

ANALIZA SREDNJEG GODIŠNJEG BROJA GRMLJAVINSKIH DANA U RAZDOBLJU 1971-2000. NA PODRUČJU HRVATSKE

Melita Perčec Tadić, dipl. ing.
Državni hidrometeorološki zavod
HR-10 000 Zagreb, Grič 3
melita.percec.tadic@cirrus.dhz.hr

Sažetak: U radu je dan sažeti prikaz istraživanja prostornih karakteristika pojave grmljavine i/ili grmljenja za razdoblje 1971-2000 na području Republike Hrvatske. Pojava je proučavana na osnovu opažanja motritelja na meteorološkim postajama Državnog hidrometeorološkog zavoda. Podaci opažanja prihvatljive kvalitete bili su raspoloživi za 65 postaja. Geostatistička metoda blok-kriginga korištena je za izradu karte grmljavine kao i za ocjenu uspješnosti procjene vrijednosti na lokacijama na kojima nema opažanja. Raspon predviđenih vrijednosti srednjeg broja grmljavinskih dana kreće se od 20-45.2 dana sa srednjakom 32.1 dan. Predviđene vrijednosti su unutar manjeg raspona od opaženih, tj. kod interpolacije se gubi varijabilnost na skali manjoj od veličine bloka korištenog kod kringinga. Pogreške predviđanja su u rasponu od 2.1–6.1 dana sa srednjakom 3.8 dana.

Ključne riječi: grmljavina, grmljenje, karta, kringing, Hrvatska

1. UVOD

Grmljavina je svjetlosna i zvučna pojava, a grmljenje njen zvučni dio, koja nastaje kao rezultat električnog izbijanja unutar kumulonimbusa ili kumulonimbusa i Zemlje. Kumulonimbusi su vrsta oblaka jakog vertikalnog razvoja tipičnog za situacije s vrlo nestabilnom atmosferom. Takve situacije najčešće su povezane s dizanjem zraka na hladnoj fronti, zatim sa situacijama u kojima je zračna masa prisiljena na dizanje uz planine te s uvjetima u kojima postoji jako grijanje zraka od podloge (Critchfield 1960). Razvoj olujnih oblaka je brz i vijek trajanja im je kratak, ali često se razvijaju u skupinama tzv. konvektivnim sustavima (Barry and Carleton 2001), pa s njima povezano grmljavinsko nevrijeme može i dulje trajati i zahvatiti veće područje (Penzar i dr. 2001). Opasan dio grmljavinskog nevremena je grom pri kojem do električnog pražnjenja dolazi između oblaka i objekata ili osoba na tlu. Osim njega, opasne pojave povezane s olujnim oblacima su olujni vjetar, tuča, a u obalnom području i pijavica (Penzar i dr. 2001). Iako nanosi velike štete, tuča je na području Hrvatske rijetka pojava (Zaninović i dr. 2008)

2. PODACI

Srednji godišnji broj dana s grmljavinom i/ili grmljenjem za razdoblje 1971–2000. (dalje u tekstu „grmljavinski dani“) analiziran je na osnovu podataka opažanja pojave grmljavine i/ili grmljenja na postajama koje su u promatranom razdoblju bilježile ovaj klimatološki parametar.

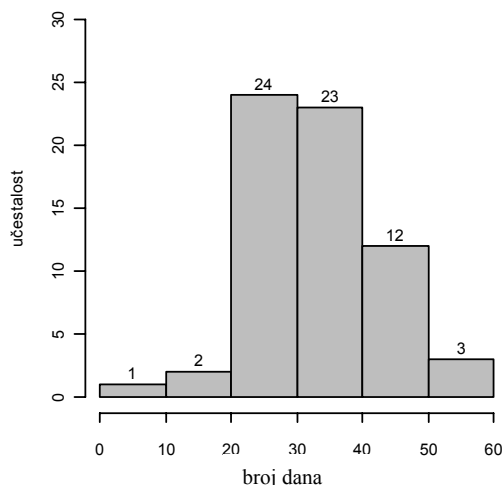
Obzirom na relativno mali broj postaja koje bilježe ovu pojavu težilo se koristiti maksimalan skup raspoloživih podataka pa i podatke s onih postaja koje u promatranom razdoblju nemaju potpuni niz opažanja od 30 godina. Uobičajena praksa nadopunjavanja manjeg broja nedostajućih podataka pomoću podataka najbliže postaje kod ovog parametra nije primjenjiva zbog njegovog izuzetno lokalnog karaktera. Međutim kako bi se iskoristilo što više opažanja postavljen je blaži kriterij za proračun 30-godišnjeg srednjaka. U proračun godišnjeg srednjaka su uključene sve postaje koje na razini mjesečnih vrijednosti imaju mjerenja u 25 i više godina.

Konačno raspoloživi skup opažanja sastoji se od 79 postaja nejednoliko raspoređenih na teritoriju Hrvatske (Slika 4.1). Nakon detaljnije analize uočena je nezadovoljavajuća kvaliteta podataka na 14 postaja (Vinkovci, Opeke, Sunja, Čazma, Koprivnica, Čakovec, Zagreb-Rim, Botinec, Pizarovina, Lokve Brana, Bosiljevo, Čepić, Abrami

i Ston) te su one isključene iz analize. Karta srednjeg godišnjeg broja dana s grmljavinom i/ili grmljenjem (dalje u tekstu “karta grmljavine”) temelji se tako na podacima sa 65 meteoroloških postaja.

U Slavoniji, Posavini, Lici i unutrašnjosti Dalmacije su za vrijeme domovinskog rata mnoge meteorološke postaje imale prekide u radu pa je to rezultiralo bitno manjom gustoćom postaja na tim područjima.

Osnovna statistička analiza pokazala je da je srednji godišnji broj grmljavinskih dana najmanji na postaji Palagruža (7.9 dana) što je u skladu s općenito manjim brojem grmljavinskih dana nad otvorenim morem nego nad kopnom (Penzar i dr. 2001, Christian et al. 2003). Najveći broj grmljavinskih dana opažen je na postaji u Gorskom kotaru - Parg (52.9 dana) i na postaji Dubrovnik-Čilipi-aerodrom (52.7 dana). Očekivano je broj grmljavinskih dana velik na planinskoj postaji Parg, koja se nalazi na nadmorskoj visini od 863 m, kao posljedica jačeg razvoja grmljavinskih oblaka, kumulonimbusa, u blizini planina. Dubrovnik, na svega 164 m nadmorske visine, često je pod utjecajem grmljavinskih oblaka zbog položaja u podnožju navjetrinske strane crnogorskih planina. Veći broj grmljavinskih dana opažen je i na šibenskom i splitskom području gdje je glavni pokretački mehanizam stvaranja grmljavinskih oblaka grijanje zraka od podloge, a planinsko zaleđa uzrokuje njihovu intenzifikaciju.



Slika 2.2 Razdioba čestina srednjeg godišnjeg broja dana s grmljavinom i/ili grmljenjem za razdoblje 1971–2000.

Na osnovu opažanja srednja vrijednost srednjeg godišnjeg broja grmljavinskih dana iznosi 32.7 dana, a standardna devijacija je 9.5 dana. 50% svih vrijednosti nalazi se u intervalu 24.8–39.4 dana s medijanom na 31.8 dana. Razdioba vrijednosti je

blago pozitivno asimetrična s koeficijentom asimetrije 0.175 (Slika 2.2) i s nešto više postaja na kojima je broj grmljavinskih dana manji od srednjaka.

Prvi uvid u prostornu raspodjelu grmljavinskih dana za područje Hrvatske može se dobiti ako se pogledaju vrijednosti opažanja – točke označene na Slici 4.1. U kontinentalnom dijelu Hrvatske (otprilike istočno od Karlovca) većinom je opaženo manje od 33 grmljavinska dana godišnje. Više od 33 dana opaženo je na zagrebačkom području s Medvednicom (do 40 dana). Dva su područja u unutrašnjosti s grmljavinskim brojem dana manjim od 27.5, jedno sa centrom u Našicama, a drugo u Križevcima.

Na obali se manje od 27.5 grmljavinskih dana opaža na području zapadne obale Istre, sjevernim jadranskim otocima (Malom Lošinj i Pagu), vanjskim otocima srednjeg Jadrana (Palagruži i Visu), zatim na Braču te na području makarskog primorja i njegovog zaleđa.

Idući od obala Istre prema Učkoj i Gorskom kotaru, broj grmljavinskih dana raste od oko 35–40 na istočnoj obali i unutrašnjosti Istre, do maksimuma od 53 dana na postaji Parg. Oko 35–40 dana opaženo je i na sjevernojadranskim otocima Krku i Cresu, a čak 47 dana na Rabu. U Lici je varijabilnost velika i opaženo je od 29 (Ličko Lešće) do 47 (Gospić) grmljavinskih dana. Više od 40 grmljavinskih dana opaženo je na području Ravnih kotara te šireg šibenskog i splitskog područja. Dalje prema jugu se na kopnu broj grmljavinskih dana smanjuje i najmanji je u Vrgorcu (23 dana). Na otocima srednjeg Jadrana: (Hvaru, Korčuli i Lastovu) zabilježeno je u prosjeku 34–39 grmljavinskih dana. Na jugu se nalazi i apsolutni minimum od samo 8 grmljavinskih dana na Palagruži, ali i drugi apsolutni maksimum u Konavlima od 53 dana na dubrovačkom aerodromu Čilipi. Ovo posljednje vrlo dobro ilustrira veliku prostornu varijabilnost promatranog klimatološkog parametra.

3. METODA KARTIRANJA

Za izradu karte grmljavinskih dana korištena je geostatistička metoda običnog kriginga (Ordinary kriging). Iako postoje sofisticiranije metode kartiranja klimatoloških polja, poput regresijskog kriginga, koji uvažava korelaciju klimatoloških polja s najizrazitijim klimatskim prediktorima: nadmorskom visinom, geografskom širinom, udaljenošću od mora, tipom vegetacije i sl. (Perčec Tadić, 2010), u ovoj analizi je odabran obični kriging jer nije utvrđena signifikantna korelacija srednjeg broja grmljavinskih dana niti s jednim ispitanim potencijalnim prediktorom. Stoga su za predviđanje vrijednosti srednjeg broja

grmljavinskih dana na lokacijama na kojima nema opažanja, tj. za izradu karte, korištena samo opažanja na postajama, a ne i pomoćne karte prediktora.

Običnim krigingom moguće je predviđati vrijednosti u točkama (Point kriging) ali i srednjake za šire područje što je varijanta kriginga pod nazivom blok (eng. block) kriging (Burrough and McDonnell, 2004). Kod izrade karte grmljavinskih dana prihvatljivije je koristiti blok kriging jer se i opažanja ove pojave rade za šire područje od same meteorološke postaje. Procjenjuje se da opažanje obuhvaća područje približnog radijusa 10 km što je polazna vrijednost za određivanje veličine bloka pri interpolaciji. Također je u slučaju korištenja Point kriginga s varijablom ovako izrazitog lokalnog karaktera i velike prostorne varijabilnosti, pouzdanost predviđanja vrlo niska. Stoga se pribjegava procjeni srednjih vrijednosti za šire područje metodom blok kriginga čime se postiže i veća pouzdanost predviđanja.

Veličina bloka bitno utječe na procjenu vrijednosti te na pouzdanost karte srednjeg godišnjeg broja dana s grmljavinom i/ili grmljenjem. Manji blok znači veći raspon predviđenih vrijednosti ali i veću nepouzdanost na područjima gdje nema opažanja, dok srednjak za veće blokove daje manji raspon vrijednosti na promatranom području ali pouzdaniju procjenu.

To se vidi na području Zagreba i Medvednice (Slika 4.1) gdje je predviđanje srednjaka manje od pojedinih opaženih vrijednosti, zatim kod vrijednosti predviđenih za riječko zaleđe i Gorski kotar koje na pojedinim lokacijama također mogu biti i više od 46 dana, a također i na Dubrovačkom području se na višim područjima može očekivati više grmljavinskih dana od predviđenih 46.

Također se primjećuje da se izmjereni lokalni minimumi na karti nalaze u području više klase što je u skladu sa svojstvima metode interpolacije.

Kako bi se na što većem području procjena vrijednosti dobila interpolacijom, a ne ekstrapolacijom, bitno je u svim blokovima imati bar jednu postaju što je određeno gustoćom i rasporedom postaja. Najjednostavnije je gustoću opažanja opisati udaljenošću postaje do najbliže susjedne postaje. Za promatrani parametar je srednja udaljenost do najbliže postaje 21.21 km. Najmanja udaljenost do najbliže postaje iznosi 4.837 km (Zagreb-Grič-Zagreb-Maksimiri), a najveća 67.37 km (Palagruža-Lastovo). 50% postaja ima najbližeg susjeda na udaljenosti između 12.43–26.35 km. Stoga se pretpostavlja optimalna veličina bloka kreće između 10-50 km. Ispitane su sve opcije te je konačno prema analizi karata normaliziranih pogrešaka predviđanja kao

zadovoljavajuća odabrana veličina bloka takva da srednja vrijednost normalizirane pogreške za čitavo područje ne prelazi kritičnu vrijednost od 0.4 što odgovara preciznosti predviđanja većoj od 84%.

To je bilo zadovoljeno u slučaju blok kriginga s veličinom bloka od 40 km. Negativna posljedica predviđanja za veće područje (blok) u usporedbi s predviđanjem vrijednosti u točkama je gubitak predviđanja varijabilnosti na skali manjoj od odabranih 40x40 km.

Tablica 3.2 Statistički podaci karte srednjeg godišnjeg broja dana s grmljavinom i/ili grmljenjem (grmljavina), karte pogrešaka predviđanja (pogreška) te karte pouzdanosti predviđanja (pouzdanost) na čitavoj domeni analize.

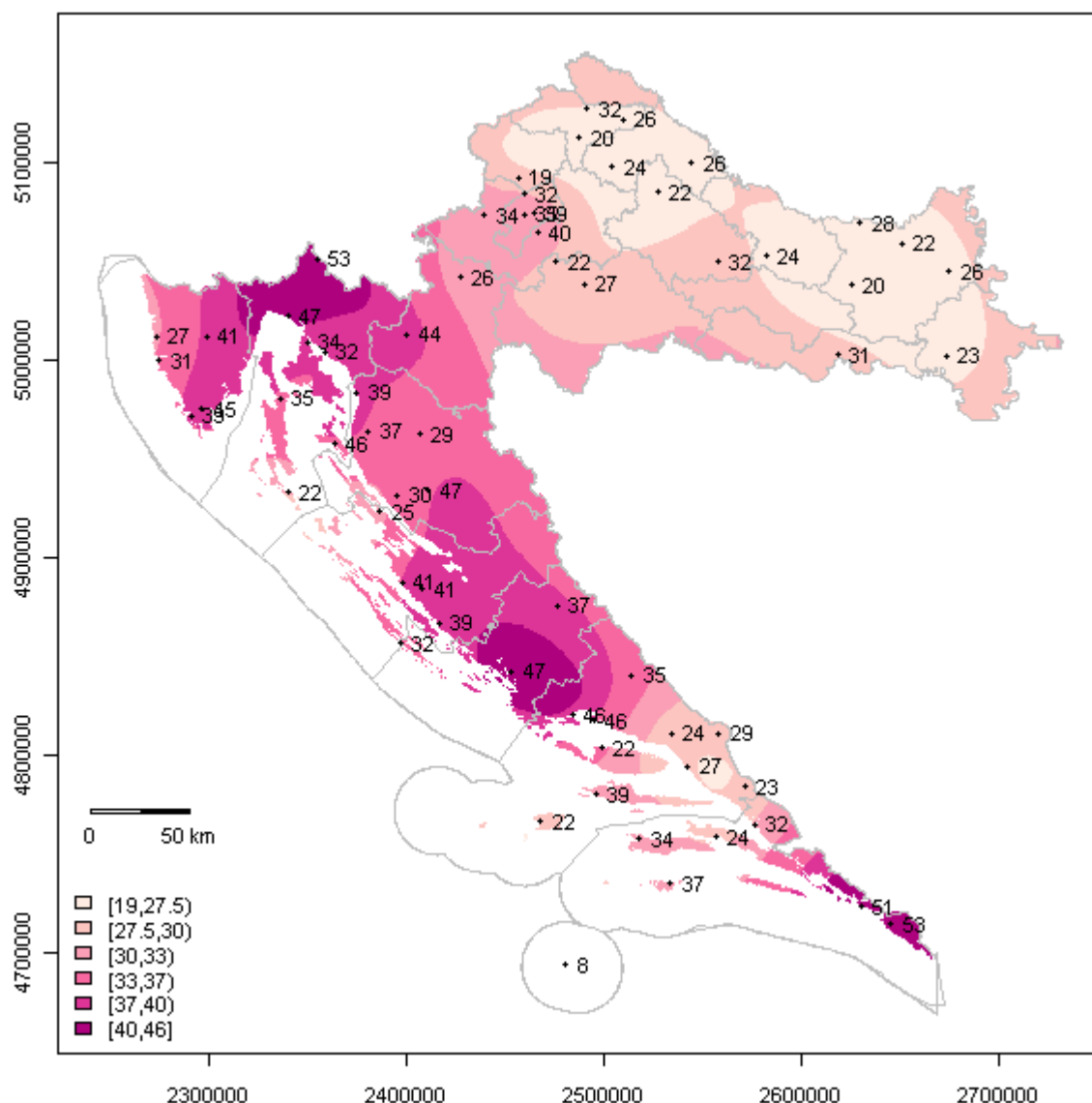
	grmljavina [dani]	pogreška [dani]	pouzdanost
Min	20.0	2.1	0.22
Q1	27.7	3.2	0.33
Medijan	30.6	3.7	0.38
Srednjak	32.1	3.8	0.40
Q3	36.7	4.3	0.45
Maks	45.2	6.1	0.64

Statistička analiza karte grmljavinskih dana, karte pripadnih pogrešaka i karte normaliziranih pogrešaka dana je u tablici 3.2 (minimum, 1. kvartil, medijan, srednjak, 3. kvartil, maksimum). Raspon predviđenih vrijednosti srednjeg broja grmljavinskih dana kreće se od 20-45.2 dana sa srednjakom 32.1 dana. Kao što je upozoreno, predviđene vrijednosti su unutar manjeg raspona od opaženih, tj. kod interpolacije se gubi varijabilnost na skali manjoj od veličine bloka. Pogreške su u rasponu od 2.1–6.1 dana sa srednjakom 3.8 dana. Pouzdanost je zadovoljavajuća jer je u granicama od 0.45 na 75% područja Hrvatske.

4. KARTA SREDJEG GODIŠNJEG BROJA DANA S GRMLJAVINOM I/ILI GRMLJENJEM

Karta srednjeg godišnjeg broja dana s grmljavinom i/ili grmljenjem za razdoblje 1971-2000. prikazana je na slici 4.1.

Za optimalnu vizualizaciju odabrano je 6 klasa, dok su granice klasa određene Fisherovom metodom egzaktno optimizacije (zaokruženo na 0.5 dana) kod koje se granice klasa određuju tako da varijabilnost elemenata unutar pojedine klase bude najmanja, dok je međuklasna varijabilnost maksimalna. U tablici 4.1 nalaze se statistički podaci broja pixela (što je ekvivalentno km²) kopnene površine koji pripadaju pojedinoj klasi grmljavinskih dana.



Slika 4.1 Srednji godišnji broj dana s grmljavinom i/ili grmljenjem [dani] za razdoblje 1971-2000.

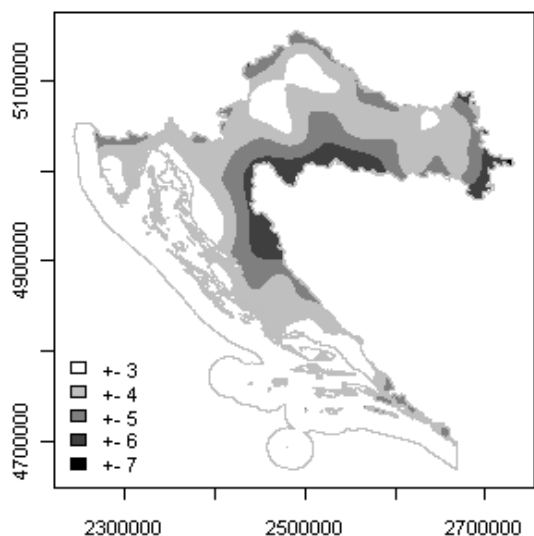
Tablica 4.1 Površina područja [km²] koje pripada pojedinoj klasi srednjeg godišnjeg broja dana s grmljavinom i/ili grmljenjem [dani].

Klasa [dani]	Površina [km ²]
[19,27.5)	12972
[27.5,30)	13541
[30,33)	6809
[33,37)	10210
[37,40)	9483
[40,46]	3581

Najmanji srednji godišnji broj dana s grmljavinom i/ili grmljenjem od 19–27.5 dana obuhvaća područje kontinentalne Hrvatske i to njenog istočnog i sjevernog dijela. Prema jugu i granici s Bosnom i Hercegovinom te prema jugozapadu i gorskoj Hrvatskoj vrijednosti rastu do 33 dana s

grmljavinom godišnje. Za veći dio Like predviđa se od 33–37 grmljavinskih dana godišnje mada se lokalno na višim predjelima može očekivati i više. Na području riječkog zaleđa i sjevernog dijela Gorskog kotara predviđa se 40–46 grmljavinskih dana, a na većim visinama može se očekivati i više od 50 dana. Na južnom dijelu Gorskog kotara očekuje se 37–40 grmljavinskih dana godišnje.

Istočna obala Istre i unutrašnjost bilježe 37–40 grmljavinskih dana, a zapadna manje od 33 dana. Južni Velebit i Ravni kotari mogu očekivati 37–40 grmljavinskih dana godišnje. Na šibenskom području nalazi se područje jače grmljavinske aktivnosti s 40–46 grmljavinskih dana godišnje koliko se može očekivati i na splitskom području. Značajno manji broj grmljavinskih dana na makarskom području, koji je posljedica vjerojatno



Slika 5.1 Pogreške predviđanja srednjeg godišnjeg broja dana s grmljavinom i/ili grmljenjem [dani] za razdoblje 1971-2000.

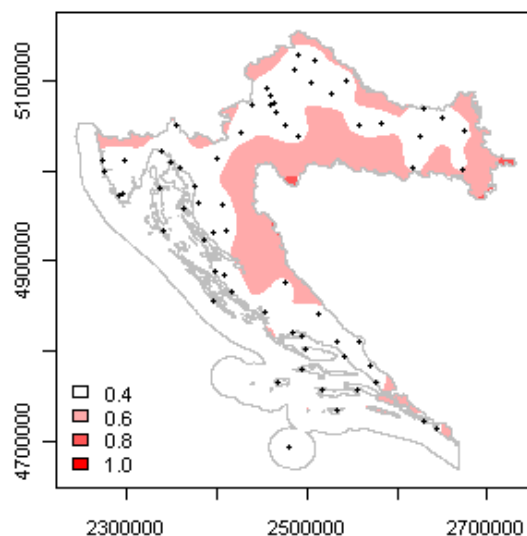
nepreciznosti subjektivne procjene motritelja, treba uzeti s oprezom, jer prirodne karakteristike tog područja (zagrijavanje podloge i planinsko zaleđe) sugeriraju da bi broj grmljavinskih dana mogao biti sličan onome na šibenskom i splitskom području. Dubrovačko područje s 40–46 dana s očekivanjem i više od 50 grmljavinskih dana godišnje na višim nadmorskim visinama spada među dijelove Hrvatske s najvećom grmljavinskom aktivnošću.

Na otocima su opažanja malobrojna te na otocima bližim obali uglavnom ima manje grmljavinskih dana nego na susjednom kopnu. Međutim, veliki broj grmljavinskih dana na nekim otočnim postajama (Krk, Cres, Hvar, Korčula, Lastovo) vjerojatno je također posljedica subjektivne procjene gdje motritelj zbog otvorenosti horizonta percipira zvučnu i svjetlosnu pojavu s veće udaljenosti no što je to slučaj na kopnenim područjima.

5. OCJENA POUZDANOSTI PREDVIĐANJA

Važne mjere za ocjenu pouzdanosti predviđenih vrijednosti na karti grmljavine su karta pogreške predviđanja (Slika 5.1) i karta normalizirane pogreške predviđanja (Slika 5.2). Karta pogreške predviđanja daje prostornu razdiobu odstupanja od predviđene vrijednosti i izražava se u danima (odstupanja mogu biti pozitivna i negativna), dok normalizirana pogreška predviđanja prikazuje koliko je varijabilnosti pojave moguće objasniti predloženim modelom i ovisi o varijanci opažanja.

Smatra se zadovoljavajućom u onim područjima gdje vrijednosti ne prelaze 0.4 što odgovara uspješnosti predviđanja modela >84%, dok



Slika 5.2 Normalizirane pogreške predviđanja srednjeg godišnjeg broja dana s grmljavinom i/ili grmljenjem za razdoblje 1971-2000. Na karti su označene i lokacije meteoroloških postaja.

vrijednosti 0.4–0.6 označavaju područja manje uspješne predikcije gdje je modelom objašnjeno 64-84% varijabilnosti.

Vidi se da se manje pogreške očekuju u područjima bližim lokacijama postaja (Slika 5.1) gdje je i pouzdanost veća (Slika 5.2). Veće pogreške (± 5 dana) vjerojatnije su na dijelu istočne Slavonije (ekstrapolacija), Posavini, Baniji, Kordunu, Lici i Dalmatinskom zaleđu, (ekstrapolacija i mala gustoća postaja kao posljedica prekida opažanja za vrijeme Domovinskog rata).

6. LITERATURA

- [1] Critchfield HJ (1960) General climatology, Prentice-Hall, N.J., 465 p.
- [2] Barry RG and Carleton AM (2001) Synoptic and Dynamic Climatology. Routledge, Taylor and Francis Group, London and New York, 620 p.
- [3] Panzar B, Penzar I i Orlić M (2001) Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana. Nakladna kuća „Dr. Feletar“, Zagreb, 258 str.
- [4] Zaninović K, Gajić-Čapka M, Perčec Tadić M et al (2008) Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990, 1971–2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.
- [7] Christian HJ, Blakeslee RJ, Boccippio DJ, Boeck WL, Buechler DE, Driscoll KT, Goodman SJ, Hall JM, Koshak WJ, Mach DM and Stewart MF (2003) Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. Journal of Geophysical Research-Atmospheres. 108(D1):4005

[6] Perčec Tadić M (2010) Gridded Croatian climatology for 1961-1990. Theor Appl climatol DOI: 10.1007/s00704-009-0237-3

[7] Burrough PA and McDonnell RA (2004) Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford. 333 p.

Rezultati su dio istraživanja provedenog u Državnom hidrometeorološkom zavodu prema ugovoru s Ministarstvom zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (Klasa: 920-05/09-13/04, Ur. br. 554-920-05/09-02).