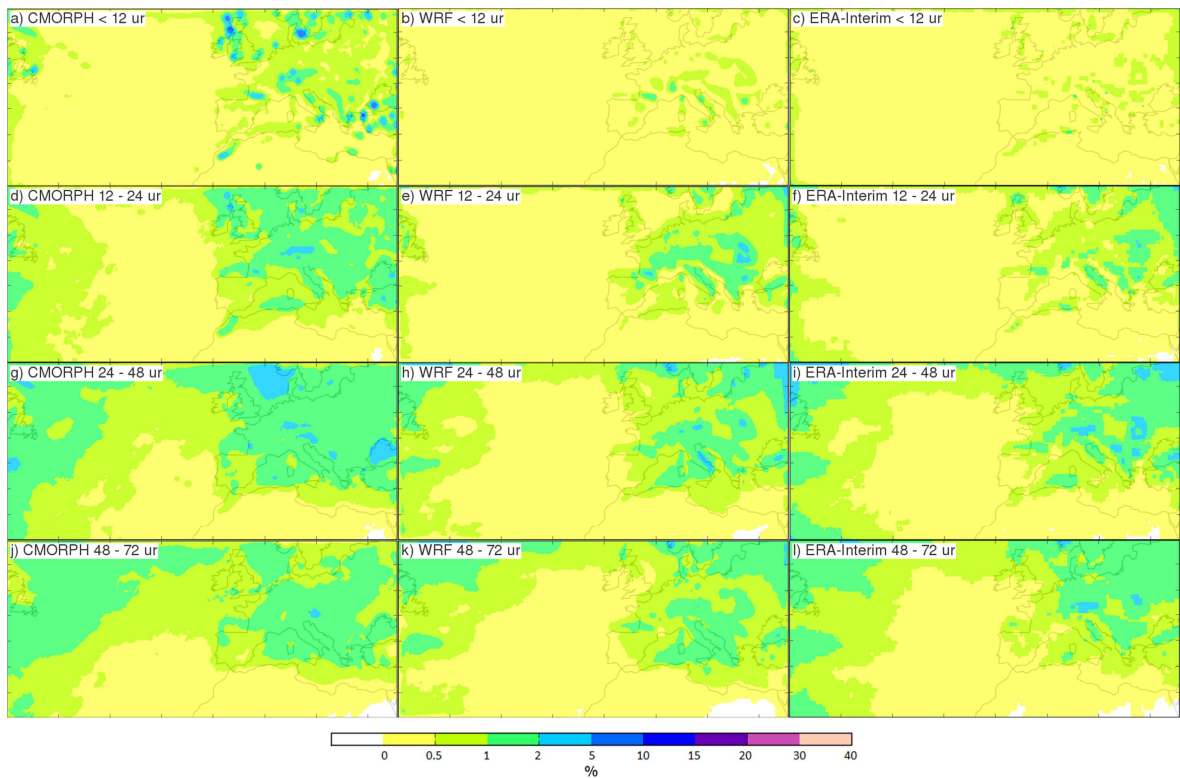


Slika 2: Povprečne sezonske (tri-mesečne) akumulacije padavin za obdobje med letom 2000 ter letom 2010.

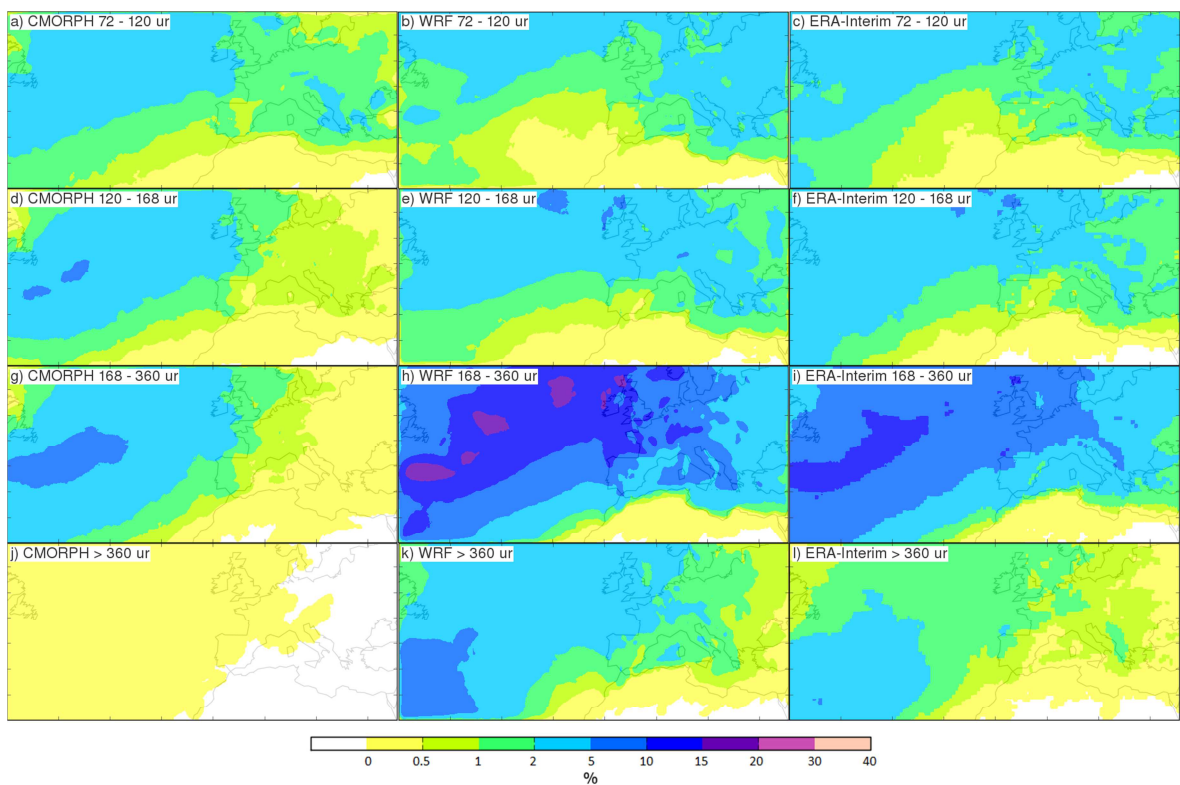
Vsi trije nizi podatkov kažejo, da poleti (JJA) zelo malo padavin pade nad Atlantskim oceanom zahodno od severne Afrike - pod 25 mm v letnem času. Manj kot 25 mm pade poleti tudi v vzhodnem delu Sredozemskega morja ter na jugu Iberskega polotoka. Nad Severnim Atlantikom pade največ padavin pozimi (DJF). Ob istem času jih najmanj pade na vzhodu Evrope, pri CMORPH v povprečju celo manj kot 25 mm. Nasploh nad celino pade v povprečju največ padavin poleti, najmanj pa pozimi. Na območju Alp, Dinarskega gorstva in Apeninov je maksimum jeseni.

Algoritem nam je vrnil lokacije časovnih objektov in njihove življenjske dobe. Slike prekritosti z objekti različnih vrednosti življenjskih dob (slika 3, slika 4) nam prikažejo, kje na domeni se nahaja največ objektov z daljšo oziroma krajšo življenjsko dobo. Rezultati na sliki 3 ter sliki 4 predstavljajo prekritosti z objekti z življenjsko dobo krajšo od 12 ur, z življenjsko dobo med 12 urami in 1 dnevom, med 1 in 2 dnevoma, med 2 in 3 dnevi, med 3 in 5 dnevi, med 5 in 7 dnevi, med 7 in 15 dnevi ter prekritost z objekti z življenjsko dobo daljšo od 15 dni. Časovnih objektov z daljšo življenjsko dobo je manj, kljub temu je prekritost z objekti največja za objekte z življenjsko dobo med 7 in 15 dnevi, saj so časovni objekti z daljšo življenjsko dobo sestavljeni iz več prostorskih objektov, ki skupaj običajno pokrivajo večja območja. Pokritost z objekti je za objekte z življenjsko dobo krajšo od 12 ur največja za CMORPH. Enako velja za pokritost z objekti, katerih življenjska doba je med 12 urami in 3 dnevi. CMORPH ima več kratkoživih objektov kot WRF in ERA-Interim. Za objekte z življenjsko dobo med 3 in 7 dnevi je pokritost z objekti večja pri WRF ter ERA-Interim. Za preostale objekte (z življenjsko dobo daljšo od 7 dni) je pokritost z objekti največja pri WRF, sledi ERA-Interim, najmanjša je pri CMORPH. Pokritost z objekti, katerih življenjska doba je krajša od 12 ur, je največja še posebej ob orografskih pregradah nad Evropo. Prekritost z objekti, katerih življenjska doba je daljša od 7 dni, je največja nad oceanom. Kljub temu, da je objektov z daljšo življenjsko dobo nad oceanom manj kot nad kopnim, se nad oceanom običajno nahajajo večji objekti kot

nad celino, kar prispeva tudi k večji pokritosti z objekti z daljšo življenjsko dobo nad oceanom.



Slika 3: Prekritost analizirane domene z objekti glede na življenjsko dobo (manj kot 3 dni).

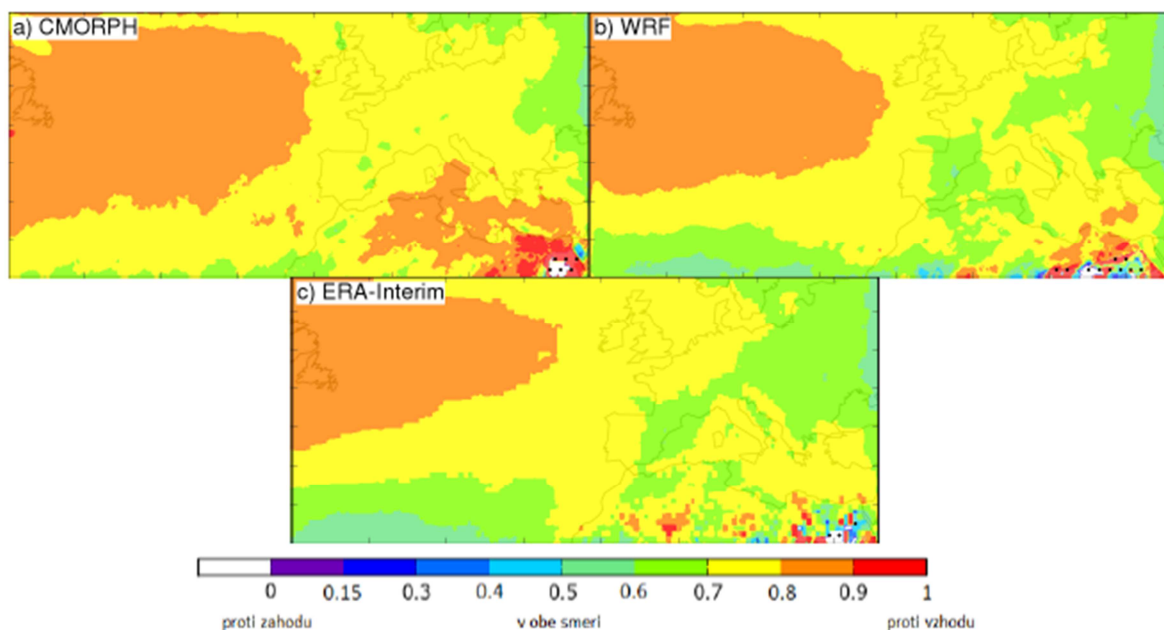


Slika 4: Prekritost analizirane domene z objekti glede na življenjsko dobo (več kot 3 dni).

Zaradi splošnih zahodnih vetrov se na obravnavanem območju zračne mase, ki prinašajo padavine, gibajo v glavnem proti vzhodu. Definirali smo indeks gibanja objektov proti vzhodu oziroma zahodu za vsako točko domene z enačbo:

$$EWI = \frac{N_E}{N_E + N_W},$$

kjer je EWI indeks gibanja objektov, N_E število časovnih korakov v celotnem analiziranem obdobju, ko se je na določeni točki domene nahajal objekt, ki se je takrat premikal proti vzhodu, N_W pa število časovnih korakov, ko se je na določeni točki domene nahajal objekt, ki se je takrat premikal proti zahodu. Vrednost indeksa gibanja objektov enaka 1 predstavlja gibanje objektov proti vzhodu, vrednost 0 pa gibanje objektov proti zahodu. Vrednost indeksa gibanja 0.5 pove, da se je enako število objektov gibalo proti vzhodu in zahodu.

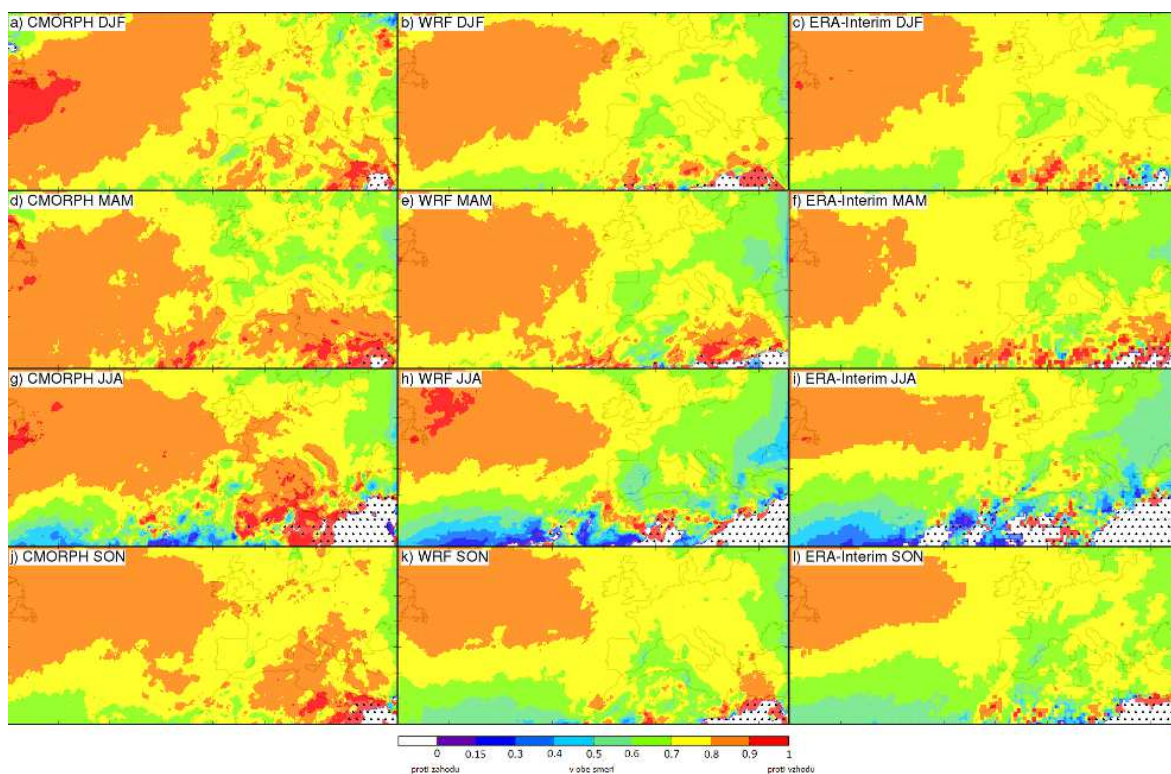


Slika 5: Indeks gibanja objektov proti vzhodu oziroma zahodu za celotno analizirano obdobje. Vrednost 1 pomeni, da so se vsi objekti v tej točki domene gibali proti vzhodu, vrednost 0 pa, da so se vsi gibali proti zahodu. Vrednost 0.5 pomeni, da se je enako število objektov gibalo proti vzhodu kot proti zahodu. S pikami so označena območja, na katerih je bilo v točkah domene identificiranih manj kot 10 objektov.

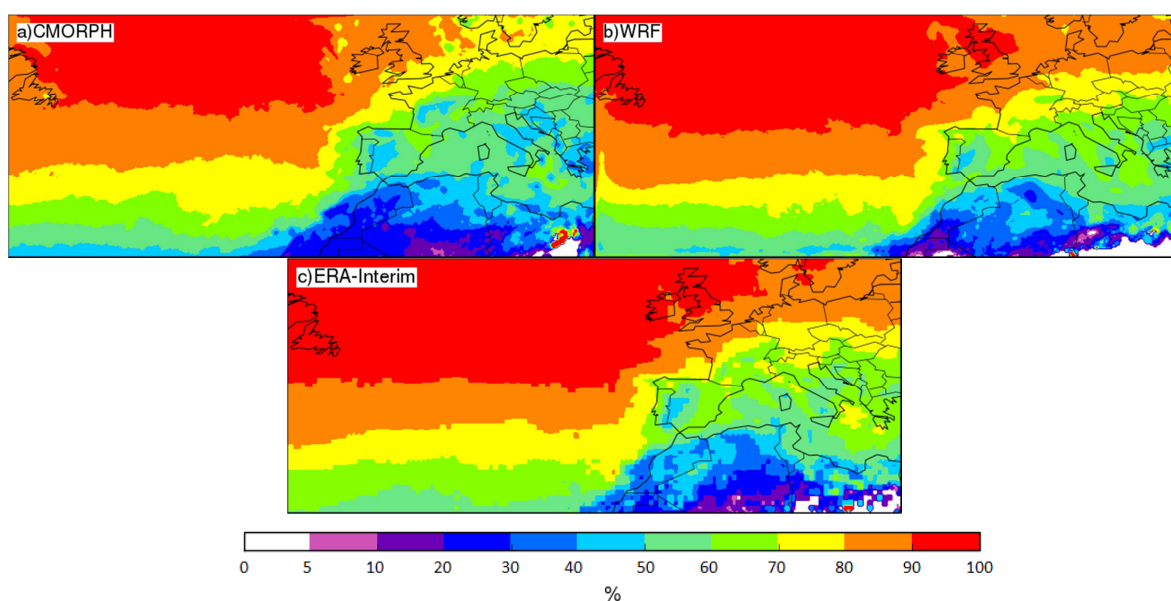
Iz slik gibanja objektov proti vzhodu oziroma zahodu na sliki 5 je razvidno, da se nad Severnim Atlantikom proti vzhodu giblje od 80 do 90 % objektov, za satelitske meritve CMORPH se jih toliko giblje vzhodno tudi v večjem delu Sredozemskega morja ter na severu Afrike. Nad Evropo med 60 in 80 % objektov potuje proti vzhodu za vse tri nize podatkov. Na jugozahodu domene se med 40 in 50 % objektov giblje proti zahodu v ERA-Interim in WRF ter nekoliko manj v podatkovnem nizu CMORPH.

Preverili smo, kako se indeks gibanja objektov proti vzhodu oziroma zahodu spreminja v posameznem letnem času, slika 6. Največ gibanja proti zahodu je poleti na jugu domene. Gibanje proti zahodu je bolj pogosto v WRF in ERA-Interim kot v CMORPH. Gibanje objektov proti vzhodu je v vseh letnih časih največje nad Atlantikom, pri satelitskih meritvah CMORPH še posebej spomladi in poleti tudi nad Sredozemskim morjem in nad

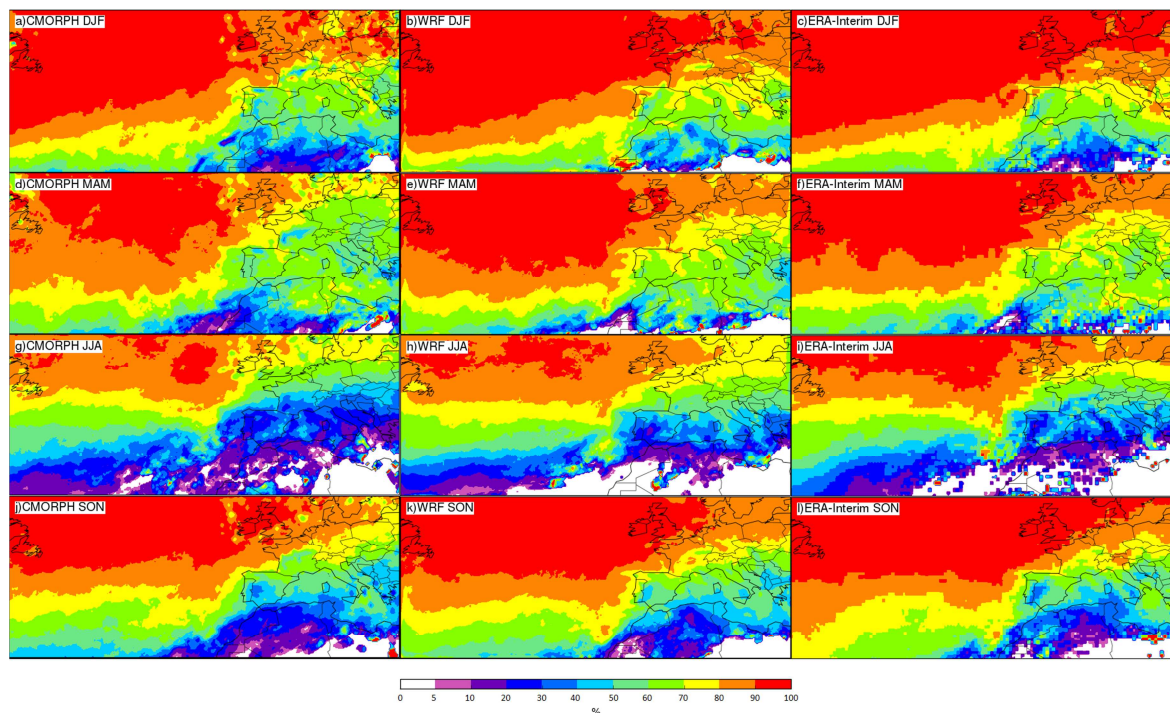
Afriko, kjer je število objektov pogosto manjše od 10, kar je premalo za verodostojno analizo. Tudi na vzhodu domene je več gibanja proti zahodu v ERA-Interim ter WRF, manj pa v CMORPH.



Slika 6: Indeks gibanja objektov proti vzhodu oziroma zahodu po letnih časih v celotnem analiziranem obdobju. Vrednost 1 pomeni, da so se vsi objekti v tej točki domene gibal proti vzhodu, vrednost 0 pa, da so se vsi gibal proti zahodu. Vrednost 0.5 pomeni, da se je enako število objektov gibal proti vzhodu kot proti zahodu. S pikami so označena območja, na katerih je bilo v točkah domene identificiranih manj kot 10 objektov.



Slika 7: Odstotek ciklonalnih padavin za celotno analizirano obdobje.



Slika 8: Odstotek ciklonalnih padavin po letnih časih v celotnem analiziranem obdobju.

Podobno smo za vsako točko mreže določili še odstotek ciklonalnih padavin v njej, slika 7. Tega smo določili tako, da smo število polj, v katerih so se pojavile padavine, ki so pripadale ciklonom, delili s skupnim številom polj, kjer so se pojavile padavine. V celotnem analiziranem obdobju je največ ciklonalnih padavin, več kot 90 %, padlo nad severnim delom Severnega Atlantika. Odstotek je manjši nad celino, kjer so poleg ciklonalnih pogoste tudi orografske in konvektivne padavine ter se zmanjšuje proti jugu domene. Najmanjši odstotek ciklonalnih padavin je nad Afriko, kjer je količina padavin že tako majhna. V glavnem so vrednosti odstotkov ciklonalnih padavin za podatke CMORPH na istih lokacijah nekaj odstotkov manjše od le-teh za podatke WRF ter ERA-Interim.

Preverili smo še, kakšne so spremembe v odstotkih ciklonalnih padavin v posameznem letnem času, slika 8. Ciklonalnih padavin je nad Atlantikom in pa tudi nad večjim delom Evrope največ pozimi, marsikje več kot 80 %. Pričakovano je ta odstotek najmanjši v poletnih mesecih, saj je takrat velik odstotek padavin konvektivnega nastanka (predvsem nad celino). V južni polovici Evrope so tako vrednosti odstotka ciklonalnih padavin poleti med 10 in 50 %, pozimi pa med 40 in 90 %. Poleti je nizek odstotek ciklonalnih padavin tudi na jugu Severnega Atlantika (jug domene nad morjem), od 0 do 50 %.

Zaključki

Največje povprečne letne količine padavin se za vse tri nize podatkov nahajajo nad Severnim Atlantikom. Visoke povprečne letne količine padavin so izmerjene tudi ob orografskih pregradah nad Evropo (Alpe, Dinarsko gorstvo, jug Skandinavskega polotoka, sever Iberskega polotoka, zahod Britanskega otočja, Karpati ter druge gorske verige v jugovzhodni Evropi). Najmanj padavin letno pade v Afriki ter poleti tudi v vzhodnem delu Sredozemskega morja, na jugu Iberskega polotoka in nad Atlantskim oceanom zahodno od severne Afrike. Nad celino pade najmanj padavin pozimi, največ pa poleti. Na območju

Alp, Dinarskega gorstva in Apeninov največ padavin pade v jeseni. Največ padavin nad Atlantskim oceanom pade pozimi.

Objekti s krajšo življenjsko dobo so bolj pogosti nad Evropo, največ se jih pojavi spomladi in poleti, objekti z daljšo življenjsko dobo so bolj pogosti nad Atlantikom. Pokritost z objekti z življenjsko dobo krajšo od 12 ur je največja ob orografskih pregradah, pokritost z objekti z življenjsko dobo daljšo od 7 dni je največja nad Severnim Atlantikom. Nad oceanom je prisotnih več dolgotrajnih padavinskih sistemov, ki so najverjetneje povezani z večjimi območji nestabilnosti kot so fronte in cikloni, medtem ko imamo nad kopnim prisotnih tudi več kratkotrajnih orografsko induciranih padavin ter padavin konvektivnega nastanka.

Večinoma prevladuje gibanje objektov proti vzhodu. Gibanje proti zahodu je pogosto le poleti in jeseni nad južnim delom Severnega Atlantika. Gibanje proti vzhodu prevladuje nad Atlantikom ter nad Sredozemskim morjem, nekaj več gibanja proti zahodu je nad Evropo.

Največ ciklonalnih padavin pade nad severnim delom Severnega Atlantika, več kot 90 %. Odstotek je manjši nad celino in se zmanjšuje proti jugu analizirane domene. Najmanjši odstotek ciklonalnih padavin je nad Afriko, kjer je nasploh količina padavin majhna. Odstotki ciklonalnih padavin za podatke CMORPH so v istih točkah analizirane domene nekaj odstotkov manjši od odstotkov za podatke WRF ter ERA-Interim.

Ciklonalnih padavin je nad Atlantikom ter tudi nad večjim delom Evrope največ pozimi, marsikje jih je več kot 80 %. Najmanj ciklonalnih padavin je v poletnih mesecih, saj so poleti pogoste konvektivne padavine. V južni polovici Evrope so tako vrednosti odstotka ciklonalnih padavin poleti med 10 in 50 %, pozimi pa med 40 in 90 %.

Literatura

- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, B., Hersbach, H., Holm, E. V., Isaksen, I., Kallberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thepaut, J.-N., Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 656, 553-597.
- Hanley, J., Caballero, R. (2012). Objective identification and tracking of multicentre cyclones in the ERA-Interim reanalysis dataset. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 138, 664, 612-625.
- Hladnik, V. (2014): Objektna analiza padavin iz satelitskih meritev, reanaliz ERA-Interim ter modela WRF na območju Evrope in Severnega Atlantika (Object analysis of precipitation from satellite measurements, reanalysis ERA-Interim and WRF model in the area of Europe and the North Atlantic). Unpublished Master Thesis, Univerza v Ljubljani, FMF, 52 p. (in Slovenian).
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Deque, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, 2, 563-578.

- Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A., Xie, P. (2004). CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5, 3, 487-503.
- Jung, T., Miller, M. J., Palmer, T. N., Towers, P., Wedi, N., Achuthavarier, D., Adams, J. M., Altshuler, E. L., Cash, B. A., Kinter III, J. L., Marx, L., Stan, C., Hodges, K. I. (2012). High-resolution global climate simulations with the ECMWF model in Project Athena: Experimental design, model climate and seasonal forecast skill. *Journal of Climate*, 25, 9, 3155-3172.
- Leduc, M., Laprise, R. (2009). Regional climate model sensitivity to domain size. *Climate Dynamics*, 32, 6, 833-854.
- Miguez-Macho, G., Stenchikov, G. L., Robock, A. (2004). Spectral nudging to eliminate the effects of domain position and geometry in regional climate model simulations. *Journal of Geophysical Research*, 109, D13104.
- Seth, A., Giorgi, F. (1998). The effects of domain choice on summer precipitation simulation and sensitivity in a regional climate model. *Journal of Climate*, 11, 10, 2698-2712.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. National Center for Atmospheric Research NCAR/TN-475+STR, 113.
- Skok, G., Tribbia, J., Rakovec, J., Brown, B. (2009) Object-Based Analysis of Satellite-Derived Precipitation Systems over the Low- and Midlatitude Pacific Ocean. *Monthly Weather Review*, 137, 10, 3196-3218.
- Skok G., Tribbia, J., Rakovec, J. (2010). Object-Based Analysis and Verification of WRF Model Precipitation in the Low- and Midlatitude Pacific Ocean, *Monthly Weather Review*, 138, 12, 4561-4575.
- Skok G., Bacmeister, J., Tribbia, J. (2013). Analysis of Tropical Cyclone Precipitation Using an Object-Based Algorithm. *Journal of Climate*, 26, 8, 2563-2579.