

UDK:347.773:613.15:308.025.6:551.577
DOI:10.5937/TokOsig2204007R

Dr Sanja V. Radovanović¹
Dr Nenad R. Mihailović²
Dr Željko M. Radovanović³

MOGUĆNOST MODELIRANJA KLIMATSKOG RIZIKA INDEKSIMA

PREGLEDNI RAD

Apstrakt

U radu se analizira mogućnost primene indeksa u cilju kvantifikovanja različitih klimatskih varijabli. Prikazana je metodologija izračunavanja i osnovne karakteristike najznačajnijih vremenskih indeksa, kao što su temperaturni, indeksi padavina (SPI), decile i kvantile indeksi. Pored pomenutih indeksa, koji se uslovno mogu svrstati u jednostavnije, u radu je izvršena analiza kompozitnih indeksa, razvijenih na kompleksnoj osnovi, kao što su Gaj Karpenter indeks ili RMS indeks. Kompleksni indeksi su u upotrebi tek poslednjih nekoliko godina. Na osnovu analize postojećih indeksa i njihove praktične upotrebe, zaključuje se da vremenski indeks, pored transparentnosti, proverljivosti i objektivnosti, kako bi bio praktično primenljiv, mora biti u korelaciji sa efektima koje uzrokuje vremenska varijabla. Takođe, rad upućuje na zaključak da klimatski indeksi mogu biti prihvatljiva alternativa i osnova ugovora o indeksnom osiguranju, u slučaju nedostatka istorijskih podataka o štetama i nemogućnosti modeliranja katastrofalnih klimatskih događaja na drugi način. Izračunavanje indeksa prikazano je i kroz konkretne primere.

Ključne reči: osiguranje, klimatski rizik, vremenski indeksi, suša, temperatura vazduha

¹ Akademija strukovnih studija Zapadna Srbija, sanja.radovanovic@vipos.edu.rs.

² Akademija strukovnih studija Zapadna Srbija, nenad.mihailovic@vipos.edu.rs.

³ Akademija za nacionalnu bezbednost, zradovanovic@apml.gov.rs.

Rad je primljen: 17. februara 2023.

Rad je prihvaćen: 1. marta 2023.

I. Uvod

Na finansijskom tržištu SAD devedesetih godina prošlog veka razvijeni su vremenski derivati, kao odgovor na rastuću potrebu zaštite kompanija energetskeg sektora od gubitaka usled ostvarenja vremenskih rizika. Ugovori su bili zasnovani na vremenskom indeksu i štitili su energetske kompanije od gubitaka usled toplih zimskih i hladnih letnjih meseci. Pozitivna iskustva u korišćenju vremenskih derivata podstakla su i delatnost osiguranja da u svoju ponudu uvrstiti ugovore zasnovane na vremenskim indeksima.

Američka akademija aktuara (*The American Academy of Actuaries*) formirala je radnu grupu u cilju sagledavanja mogućnosti i uslova pod kojima bi osiguravači mogli da pružaju osiguranje zasnovano na indeksu. Materijal radne grupe Američke akademije aktuara bio je od presudnog značaja za dalji razvoj i praktičnu primenu osiguranja zasnovanog na indeksu (*The American Academy of Actuaries* (1999.)). Te usluge su iskazivale potencijal za praktičnu primenu u pružanju zaštite sektoru poljoprivrede od klimatskih rizika, na šta su naročito ukazivali brojni autori, kao što su McCarthy N. (2003.) ili Alderman H. i Haque T. (2007.). Iskustva u praktičnoj primeni osiguranja zasnovanog na indeksu u Brazilu, Meksiku, Indiji, Etiopiji, ali i drugim državama, sublimirana su u istraživanju koje je sprovedeno u okviru Međunarodnog instituta za istraživanje klime i društva, Univerziteta Kolumbija (Hellmuth M.E., Osgood D. E., Hess U., Moorhead A. and Bhojwani H. (eds) 2009.). Jedan broj autora ukazivao je i na mogućnost razvoja novih usluga osiguranja, koje bi pružale zaštitu usled klimatskih promena, a bile bi zasnovane na indeksima, kao što su Weinhofer G. i Busch T. (2013.). Međutim, s vremenom su te usluge počele da iskazuju određene praktične nedostatke, od kojih je svakako najveći rizik baze, odnosno da se može dogoditi situacija da osiguranik ne pretrpi štetu a da mu bude isplaćena odšteta i suprotno. Ovom, ali i drugim rizicima koje ove usluge sa sobom nose u stručnoj literaturi se trenutno poklanja velika pažnja. O riziku baze su pisali Elabeda G., Bellemare M. F., Cartera M. R. i Guirkingerc C. (2013.).

Vremenski indeksi, metodologija njihovog kreiranja, karakteristike i iskustva u njihovom praktičnom korišćenju predmet su ovog rada. Cilj rada je da se analizom osnovnih karakteristika i metodologije izrade ispita mogućnost njihovog eventualnog korišćenja na području Srbije.

II. Vremenski indeksi, pojam i karakteristike

Prirodni katastrofalni događaji i dalje čine najveće uzročnike šteta na imovini. U toku 2021. godine, od 280 milijardi USD ukupno zabeleženih katastrofalnih šteta, prirodne katastrofe su u 306 događaja uzrokovale ukupnu štetu od 270 milijardi

USD.⁴ Trećina svetske populacije je izložena riziku od poplava, koje čine 47% ukupnih hidroloških katastrofalnih događaja. Oluje, za razliku od poplava, beleže daleko manje učešće u ukupnom broju zabeleženih nesreća, međutim, oko 40% smrtnih slučajeva uzrokovanih hidrološkim katastrofama odnosi se na oluje.⁵

Kako bi osiguravači bili u mogućnosti da odrede premije za svakog potencijalnog osiguranika, ili određene grupe osiguranika, moraju biti u mogućnosti da identifikuju, kvantifikuju ili bar delimično ocene verovatnoću pojavljivanja događaja i potencijalne štete. Uopšteno, u cilju predviđanja, a potom i savladavanja posledica realizacije neželjenog događaja neophodno je da rizik ima određene karakteristike koje ga čine pogodnim za statističku obradu. Modeliranje katastrofalnih klimatskih rizika je kompleksan proces, čiji uspeh prevashodno zavisi od dostupnosti i kvaliteta kvantitativnih i kvalitativnih inputa, koji na najbolji način reflektuju obeležja prirodne pojave. Pored tradicionalnih usluga, delatnost osiguranja je kao odgovor na vremenske i klimatske rizike osmislila nove sofisticirane usluge, među kojima prednjači osiguranje zasnovano na indeksu. U osnovi svakog ugovora o indeksnom osiguranju nalazi se vremenski indeks, koji predstavlja relativni pokazatelj odstupanja klimatskih varijabli od izabrane referentne tačke u referentnoj meteorološkoj stanici.

Univerzalna klasifikacija Centra za istraživanje epidemiologije katastrofa (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*) sve vremenske katastrofalne događaje, prema vrsti hazarda, razvrstava u tri grupe. U meteorološke događaje, uzrokovane kratkotrajnim atmosferskim i vremenskim uslovima, koji mogu trajati od nekoliko minuta do nekoliko dana, ubrajaju se ekstremne temperature, magla i oluje. Pod ekstremnim temperaturama se podrazumevaju hladni talasi, topli talasi i teški zimski uslovi (sneg, led i mraz), dok se oluje dele na tropske, supertropske i konvektivne oluje (kišne, grmljavinske, peščane, mećave, tornada i sl). Hidrološke, uzrokovane pojavom, kretanjem i naletima površinskih i potpovršinskih slatkih i slanih voda, obuhvataju poplave, klizišta i talase. Poplave mogu biti primorske, rečne, bujične i poplave uzrokovane pojavom leda u vodotoku. U klimatološke, uzrokovane dugotrajnim atmosferskim procesima, svrstavaju se suša, topljenje glečera i požari.⁶

Kod procene i eventualnog modeliranja direktnih šteta prouzrokovanih katastrofalnim vremenskim događajima jedan od realnih problema predstavlja činjenica da su podaci o štetama nedostupni, pogotovo u slabo razvijenim zemljama. Pored inicijalnog prepoznavanja i identifikovanja negativnog uticaja određenog vremenskog fenomena na poslovanje ili imovinu, od suštinske je važnosti da se

⁴ Swiss Re, *Natural catastrophes in 2021: the floodgates are open* *Sigma*, No 1/2022, Swiss Re Institute, Zurich, 2022, str. 3.

⁵ UNSIDR, *Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017*, 2017., str. 11 (14.01.2023), https://www.unisdr.org/2016/iddr/CRED_Economic%20Losses_10oct_final.pdf.

⁶ Ranke U., *Natural Disaster Risk Management: Geosciences and Social Responsibility*, Springer, 2015., str. 55 i 56.

prepoznata klimatska varijabla može meriti. S razvitkom meteorologije, uz sofisticiranije i kompjuterizovane merne instrumente, stvorila se mogućnost korišćenja sve šire lepeze vremenskih varijabli na osnovu kojih je moguće kreirati usluge osiguranja. Za razliku od samih početaka, kada je promena temperature bila jedini vremenski fenomen od koga je finansijsko tržište pružalo zaštitu, sada je moguće obezbediti zaštitu od gotovo svih vremenskih varijabli.

Važno je ukratko prokomentarisati razliku između merenja efikasnosti tradicionalnih vrsta osiguranja i osiguranja zasnovanog na indeksu. Naime, kod tradicionalnih vrsta osiguranja na bazi učestalosti i intenziteta neželjene pojave i do tada zabeleženih šteta kreiraju se modeli na osnovu kojih se vrši procena osnovnih elemenata ugovora o osiguranju i projektovanih gubitaka. Statistike se koriste kao polazne vrednosti i daju osnovu za meru očekivanih rezultata transfera rizika. Indeks, koji se nalazi u osnovi usluga indeksnog osiguranja, mora biti u korelaciji s prinosima, ukoliko se govori o poljoprivredi, ili s prihodima osiguravanih. U suprotnom, neće biti dobra osnova za kreiranje osiguravajuće usluge. Činjenica je da isplata po tim ugovorima ne zavisi od visine prouzrokovane štete, već od odstupanja ostvarenih vrednosti indeksa u odnosu na referentne. Iz pomenutih razloga u cilju procene efikasnosti indeksnog osiguranja u obzir se moraju uzeti i svi drugi bitni elementi, kao što su funkcija isplate, pokrivenost područja mernim stanicama ili udaljenost konkretne lokacije od referentne merne stanice.

Da bi indeks bio pogodna osnova, mora da ispuni nekoliko dodatnih uslova koji utiču na nivo pouzdanosti, odnosno na to da indeks bude od poverenja, pouzdan, da nije podložan ljudskoj manipulaciji, pri čemu rizik merenja indeksa mora biti nizak.⁷ Javno dostupna merenja vremenskih prilika u najvećoj meri ispunjavaju te uslove. U slučaju indeksa vremenskih prilika, merne jedinice trebalo bi da pružaju smislene informacije o stanju vremenske varijable tokom perioda ugovora i često ih definišu potrebe tržišnih učesnika. Indeksi često predstavljaju kumulativne mere padavina, ili temperature tokom određenog perioda. U nekim primenama, prosečne vrednosti padavina ili temperatura koriste se umesto kumulativnih merenja. Nove tehnološke inovacije, među kojima su i sofisticirani satelitski prikazi iz kojih se zatim mogu izvući podaci o vremenu u visokoj rezoluciji i niska cena stanica za praćenje vremena koje se mogu instalirati na mnogim lokacijama, proširiće broj oblasti gde je moguće meriti vremenske varijable, kao i vrste merljivih varijabli.⁸

Indeks bi trebalo da bude relativno lako razumljiv i konceptualno jednostavan. Osim čisto statističkih mera, indeks i proces nadoknade gubitka u osnovi treba da imaju razumno zajedničku uzročnost. Drugim rečima, nivo gubitaka i vrednost

⁷ Hess U., „Weather index insurance for coping with risks in agricultural production“, in Motha R.P, Sivakumar M. V. K., *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture*, Springer Berlin Heidelberg, 2007., str. 382.

⁸ Ibid, str. 384.

indeksa treba da imaju zajedničke uzročne faktore. Važno je da vremenski okvir za promenu vrednosti indeksa bude konzistentan s nastankom procesa gubitka. Drugim rečima, i uopštenije gledano, vrednost indeksa ne bi trebalo da značajno zaostaje za pojavom gubitaka. Umesto toga, indeks bi u suštini trebalo da reaguje na gubitke onda kada se ovi pojave.⁹ Takođe, indeks ne bi trebalo da bude izvor moralnog hazarda. Moralni hazard se odnosi na mogućnost povećanja prijavljenih gubitaka od strane osiguranika kako bi se povećala odšteta. Taj potencijal ne postoji ukoliko se okidač zasniva na plaćenim gubicima, jer bi korist od bilo kakvog oprosta duga bila neutralisana dodatnim isplata gubitaka. S druge strane, postoji malo potencijala za moralni hazard u ugovorima zasnovanim na indeksu. Dakle, sa stanovišta smanjenja moralnog hazarda, poželjno je da indeks bude što je moguće šire postavljen.

Poželjno je i da se indeks može modelirati na osnovu izloženosti, ili na osnovu istorijske baze podataka. Treba imati na umu da opsežni istorijski podaci možda neće biti dostupni za nedavno razvijene indekse, ali indeks koji se pokaže korisnim ohrabriće prikupljanje relevantnih informacija. Pored testiranja u praksi, otvaranje novih tržišta i usluga osiguranja svakako bi doprinelo i razvoju okvira za procenu efektivnosti indeksa. Od presudne važnosti je da podaci potrebni za konstrukciju indeksa ne podležu manipulaciji. U zavisnosti od mere u kojoj se indeks sastoji od podataka iz nekoliko izvora, manipulacija jednim izvorom podataka ne bi trebalo da dovede do značajne manipulacije ukupnim indeksom. U meri u kojoj je to moguće, podaci koji čine indeks treba da budu proverljivi. Međunarodno udruženje supervizora osiguranja ukazuje na naročito obraćanje pažnje na indekse razvijene od strane jedne kompanije, ili koji se zasnivaju samo na jednom izvoru. Pomenuti indeksi trebalo bi da zahtevaju veću pažnju osiguranika i nadzornih organa, kako bi se zaštitili od moguće manipulacije.¹⁰

III. Temperaturni indeksi

Temperaturni indeksi, koji su prvi razvijeni, i dalje su najzastupljenija vrsta vremenskih indeksa, što je sasvim razumljivo imajući u vidu sveprisutan uticaj varijacija u temperaturi na gotovo sve privredne aktivnosti. Takođe, vremenska i prostorna zastupljenost meteoroloških kapaciteta i dostignuća meteorološke nauke ukazuju na najkonzistentniji pristup u izučavanju upravo ove vremenske varijable.

⁹ Kako bi se otklonile eventualne posledice loše definisanog indeksa, Međunarodno udruženje supervizora osiguranja (*The International Association of Insurance Supervisors*) predlaže postojanje arbitraže, koja bi dodatno uticala na kredibilitet indeksa. 12) IAIS, „Issues Paper on Index Based Insurances“, *Particularly in Inclusive Insurance Markets*, International Association of Insurance Supervisors, 2018., str. 19 <https://www.iaisweb.org/uploads/2022/01/180618-Issues-Paper-on-Index-based-Insurances-particularly-in-Inclusive-Insurance-Markets.pdf> (29.12.2022).

¹⁰ Ibid, str. 32.

Najpoznatiji temperaturni indeksi jesu indeksi koji izražavaju kumulativne varijacije dnevnih temperatura vazduha tokom posmatranog perioda u odnosu na referentnih 18°C ili 65°F i u skladu sa nazivima na engleskom jeziku označeni su međunarodno priznatim oznakama HDD (*Heating degree days - HDD*) i CDD (*Cooling degree days - CDD*).

HDD indeks se koristi tokom zimskog perioda i računa se pomoću formule:

$$HDD = maks\{0, (T_{ref} - T_{pros})\} \quad (1)$$

gde je

T_{ref} – referentna temperatura,

T_{pros} – prosečna temperatura.

Prosečna temperatura se izračunava prema formuli:

$$T_{pros} = \frac{T_{maks} + T_{min}}{2} \quad (2)$$

gde je,

T_{maks} – maksimalna dnevna temperatura,

T_{min} – minimalna dnevna temperatura.¹¹

Referentna temperatura je unapred izabrana vrednost. U Evropi se izražava po Celzijusovoj skali i iznosi 18°C, dok se na području Amerike izražava u farenhajtima i iznosi 65°F. Indeks ne može uzimati negativne vrednosti. U tabelama 1 i 2 dat je primer izračunavanja HDD indeksa.

Tabela 1. Primer izračunavanja HDD indeksa / hladnije vreme

Referentna temperatura (A)	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	kumulativ
Maksimalna temperatura	14°C	16°C	15°C	12°C	10°C	12°C	15°C	/
Minimalna temperatura	12°C	10°C	9°C	6°C	6°C	8°C	11°C	/
Prosečna temperatura (B)	13°C	13°C	12°C	9°C	8°C	10°C	13°C	/
HDD (A-B)	5	5	6	9	10	8	5	48

Izvor: sopstvena kalkulacija

¹¹ Asseldonk M.A., Insurance against weather risk: Use of heating degree-days from non-local stations for weather derivatives, *Theoretical and Applied Climatology*, 74 (2003), 2003., str. 138.

Tabela 2. Primer izračunavanja HDD indeksa / toplije vreme

Referentna temperatura (A)	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	kumulativ
Maksimalna temperatura	20°C	19°C	21°C	18°C	22°C	18°C	17°C	/
Minimalna temperatura	18°C	17°C	15°C	16°C	18°C	16°C	15°C	/
Prosečna temperatura (B)	19°C	18°C	18°C	17°C	20°C	17°C	16°C	/
HDD (A-B)	0	0	0	1	0	1	2	4

Izvor: sopstvena kalkulacija

Kao što se može videti na osnovu tabela 1 i 2, veća vrednost HDD indeksa ukazuje na nižu temperaturu vazduha u posmatranom periodu i obrnuto. Na osnovu rezultata prethodnog hipotetičkog primera, možemo videti da HDD indeksu od 48 korelira prosečna temperatura vazduha na nedeljnom nivou od 11,14°C, dok u drugom slučaju vrednosti HDD indeksa od 4 korelira prosečna nedeljna temperatura vazduha od 17,85°C. Situacija u drugom slučaju može izazvati ozbiljne štetne posledice po industriju energije, jer će toplije vreme tokom zimskog perioda voditi manjoj potrošnji toplotne energije.

CDD indeks se koristi tokom letnjeg perioda i računa se prema formuli:

$$CDD = maks\{0, (T_{pros} - T_{ref})\} \quad (3)$$

gde je

T_{pros} – prosečna temperatura,

T_{ref} – referentna temperatura.¹²

Veće vrednost CDD indeksa ukazuju na višu temperaturu vazduha od prosečne i suprotno. Takođe, kao i prethodni, CDD indeks ne može uzimati negativne vrednosti. Temperaturni indeksi se koriste i mere najčešće za tačno određeni period. Na primer, za kreiranje usluga osiguranja za potrebe poljoprivrede koristiće se kumulativni CDD indeks za vreme žetve ili HDD za vreme setve. U Tabeli 3 prikazan je način izračunavanja CDD indeksa.

Tabela 3. Izračunavanje CDD indeksa

Referentna temperatura (A)	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	18°C	kumulativ
Maksimalna temperatura	25°C	26°C	28°C	18°C	22°C	25°C	27°C	/
Minimalna temperatura	15°C	16°C	14°C	16°C	12°C	11°C	15°C	/
Prosečna temperatura (B)	20°C	21°C	22°C	17°C	17°C	18°C	21°C	/
CDD (B-A)	2	3	4	0	0	0	3	12

Izvor: sopstveni prikaz

¹² Ibid, str. 139.

IV. Drugi vremenski indeksi

Istraživanju fenomena suše, koji sa katastrofalnim posledicama pogađa veliki broj zemalja, u poslednjih nekoliko decenija posvećena je posebna pažnja. Sveobuhvatan pristup u izučavanju suše razvijen je u Brazilu, gde se pored Nacionalne naučne akademije ovim fenomenom svakodnevno bavi nekoliko nacionalnih institucija uključujući Nacionalni institut za svemirska istraživanja (*National Institute for Space Research – INPE*), Nacionalni institut za meteorologiju (*National Institute of Meteorology – INMET*) i Nacionalni centar za praćenje i rano upozoravanje na prirodne katastrofe.¹³ Pomenute institucije su se bavile procenom suše uz pomoć standardizovanog indeksa padavina (SPI indeksa), predstavljajući rezultate koji omogućavaju korišćenje informacija za predviđanje i ublažavanje negativnih posledica.

Standardizovani indeks padavina (SPI), koji je predložio američki naučnik Tomas Mek Ki (Thomas McKee), odgovara broju standardnih devijacija, gde je posmatrana količina padavina van klimatoloških proseka u toku određenog vremenskog raspona. Za kreiranje SPI pripremaju se setovi podataka o padavinama za m meseci, pri čemu se smatra da je najpogodniji period posmatranja najmanje 30 godina. Potom se od setova podataka kreiraju proseci za i meseci, pri čemu i uzima vrednosti 3, 6, 12, 24 i 48 meseci. Svaki novi set podataka o padavinama poredi se s prethodnim periodom. Period suša ima svoju potvrdu kada je vrednost indeksa u kontinuitetu manja od -1. Kada je vremenska skala mala (npr. 1, 2 ili 3 meseca), SPI se često pomera iznad ili ispod nule, posmatrajući meteorološki režim suše. S porastom prosečne skale (npr. 12–24 meseca), SPI slabije reaguje na promene padavina posmatrajući hidrološki režim suše. Dobijene vrednosti indeksa mogu se porediti sa serijama iz drugih područja, međutim, može se ustanoviti i određena veza između raspona vrednosti SPI i kvalitativne procene padavina posmatrane tokom određenog vremenskog raspona. Međunarodni centar za istraživanje klime i društva Univerziteta Kolumbija utvrdio je najučestaliju vezu indeksa i padavina, koju možemo videti u Tabeli 4.

Tabela 4. Veza između vrednosti SPI indeksa i klimatskih kategorija

SPI vrednosti	Kategorije
SPI > 2	Ekstremno vlažno
1.50 < SPI < 1.99	Dosta vlažno
1.00 < SPI < 1.49	Umereno vlažno
-0.99 < SPI < 0.99	Skoro normalno

¹³ U prvim decenijama ovog veka Brazil je pogodilo nekoliko katastrofalnih vremenskih događaja prouzrokovanih sušom. Suša je u periodu 2012–2016. godine pogodila teritoriju nastanjenu sa oko 33,4 miliona ljudi i prouzrokovala štetu od 30 milijardi USD. 17). Marengo J. A, at all, „Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region“, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 2018., str. 1975.

SPI vrednosti	Kategorije
-1.00>SPI> - 1.49	Umereno suvo
-1.50>SPI> - 1.99	Ozbiljno suvo
SPI <-2.00	Ekstremno suvo

Izvor: Brunini O., at all, „Coping Strategies with Agrometeorological Risk and Uncertainties for Drought Examples in Brasil”, in Motha R.P, Sivakumar M. V. K., *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture*, Springer, Berlin Heidelberg, 2007., str. 286.

Empirijska istraživanja ustanovila su da funkcija raspodele verovatnoće padavina odgovara gama raspodeli,¹⁴ kojoj odgovara sledeća funkcija gustine:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha G(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad \text{za } x>0 \quad (4)$$

gde je

α – parametar oblika,

β – parametar veličine,

x – količina padavina,

$G(\alpha)$ – gama funkcija definisana izrazom

$$G(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy. \quad (5)$$

Funkcija gustine verovatnoće gama raspodele daje različite forme na osnovu varijacije α . Vrednosti tog parametra koje su manje od 1 pokazuju jaku asimetričnu distribuciju (eksponencijalan oblik) sa $g(x)$ koja je beskonačna kada x dostigne 0. Kada je $\alpha=0$ funkcija presreće vertikalnu osu u β za $x=0$. Porast parametra smanjuje asimetrični stepen distribucije. Vrednosti za α koje su veće od 1 rezultiraju funkciji gustine nadesno sa maksimalnom vrednošću u β^* ($\alpha-1$). Porast parametra β smanjuje visinu funkciji gustine i smanjuje verovatnoću pojave modalne vrednosti. Slično tako, kako se gustina sabija nalevo (smanjenje veličine β), i visina funkcije postaje veća, a mogućnost pojave modalne vrednosti raste.

Upravo zbog toga, varijacije α i β u državi pokazuju koje su oblasti s najvećim stepenom asimetričnosti u vremenskoj distribuciji padavina (neregularnost količine padavina). Uzimajući u obzir suše, nepravilnosti povezane sa uslovima okruženja u svakoj oblasti, te regije su pod najvećim rizikom da budu predmet meteoroloških suša.¹⁵

Jedan od najvažnijih koraka u pravilnom sagledavanju pojave suše jeste kalkulacija padavina. Klimatološki adekvatni uslovi (**P**) mogu se shvatiti kao količina

¹⁴ McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J., 1993., „The relationship of drought frequency and duration to time scales”, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, (24.01.2023), http://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf.

¹⁵ Brunini O., at all, 2007., str. 287.

mesečnih padavina neophodna za određenu oblast kako bi ona ostala pod normalnim klimatskim uslovima. Taj parametar je izračunao i opisao Vejn Palmer (Wayne Palmer). Za računanje mesečnih anomalija u vodenom prilivu (d), padavine posmatrane u mesecu (P_j) upoređuju se sa adekvatnim klimatološkim uslovima \mathbf{P} u istom periodu:

$$d = P_j - \mathbf{P} \quad (6)$$

Pošto je Palmer razvio standardizovan indeks na osnovu poređenja podataka s različitim lokacija u bilo kom periodu, za njegovu konkretnu primenu prilikom analize podataka na određenoj lokaciji neophodno je da bude standardizovan na regionalnoj bazi. U tom cilju, Palmer je razvio faktor klimatološke kategorizacije označen slovom K

$$K = 17,67 \frac{K^1}{\sum_{i=1}^{12} DK^1} \quad (7)$$

gde je

$$K^1 = 1,5 \log_{10} \left[\frac{T+2,8}{D} \right] + 0,5 \quad (8)$$

T – odnos potrošnje i zaliha vode u regionu,
 D – mesečni proseki apsolutnih vrednosti za d .

Palmer je predložio sledeću vezu indeksa, padavina i suše.

Tabela 5. Veza između Palmerovog indeksa i kategorija suše

Palmerov indeks	Kategorije
≥ 3.00	Ekstremno vlažno
$2.00 < a < 2.99$	Ozbiljno vlažno
$1.00 < a < 1.99$	Umereno vlažno
$0.51 < a < 0.99$	Malo vlažno
$0.50 > a > -0.50$	Blizu normalnog
$-0.51 > a > -0.99$	Početak suše
$-1.00 > a > -1.99$	Umerena suša
$-2.00 > a > -2.99$	Ozbiljna suša
≤ -3.00	Ekstremna suša

Izvor: Brunini O., at all, 2007., str. 288.

U jednom broju zemalja, kao što je to slučaj u Australiji, prilikom procene stepena suše koristi se metod decile. Decile metod se sastoji najpre iz organizacije u rastućem poretku, a potom i klasifikacije istorijskih podataka o padavinama

akumuliranim u određenom periodu, uglavnom 1, 3, 6, 12 ili više meseci, na 10 intervala jednake frekvencije. Tako da verovatnoća pojave u bilo kom intervalu iznosi 10%. Ti intervali su nazvani decile i numerisani su brojevima od 1 do 10. N je broj registrovanih istorijskih posmatranja. Prvi decile sadrži n_1 najmanjih vrednosti za padavine, gde n_1 odgovara celom broju $(N/10)$. Drugi decile sadrži sledeće vrednosti (n_2 & n_1), gde je $n_2 = (N/20)$ itd. Nakon toga, kategorija će odgovarati svakoj decili, odnosno, deskriptivnom konceptu količine padavina u kome će decile biti grupisane. To znači da bi više od jedne decile moglo biti povezano sa istom kategorijom. Ukoliko se svaka kategorija označi određenom bojom, mogu se iscrtati mape koje pokazuju količinu padavina, proveravajući tako za svaku tačku vrednost količine padavina posmatranu tokom određenog perioda i iscrtavajući tačku na mapi s bojom koja je povezana s kategorijom. Metodologija korišćenja klasifikacije količine padavina po metodu decila prikazana je u Tabeli 6.

Tabela 6. Klasifikacija prema decile metodu

Decile	Originalno postavljena klasifikacija	Klasifikacija usvojena u Australiji	Klasifikacija usvojena od strane INMET-a (Brazil)	
	Kategorija	Kategorija	Kategorija	Indeks
1	Mnogo ispod normalnog	Najniža	Ekstremno ispod normalnog	-3
		Dosta ispod proseka		
2	Ispod normalnog	Ispod proseka	Ispod normalnog	-2
3			Malo ispod normalnog	-1
4	Blizu normalnog	Prosečna	Normalna	0
5				1
6				2
7	Iznad normalnog	Iznad proseka	Malo iznad proseka	1
8				Iznad proseka
9	Mnogo iznad normalnog	Dosta iznad proseka	Ekstremno iznad proseka	3
10		Najviša		

Izvor: Brunini O., at all, 2007., str. 289.

Kao što se može videti u Tabeli 6, pored opšte klasifikacije, australijski biro za meteorologiju i Nacionalni institut za meteorologiju Brazila (INMET) izvršili su određene modifikacije i usvojili sopstvene klasifikacije, prikazane u drugoj i trećoj koloni tabele, a koje su povezane s numeričkim indeksom čiji je raspon između -3 i 3 za svaku kategoriju. Po uzoru na decile metod, kvartile metod se sastoji iz klasifi-

kacije akumulirane količine padavina tokom određenog perioda (vremenska skala) X , u pet kategorija, što se može videti u Tabeli 7.

Tabela 7. Klasifikacija padavina po kvantile metodu

Nivo padavina	Povezana verovatnoća	Kategorije (posmatrane padavine)
Kvantil 1	15%	Veoma suvo
Kvantil 2	20%	Suvo
Kvantil 3	30%	Normalno
Kvantil 4	20%	Vlažno
Kvantil 5	15%	Veoma vlažno

Izvor: Brunini O., at all, 2007., str. 290.

Prvi kvantil, $0 \leq X \leq Q_1$, gde je Q_1 takav da je verovatnoća $P(X \leq Q_1) = 0.15$

Drugi kvantil, $Q_1 < X \leq Q_2$, gde je Q_2 takav da je verovatnoća $P(X \leq Q_2) = 0.35$

Treći kvantil, $Q_2 < X \leq Q_3$, gde je Q_3 takav da je verovatnoća $P(X \leq Q_3) = 0.65$

Četvrti kvantil, $Q_3 < X \leq Q_4$, gde je Q_4 takav da je verovatnoća $P(X \leq Q_4) = 0.85$

Peti kvantil, $X > Q_4$.

Isto kao i kod SPI indeksa, za određivanje vrednosti Q_i , $i=1, \dots, 5$, model verovatnoće je prilagođen (normalna gama raspodela) istorijskim podacima u periodu posmatranja. X je količina padavina za određeni period, dok je $F(x)$ funkcija gustine, koja je prilagođena istorijskim vrednostima za X , dok je F_1^{-1} prilagođena inverznoj F funkciji, tako da je:

$$Q_1 = F^{-1}(0.15), Q_2 = F^{-1}(0.35), Q_3 = F^{-1}(0.65) \text{ i } Q_4 = F^{-1}(0.85).$$

Svaki od pet opisanih kvantila povezan je s kvalitativnom klasifikacijom iz Tabele 7. Kao i kod drugih modela, određeni period je 1, 3, 6, 12 ili više meseci.¹⁶

Sa izuzetkom Palmerovog indeksa, suština goreopisanih metoda je ista i njihovi rezultati će se razlikovati jedino u smislu postojanja određenih varijacija

¹⁶ Brunini O., at all, 2007., str. 290.

u kategorizaciji vremenske pojave, u ovom slučaju suše. U cilju identifikovanja, a potom i što realističnijeg utvrđivanja uzročno-posledične veze između vremenske pojave i konkretne prouzrokovane štete, postojeći, tradicionalni meteorološki indeksi su dopunjeni. Bitno je spomenuti da fenomen suše može biti određen u odnosu na meteorološke, hidrološke, agronomske i socioekonomske aspekte. Međutim, sa agronomskog gledišta, svako upravljanje i prognoziranje mora biti zasnovano na metodama koje uključuju agronomiju i agrometeorološko znanje. U tom smislu, razvijeni su kompozitni vremenski indeksi, kao što su evapotranspiracioni standardizovani indeks, indeks vlage, indeks uticaja vode na rod i indeks razvijanja roda kao funkcije vlažnosti.

Indeks Ko (IndexCo) je najeminentnija svetska kompanija koja se bavi kreiranjem indeksa za potrebe delatnosti osiguranja i finansijskog tržišta u širem smislu. Indeks katastrofe *Gaj Karpenter* (Guy Carpenter Catastrophe Index), koji je u vlasništvu kompanije „Indeks Ko“, oblikovan je za merenje iznosa osigurane štete na kućama u SAD od atmosferskih opasnosti kao što su uragani, tornada, oluje, gradovi i zamrzavanje. Indeks je iskazan kao koeficijent štete prema vrednosti, odnosno kao koeficijent osiguranih šteta prema osiguranoj vrednosti. Indeks se objavljuje za svih 50 država i distrikt Kolumbiju, dok se za Teksas objavljuje u posebnom procesu. Indeks se može prilagoditi gotovo svim područjima u SAD. Izračunava se na osnovu konkretnog događaja i na agregatnoj osnovi. U slučaju izračunavanja na osnovu konkretnog događaja, indeks meri štetu najvećeg katastrofalnog vremenskog događaja koji je pogodio određenu lokaciju u određenom vremenskom rasponu. U slučaju izračunavanja na agregatnoj osnovi, indeks meri ukupnu štetu od određene vrste vremenske katastrofe u određenom vremenskom rasponu.

Indeks je namenjen kreiranju usluga osiguranja stambenih objekata, pri čemu je važno napomenuti da te usluge ne mogu obuhvatati i zaštitu od drugih opasnosti, kao što su poplave, vetar, munje ili zemljotres. Najdetaljnija i najpogodnija izveštajna jedinica potrebna za kreiranje indeksa na nivou je poštanskog broja ili grupe poštanskih brojeva sastavljenih tako da pokrivaju veću geografsku oblast i tako formiraju verodostojnu izveštajnu oblast. Indeks se zatim može agregirati na bilo kojem drugom višem nivou. Da bi se poštanski broj kvalifikovao kao izveštajna jedinica, mora imati najmanje 1.000 naseljenih stambenih jedinica i najmanje četiri osiguravajuće kuće koje pokrivaju područje i učestvuju u osiguranju pomenutih stambenih jedinica, pri čemu svaka od njih mora obezbeđivati podatke o najmanje deset kuća sa minimum 700.000 USD osigurane stambene vrednosti. Ukoliko je potrebno kreirati indeks, a poštanski broj nije kvalifikovan kao izveštajna jedinica, u cilju kreiranja adekvatnog indeksa pomenuti poštanski broj se grupiše zajedno sa drugim poštanskim brojevima sve dok se ne kreira područje koje se može kvalifikovati kao izveštajna jedinica. Kada se definiše izveštajna jedinica, indeks se izračunava tako što se saberu vrednosti LTV racija (štete u odnosu na vrednost) svih osiguravajućih

kuća sa izabranog područja i taj broj se potom podeli sa brojem kompanija. Indeks se objavljuje za naredna dva šestomesečna perioda.

RMS indeks poredi model katastrofe u odnosu na potencijalnu izloženost delatnosti. Kada su svi parametri katastrofalnog događaja poznati nakon katastrofe, kao što su centralni pritisak, brzina kretanja i radijus maksimalnog vetra i sl, unose se u model katastrofe da bi se odredio gubitak generisan modelom. Gubici generisani modelom za opasnosti poput uragana, tajfunu, ciklona i zemljotresa mogu se izračunati za događaje koji se dešavaju širom sveta. Gubici generisani modelima dele se sa 100 miliona dolara i zaokružuju na najbliži celi broj da bi se dobila vrednost indeksa. Indeks je dostupan i na bazi događaja i na agregatnoj osnovi.

Prag pojave (Rihterove skale) za zemljotrese varira od 5.0 do 7.0 po regionima. Prag događaja za uragane je Safir-Simpson kategorija 1 ili više. Gubici generisani modelom mogu se prijaviti na nivou područja poštanskog broja za različite periode. Konačne vrednosti indeksa dostupne su 28 dana nakon događaja.

Svake godine, „Svis Re“ (Swiss Re), Švajcarsko reosiguravajuće društvo, objavljuje časopis *Sigma* posvećen prirodnim katastrofama i katastrofama izazvanim ljudskim delovanjem. Na osnovu pomenutih podataka, razvijen je sigma indeks. U početku nije bio oblikovan da bude indeks, međutim, kao takav se može koristiti na finansijskom tržištu u transakcijama sa derivatima. Prirodne katastrofe uključuju poplave, oluje, zemljotrese (uključujući potrese morskog dna i cunami), suše, požare koji zahvataju rastinje (uključujući toplotne udare), hladnoću, mraz i druge (uključujući grad i lavine). Katastrofe izazvane ljudskim delovanjem uključuju velike požare, eksplozije, katastrofe u vazduhoplovstvu, katastrofe brodova, katastrofe na putevima/železnicama, nesreće u rudarstvu, propadanje gradnje/mostova i razno (uključujući terorizam). Indeks se najčešće koristi za međunarodnu sekjuritizaciju. „Svis Re“ je objavio tabele sa velikim gubicima od 1970. godine. Izvori podataka su dnevne novine, Služba za imovinska potraživanja, periodične publikacije primarnog osiguranja i reosiguranja, stručne publikacije, kao i izveštaji primarnih osiguravajućih i reosiguravajućih društava.

V. Zaključak

Razumevanje složene prirode izloženosti i ranjivosti preduslov je za utvrđivanje kako vremenske prilike i klimatski događaji doprinose pojavama katastrofa, kao i za osmišljavanje i sprovođenje delotvornih strategija za adaptaciju i upravljanje rizicima od katastrofa. Prethodna iskustva sa klimatskim ekstremima doprinose razumevanju delotvornog upravljanja rizicima od katastrofa, kao i usvajanju pristupa za upravljanje ovim rizicima. Jačina uticaja klimatskih ekstrema u velikoj meri zavisi od nivoa izloženosti i ranjivosti prema tim ekstremima. Tendencije izloženosti i ranjivosti glavni su pokretači promena kada su u pitanju rizici od katastrofa. Razumevanje

složene prirode izloženosti i ranjivosti preduslov je za utvrđivanje kako vremenske prilike i klimatski događaji doprinose pojavama katastrofa, kao i za osmišljavanje i sprovođenje delotvornih strategija za adaptaciju i upravljanje rizicima od katastrofa.

Jedan od najinovativnijih odgovora na sverastuču pretnju od klimatskih rizika jesu usluge indeksnog osiguranja. Preduslov njihove primene je svakako mogućnost modeliranja određene vremenske varijable indeksima. Sublimirajući osnovne kvalitativne karakteristike koje bi indeksi trebalo da imaju, mogu se uočiti potencijalne protivrečnosti, odnosno međusobno isključujući zahtevi. Jasno je da će teško koji indeks zadovoljiti svaku karakteristiku u meri u kojoj se može porediti. Prema tome, dobar indeks često podrazumeva kompromis između više različitih karakteristika.

Nedostatak delotvornih tržišnih mehanizama zaštite od vremenskih rizika u Srbiji moraće da bude nadomešten, pre svega imajući u vidu štete prouzrokovane poplavama. Dok sa tehničkog aspekta, u vidu postojanja mreže mernih stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda postoje mogućnosti kreiranja vremenskih indeksa, pre svih temperaturnih i padavina, Zakon o osiguranju ne predviđa postojanje ovakve vrste usluga osiguranja. Na osnovu praktične primene ovog modela, pre svega u Latinskoj i Severnoj Americi, jasno se mogu uočiti njegove brojne prednosti i koristi, koje bi imale pozitivne efekte na ekonomiju Srbije.

Literatura

- Alderman H., Haque T., „Insurance Against Covariate Shocks“, The World Bank Washington, D. C., 2007.
- American Academy of Actuaries, „Evaluating the Effectiveness of Index-Based Insurance Derivatives in Hedging Property/Casualty Insurance Transactions“, Report of The Index Securitization Task Force, Washington D. C. 1999.
- Asseldonk M. A., Insurance against weather risk: Use of heating degree-days from non-local stations for weather derivatives, *Theoretical and Applied Climatology*, 74 (2003), 2003.
- Brunini O., at all, „Coping Strategies with Agrometeorological Risk and Uncertainties for Drought Examples in Brasil“, in Motha RP, Sivakumar M. V. K., *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture*, Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- Elabeda G., Bellemare M. F., Cartera M. R, Guirkingerc C., Managing basis risk with multiscale index insurance, *Agricultural Economics* 44 (2013), International Association of Agricultural Economists, 2013.
- Hellmuth M. E., Osgood D. E., Hess U., Moorhead A. and Bhojwani H. (eds) 2009. Index insurance and climate risk: Prospects for development and disaster management. *Climate and Society* No. 2. International Research, Institute for Climate and Society (IRI), Columbia University, New York, USA.

- Hess U., „Weather index insurance for coping with risks in agricultural production“, in Motha R. P, Sivakumar M. V. K., *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture*, Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- IAIS, „Issues Paper on Index Based Insurances“, *Particularly in Inclusive Insurance Markets*, International Association of Insurance Supervisors, 2018., str. 19, <https://www.iaisweb.org/uploads/2022/01/180618-Issues-Paper-on-Index-based-Insurances-particularly-in-Inclusive-Insurance-Markets.pdf> (29.12.2022).
- Marengo J. A, at all, „Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region“, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 2018.
- McCarthy N., „Demand for rainfall-index based insurance: a case study from Morocco“, International Food Policy Research Institute, Washington, D. C., 2003.
- McKee T.B, Doesken N. J, Kleist J., 1993., „The relationship of drought frequency and duration to time scales“, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, (24.01.2023), http://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf.
- Ranke U., *Natural Disaster Risk Management: Geosciences and Social Responsibility*, Springer, 2015.
- SwissRe, *Natural catastrophes in 2021: the floodgates are open*, *Sigma*, No 1/2022, Swiss Re Institute, Zurich, 2022.
- UNSIDR, *Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017*, 2017., (14.01.2023), https://www.unisdr.org/2016/iddr/CRED_Economic%20Losses_10oct_final.pdf.
- Weinhofer G., Busch T., *Corporate Strategies for Managing Climate Risks, Business Strategy and the Environment*, Vol. 22, 2013.