

Objektivna opredelitev podnebnih regij Slovenije

Katja Kozjek^{*}, Mojca Dolinar^{*}, Gregor Skok^{**}

Povzetek

V prispevku smo karseda objektivno, samo z uporabo podnebnih podatkov in s statističnimi metodami razvrščanja v skupine, določili podnebne regije Slovenije. Prispevek povzema študijo predstavljeno v članku objavljenem v *International Journal of Climatology* (Kozjek et al., 2017). Uporabljeni so bili podnebni podatki v pravilni mreži za zadnje tridesetletno referenčno obdobje 1981-2010. S predhodno analizo podatkov smo določili ključne podnebne spremenljivke na podlagi katerih smo opredelili podnebne regije. Razvrščanje smo izvedli s kombinacijo dveh statističnih metod. Najprej smo na podatkih izvedli faktorsko analizo, ki ji je sledilo razvrščanje v skupine po metodi voditeljev. Ugotovili smo, da na območju Slovenije najbolj smiselno in reprezentativno razvrstitev predstavlja razvrstitev v šest podnebnih skupin oz. regij. S takšno razvrstitvijo dobimo primorsko regijo, zelo namočeno regijo severozahodnega dela dinarsko-alpske pregrade, dvignjeno regijo dinarsko-alpskega sveta, regijo visokogorja, suho regijo nižinskega sveta vzhodne in osrednje Slovenije ter višjo in malo bolj namočeno regijo osrednje Slovenije. Za te podnebne regije smo predlagali naslednja imena: omiljeno sredozemsko podnebje, vlažno podnebje hribovitega sveta, omiljeno gorsko podnebje, gorsko podnebje, omiljeno celinsko podnebje ter zmerno podnebje hribovitega sveta.

Ključne besede: podnebje, podnebne regije, faktorska analiza, razvrščanje v skupine, metoda voditeljev

Keywords: climate, climate classification, factor analysis, k-means clustering

Uvod

Slovenija ima zaradi svoje geografske lege na stiku Sredozemlja, Alp, Dinarskega gorstva in Panonske nižine izjemno pestro podnebje. Na zelo majhnem geografskem območju se stikajo in prepletajo trije glavni in med seboj zelo različni tipi podnebja: sredozemski, gorski in celinski tip.

Na svetovnem nivoju je bilo narejenih že veliko študij podnebja, vse do danes pa ostaja najbolj razširjena Köppenova razvrstitev svetovnega podnebja (npr. Peel et al., 2007). Ta daje na globalni skali povsem zadovoljive rezultate, za lokalne študije, kot je območje Slovenije, pa rezultati niso več uporabni, saj razvrstitev postane preveč groba. Zaradi potrebe po bolj natančno določenih podnebnih regijah, so se v preteklosti v slovenskem prostoru že lotili novih razvrstitev podnebja (Melik, 1935; Furlan, 1960; Ilešič, 1970; Gams, 1972; Gams, 1996). Najbolj uspešna in največkrat citirana je določitev podnebnih tipov Slovenije avtorja Darka Ogrina (Ogrin, 1996). A vsem preteklim razvrstitvam podnebja je skupno to, da poleg podnebnih podatkov, upoštevajo tudi vegetacijske značilnosti in/ali kulturno izrabo pokrajine. Hkrati so bile vse narejene na prostorsko redkih

^{*} Agencija RS za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor

^{**} Fakulteta za Matematiko in Fiziko, Univerza v Ljubljani

točkovnih podnebnih podatkih, zato so meje med regijami v veliki meri določene subjektivno glede na avtorjevo strokovno poznavanje regionalnih podnebnih razmer.

Ker pa imamo danes na voljo podnebne podatke za vse glavne podnebne spremenljivke v pravilni kilometrski mreži, ki pokriva celotno Slovenijo (Dolinar, 2016), je bilo tako mogoče narediti objektivno razvrstitev in opredelitev podnebnih regij s statističnim pristopom.

Podatki

Opredelitev podnebnih regij temelji na podnebnih podatkih Agencije RS za okolje, ki izvaja meritve osnovnega nabora podnebnih spremenljivk na mreži podnebnih postaj. Če želimo opredeliti podnebni tip za vsak košček Slovenije, potem moramo poznati podnebne značilnosti za vsako območje Slovenije. Mreža podnebnih postaj Agencije RS za okolje je preredka, da bi neposredno na podlagi teh podatkov lahko v podnebne regije razvrstili celotno Slovenijo. V ta namen so bili uporabljeni podnebni podatki v pravilni mreži nad Slovenijo za obdobje 1981-2010 (Dolinar, 2016). Razdalja med dvema točkama v mreži je znašala 1 km, skupno je to nad območjem Slovenije predstavljalo 20916 točk. Za računanje vrednosti podnebnih spremenljivk v pravilni mreži je bila uporabljena metoda optimalne prostorske interpolacije, ki upošteva odvisnost podnebne spremenljivke od geografskih spremenljivk. V vsaki mrežni točki je bila vrednost spremenljivke izračunana na podlagi vrednosti na okoliških merilnih postajah, nadmorske višine, geografske dolžine in širine mrežne točke ter v nekaterih primerih tudi drugih izpeljanih geografskih spremenljivk (npr. relativna nadmorska višina orografske pregrade v smeri SV za padavine). Vrednosti spremenljivk so obremenjene z največjo napako v mrežnih točkah z nadmorsko višino nad 1000 m, saj je na teh višinah zelo malo merilnih postaj. Pri padavinah je dodaten faktor, ki vpliva na nezanesljivost vrednosti na višjih nadmorskih višinah tudi to, da so meritve padavin zaradi močnih vetrov lahko podcenjene. Za prostorsko interpolacijo so bili uporabljeni podatki slovenskih meteoroloških postaj in obmejnih postaj Italije, Avstrije in Hrvaške. Več o metodah in rezultatih interpolacije ter lastnostih teh podatkov je zapisano v Dolinar (2016).

S predhodno analizo podatkov smo določili ključne podnebne spremenljivke, na podlagi katerih smo opredelili podnebne regije. Te so bile izbrane glede na podnebne značilnosti Slovenije: temperatura zraka, količina padavin in višina novozapadlega snega. Letni cikel spremenljivk smo opisali z mesečnimi (temperatura zraka in količina padavin) in sezonskimi (višina novozapadlega snega) povprečji. Amplituda letnega cikla, ki določa stopnjo celinskosti, je bila opisana z razliko med povprečno maksimalno letno temperaturo in povprečno minimalno letno temperaturo. Vse spremenljivke, ki si bile uporabljene v študiji in njihovi opisi so zbrani v preglednici 1.

Razvrstitev v podnebne regije smo izvedli s kombinacijo dveh statističnih metod. Število začetnih spremenljivk smo najprej zmanjšali z uporabo faktorske analize, ki ji je sledilo razvrščanje v skupine po metodi voditeljev.

Preglednica 1: Seznam v študiji uporabljenih spremenljivk. Upoštevano je 30-letno povprečje nanizanih spremenljivk (obdobje 1981–2010). ***

Št.	Oznaka	Spremenljivka	Enota
1	TpovpJAN	januarska povprečna temperatura	°C
2	TpovpFEB	februarska povprečna temperatura	°C
3	TpovpMAR	marčevska povprečna temperatura	°C
4	TpovpAPR	aprilska povprečna temperatura	°C
5	TpovpMAJ	majska povprečna temperatura	°C
6	TpovpJUN	junijska povprečna temperatura	°C
7	TpovpJUL	julijska povprečna temperatura	°C
8	TpovpAVG	avgustovska povprečna temperatura	°C
9	TpovpSEP	septembrska povprečna temperatura	°C
10	TpovpOKT	oktobrska povprečna temperatura	°C
11	TpovpNOV	novembrska povprečna temperatura	°C
12	TpovpDEC	decembrska povprečna temperatura	
13	TminJAN	povprečje dnevne minimalne temperature v najhladnejšem mesecu (januar)	°C
14	TmaxJUL	povprečje dnevne maksimalne temperature v najtoplejšem mesecu (julij)	°C
15	deltaT	razlika med povprečno maksimalno letno temperaturo in povprečno minimalno letno temperaturo	°C
16	padJAN	povprečna višina padavin v januarju	mm
17	padFEB	povprečna višina padavin v februarju	mm
18	padMAR	povprečna višina padavin v marcu	mm
19	padAPR	povprečna višina padavin v aprilu	mm
20	padMAJ	povprečna višina padavin v maju	mm
21	padJUN	povprečna višina padavin v juniju	mm
22	padJUL	povprečna višina padavin v juliju	mm
23	padAVG	povprečna višina padavin v avgustu	mm
24	padSEP	povprečna višina padavin v septembru	mm
25	padOKT	povprečna višina padavin v oktobru	mm
26	padNOV	povprečna višina padavin v novembru	mm
27	padDEC	povprečna višina padavin v decembru	mm
28	snegPOM	povprečna skupna višina novozapadlega snega spomladi (marec, april, maj)	cm
29	snegPOL	povprečna skupna višina novozapadlega snega poleti (junij, julij, avgust)	cm
30	snegJES	povprečna skupna višina novozapadlega snega jeseni (september, oktober, november)	cm
31	snegZIM	povprečna skupna višina novozapadlega snega pozimi (december, januar, februar)	cm

*** Način izračuna posameznih spremenljivk: Povprečna temperatura je aritmetična sredina dnevni vrednosti, ki so izračunane po formuli: $T_{pov} = ((T_7 + T_{14} + 2 * T_{21})) / 4$. Minimalna in maksimalna temperatura sta izmerjeni v 24-urnem obdobju z začetkom in koncem ob 21. uri. Višina padavin je seštevek dnevni vrednosti padavin, ki so izmerjene ob 7. uri po lokalnem času in pripisane dnevu meritve. Višina novozapadlega snega je seštevek dnevni vrednosti novega snega, ki so izmerjene ob 7. uri po lokalnem času in pripisane dnevu meritve.

Metode

Faktorska analiza

Kot smo zapisali v prejšnjem poglavju, smo začeli z 31 spremenljivk s katerimi smo želeli opisati prostorsko in sezonsko spremenljivost podnebja v Sloveniji. Pred nadaljnjo analizo smo podatke standardizirali (npr. Ferligoj, 1989; Kachigan, 1991). Na izbranih spremenljivkah predhodno nismo opravili nobene redukcije, vendar lahko že iz fizikalnih povezav med spremenljivkami vidimo, da so te med seboj povezane.

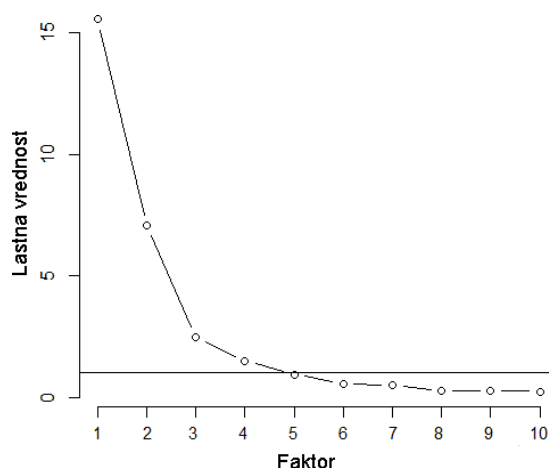
Faktorska analiza je ena izmed statističnih metod za redukcijo podatkov, katere glavni namen je opisati kovariančno strukturo začetnih spremenljivk in najti nove skupne značilnosti - nove podnebne spremenljivke oz. faktorje, ki opišejo prostorsko in sezonsko podnebno spremenljivost Slovenije. Metoda večje število spremenljivk, med katerimi obstaja povezanost, reducira v manjše število neodvisnih spremenljivk oz. t.i. faktorjev. Osnova faktorjskega modela je domneva, da med spremenljivkami x ($p \times 1$), f ($k \times 1$) in u ($p \times 1$) velja zveza:

$$x = Af + u + \mu$$

kjer je f vektor skupih faktorjev, u vektor specifičnih faktorjev, ki vplivajo samo na x , A ($p \times k$) pa je matrika faktorjskih uteži (korelacija med spremenljivkami in faktorji), ki kaže vpliv faktorja f na x . Faktorjske uteži so v bistvu korelacijski koeficienti med začetnimi spremenljivkami in na novo izračunanimi skupnimi faktorji (npr. Kachigan, 1991). Če res obstajajo skupni faktorji, bi morale biti faktorjske uteži velike, specifični faktorji pa majhni.

Drugi korak faktorjske analize je rotacija, s katero prečistimo strukturo (npr. Fabrigar, 1999). Rotacijo uporabimo takrat, ko skupnih faktorjev ne moremo smiselno interpretirati, če so npr. projekcije iste spremenljivke precejšnje na več faktorjih, ali pa če imamo splošen faktor (projekcije vseh spremenljivk na prvi faktor so precejšnje). Bistvo rotiranja je namreč, da dobimo vsebinsko pomembne faktorje in čim enostavnejšo faktorjsko strukturo. Rotacija nam tako omogoči, da imajo na novo dobljeni faktorji dejanski klimatološki pomen. V tej študiji smo uporabili pravokotno "varimax" rotacijo.

Število faktorjev smo izbrali s pomočjo diagrama, imenovanega "scree" diagram (Johnson and Wichern, 2007). "Scree" diagram je diagram, ki ima na abscisni osi naneseno zaporedna števila faktorja, na ordinatni osi pa ustrezno lastno vrednost. Diagram predstavlja strma padajoča krivulja, ki se nato hitro poravnava v skoraj vodoravno črto. Predlog za število faktorjev je točka, kjer se graf zravna v vodoravno smer. "Scree" diagram je v veliko pomoč, ko imamo opravka z izrazitimi faktorji in kadar je na diagramu viden jasen prelom. Prava izbira števila faktorjev pa je bolj problematična, ko jasnega preloma krivulje ni. Takrat nam je lahko v pomoč t.i. Kaiserjevo pravilo (npr. Ledesma and Valero-Mora, 2007), ki pravi, naj obdržimo tiste faktorje, ki imajo lastne vrednosti večje od 1. Iz "scree" diagrama na sliki 1 smo razbrali, da so za naš primer najboljša izbira štirje faktorji.



Slika 1: "Scree" diagram za 31 izbranih spremenljivk. Na abscisni osi je nanesena zaporedna številka faktorja, na ordinatni osi pa ustrezna lastna vrednost. Predlog za število faktorjev je točka, kjer se ali graf prelomi ali pade pod vrednost 1. V tem primeru "scree" diagram nakazuje izbiro štirih faktorjev. Prirejeno po Kozjek et al. (2017).

S štirimi faktorji je razloženo 84% skupne spremenljivosti, kar razberemo iz matrike faktorskih uteži na sliki 2. Iz nje preberemo tudi katere spremenljivke imajo na posameznih faktorjih izrazite uteži. Faktorske uteži imajo razpon od -1 do 1. Uteži blizu -1 ali 1 kažejo, da spremenljivka močno vpliva na faktor. Uteži blizu nič pa nakazujejo šibek vpliv spremenljivke na faktor.

Ko smo dobili število faktorjev in njihove uteži, smo s pomočjo teh izračunali faktorske vrednosti ("factor scores"), saj nam linearne kombinacije faktorskih vrednosti v nadaljevanju služijo kot nove spremenljivke pri postopku razvrščanja v skupine. Obstaja vrsta metod za izračun faktorskih vrednosti, od najbolj eksaktnih metod, kot je npr. regresijska metoda ("regression scores") do najenostavnejše poenostavitve, kjer je faktor kar linearna kombinacija vseh spremenljivk z utežjo 1, pri čemer je predznak odvisen od faktorske uteži (npr. DiStefano et al., 2009; Esrabrook et al., 2013). Največja skrb pri poenostavitvah je, da se izgubi spremenljivost začetnih spremenljivk, a ko imamo opravka z velikim številom enot (v našem primeru imamo opravka z 20916 točkami), je potrjeno, da ne pride do prevelikih napak, saj še vedno pokrijemo zadostno mero spremenljivosti. Tako smo se tudi mi poslužili nekaj poenostavitev, a smo izbrali neko vmesno pot. Zgoraj navedena najenostavnejša poenostavitev v svojih izračunih namreč ne vključuje vrednosti faktorskih uteži, s čimer ne upošteva "vpliva" posamezne spremenljivke. To lahko upoštevamo tako, da vrednost v vsaki posamezni točki pomnožimo s faktorsko utežjo. Pri tem lahko uporabimo vse uteži ali pa samo uteži nad neko določeno mejo, za kar smo se odločili mi. Mejo, ki loči izrazite uteži od manj izrazitih smo izbrali glede na vsebino in razpon vseh uteži (npr. Kachigan, 1991). Linearna kombinacija spremenljivk z utežmi nad izbrano mejo nam je predstavljala nove spremenljivke, ki smo jih nato uporabili pri razvrščanju v skupine.

Standardized loadings						
item	PA1	PA2	PA3	PA4	h2	
TempJAN	1	0.58	0.03	-0.08	-0.71	0.85
TempFEB	2	0.84	-0.06	-0.11	-0.41	0.89
TempMAR	3	0.93	-0.15	-0.11	-0.19	0.93
TempAPR	4	0.94	-0.22	-0.08	-0.03	0.94
TempMAJ	5	0.93	-0.22	-0.08	0.01	0.93
TempJUN	6	0.94	-0.21	-0.09	-0.01	0.94
TempJUL	7	0.94	-0.17	-0.10	-0.09	0.94
TempAVG	8	0.94	-0.17	-0.10	-0.13	0.93
TempSEP	9	0.93	-0.16	-0.10	-0.14	0.92
tempOKT	10	0.87	-0.10	-0.12	-0.35	0.90
TempNOV	11	0.76	-0.02	-0.13	-0.54	0.88
TempDEC	12	0.56	0.03	-0.09	-0.72	0.85
deltaT	13	0.54	-0.37	-0.15	0.38	0.60
TminJAN	14	0.46	-0.05	-0.13	-0.40	0.39
TmaxJUL	15	0.82	-0.20	-0.16	-0.06	0.74
padJAN	16	-0.13	0.92	0.08	-0.09	0.88
padFEB	17	-0.20	0.81	0.09	-0.14	0.73
padMAR	18	-0.22	0.90	0.24	0.00	0.92
padAPR	19	-0.18	0.92	0.21	0.02	0.92
padMAJ	20	-0.12	0.87	0.35	0.03	0.89
padJUN	21	-0.30	0.59	0.49	0.20	0.71
padJUL	22	-0.23	0.39	0.55	0.18	0.54
padAVG	23	-0.23	0.51	0.60	0.24	0.73
padSEP	24	-0.11	0.87	0.33	0.08	0.89
padOKT	25	-0.16	0.91	0.25	0.06	0.92
padNOV	26	-0.08	0.91	0.26	0.03	0.91
padDEC	27	-0.13	0.95	0.15	-0.02	0.94
snegZIM	28	-0.44	0.30	0.68	0.00	0.75
snegPOM	29	-0.15	0.31	0.91	0.01	0.94
snegPOL	30	0.10	0.22	0.78	0.03	0.67
snegJES	31	-0.12	0.30	0.91	-0.02	0.94

	PA1	PA2	PA3	PA4
SS loadings	10.65	8.77	4.32	2.17
Proportion Var	0.34	0.28	0.14	0.07
Cumulative Var	0.34	0.63	0.77	0.84
Cum. factor Var	0.41	0.75	0.92	1.00

Slika 2: Matrika faktorskih uteži, ki jo dobimo kot rezultat faktorске analize na izbranih 31 spremenljivkah. Vrednosti uteži so navedene v stolpcih od PA1 do PA4. Z rdečimi kvadrati so označene izrazite uteži (glede na vsebino in razpon vseh uteži smo za mejo izbrali absolutno vrednost 0,6). PA1, PA2, PA3, PA4 – faktorске uteži, h2 – komunalitete (delež variance, ki je pojasnjen s skupnimi faktorji), SS loadings – seštevek kvadratov uteži, Proportion Var – delež variance, Cumulative Var – kumulativna varianca, in Cum. factor Var - kumulativna varianca faktorjev. Prirejeno po Kozjek et al. (2017).

Po pregledu vrednosti faktorskih uteži na sliki 2 smo se odločili, da kot izrazite oz. visoke obravnavamo uteži, ki so večje od 0,6 ali manjše od -0,6 (npr. DiStefano et al., 2009; Kachigan, 1991; Rencher, 2002). Takšna izbira je namreč za naš primer vsebinsko najbolj smiselna, temperaturne spremenljivke so tako zbrane v enem faktorju, padavinske v drugem. itd.

Faktor 1 ima visoke uteži na skoraj vseh temperaturnih spremenljivkah: TempFEB (0,84), TempMAR (0,93), TempAPR (0,94), TempMAJ (0,93), TempJUN (0,94), TempJUL (0,94), TempAVG (0,94), TempSEP (0,93), TempOKT (0,87), TempNOV (0,76), TmaxJUL (0,82). Faktor 1 tako predstavlja **temperaturne razmere preko leta** (od februarja do novembra).

Faktor 2 ima izrazite uteži na vseh padavinskih spremenljivkah, z izjemo poletnih padavin (padJUN (0,59), padJUL (0,39) in padAVG (0,51)). Vse uteži ostalih padavinskih spremenljivk so višje od 0,81 in sicer padJAN (0,92), padFEB (0,81), padMAR (0,90), padAPR (0,92), padMAJ (0,87), padSEP (0,87), padOKT (0,91), padNOV (0,91), padDEC (0,95). Faktor 2 opisuje **padavinske razmere** z izjemo padavin v poletnih mesecih.

Faktor 3 združi vse spremenljivke, ki opisujejo količino snega (snegZIM (0,713), snegPOM (0,911), snegPOL (0,793), snegJES(0,924)), za las pa še spremenljivko padAVG z utežjo 0,60. S faktorjem 3 so torej opisane **snežne razmere**.

Faktor 4 poveže preostali dve od temperaturnih spremenljivk, ki v faktorju 1 niso imele visokih uteži in sicer TempJAN (-0,71) in TempDEC (-0,72). Lahko rečemo, da faktor 4 opisuje **temperaturne razmere pozimi**.

Iz spremenljivk s faktorskimi utežmi višjimi od 0,6, smo nato za vse štiri faktorje sestavili linearne kombinacije, utežene s faktorskimi utežmi:

1. $0,84 \text{ TempFEB} + 0,93 \text{ TempMAR} + 0,94 \text{ TempAPR} + 0,93 \text{ TempMAJ} + 0,94 \text{ TempJUN} + 0,94 \text{ TempJUL} + 0,94 \text{ TempAVG} + 0,93 \text{ TempSEP} + 0,87 \text{ TempOKT} + 0,76 \text{ TempNOV} + 0,82 \text{ TmaxJUL}$
2. $0,92 \text{ padJAN} + 0,81 \text{ padFEB} + 0,90 \text{ padMAR} + 0,92 \text{ padAPR} + 0,87 \text{ padMAJ} + 0,87 \text{ padSEP} + 0,91 \text{ padOKT} + 0,91 \text{ padNOV} + 0,95 \text{ padDEC}$
3. $0,60 \text{ padAVG} + 0,68 \text{ snegZIM} + 0,91 \text{ snegPOM} + 0,78 \text{ snegPOL} + 0,91 \text{ snegJES}$
4. $-0,71 \text{ TempJAN} - 0,72 \text{ TempDEC}$

Te linearne kombinacije so služile kot nove spremenljivke pri razvrščanju v skupine.

Razvrščanje v skupine

Razvrščanje v skupine je postopek, kjer hočemo uvrstiti enote v skupine po principu podobnosti tako, da so znotraj posamezne skupine enote, ki so si glede na vnaprej določen kriterij podobne, znotraj različnih skupin pa enote, ki so si glede na ta kriterij različne (Ferligoj, 1989). Razvrščanja v skupine smo se lotili po nehierarhični metodi, metodi voditeljev (angl. k-means) (MacQueen, 1967). Prednost te metode je predvsem to, da zmore v skupine razvrščati večje število enot.

Metoda priredi enote najbližjim voditeljem ter poišče centroide tako dobljenih skupin. Ti centriodi postanejo novi voditelji in tem novim voditeljem so zopet prirejene najbližje enote. Postopek se iterativno ponavlja in se konča, ko se nova množica voditeljev ne razlikuje od množice voditeljev, dobljene v prejšnjem koraku.

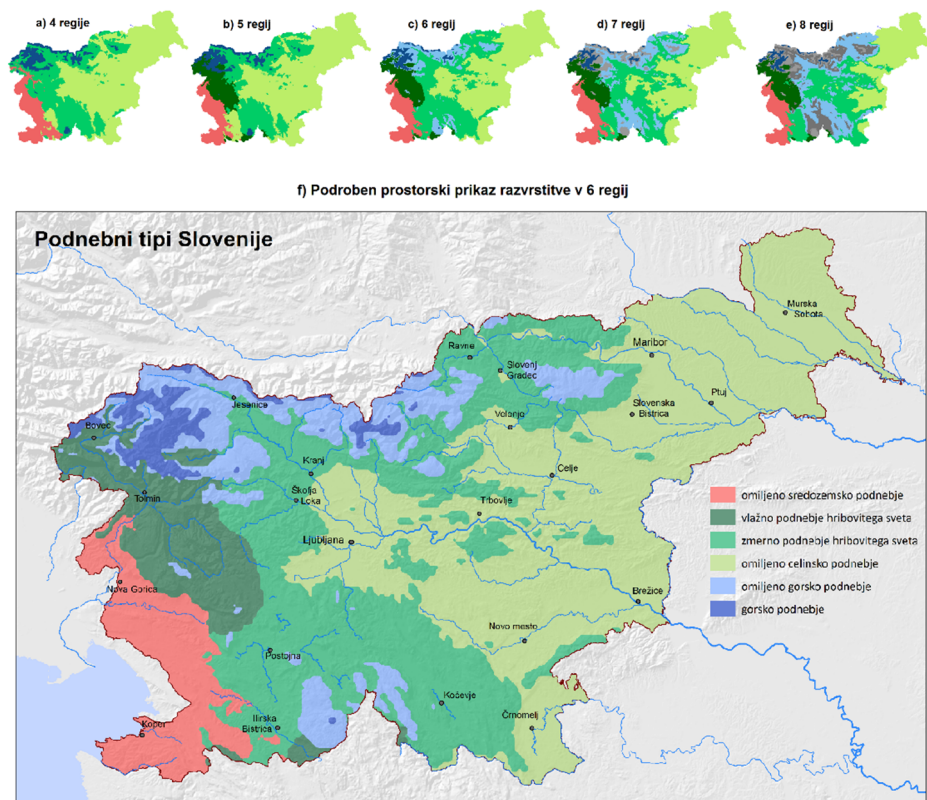
Začetno množico voditeljev lahko določimo naključno, lahko pa voditelje maksimalno razpršimo med proučevanimi enotami. To storimo tako, da za prvega voditelja izberemo enoto, ki je v središču vseh enot, nato za drugega najbolj oddaljeno enoto od prvih dveh voditeljev itd. Čim boljše razvrstitev poizkušamo dobiti tako, da postopek ponovimo večkrat, z različnimi začetnimi množicami voditeljev.

Pri metodi voditeljev je potrebno predhodno določiti število skupin, v katere želimo razvrstiti enote. Izbira števila skupin pa je lahko težavna, saj je prava izbira nemalokrat nejasna. Obstaja več statističnih kriterijev za določitev primerne števila skupin. V tej študiji smo uporabili metodo "komolca", Bayesov informacijski kriterij (npr. Kodinariya and Makwana, 2013) ter kriterij Calinskega in Harabasza (Calinski in Harabasz, 1974). Vse numerične statistike so nakazale, da je statistično najbolj optimalna razvrstitev v 6 do 8 skupin. Za končno odločitev o številu skupin smo razvrstitve v 6, 7 in 8 skupin preverili še vsebinsko.

Z razvrščanjem v več kot šest podnebnih skupin oz. regij (slika 3(d,e)) dobimo večjo razdrobljenost po nadmorski višini, saj nove regije dodatno razdelijo dvignjene predele Slovenije. Površina teh na novo nastalih regij je zelo majhna in predstavlja manj kot 5 % celotnega ozemlja Slovenije, prav tako so te nove regije uvrščene v gorsko območje z zelo nizko ali ničelno poseljenostjo. Ker na tem območju obstaja le ena merilna postaja (Kredarica), so vrednosti spremenljivk tu najmanj natančne. Zaradi naštetih razlogov nam dodatne regije v gorskem svetu ne predstavljajo neke dodatne podnebne informacije in smo za končno izbiro števila regij izbrali šest regij.

Preverili pa smo še, kaj se zgodi če enote razvrstimo v manj kot šest regij (slika 3(a,b)). Ugotovili smo, da ko zmanjšujemo število regij počasi izgubljam vpliv padavin, vse bolj prevlada temperaturni režim. To se vidi že pri razvrstitvi v pet regij, ko območje Pivškega podolja in Brkinov pade v enako regijo kot vzhodna Slovenija. Padavinski režim je med temi območji precej različen, so si pa območja temperaturno zelo podobna. Pri razvrstitvi v štiri regije pa sploh dobimo zelo temperaturno ločene regije. Izgubimo zelo namočeno regijo na območju dinarsko-alpske pregrade.

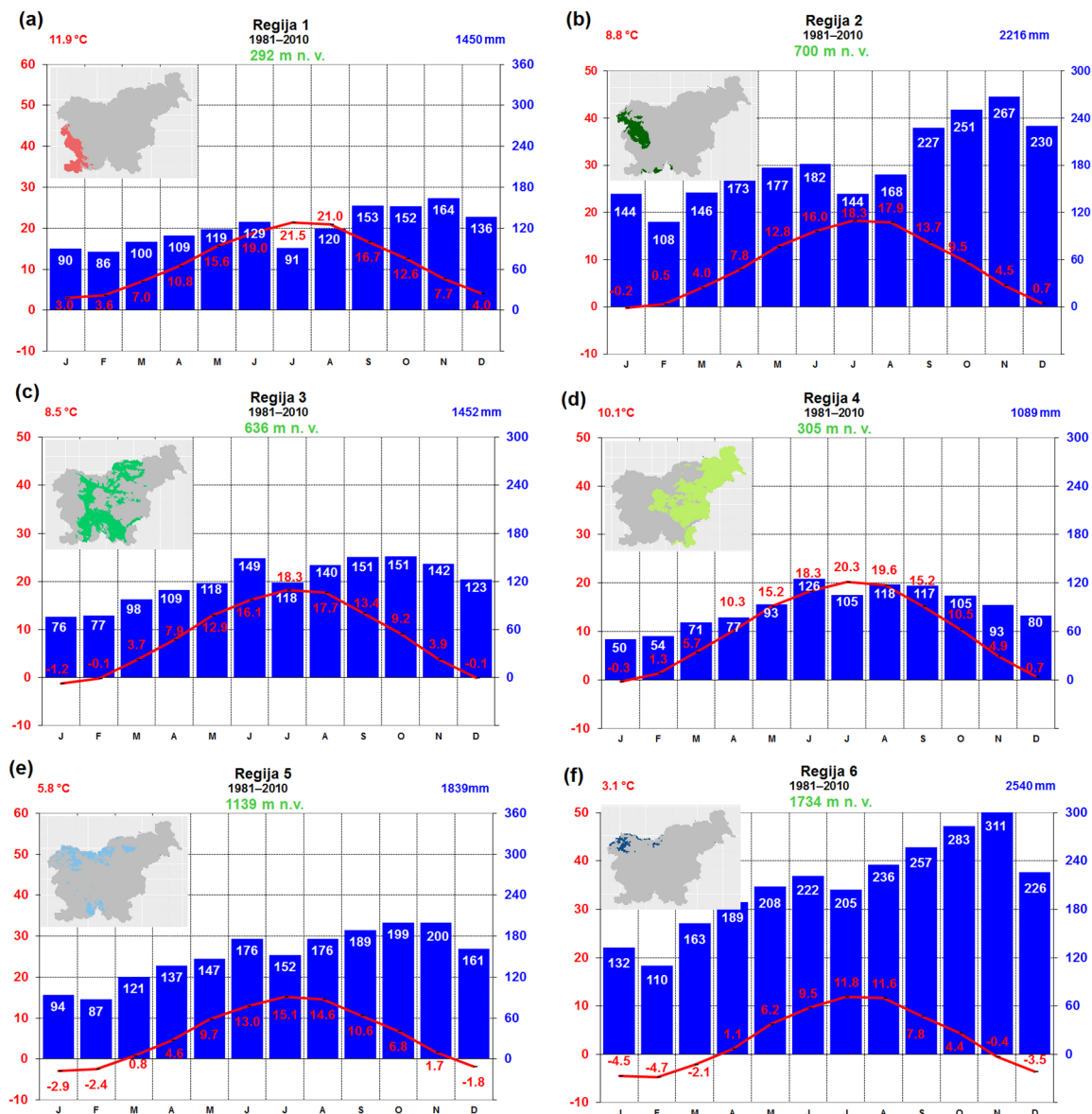
Del tega območja (pred pregrado) pade v primorsko regijo, saj ju vežejo podobne temperaturne razmere, del območja (za pregrado) pa v bolj celinsko regijo, saj tu ni več vpliva morja in so temperature nekoliko nižje. Razvrstitvi v pet ali štiri regije za našo študijo tako nimata uporabne vrednosti.



Slika 3: (a-e) Rezultat razvrščanja v različno število regij. (f) Podroben prostorski prikaz končne razvrstitve v šest podnebnih regij s predlaganimi imeni za regije. Prirejeno po Kozjek et al. (2017).

Rezultati: Podnebne regije Slovenije

Z razvrstitvijo podnebja Slovenije v šest podnebnih regij dobimo primorsko regijo, zelo namočeno regijo severozahodnega dela dinarsko-alpske pregrade, dvignjeno regijo dinarsko-alpskega sveta, regijo visokogorja, suho regijo nižinskega sveta vzhodne in osrednje Slovenije ter višjo in malo bolj namočeno regijo osrednje Slovenije (slika 3(f)). V nadaljevanju smo te podnebne regije natančno opisali, opredelili njihove glavne podnebne značilnosti ter jih poimenovali. Za vseh šest regij smo izrisali še podnebne diagrame za obravnavano obdobje (1981-2010) (slika 4) ter graf povprečne skupne višine novozapadlega snega po sezonah za vseh šest regij (povprečje 1981-2010) (slika 5).



Slika 4: Podnebni diagrami za vseh šest regij, ki prikazujejo letni hod mesečne povprečne temperature zraka in višine padavin za posamezno regijo (obdobje 1981-2010). Leva navpična os prikazuje temperaturo, desna navpična os pa višino padavin. Nad diagrami so zapisane še povprečna nadmorska višina regije (z zeleno), povprečna letna temperatura (z rdečo) in povprečna letna količina padavin (z modro). V levem kotu diagramov so dodane še prostorski prikazi posameznih regij. Prirejeno po Kozjek et al. (2017).

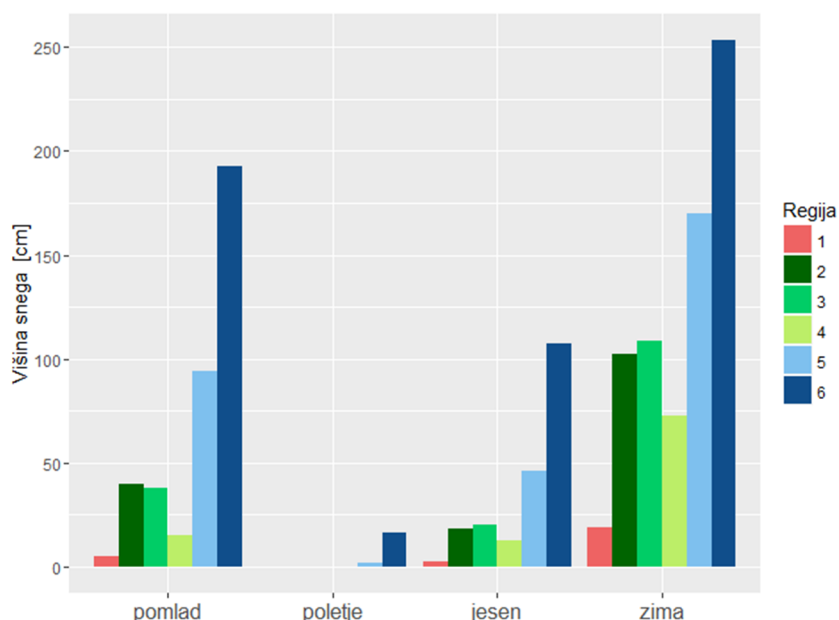
Regija 1 predstavlja večino primorske regije (slika 3(f) in 4(a)). Povprečna nadmorska višine regije je 292 m. Gre za regijo, kjer ima velik vpliv morje. Ta regija ima med vsemi regijami najvišjo temperaturo skozi vse leto (slika 4(a)). Značilna je visoka minimalna temperatura v hladni polovici leta, kot tudi visoka maksimalna temperatura v topli polovici leta. Količina padavin je nizka, na leto pade povprečno okoli 1450 mm padavin (slika 4(a)). Poleti v tej regiji pade najmanj padavin. Snežne odeje pa skorajda ni oz. je povprečna vsota višine novozapadlega snega skozi zimo 19 cm (slika 5).

V tej regiji so izražene nekatere značilnosti sredozemskega podnebja. Temperaturni režim je namreč skoraj enak sredozemskemu. Padavin pa je zaradi bližine gorske pregrade nekoliko več kot je značilno za sredozemsko podnebje, njihov višek je jeseni, medtem ko je za tipično sredozemsko

podnebje bolj značilen zimski višek. Za to podnebno regijo smo predlagali ime **omiljeno sredozemsko podnebje**.

Regija 2 zavzema območje vzdolž severozahodnega dela alpsko-dinarske pregrade (slika 3(f) in 4(b)) in vključuje razgiban relief s širokim razponom nadmorske višine (od 170 m pa vse do 1423 m). Za to območje je značilna predvsem velika količina padavin skozi vse leto v primerjavi z drugimi podnebnimi regijami (slika 4). Tu povprečno pade okoli 2200 mm padavin na leto z izrazitim viškom v jesenskih mesecih (novembra povprečno pade 267 mm padavin) (slika 4(b)). Višina snega pozimi in spomladi je razmeroma visoka (povprečno pade skozi vso zimo 102 cm, spomladi pa 29 cm snega) (slika 5).

V regijo 2 segajo blage značilnosti sredozemskega podnebja, prisoten pa je tudi močan orografski vpliv alpsko-dinarske pregrade, ki poteka preko regije. Povprečna mesečna temperatura zimskih mesecev se vrti okrog 0 °C. Sezonska amplituda je precej visoka (18,5 °C), zaradi dvignjenega terena pa ne kaže tipičnih lastnosti mediteranskih temperaturnih razmer (majhna amplituda letnega temperaturnega hoda). Ker je glavna značilnost te regije zelo velika namočenost, temperaturne razmere pa so značilne za rahlo dvignjen svet, smo zanjo predlagali ime **vlažno podnebje hribovitega sveta**.



Slika 5: Povprečna skupna višina novozapadlega snega po sezonah za vseh šest podnebnih regij (dolgoletno povprečje 1981-2010). Prirejeno po Kozjek et al. (2017).

Regija 3 se pojavlja v nižjih predalpskih hribih in jugovzhodnem delu dinarske pregrade (slika 3(f) in 4(c)). Povprečna nadmorska višina regije je 636 m. Regija 3 ima skoraj identični letni hod povprečne temperature kot regija 2 (slika 4(b,c)) z rahlo hladnejšimi zimskimi meseci, saj tu ni neposrednega vpliva Sredozemskega morja. Količina padavin v primerjavi z ostalimi regijami ni velika. Skozi leto se pojavita dva viška padavin, prvi v mesecu juniju, drugi pa v jesenskih mesecih, izrazit pa tudi zimski minimum padavin (slika 4(c)). Največ snega zapade pozimi, vendar manj kot v večini dvignjenih regij (regiji 5 in 6) (slika 5). Snežna odeja ni neobičajna niti spomladi in jeseni (spomladi pade povprečno 37 cm, jeseni pa 20 cm novega snega).

Padavinski režim, količina padavin in amplituda letnega temperaturnega hoda kažejo na to, da se v regiji 3 znatno kažejo značilnosti celinskega podnebja. Regija 3 ima nekaj podobnih podnebnih značilnosti kot regija 4, a ju ločuje to, da je regija 4 bolj suha in tudi toplejša od regije 3. To nakazuje, da je stopnja celinskosti je v podnebni regiji 4 bolj izrazita. Nekoliko nižja temperatura in manjša

amplituda letnega temperaturnega hoda sta značilni za dvignjen svet, zato za to regijo, tudi upoštevajoč padavinske razmere, predlagamo ime **zmerno podnebje hribovitega sveta**.

Regija 4 zavzema nižinski svet osrednje in vzhodne Slovenije z nadmorsko višino med 131 m in 650 m (slika 3(f) in 4(d)). Gre za najbolj celinsko in najbolj suho regijo med vsemi (slika 4(d)). Povprečna letna količina padavin je le okoli 1000 mm. Je tudi druga najtoplejša regija (slika 4(d)). Poleti je lahko maksimalna temperatura zelo visoka. Po drugi strani pa se lahko pozimi minimalna temperatura, ob dolgem anticiklonalnem vremenu, spusti precej nizko, posledično je povprečna mesečna temperatura v zimskih mesecih okrog 0 °C. Snežne odeje ni veliko, povprečno pozimi pade okoli 72 cm novega snega, jeseni in spomladi pa med 10 in 15 cm (slika 5).

Tako temperaturni kot padavinski režim v regiji 4 sta zelo značilna za celinsko podnebje, s tem, da sta sušnost in amplituda temperaturnega hoda v svetovnem merilu milo izražena. Zato za podnebno regijo 4 predlagamo ime **omiljeno celinsko podnebje**.

Regija 5 zajema prehodno regijo med regijo 6 z izrazitim gorskim podnebjem in regijo 3, ki kaže več značilnosti celinskega podnebja v dvignjenem svetu (slika 3(f) in 4(e)). Zajema višje predele alpsko-dinarskega sveta z nadmorsko višino med 706 m in 1660 m. Gre za drugo najbolj hladno regijo z izrazito nizkima minimalno in maksimalno temperaturo (slika 4(e)). Količina padavin je razmeroma visoka, a manjša kot v regijah 2 in 6 (slika 4(b,e,f)). Povprečno pade na leto okoli 1839 mm padavin. Snežna odeja pa je v primerjavi s preostalimi regijami druga najdebelejša, pozimi povprečno pade okoli 170 cm novega snega, 94 cm ga pade tudi spomladi, jeseni pa nekoliko manj (46cm) (slika 5).

Padavinski režim je v tej regiji zelo podoben gorskemu s poznimi pomladnimi in jesenskimi viški ter zimskimi minimumi. Količina padavin je manjša kot v regiji 2 (saj je to območje v zavetrju dinarsko-alpske pregrade) in regiji 6, ki ima izrazit gorski padavinski režim. Tudi temperaturne razmere so zelo blizu gorskim, a niso tako ekstremne, zato smo za podnebno regijo 5 predlagali ime **omiljeno gorsko podnebje**.

Regija 6 predstavlja najvišje predele Slovenije, kamor spada večina vrhov nad 1135 m nadmorske višine (slika 3(f) in 4(f)). Povprečna nadmorska višina v regiji je 1734 m. To je najbolj hladna regija Slovenije, z najnižjima povprečno in ekstremno temperaturo skozi vse leto (slika 4(f)). Regija 6 je tudi najbolj namočena skozi vse leto, z izrazitim viškom v novembru, ko povprečno pade 311 mm padavin (slika 4(f)). Zaradi velikega razpona v nadmorski višini, je v tej regiji tudi velik razpon v količini padavin kot tudi v temperaturi. A velika razlika v količini padavin ni le posledica razlike v nadmorski višini, ampak so zelo velike razlike v količini padavin med zahodnim predelom te regije, kjer pade veliko padavin in vzhodnim predelom, kjer pade manj padavin. Regija 6 ima tudi najdebelejšo in najdlje trajajočo snežno odejo (slika 5). Povprečno pade skozi vso zimo okoli 253 cm snega.

V tej regiji se najbolj izrazito kažejo značilnosti gorskega podnebja, tako smo za podnebno regijo 6 predlagali ime **gorsko podnebje**.

Zaključki

V študiji smo karseda objektivno, samo z uporabo podnebnih podatkov in s statističnimi metodami razvrščanja v skupine, določili podnebne regije Slovenije. Uporabljeni so bili podnebni podatki v pravilni mreži za zadnje tridesetletno referenčno obdobje 1981-2010.

S predhodno analizo podatkov smo določili ključne podnebne spremenljivke na podlagi katerih smo opredelili podnebne regije. Razvrščanje smo izvedli s kombinacijo dveh statističnih metod. Najprej smo na podatkih izvedli faktorsko analizo, ki ji je sledilo razvrščanje v skupine po metodi voditeljev.

Potrebno je poudariti, da kljub temu, da so bile podnebne regije in meje med njimi v tej študiji določene z uporabo objektivnih statističnih metod, so bile znotraj samega procesa na nekaterih korakih (npr. določitev meje za faktorske uteži itd.) zahtevane posamezne subjektivne odločitve, ki pa kljub vsemu temeljijo na poznavanju regionalnih podnebnih razmer.

Ugotovili smo, da na območju Slovenije najbolj smiselno in reprezentativno razvrstitev predstavlja razvrstitev v šest podnebnih skupin oz. regij. Z razvrščanjem v več kot šest regij dobimo večjo razdrobljenost regij po nadmorski višini, kar nam ne predstavlja neke dodatne podnebne informacije. Pri razvrščanju v manj kot šest regij pa imajo padavine vse manjši, temperature pa vse večji vpliv. Pri razvrstitvi v štiri regije dobimo povsem temperaturno ločene regije, kar pa za našo študijo nima uporabne vrednosti.

Za končnih šest podnebnih regij smo predlagali naslednja imena: omiljeno sredozemsko podnebje, vlažno podnebje hribovitega sveta, omiljeno gorsko podnebje, gorsko podnebje, omiljeno celinsko podnebje ter zmerno podnebje hribovitega sveta.

Literatura

- Calinski, T., Harabasz, J. (1974). A dendrite method for cluster analysis, *Communications in Statistics* 3, 1–27.
- DiStefano, C., Zhu M., Mindrila D. (2009). Understanding and Using Factor Scores: Consideration for the Applied Researcher, *Practical Assessment, Research & Evaluation* 14.
- Dolinar, M. (2016). Monthly gridded datasets for temperature and precipitation over Slovenia. *Proceedings of GeoMLA – Geostatistics and Machine Learning*, Belgrade, Serbia.
- Esrabrook, R., Neale, M. (2013). A Comparison of Factor Score Estimation Methods in the Presence of Missing Data: Reliability and an Application to Nicotine Dependence, *Multivariate Behav. Res.*
- Fabrigar, L. R., Wegener, D. T., MacCallun, R. C., Strahan, E. J. (1999). Evaluating the Use of Exploratory Factor Analysis in Psychological Research, *Psychological Methods* 4, 272-299.
- Ferligoj, A. (1989). Razvrščanje v skupine, *Metodološki zvezki* 4.
- Furlan, D. (1960). Klimatska razmejitev Slovenije. *Geografski vestnik* XXXII, 45.
- Gams, I. (1972). Prispevek h klimatogeografski delitvi Slovenije. *Geografski obzornik* XIX, 1.
- Gams, I. (1996). *Geografske značilnosti Slovenije*. Mladinska knjiga, Ljubljana.
- Ilešič, S. (1970). Klimatska območja Jugoslavije. *Geografski obzornik* XVII, 4.
- Johnson, R. A., Wichern, D. W. (2007). *Applied multivariate statistical analysis (Sixth Edition)*. Pearson education, New Jersey, 445 p.
- Kachigan, S. K. (1991). *Multivariate Statistical Analysis (Second Edition)*. Radius Press, New York, 252 p.
- Kodinariya, T. M., Makwana, P. R. (2013). Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering, *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies* 1, 90-95.
- Kozjek, K., Dolinar, M., Skok, G. (2017). Climate classification of Slovenia, *Int. J. Climatol*, in print, DOI: 10.1002/joc.5042
- Ledesma, R. D., Valero-Mora, P. (2007). Determining the Number of Factors to Retain in EFA: an easy-to-use computer program for carrying out Parallel Analysis, *Practical Assessment, Research & evaluation* 12.
- Melik, A. (1935). *Slovenija - Geografski opis*. Slovenska matica, 240.
- Ogrin, D. (1996). Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik* 68, 39-56.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1633–1644.
- Rencher, A. C. (2002). *Methods of Multivariate Analysis (Second Edition)*. John Wiley & Sons, Inc., USA, 438 p.