



Istraživanja I-71

Kratkoročni i srednjoročni učinci ekstremnih vremenskih prilika na hrvatsko gospodarstvo

Tihana Škrinjarić

Zagreb, lipanj 2023.



Navodi u tekstu stavovi su autora te ne moraju nužno izražavati stajalište ili mišljenje Hrvatske narodne banke.

O autorici

dr. sc. Tihana Škrinjaric
tihana.skrinjaric@gmail.hr



Abstract

This research examines the short-to-medium-term effects of weather changes on the Croatian economy by observing a simple model of an economy that includes changes in extreme weather events. Monthly data from 1999 to 2022 on the growth of the index of industrial production, inflation, energy inflation, changes in the unemployment rate, and selected weather variables are utilized to estimate several Vector Autoregression (VAR) models. The main finding indicates that inflation is mainly affected by weather shocks, especially drought. This means that monetary policy needs to consider this, mainly due to weather extremes being more frequent and of greater magnitudes. Furthermore, the insurance industry could also benefit from such findings due to the first quantification of such results on Croatian data.

Key words: climate change, weather effects, extreme weather, inflation

JEL: C3, O44, Q54



Kratkoročni i srednjoročni učinci ekstremnih vremenskih prilika na hrvatsko gospodarstvo

Sažetak

U ovom se istraživanju ispituju kratkoročni i srednjoročni učinci vremenskih promjena na hrvatsko gospodarstvo promatranjem jednostavnog modela gospodarstva koji uključuje promjene ekstremnih vremenskih prilika. U empirijskom dijelu rada rabe se mjesečni podaci od 1999. do 2022. za rast indeksa industrijske proizvodnje, inflaciju, inflaciju energije, promjenu stope nezaposlenosti i odabrane vremenske varijable. Pritom je procijenjeno nekoliko modela vektorske autoregresije (VAR) za pojedinačne slučajeve vremenskih varijabli kako bi se ispitao njihov učinak na odabrane makroekonomske varijable. Glavni nalaz rada upućuje na to da vremenske varijable najviše utječu na inflaciju, a posebice suša. To ima određene posljedice, u smislu da monetarna politika treba uzeti u obzir takve učinke, uglavnom zbog sve češćih i većih razmjera ekstremnih vremenskih uvjeta. Nadalje, sektor osiguranja također bi mogao imati koristi od ovakvih nalaza zbog prve kvantifikacije takvih rezultata na hrvatskim podacima.

Ključne riječi: klimatske promjene, učinci vremena, ekstremni vremenski uvjeti, inflacija

JEL: C3, O44, Q54



Sadržaj

Abstract	3
Sažetak	4
Sadržaj.....	5
1. Stilizirane činjenice	7
2. O ovom istraživanju.....	9
3. Pregled literature.....	12
4. Opis metodologije i podataka	15
4.1. Vektorska autoregresija (VAR)	15
4.2. Opis podataka	16
5. Empirijski rezultati	19
6. Zaključak	25
Prilog.....	28
Literatura	34



1. Stilizirane činjenice

Učinci ekstremnih vremenskih uvjeta predmet su istraživanja posljednjih nekoliko desetljeća. Sve su brojniji radovi koji se bave tom temom, a i sve je više smjerova istraživanja jer se stalno otvaraju nova pitanja. Medijima dominiraju vijesti o klimatskim promjenama, različitim klimatskim šokovima, prirodnim nepogodama itd. Kad je riječ o ekstremnim vremenskim događajima, 2021. bila je rekordna godina (Bloomberg, 2022.): ljetne temperature u Europi bile su za jedan Celzijev stupanj više od prosjeka u razdoblju od 1991. do 2020. Osim toga, u Europi su zabilježene rekordne količine oborina te snažni i dugotrajni toplinski valovi na Sredozemlju (Copernicus Climate Change Service, 2021.). Budući da su takve pojave sve neugodnije i učestalije, vrlo je važno promatrati učinke tih vremenskih ekstrema na gospodarstvo. Nužno je da ih kreatori ekonomskih politika i sektor osiguranja razumiju.

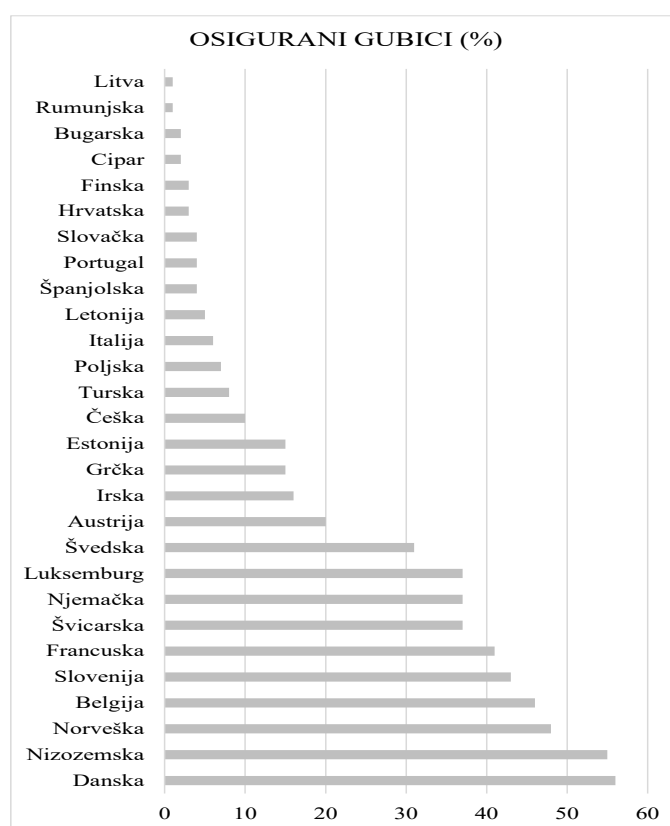
Prema Europskoj agenciji za zaštitu okoliša (EEA, 2022.) ukupni gospodarski gubici u EU-27 uzrokovani klimatskim ekstremima iznosili su 487 milijarda eura. Povrh toga, Europska središnja banka i Europski odbor za sistemske rizike (ESB/ESRB, 2020.) zaključuju da su fizički rizici koji proizlaze iz ekstremnih vremenskih događaja velik izvor rizika za financijski sustav i sektor osiguranja. To je vrlo važno znati jer je u EU-u od 1980. do 2018. samo 35% gubitaka povezanih s vremenskim prilikama bilo osigurano, s tim da su neke zemlje imale postotak osiguranih gubitaka mnogo niži od prosjeka, a Hrvatska samo 3%. Neke su zemlje imale samo nekoliko postotnih bodova osiguranih gubitaka uzrokovanih vremenskim prilikama (vidi Sliku 1.). Također se procjenjuje da su od 1980. do 2020. ukupni gubici uzrokovani vremenskim i klimatskim ekstremnim događajima iznosili 2,860 milijuna eura, odnosno 643 milijuna eura po stanovniku, a od toga su osigurani gubici iznosili samo 83 milijuna eura. Vrijednost i struktura prijavljenih šteta uzrokovanih vremenskim prilikama u Hrvatskoj u posljednjih nekoliko godina prikazani su na Slici 2. Promjenjivost tih šteta može se vidjeti u kategoriji "ostalo", koja ima sve veći udio u ukupnoj šteti u promatranom razdoblju. Premije osiguranja i udjeli u ukupnom osiguranju u Hrvatskoj prikazani su na Slici 3.

Osim toga, kontrolna ploča razlika u pokrivenosti osiguranja od prirodnih katastrofa EIOPA-e (2020.a) pokazuje da Hrvatska spada u kategoriju srednjeg/visokog rizika od oluja i u kategoriju visokog rizika zbog nedostatne pokrivenosti osiguranja od potresa i



šumskih požara¹, a ukupna je razlika danas veća od povijesnog prosjeka. EEA (2017., 2020.) očekuje još veće pogoršanje i učestalost ekstremnih klimatskih događaja u Europi, što znači da će gospodarstvo i sektor osiguranja ubuduće snositi još teže posljedice. EIOPA (2022.) procjenjuje da su samo 2021. globalni gubici uzrokovani vremenskim događajima i prirodnim katastrofama iznosili 280 milijarda američkih dolara, od čega je samo 120 milijardi bilo osigurano. Budući da učinci vremenskih prilika na gospodarstvo pogađaju sektore osiguranja i mirovinskih fondova, potrebno je procijeniti kojim se putevima ti učinci prenose. Ti sektori moraju preispitati svoje ulagačke strategije, procjenu rizika i ostala pitanja važna za poslovanje².

Slika 1. Osigurani gubici od gospodarske štete uzrokovane ekstremnim vremenskim i klimatskim događajima, 1980. – 2020.



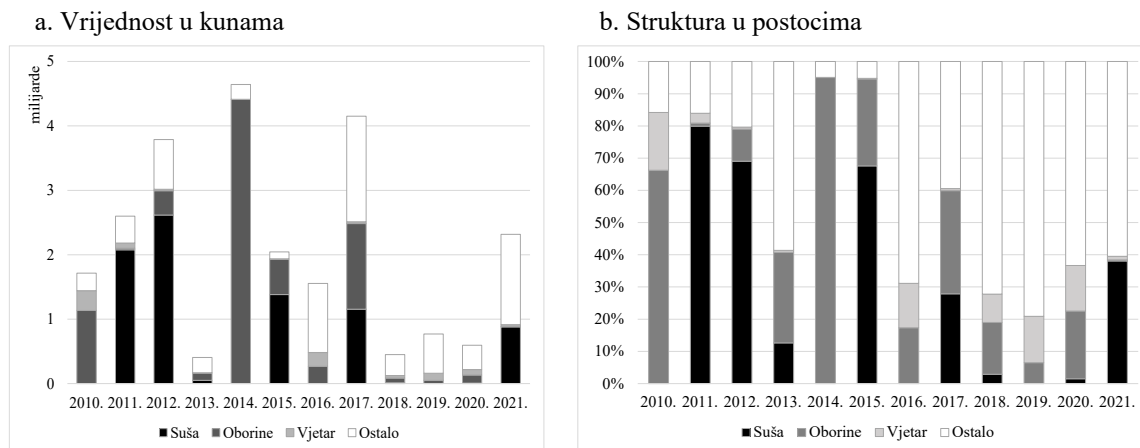
Izvor: Europska agencija za zaštitu okoliša (2022.)

¹ Na Slici A1. u Prilogu prikazane su razlike u pokrivenosti iz 2020. i povijesna razlika za 29 europskih zemalja. Prosjek pojedinačnih razlika u pokrivenosti u vezi s potresima, poplavama, šumskim požarima i olujama. Međutim, požari i problemi povezani s njima bili su predmet rasprave, vidi EIOPA (2020.b).

² Osim toga, još uvijek postoji nesklad između riječi i djela kada je riječ o klimatskim pitanjima, posebice u vezi s politikama kružne ekonomije (Friant et al. 2021.). Stoga bi ostvarenje konkretnih rezultata pridonijelo poboljšanju aktivnosti svih zainteresiranih strana.

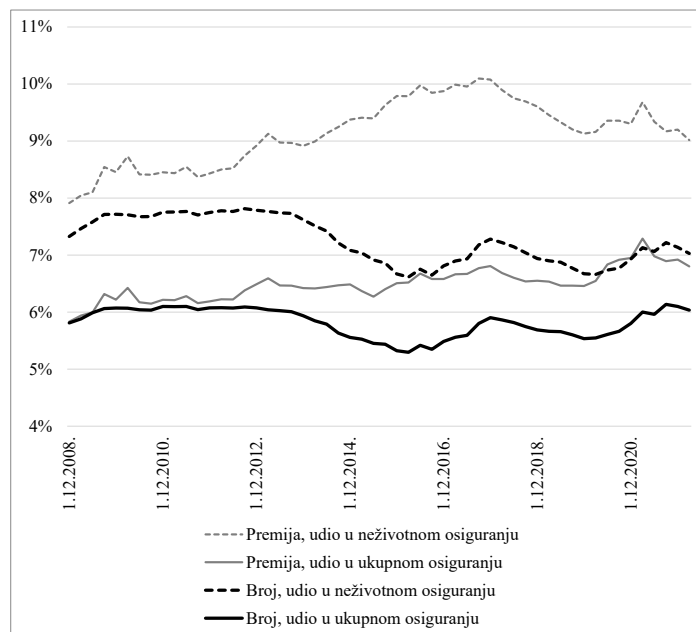


Slika 2. Prijavljene štete uzrokovane vremenskim prilikama u Hrvatskoj



Izvor: Ministarstvo financija (2022.)

Slika 3. Osiguranje od požara i prirodnih nepogoda, broj i udjeli premija



Izvor: Hanfa (2022.)

2. O ovom istraživanju

U ovom se istraživanju nastoji odgovoriti na pitanja o učincima ekstremnih vremenskih događaja na makroekonomiju u slučaju Hrvatske: kako vremenski šokovi utječu na



cijene, cijene energije, ukupni razvoj i nezaposlenost. U radu se primjenjuju vektorska autoregresivna analiza (VAR) i ekstremne vremenske varijable Instituta za agroekologiju i biološku raznolikost (IFAB, 2022.) te europski indeks ekstremnih klimatskih događaja (E^3CI), sastavljen po uzoru na aktuarski klimatski indeks (ACI), koji je izrađen za sjevernoameričke podatke. Razdoblje empirijske analize relativno je kratko, od 1999. do 2022., zbog nedostupnosti podataka makroekonomskih varijabli.

Zbog toga je zasad raspoloživa samo kratkoročna analiza. Na osnovi mjesečnih podataka o indeksu industrijske proizvodnje (IIP), inflaciji i inflaciji energije, stopi nezaposlenosti te odabranih ekstremnih vremenskih varijabli, u ovom se radu ispituju funkcije impulsnih odziva makroekonomskih varijabli na šokove vremenskih varijabli. Rast indeksa industrijske proizvodnje europodručja i tzv. kamatna stopa iz sjene ESB-a rabe se kao egzogene varijable jer je Hrvatska članica EU-a s malim i otvorenim gospodarstvom, na čiju monetarnu politiku uvelike utječe monetarna politika ESB-a. Vremenske varijable prikupljaju se iz novog skupa podataka IFAB-a (2022.), gdje je sintetski indeks E^3CI izrađen na osnovi vremenskih opasnosti povezanih sa stresovima uzrokovanim hladnoćom i vrućinom, jakim vjetrovima, obilnim oborinama i sušama. Svaka se opasnost promatra u zasebnom VAR modelu da bi se vidjeli njezini pojedinačni učinci na odabrane ekonomske varijable. U konačnom se modelu, E^3CI , kao prosjek pojedinačnih opasnosti, također smatra ukupnim mjerilom ekstremnih vremenskih događaja.

Takve analize mogu pružiti prvi uvid u učinke vremenskih ekstrema na gospodarstvo u cjelini. Ako određeni podaci još nisu raspoloživi za razmatranje, pogled iz ptičje perspektive može barem poslužiti kao odskočna daska dok se ne dobiju kvalitetnije informacije iz budućih analiza. Budući da osiguranje ima važnu ulogu u ublažavanju materijalizacije posebnih rizika povezanih s vremenskim prilikama, nužno je razumjeti kako vrijeme utječe na gospodarstvo.

Rad se iz nekoliko razloga bavi analizom jedne zemlje, mjesečnim podacima i Hrvatskom. Prvo, analiza jedne zemlje mogla bi pružiti bolje uvide u specifične rezultate jer se u ranijoj literaturi rezultati povezani s učincima vremenskih prilika na makroekonomske varijable razlikuju od jedne do druge zemlje i regije. Primjerice, Jones i Olken (2010.) konstatiraju da šokovi izazvani visokim temperaturama znatno utječu na izvoz zemalja u razvoju, više nego na izvoz bogatijih zemalja. Pisa et al. (2022.) iznose rezultate prema kojima šest najvećih zemalja europodručja različito reagira na nove cijene električne energije uzrokovane temperaturnim šokovima. Faccia et al. (2021.) navode da vremenski šokovi na različite načine utječu na indekse cijena



hrane, ovisno o tome je li riječ o gospodarstvima u nastajanju ili razvijenim gospodarstvima. Bernie et al. (2012.) također utvrđuju da vremenske nepogode utječu na cijene u različitim zemljama na različite načine. Prema tome, fokusiranjem na analizu pojedine zemlje mogle bi se dobiti bolje preporuke za kreatore politika i sektor osiguranja.

Kad je riječ o mjesečnoj frekvenciji podataka, promatra se viša frekvencija jer neki učinci vremenskih prilika mogu biti kratkotrajni. To je u skladu s Kim et al. (2022.), koji navode da bi zbog neočekivanih vremenskih šokova, uz kratkotrajnost ekstremnih varijabli, agregiranje toga na tromjesečnu frekvenciju dovelo do pristranosti u podacima. Osim toga, Colacito et al. (2019.) tvrde da bi bilo teže procijeniti temperaturne učinke na godišnjoj razini zbog uprosječivanja podataka tijekom godine. Raddatz (2009.) iznosi nalaze koji također pokazuju da ekstremne temperature, suše, poplave i oluje imaju snažan nepovoljan utjecaj na BDP kad se nepogoda dogodi. U toj se studiji ispituje Hrvatska jer njezina poljoprivreda i turizam uvelike ovise o učincima vremenskih šokova. Negativni učinci u tim sektorima mogu se proširiti i na druge sektore (Liu et al., 2021.b).

Nadalje, ideja je da se poveća osviještenost o problemima koje uzrokuju klimatske promjene i o posljedicama vremenskih šokova za hrvatsko gospodarstvo, najvažnijem problemu u nekim zemljama (vidi Škrinjarić, 2020.). Naime, prilagodba klimatskim promjenama događa se uglavnom kao odgovor na ekstremne vremenske događaje, kako navode Adger et al. (2013.). Zbog toga bi studije kao što je ova mogle pridonijeti povećanju odgovornosti vlada i sektora osiguranja.

Najvažniji nalazi ovog istraživanja upućuju na to da vremenski šokovi više i snažnije utječu na inflaciju nego na ostale varijable. Utvrđeno je da je suša varijabla koja najviše utječe na gospodarstvo. Iako ostali rezultati nisu značajni, imaju ispravan predznak. Ti rezultati mogu biti posljedica kratkih vremenskih serija i neraspoloživosti podataka. Međutim, prema početnim rezultatima može se zaključiti da bi se vremenski šokovi, ako se takvo ponašanje nastavi, mogli pogoršati i nepovoljno utjecati na rast i nezaposlenost, uz već ostvaren utjecaj na cijene.

Buduća istraživanja mogla bi također ići u smjeru pronalaženja dugoročnih učinaka i uključiti vremenske učinke u proizvodnu funkciju da bi se razmotrio utjecaj na ukupnu faktorsku produktivnost, proizvodnju i produktivnost rada. Takvi su pokušaji već zabilježeni, potpuno empirijski (Noy i Nualsri, 2007.; Cavallo et al., 2010.) i oni u kojima se empirijski nalazi kombiniraju s izradom teoretskog modela (Donadelli et al.,



2017.). Donadelli et al. (2017.) izradili su zanimljivu studiju u kojoj ispituju socijalne troškove temperaturnih šokova rabeći empirijske nalaze za kalibraciju dinamičkoga stohastičkog modela opće ravnoteže (DSGE) da bi komentirali učinke temperaturnih šokova na poslovni ciklus i financijska tržišta.

3. Pregled literature

U posljednjem se desetljeću naglo povećao obujam literature koja se bavi učincima ekstremnih vremenskih uvjeta na gospodarstvo i osiguranje te srodnim temama. To se područje može istraživati na mnogo načina. Stoga ćemo se u ovom odjeljku usredotočiti na one koje su usko povezani s ovim istraživanjem. Neki su od najvažnijih nalaza sljedeći. Prvo, u mnogim se radovima rabe panel-podaci s godišnjim frekvencijama; u nekima se promatra nekoliko desetljeća raspoloživih podataka, a neki se usredotočuju na kraća razdoblja. Mnogi radovi bave se utjecajem temperaturnih šokova na gospodarstvo i posebno na cijene. Manji broj radova bavi se vremenskim varijablama, kao što su vjetar, suša, oborine itd. To se djelomično može objasniti time što donedavno nisu izrađivani ni objavljeni indeksi koji prate te ekstremne vremenske događaje. Najzanimljivije varijable obično su stopa rasta, produktivnost i inflacija. Veće nepogode, kao što su potresi, poplave i slični događaji imaju veće kratkoročne učinke na gospodarstvo, dok neki drugi šokovi imaju srednjoročne ili dugoročne učinke jer se s vremenom postupno razvijaju.

Kim et al. (2021.) procjenjuju učinke ACI-ja na američko gospodarstvo u razdoblju od 1961. do 2019. Mjesečna frekvencija podataka upotrijebljena je za ispitivanje VAR modela s postupnim prijelazom pri opisu učinaka šokova ACI-ja na stopu nezaposlenosti, indeks industrijske proizvodnje, inflaciju, temeljnu inflaciju i kamatnu stopu monetarne politike. Najvažniji nalazi upućuju na to da povećanja indeksa ekstremnih vremenskih prilika koji obuhvaća različite stresove (temperatura, suša, vjetar, oborine itd.) imaju trajan negativan učinak na rast industrijskog indeksa te utječu na rast inflacije i stope nezaposlenosti. Zato autori savjetuju da se vremenske varijable uključe u makroekonomske modele. Pisa et al. (2022.) usredotočuju se u svojoj analizi na šest zemalja koje čine 70% BDP-a europodručja (Belgija, Francuska, Njemačka, Grčka, Italija i Španjolska). Autori su rabili bajesovski strukturni VAR model u razdoblju od 2000. do 2022. Temperaturni su šokovi središnja varijabla povezana s vremenom koja se promatra u ovoj studiji, a utječe na cijene energije, rast IIP-a, inflaciju i proizvodnju energije. U analizi su šokovi uzrokovani hladnoćom odvojeni od



šokova uzrokovanih vrućinom zbog moguće nelinearnosti njihovih učinaka na cijene. Nalazi upućuju na to da takva nelinearnost postoji i da se učinci koje proizvodi razlikuju od jedne zemlje do druge, ali neki tipični rezultati pokazuju da temperaturni šokovi utječu na cijene energije, pa autori zaključuju da bi ESB trebao obratiti pozornost na te klimatske šokove. Faccia et al. (2021.) procjenjuju učinke ekstremnih temperatura na potrošačke i proizvođačke cijene te na deflator BDP-a za skupinu od 48 zemalja i razdoblje od 1990. do 2018. Najvažniji nalazi tog istraživanja navode se u nastavku. Učinci temperaturnih šokova ovise o godišnjem dobu, što znači da šokovi uzrokovani visokim ljetnim temperaturama imaju različite učinke od onih koji se pojavljuju u drugim dijelovima godine. Osim toga, utjecaji na indekse cijena različiti su, ovisno o tome prate li ti indeksi cijene hrane ili neke druge robe. Indeksi cijena hrane u gospodarstvima u nastajanju snažnije reaguju na temperaturne šokove nego oni u razvijenim zemljama, s tim da se u cijelom promatranom uzorku uočavaju nelinearni učinci. Jedan od najvažnijih zaključaka tog istraživanja jest taj da središnje banke više ne smiju ignorirati djelovanje vremenskih šokova na cijene.

Bernie et al. (2021.) proveli su još jednu kratkoročnu analizu, koristeći se, za razdoblje od 1996. do 2021. (mjesečna frekvencija), strukturnim VAR modelom da bi procijenili učinak elementarnih nepogoda na cijene u zemljama europodručja. Analiza je uključivala stopu rasta industrijske proizvodnje (i BDP-a) te stopu nezaposlenosti, tečaj i kamatne stope. Detaljno je razmotrena situacija Francuske, Njemačke, Italije i Španjolske jer te zemlje imaju najveća gospodarstva u europodručju. Heterogeni nalazi uključuju različite reakcije inflacije na vremenske šokove u četiri gospodarstva, a autori zaključuju da su takvi rezultati dobiveni zbog razlika između čimbenika ponude i potražnje. Ciccarelli i Marotta (2021.) rabe panel-VAR pristup, u kojemu autori promatraju 24 zemlje u razdoblju od 1990. do 2019. da bi procijenili učinke klimatskih promjena na gospodarstvo. U središtu su pozornosti mogućnosti za ublažavanje i suzbijanje tih učinaka. Autori određuju četiri klimatska šoka na osnovi fizičkih i tranzicijskih rizika. Suzbijanje tih rizika ima znatan učinak u srednjoročnom razdoblju, odnosno u razdoblju od dvije do osam godina. Dugoročnije analize provedene su u radovima navedenima u nastavku.

Acevedo et al. (2020.) rabe godišnje podatke za 180 gospodarstava iz razdoblja od 1950. do 2015. i, koristeći se panel-regresijom, procjenjuju lokalne projekcije kumulativnog rasta. Za šokove uzrokovane vremenskim događajima najvažnije su temperaturne i oborinske varijable. Autori se usredotočuju na specifikacije nelinearnog modela dodajući kvadratne jednadžbe vremenskih varijabli koje odražavaju različite reakcije rasta na osnovi početne razine temperature ili oborina zemlje iz uzorka.



Ustanovljeno je da su ti nelinearni učinci znatni i da proizvode sve veći negativan učinak na rast u gospodarstvima zemalja s višim temperaturama. Mukherjee i Ouattara (2021.) pomoću panel-podataka iz razdoblja od 1961. do 2014. za uzorak koji obuhvaća gospodarstava u razvoju i razvijena gospodarstava procjenjuju učinke klimatskih šokova na dohodak, rast, siromaštvo, fiskalni odgovor i inflaciju. Nalazi empirijske analize upućuju na to da vremenski učinci trajno utječu na inflaciju, osobito u zemljama u razvoju. Autori stoga zaključuju da bi središnje banke trebale obraćati više pozornosti na takve šokove i uključivati te informacije u projekcije i njihove objektivne funkcije.

U ostale važne nalaze spadaju rezultati koje iznosi Parker (2018.), koji se bavi nepogodama i njihovim učincima na inflaciju i podindekse općeg indeksa cijena za 212 zemalja. Različite nepogode, kao što su oluje, poplave, suše i potresi imaju raznorodne učinke na opće cijene i podindekse indeksa potrošačkih cijena. Rezultati također ovise o stupnju ekonomskog razvoja pojedine zemlje i trenutku u kojemu se nepogoda događa. Kratkoročnim učincima bavi se u svom radu i Raddatz (2009.), zaključujući da klimatske nepogode imaju nepovoljan učinak na BDP samo u godini u kojoj se događaju. Studije nekih autora usredotočuju se na jedan poseban vremenski događaj ili šok. Na primjer, Kilimani et al. (2018.) promatraju učinke suše simulacijskim modeliranjem gospodarstva, pokazujući da na sve relevantne varijable u modelu (rast BDP-a, industrijsku proizvodnju, zaposlenost, trgovinsku bilancu i potrošnju) nepovoljno utječe šok izazvan sušom; posebni oblici reakcija na vremenske šokove, kao što su cijene kuća i potražnja za kućama nakon nepogode proučavaju se u radu autora Tran i Wilson (2022.); Noy (2009.), Fomby et. al. (2013.), Felbermayr i Groschl (2014.) općenito analiziraju "četiri najveće nepogode" (suše, poplave, potrese i oluje). Autori tih studija uglavnom se slažu u tome da kratkoročni učinci nepogoda smanjuju gospodarsku aktivnost.

Promotrimo li neke radove koji se bave hrvatskim gospodarstvom, uočiti ćemo da se u nekoliko njih neki aspekti vremenskih šokova ispituju u vezi s posebnim pitanjima. Nekoliko autora istražuje odnos između gospodarstva i onečišćenja, testirajući Kuznetsovu krivulju okoliša u odnosu na onečišćenje (vidi Jošić et al., 2016., Škrinjarić, 2019.). Međutim, rezultati su još uvijek neodređeni zbog kratkih vremenskih serija. Takvo nešto može se očekivati i u ovom istraživanju. Ostale studije parcijalno promatraju vremenske učinke na gospodarstvo jer se usredotočuju na posebna pitanja. Npr. Šverko Grdić i Krstinić Nižić (2017.) proučavaju učinak temperature na dolazke turista u Hrvatsku i pronalaze pozitivnu vezu. Ustanovljeno je da su promjene temperature važne za poljoprivredu (Šestak et al., 2021.), kao i oborine (Marković et al., 2021.).



4. Opis metodologije i podataka

4.1. Vektorska autoregresija (VAR)

U nastavku se navodi obrazloženje za primjenu VAR metodologije za tu vrstu istraživanja. Prvo, kategorija fizičkih rizika u klasifikaciji klimatskih rizika (vidi Batten, 2018.) od ekstremnih vremenskih događaja može se mjeriti u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju. Dakle, mora se razmotriti model koji može obuhvatiti te učinke. Nadalje, pretpostavimo da zemlje naprave prilagodbe prema klimatskim promjenama. U tom bi slučaju makroekonomske varijable mogle utjecati na klimatske varijable, kako tvrde Dell et al. (2014.), koji navode da kratkoročni učinci nadmašuju dugoročne zbog tih uvođenja i preraspodjele resursa. Konačno, budući da se empirijski dio ovog rada bavi relativno kratkim skupom podataka u usporedbi s nekim drugim zemljama, to ograničava metodologiju. Preciznije rečeno, da su na raspolaganju duge vremenske serije, mogli bi se procijeniti VAR modeli s pragom (engl. *Threshold VAR*), kao što to rade Kim et al. (2021.) za testiranje mogućih učinaka koji se mijenjaju s vremenom ili nelinearnosti. Dakle, za ovu je studiju odabran linearni VAR model.

Slijedi kratak opis VAR modela jer je to osnovni pristup multivarijatnog modeliranja za izvedbu impulsnih odziva. Detalje iznosi Lütkepohl (1993., 2006., 2010.). Razmotrimo $(N \cdot 1)$ vektor \mathbf{y}_t endogenih varijabli u $\text{VAR}(p)$ modelu:

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{a} + \mathbf{A}_1 \mathbf{y}_{t-1} + \mathbf{A}_2 \mathbf{y}_{t-2} + \dots + \mathbf{A}_p \mathbf{y}_{t-p} + \boldsymbol{\varepsilon}_t, \quad (1)$$

gdje su \mathbf{A}_i ($N \cdot N$) matrice koeficijenata, $i \in \{1, 2, \dots, p\}$, \mathbf{a} je $(N \cdot 1)$ vektor odsječaka, a $\boldsymbol{\varepsilon}_t$ je $(N \cdot 1)$ vektor procesa bijelog šuma. Pretpostavlja se da je VAR model stabilan, s $E(\boldsymbol{\varepsilon}_t) = \mathbf{0}$, $E(\boldsymbol{\varepsilon}_t \boldsymbol{\varepsilon}_t') = \Sigma_\varepsilon < \infty$, i $E(\boldsymbol{\varepsilon}_t \boldsymbol{\varepsilon}_s') = 0$ za $t \neq s$. Model pod (1) napisan je u sažetoj formi kao VAR(1) model: $\mathbf{Y}_t = \mathbf{V} + \mathbf{A} \mathbf{Y}_{t-1} + \mathbf{e}_t$, $\mathbf{Y}_t = (\mathbf{y}_t \ \mathbf{y}_{t-1} \ \dots \ \mathbf{y}_{t-p})'$, $\mathbf{V} = (\mathbf{v} \ \mathbf{0} \ \dots \ \mathbf{0})'$, $\mathbf{e}_t = (\boldsymbol{\varepsilon}_t \ \mathbf{0} \ \dots \ \mathbf{0})'$, a matrica \mathbf{A} ima matrice \mathbf{A}_i u prvom redu, s matricama identiteta na dijagonali od drugog reda nadalje. Sada se MA(∞) prikaz VAR(1) modela navodi u sljedećem obliku:

$$\mathbf{Y}_t = \boldsymbol{\mu} + \sum_{i=0}^{\infty} \mathbf{A}^i \mathbf{e}_t = (\mathbf{I}_N - \mathbf{A}L)^{-1} \mathbf{V} + \Phi(L) \mathbf{e}_t, \quad (2)$$

tako da se mogu napraviti funkcije impulsnih odziva i dekompozicija varijance pogreške. L je operator pomaka, tako da je $L^j \mathbf{Y}_t = \mathbf{Y}_{t-j}$, $j \in \mathbb{R}$, $\Phi(L)$ polinom tako da $\Phi(L) = \mathbf{J} \mathbf{A}^i \mathbf{J}$, $\mathbf{J} = (\mathbf{I}_N \ \mathbf{0} \ \dots \ \mathbf{0})$. Sada se generalizirani impulsnih odzivi procjenjuju prema Pesaran i Shin (1998): $GI_y(h, \delta_j, I_{t-1}) = E(\mathbf{Y}_{t+h} | e_{jt} = \delta_j, I_{t-1}) - E(\mathbf{Y}_{t+h} | I_{t-1})$, gdje je δ_j šok



za element j u e_t , I_{t-1} informacijski skup, a h horizont predstojeće prognoze. Pristup generalizirane funkcije impulsnog odziva (GIRF) ne ovisi o redosljedu varijabli jer generalizirani impulsi integriraju učinke drugih šokova iz odziva (vidi Koop et al. 1996.). Slijedimo taj pristup u empirijskoj primjeni, što znači da redosljed varijabli nije relevantan, kao što bi bio kada se promatra strukturni VAR.

4.2. Opis podataka

U svrhu procjene VAR modela prikupljeni su mjesečni podaci od Eurostata (2022.) i IFAB-a (2022.) za sljedeće varijable: indeks industrijske proizvodnje (IIP), harmonizirani indeks potrošačkih cijena (HIPC), indeks cijena energije (En cijena), stopu nezaposlenosti, europski indeks ekstremnih klimatskih događaja (E3CI) i njegove komponente: stres uzrokovan vrućinom, stres uzrokovan hladnoćom, suša, ekstremni vjetar, ekstremne oborine i IIP europodručja. S mrežnih stranica Wu-Xiaa (2022.) preuzeta je kamatna stopa iz sjene ESB-a kao kontrola monetarne politike³ u modelu. Dinamika IIP-a europodručja egzogena je varijabla u modelu sa stopom monetarne politike. Indeksi industrijske proizvodnje i stopa nezaposlenosti sezonski su prilagođeni. Razdoblje za podatke jest od siječnja 1998. do ožujka 2022. Sve ekonomske varijable transformirane su u godišnje stope rasta ili promjene (kamatna stopa i stopa nezaposlenosti). Ovo je jednostavan opis gospodarstva: realna aktivnost zastupljena je stopom rasta IIP-a. Ekstremni vremenski događaji često utječu na cijene, pa su inflacija i inflacija energije također uključene u model. Osim toga, u ranijoj literaturi utvrđeno je da vremenske prilike djeluju na nezaposlenost, pa je promjena u stopi nezaposlenosti također uključena u model. Kratice za svaku varijablu prikazane su u Tablici 1.

Tablica 1. Kratice na slikama od 7. do 12.

Kratice	Puni naziv
RAST_IIP-a	Godišnja stopa rasta indeksa industrijske proizvodnje
INFLACIJA	Godišnja stopa rasta HIPC-a
STRES_HLADNOĆE	12-mjesečne pomične kumulativne vrijednosti pokazatelja stresa hladnoće
NEZAPOSLENOST_RAZLIKA	Godišnja promjena stope nezaposlenosti
SUŠA	12-mjesečne pomične kumulativne vrijednosti pokazatelja suše

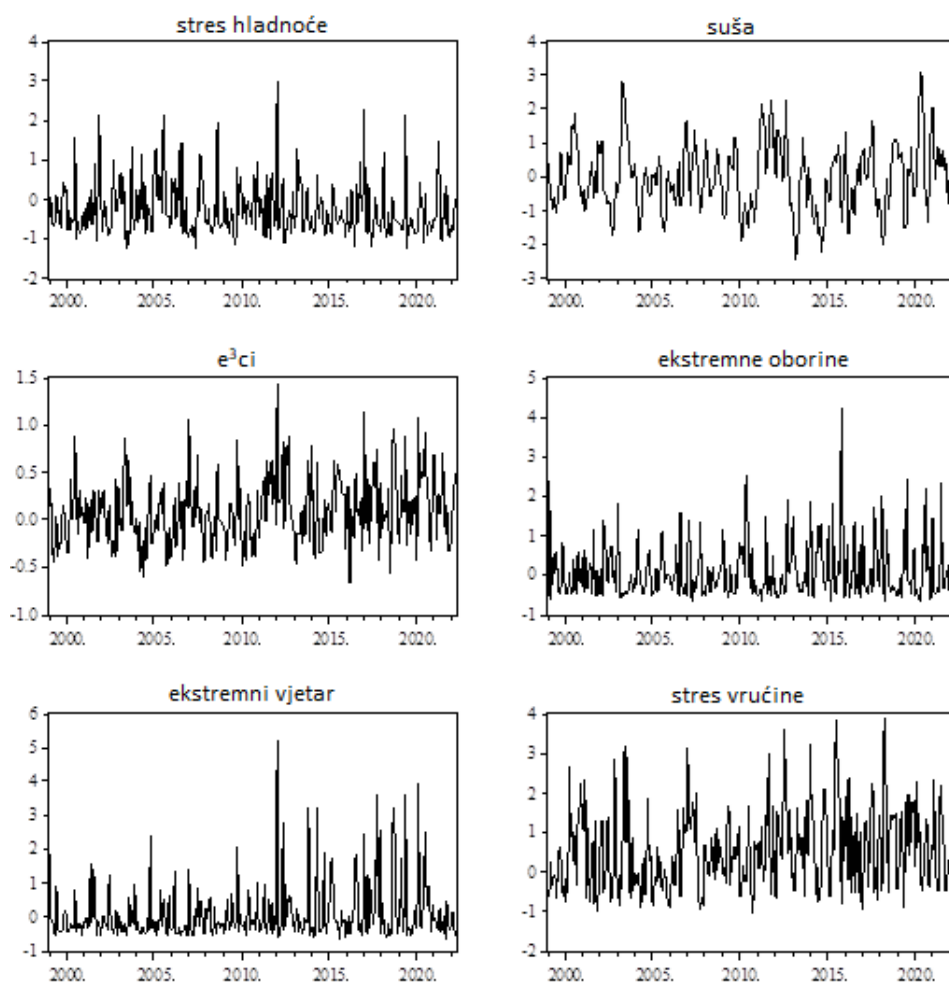
³ Prije 1. siječnja 2023. hrvatska monetarna politika imala je upravljani fluktuirajući tečaj kune prema euru; cijena eura određivala se prema ponudi i potražnji, a središnja banka intervenirala je kad je to bilo potrebno. Drugim riječima, to je bio režim upravljanog fluktuiranja, a stopa je održavana u određenom intervalu za posebne intervencije. Ipak, gornja i donja granica nisu nikada otkrivene.



EKSTREMNE OBORINE	12-mjesečne pomične kumulativne vrijednosti pokazatelja ekstremnih oborina
EKSTREMNI VJETAR	12-mjesečne pomične kumulativne vrijednosti pokazatelja ekstremnog vjetra
STRES VRUĆINE	12-mjesečne pomične kumulativne vrijednosti pokazatelja stresa vrućine
E ³ CI	12-mjesečne pomične kumulativne vrijednosti pokazatelja ukupnog E ³ CI-ja

Varijable ekstremnih vremenskih prilika izračunate su kako je opisano na mrežnim stranicama IFAB-a (2022.), na kojima se svakog mjeseca izračunavaju odstupanja od referentnih vrijednosti u razdoblju od 1980. do 2010. Na Slici 4. prikazane su vrijednosti varijabli svih vremenskih uvjeta, a histogrami svake od njih prikazani su na Slici 2.

Slika 4. Dinamika vremenskih varijabli



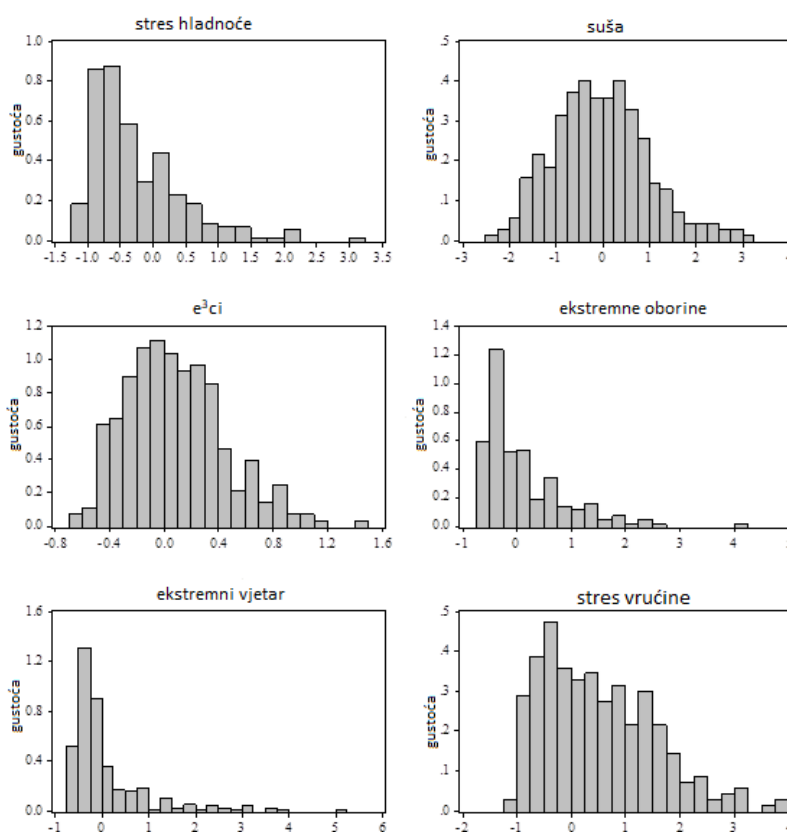
Napomena: Vrijednosti niže od 1 označuju „anomalije“ u odnosu na srednju vrijednost veću od „klimatološke“ varijabilnosti sažete pomoću standardne devijacije.

Izvor: IFAB (2022.), autoričini izračuni



Veće vrijednosti svake varijable upućuju na to da je loše odstupanje od dugoročnog prosjeka veće. Osim toga, budući da se ti indeksi izračunavaju, vrijednosti veće od jedinice upućuju na abnormalne vrijednosti. Histogrami na Slici 5. pokazuju da distribucije imaju "debeli rep", uz pozitivnu asimetriju, što znači da ekstremi imaju velik udio u ukupnom uzorku. To se posebno odnosi na vrijednosti koje su veće od jedan, s tim da indeksi stresa suše i vrućine pokazuju najveći broj abnormalnih vrijednosti u promatranom razdoblju. Kako bi se obuhvatili učinci ekstremnih vremenskih događaja, izračunat je pomični 12-mjesečni zbroj⁴ za svaki pokazatelj sa Slike 4. Ti zbrojevi prikazani su na Slici 6. Sad se vidi da stres hladnoće ima tendenciju smanjivanja, a da stres vrućine raste, što je u skladu s idejama o globalnom zatopljanju, a ukupni indeks (E^3CI) također je porastao u posljednjih nekoliko godina. Za potrebe VAR modela rabe se vrijednosti sa Slike 6., tako da se kolebljivost sa Slike 4. smanjuje. Testovi jediničnoga korijena za sve varijable prikazani su u Dodatku na Tablici A1.

Slika 5. Histogrami vremenskih varijabli

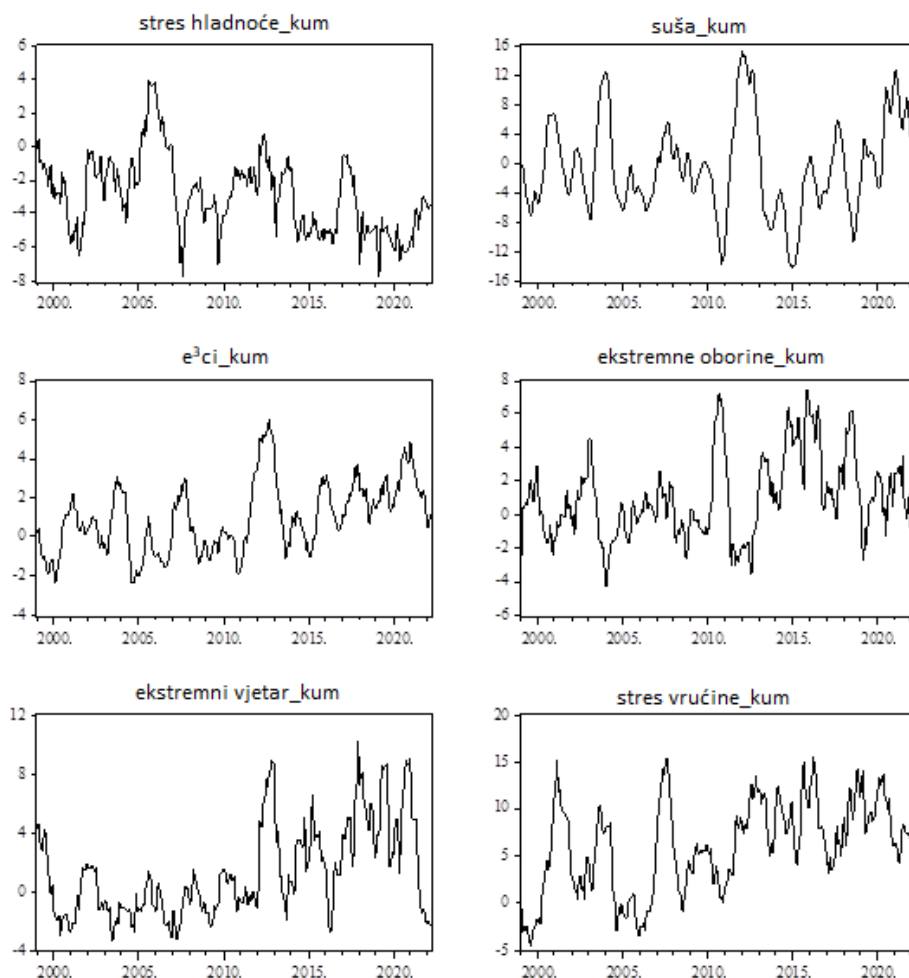


Izvor: IFAB (2022.), autoričini izračuni

⁴ Ta je transformacija napravljena tako da je dio memorije obuhvaćen modelom.



Slika 6. Dinamika vremenskih varijabli, pomične kumulativne vrijednosti



Izvor: IFAB (2022.), autoričini izračuni

5. Empirijski rezultati

Svaka vremenska varijabla sa Slike 6. uključena je u VAR(p) model uz opću inflaciju, inflaciju energije, rast IIP-a i promjenu stope nezaposlenosti, s egzogenim varijablama rasta IIP-a europa područja i kamatnom stopom iz sjene ESB-a. Dužina za " p " odabrana je prema informacijskim kriterijima i uobičajenim testovima autokorelacije i heteroskedastičnosti grešaka relacije. Pokretni zbrojevi vremenskih šokova promatraju se u prvoj specifikaciji analize tako da se može otkriti akumulacija vremenskih šokova. Na slikama od 7. do 12. prikazane su ekonomske varijable generaliziranih funkcija



impulsnih odziva na šokove u pojedinačnim vremenskim varijablama. Najvažniji su rezultati sljedeći.

Šokovi uzrokovani hladnoćom povećavaju ukupnu inflaciju do jedne četvrtine nakon početnog šoka, a šokovi uzrokovani sušom povećavaju ukupnu inflaciju i inflaciju energije s odgođenim učinkom od 6 do 18 mjeseci nakon šoka. Veći učinci primjećuju se u reakciji inflacije energije, što bi moglo biti posljedica rasta cijena električne energije zbog ovisnosti njezine proizvodnje o hidroenergiji. Očekuje se pomak reakcije od pola godine do godinu i pol dana jer poljoprivrednoj proizvodnji na koju utječe suša treba vremena za stvaranje proizvoda. Budući da se suše najčešće događaju u kasno proljeće i ljeto, ali sve češće i u jesen, smanjena jesenja proizvodnja poljoprivrednih proizvoda rezultira višim cijenama proizvoda u sljedećih nekoliko mjeseci. Šokovi uzrokovani oborinama smanjuju inflaciju u približnom razdoblju od jednog tromjesečja do godine dana nakon šoka, a šokovi uzrokovani vjetrom smanjuju rast IIP-a gotovo odmah nakon što se šok dogodi. Ostali rezultati nisu statistički značajni, iako većina ima točan predznak (povećanje nezaposlenosti i inflacije te smanjenje stope rasta IIP-a). Znatni učinci oborina u ovoj studiji u skladu su sa studijama koje se bave hidroelektričnom proizvodnjom i srodnom proizvodnjom energije pomoću vode (Solaun i Cerda, 2017.). Pozitivni impulsi odzivi inflacije na vremenske šokove slažu se s nalazima iz Pisa et al. (2022.) za pojedine zemlje europodručja. Iako nisu značajni, šokovi indeksa stresa vrućine smanjuju rast IIP-a i inflaciju, što je također u skladu s Pisa et al. (2022.), koji navode da se prilagodba tih varijabli izvodi smanjivanjem potražnje.

Kako klimatske promjene uzrokuju prilagodbe i na strani potražnje i na strani ponude (vidi Batten, 2018.), mogući kanali učinaka vremenskih šokova u Hrvatskoj mogli bi biti oštećenja infrastrukture, šteta učinjena stoci i nestašice poljoprivrednih proizvoda. To uzrokuje povećanja razine cijena (Parker, 2018.) jer rezultati uglavnom potvrđuju da je inflacija ona varijabla koja uglavnom reagira na vremenske šokove. Zbog tih nalaza na njih se mora obratiti posebna pozornost. Monetarna vlast treba razmotriti te nalaze. Neke središnje banke već procjenjuju kratkoročne učinke vremenskih događaja u svojim radnim okvirima (vidi Bank of England, 2018. i analizu Feda u Gourio, 2015.). Kako zaključuju Batten et al. (2020.), to znači da će buduće makroekonomske brze procjene i prognoze morati uključivati vremenske učinke. Ova analiza pokazuje da u Hrvatskoj inflacija uglavnom reagira na šokove izazvane sušom. To bi moglo biti vrlo problematično jer u posljednjih nekoliko godina broj suša raste (vidi Tadić et al., 2021.), a suše također mogu trajno utjecati na troškove proizvodnje u srednjoročnom i dugoročnom razdoblju (Međuvladin panel o klimatskim promjenama, engl.



Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014.). Nadalje, to uzrokuje probleme u vezi s inflacijskim očekivanjima (Lang et al., 2020.).

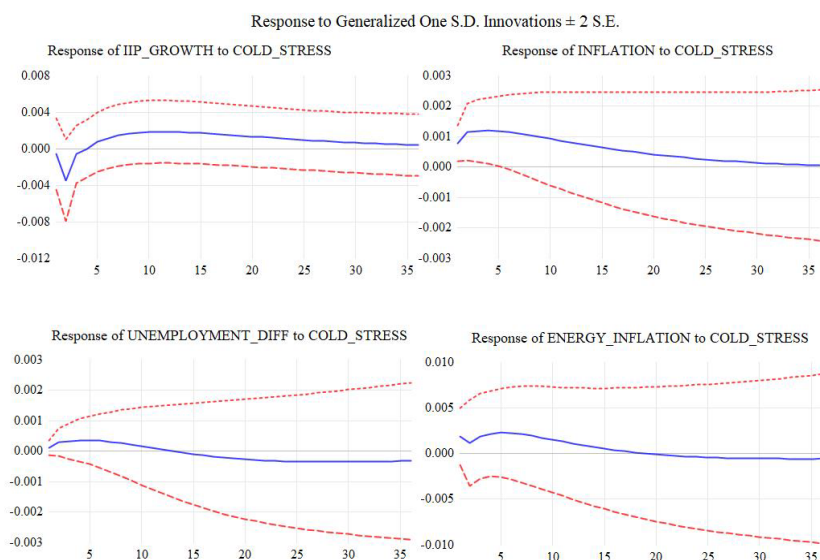
Utvrđeno je da jedini negativan, iako neznatčan, učinak na promjene nezaposlenosti (tj. smanjenje) proizvode oborine (Slika 9.). To bi moglo biti u skladu s tvrdnjama Rutenberga i Diamonda (1993.) o tome da bi lokalna potražnja za radnom snagom mogla porasti zbog povećanja rizika na poljoprivrednom gospodarstvu; i MMF-a (2018.), koji pokazuje da veća količina oborina smanjuje vjerojatnost suše, šumskih požara i šokova uzrokovanih vrućinom.

Na osnovi dugoročnih temperaturnih projekcija za Hrvatsku procjenjuje se da će prosječna temperatura porasti (Grupa Svjetska Banka, 2021.), što znači da bi učinci prikazani na Slici 11. mogli postati značajni i negativno utjecati na budući rast (Dell et al., 2012.; Colacito et al., 2019.; Du et al., 2017.). Osiguranje nekretnina moglo bi biti prikladan sigurnosni mehanizam i za financijski sektor, a ne samo za kućanstva (Lucas et al., 2021.). Kako raste broj izloženosti nepovoljnim vremenskim događajima, tako se povećava vjerojatnost kupnje osiguranja (Seifert et al., 2013., Chatterjee and Mozumder, 2014.). Liu et al. (2021.a), North i Schüwer (2017.) te Nand i Bardsley (2020.) smatraju da će klimatske nepogode uzrokovati povećanje financijskih rizika, posebice u bankarskom sektoru. Neki vjeruju da zbog toga treba unaprijediti ulogu središnjih banaka u borbi protiv klimatskih promjena (Cœuré, 2018.). To se može postići prilagodbom kolaterala i politika kupnje imovine u smjeru ublažavanja rizika od klimatskih promjena (Weidman, 2020. i Schnabel, 2020.). Osim toga, ekonomski troškovi uzrokovani ekstremnim klimatskim događajima bili su za Hrvatsku najveći u EGP-u 2019. (vidi Scope Ratings, 2012.), zbog čega bi se u budućnosti mogla povećati razlika u državnim rejtinzima. Gotovo 25% hrvatskoga gospodarstva čine sektori koji su izloženi učincima nepovoljnih vremenskih prilika. Primorac i Golub (2019.) pokazuju koliko je monetarne pomoći dodijeljeno svake godine, komentirajući da nema dovoljno resursa za pokriće tih učinaka.

Budući da bi vremenski šokovi mogli nepovoljno utjecati na različite sektore, npr. na bilance kućanstava, nefinancijskih poduzeća, sektora osiguranja i bankarskog sektora, svi bi to trebali uzeti u obzir. Unatoč tome što već neko vrijeme postoje slične studije i medijski interes za ta pitanja, čini se da konkretno djelovanje u smislu ublažavanja vremenskih šokova i ekstremnih događaja još nije u punom zamahu. Moglo bi se reći da to vrijedi za slučaj Hrvatske jer ne postoje istraživanja o tim temama. Nema ni formalnih ni empirijskih studija u kojima se pokušavaju procijeniti monetarni ili neki drugi učinci vremena ili različitih klimatskih šokova. Osim informiranja o problemima

povezanima s vremenskim prilikama, potrebno je unaprijed odrediti cijenu rizika takvih događaja i uključiti je u bilance osiguravajućih društava, banaka i kućanstava. Za to su potrebni granularni podaci, a pomoću analiza treba razmotriti koja obilježja specifična za lokaciju i sektor te druga specifična obilježja treba uzeti u obzir pri određivanju cijene rizika. Treba navesti i upozorenje. Središnja banka trebala bi pokazati interes za rezultate na kraju analize, npr. za učinak u srednjoročnom razdoblju, jer se neki učinci ne mogu odmah uočiti, posebice kada je riječ o instrumentima monetarne politike i njihovu djelovanju. Zato bi, s više podataka u budućnosti, moglo biti zanimljivije analizirati akumulirane učinke u srednjoročnom razdoblju.

Slika 7. Funkcije impulsnih odziva varijabli iz Tablice 1. na šok od jedne standardne devijacije u varijabli hladni temperaturni šokovi (engl. *cold stress index*)

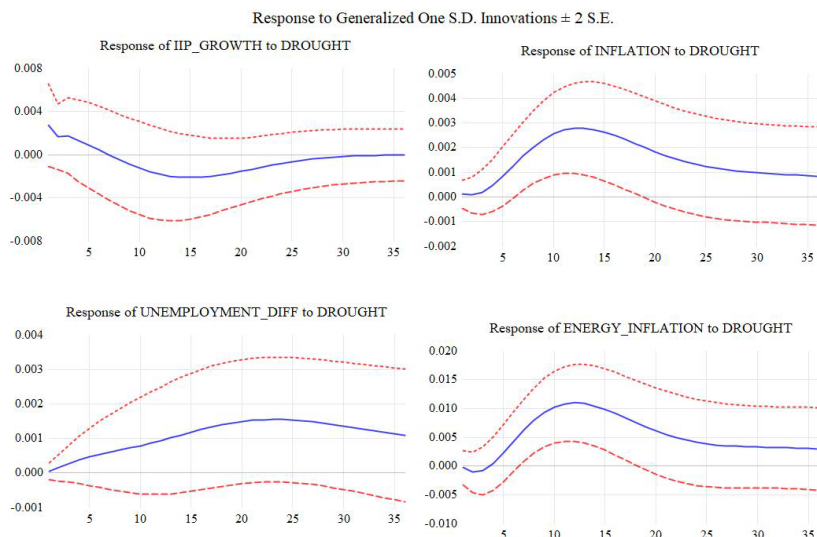


Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označavaju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni



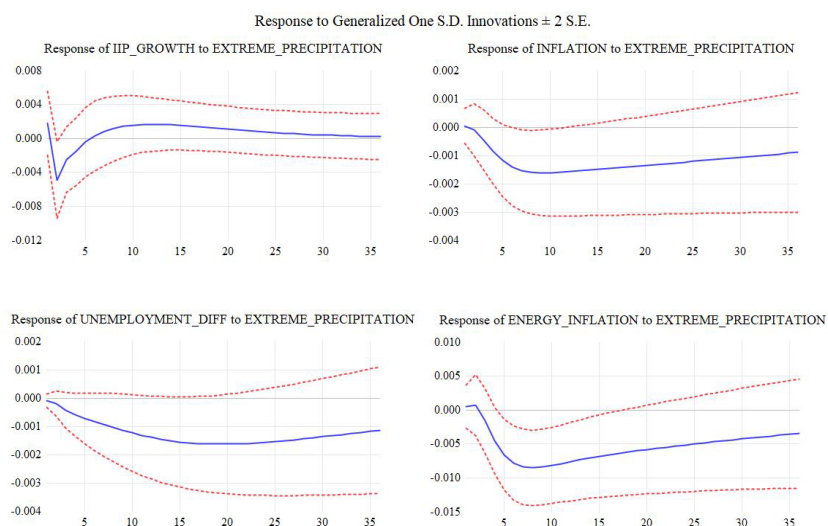
Slika 8. Funkcije impulsnih odziva varijabli iz Tablice 1. na šok od jedne standardne devijacije u varijabli suša (engl. *drought index*)



Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označavaju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni

Slika 9. Funkcije impulsnih odziva varijabli iz Tablice 1. na šok od jedne standardne devijacije u varijabli ekstremna kišna razdoblja (engl. *precipitation index*)

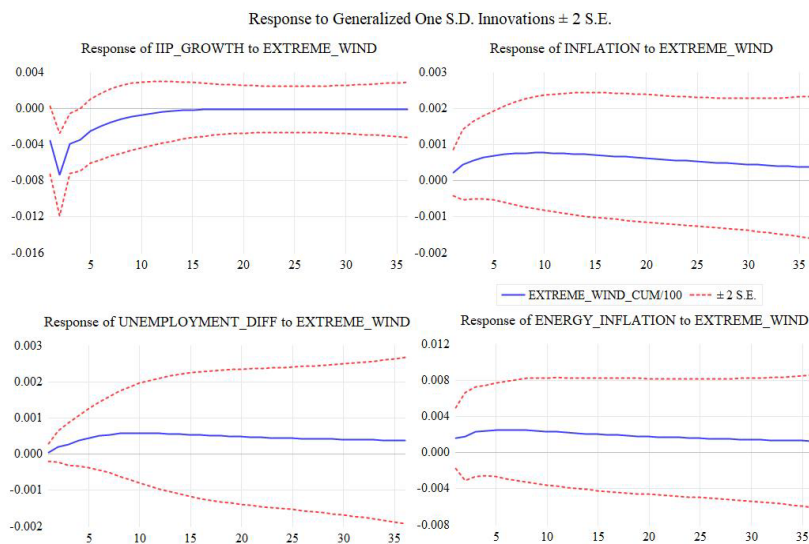


Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označavaju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni



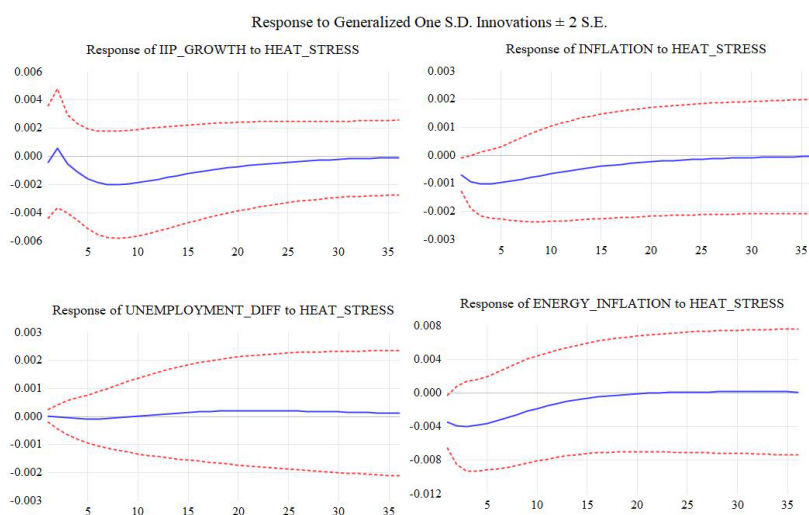
Slika 10. Funkcije impulsnih odziva varijabli iz Tablice 1. na šok od jedne standardne devijacije u varijabli ekstremni vjetrovi (engl. *wind index*)



Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označavaju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni

Slika 11. Funkcije impulsnih odziva varijabli iz Tablice 1. na šok od jedne standardne devijacije u varijabli ekstremno topla razdoblja (engl. *heat index*)

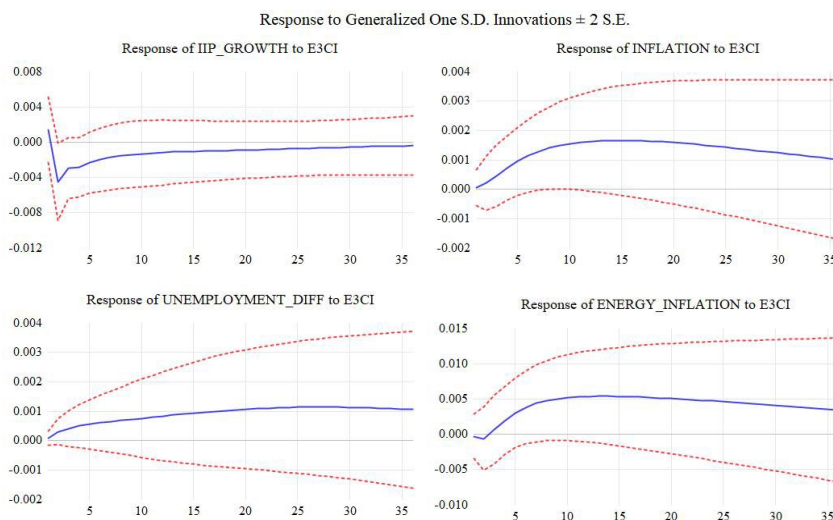


Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označavaju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni



Slika 12. Funkcije impulsnih odziva varijabli iz Tablice 1. na šok od jedne standardne devijacije u varijabli europski indeks ekstremnih klimatskih događaja (engl. *European Extreme Events Climate Index, E³CI*)



Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označavaju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni

6. Zaključak

U ovom se istraživanju ispituju prosječni učinci ekstremnih šokova uzrokovanih vremenskim prilikama na makroekonomske varijable u slučaju Hrvatske. Zbog toga su u fokusu ovog rada fizički rizici, a najvažniji rezultati upućuju na to da inflacija uglavnom reagira na vremenske šokove u promatranom razdoblju. To bi moglo imati posljedice za monetarnu politiku, prije svega zbog sve intenzivnijeg procesa globalnog zagrijavanja. Inflacijski pritisci uzrokovani ekstremnim vremenskim događajima mogli bi se ubuduće povećati, što stvara dodatni problem za aktualnu inflacijsku politiku zbog poteškoća u opskrbnim lancima koje su posljedica pandemije bolesti COVID-19 i rata u Ukrajini. Poteškoća će imati i sektor osiguranja zbog stalnih klimatskih promjena i povećanog intenziteta i trajanja šokova uzrokovanih nepovoljnim vremenskim prilikama te starenja stanovništva. Fizički rizici koji se promatraju u ovoj studiji već su uključeni u poslovne modele osiguranja. Međutim, zbog spomenutih stalnih vremenskih promjena mora se poboljšati otpornost svih: kućanstava i poduzeća, sektora osiguranja i kreatora makroekonomskih politika. Javne financije u cijelom svijetu, pa tako i u Hrvatskoj, suočavaju se sa sve težim vremenskim nepogodama: vlade moraju razmotriti



mogućnosti za rješavanje tih problema. Fiskalna potpora nije dovoljna za pokrivanje štete uzrokovane vremenskim šokovima; s druge strane, pokriće osiguranja u Hrvatskoj još uvijek je minimalno (Slika 1.). Potrebna je koordinacija između javnih financija, sektora osiguranja i privatnog sektora, a više resursa mora biti usmjereno obrazovanju i prevenciji.

Neki nedostaci ove studije navode se u nastavku. Prvo, zbog već spomenutoga kratkog razdoblja rezultati su donekle neujednačeni. Iako su odzivi ekonomskih varijabli na vremenske šokove imali ispravan predznak, u mnogim se slučajevima ustanovilo da nisu značajni. Srodne studije koje se oslanjaju na kraća razdoblja i analiziraju jednu zemlju imaju slične rezultate (Bernie et al. 2021.). Jedan od razloga mogao bi biti taj što je VAR modeliranje linearno. U dijelu srodne literature rabi se nelinearna funkcionalna forma u panel-regresijama (vidi pregled literature u nastavku) i dolazi se do važnih rezultata u vezi s nelinearnošću. Najnovije studije pokazuju da bi mogli postojati nelinearni vremenski učinci na gospodarstvo (Diffenbaugh i Burke, 2019.; Lamperti et al., 2018.). Međutim, u mnogim se studijama tvrdi da su vremenski šokovi uzrokovani ljudskom aktivnošću. Bilo bi korisno ispitati pristup procjene jedne jednadžbe, kao što je to učinjeno u nekim studijama. Zbog povratnih učinaka, nametanje pretpostavke da su vremenske varijable uvijek egzogene moglo bi dovesti do pristranih rezultata. To bi trebalo uzeti u obzir u budućim analizama. Osim toga, ova analiza ne uključuje ostale vremenske događaje kao što su potresi, uragani itd. jer se neki od njih ne događaju u Hrvatskoj, a za ostale nisu raspoloživi podaci. Naposljetku, neke varijable nisu mogle biti uključene u empirijsku analizu jer imaju još kraće razdoblje nego one kojima se ovdje koristi. Tu spada strana ponude gospodarstva, kao što su različite varijable proizvodnje energije (podaci su raspoloživi od 2008. ili 2013.) ili aktivnosti usluga (za hrvatsko gospodarstvo karakterističan je visok udio usluga koje bi mogle podlijegati učincima ekstremnih vremenskih uvjeta), koje također nisu dovoljno dugačke. U budućim analizama te bi se informacije trebale uključiti u modele kad bude dostupno više podataka.

U budućim analizama trebali bi se uzeti u obzir učinci vremenskih prilika na posebne cijene u okviru modeliranja monetarne politike. Budući da ranija istraživanja upućuju na to da bi vremenski šokovi mogli utjecati na ciljanje inflacije u europodručju (Bernie et al., 2021.), to bi također mogao postati problem za Hrvatsku. ESB je 2021. donio klimatski plan u vezi s novom strategijom monetarne politike koji uzima u obzir klimatske rizike (ESB 2021.a, b). To znači da bi se nacionalne središnje banke trebale što prije prilagoditi toj odluci. Ekonomski učinci vremenskih nepogoda mogli bi se, dakle, umanjiti ako se na vrijeme uzmu u obzir relevantni rizici. Nadalje, kako navode Batten et al. (2020.), promatranje jednostavnih mehanizama kao u ovom istraživanju može biti previše pojednostavljeno. Treba razmotriti prilagodbe i na strani ponude i na

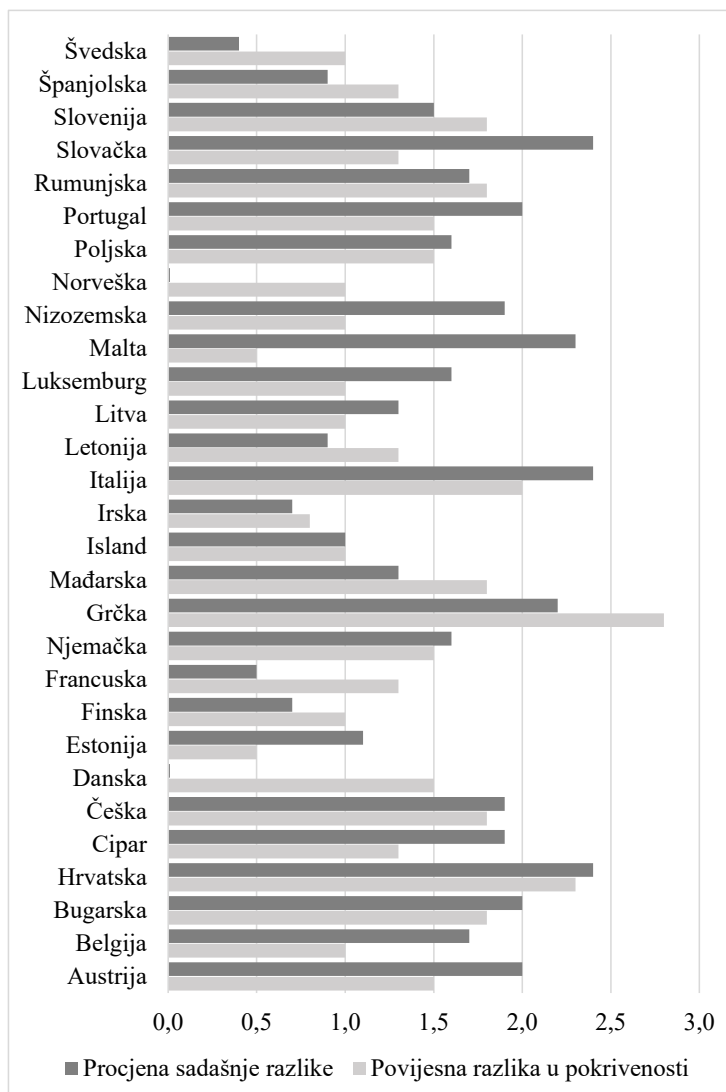


strani potražnje da bi se potpuno razumjeli svi transmisijski mehanizmi vremenskih šokova: ulaganja, izvoz, promjene infrastrukture itd.



Prilog

Slika A1. Povijesna razlika u pokrivenosti i razlika procijenjena 2020.5 za europske zemlje



Napomena: povijesna razlika u pokrivenosti zasniva se na razlikama između gospodarskih i osiguranih povijesnih gubitaka. Procjena sadašnje razlike zasniva se na stručnoj procjeni EIOPA-e i dobivena je kombiniranjem pokrića osiguranja, izloženosti, ranjivosti i rizika.

⁵ Razlike se izračunavaju na poseban način, kao godišnji gospodarski gubici normalizirani BDP-om, vidi tehnički prilog ovdje: https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/dashboard-insurance-protection-gap-natural-catastrophes_en.



Izvor: EIOPA (2020.), autoričini izračuni

Tablica A1. Rezultati testa jediničnoga korijena, sve vremenske varijable

Kritične vrijednosti	Hladnoća kumul.	Suša kumul.	E ³ CI kumul.	Oborine kumul.	Vjetar kumul.	Vrućina kumul.
-3,4537; 1%						
-2,8717; 5%	-3,54	-3,57	-3,23	-2,84	-2,22	-3,24
-2,5723; 10%						

Napomena: Kritične vrijednosti jesu za test koji uključuje samo konstantu. Iako test varijable vjetra nije odbacio nultu hipotezu o postojanju jediničnoga korijena, i nadalje se njime koristimo u modelu. Druga varijanta modela procijenjena je s uključenim linearnim trendom, a treća je uključivala diferencirani indeks vjetra. Sve su rezultirale jednakim funkcijama impulsnih odziva kao u originalnom modelu. Rezultati su dostupni na zahtjev.

Izvor: autoričini izračuni

Tablica A2. Multivarijantni testovi i informacijski kriteriji za VAR modele

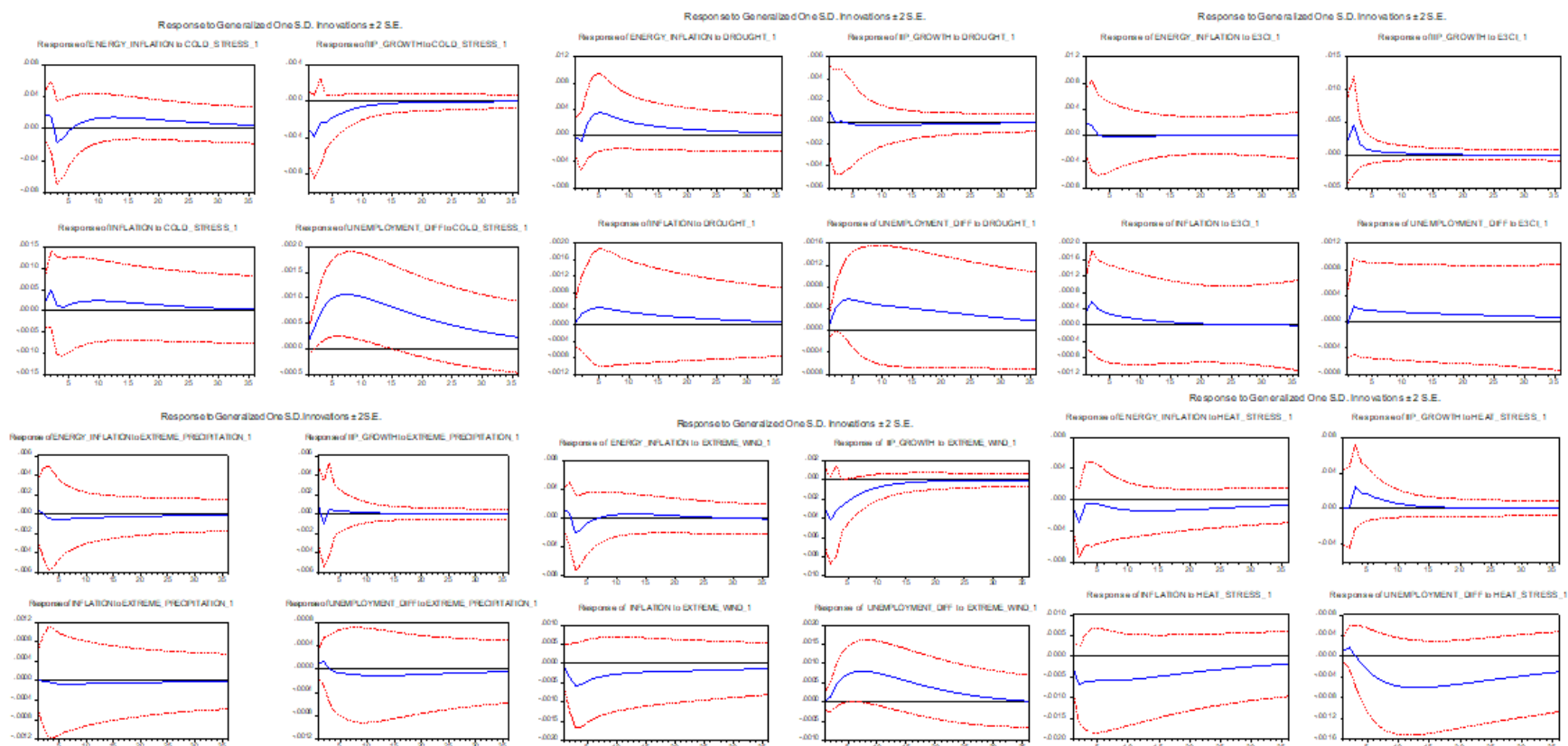
Vremenska varijabla u modelu	Odabir pomaka na osnovi AIC kriterija	Odabir pomaka na osnovi SIC kriterija	Hannan-Quinnov kriterij za odabir pomaka	Serijski korelacijski test Lagrangeova množitelja (36 pomaka)	Test heteroskedastičnosti
Stres hladnoće	13	2	2	34,53 (0,097)	918,329 (0,989)
Suša	24	2	2	32,41 (0,146)	930,109 (0,979)
E³CI	24	2	2	38,394 (0,042)	923,449 (0,986)
Oborine	24	2	2	31,009 (0,189)	905,813 (0,996)
Vjetar	15	2	2	31,499 (0,173)	912,450 (0,993)
Vrućina	24	2	2	31,732 (0,166)	880,689 (0,999)

Napomena: p-vrijednosti navedene su u zagradama.

Izvor: autoričini izračuni



Slika A2. Funkcije impulsnih odziva varijabli iz Tablice 1. na šok od jedne standardne devijacije u varijablama iz Tablice 1., indeksi anomalija



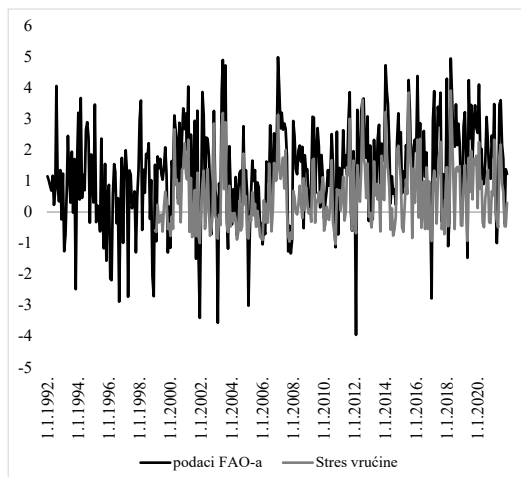
Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označuju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni

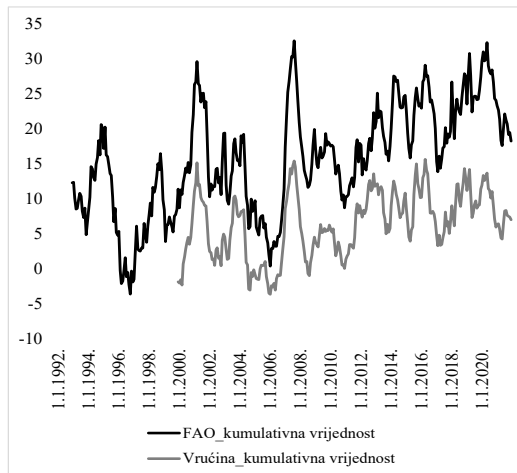


Slika A3. Usporedba stresa vrućine s bazom podataka FAO-a

Panel a. Izvorne vrijednosti

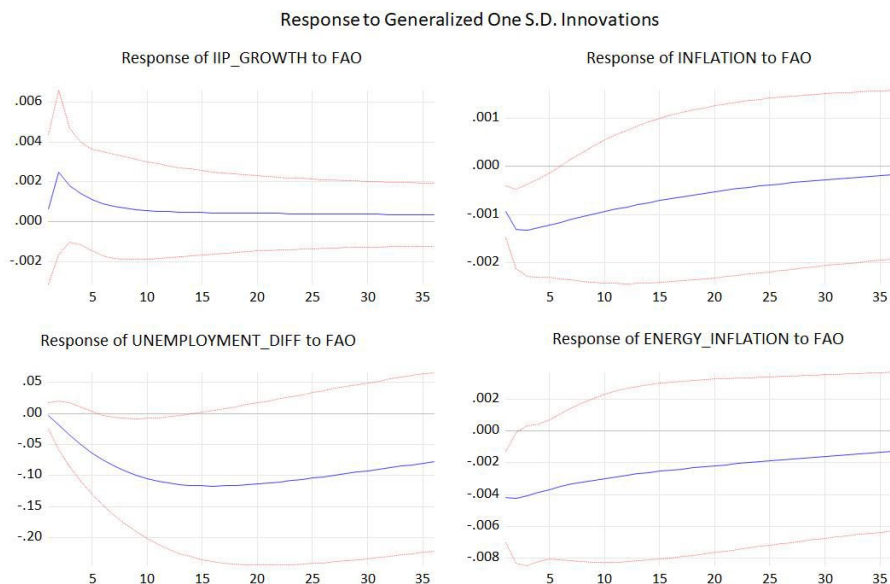


Panel a. Pomične kumulativne vrijednosti



Izvor: FAO (2023.)

Slika A4. Funkcije impulsnih odziva varijabli iz Tablice 1. na šok od jedne standardne devijacije za model s podacima iz baze podataka FAO-a

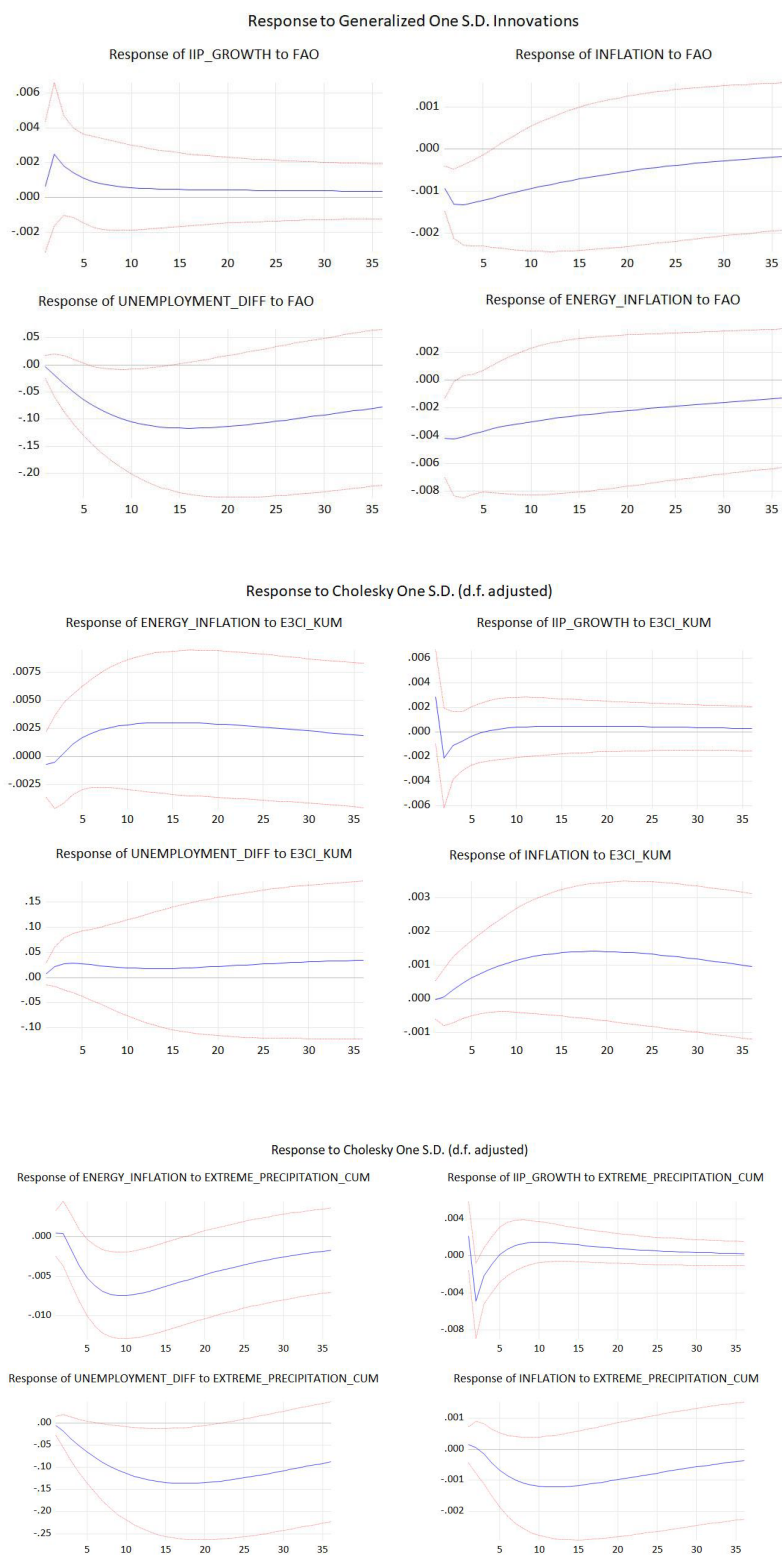


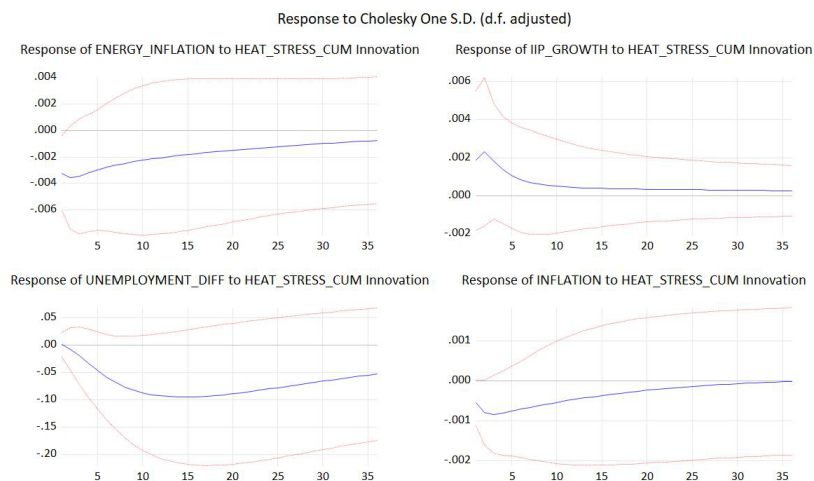
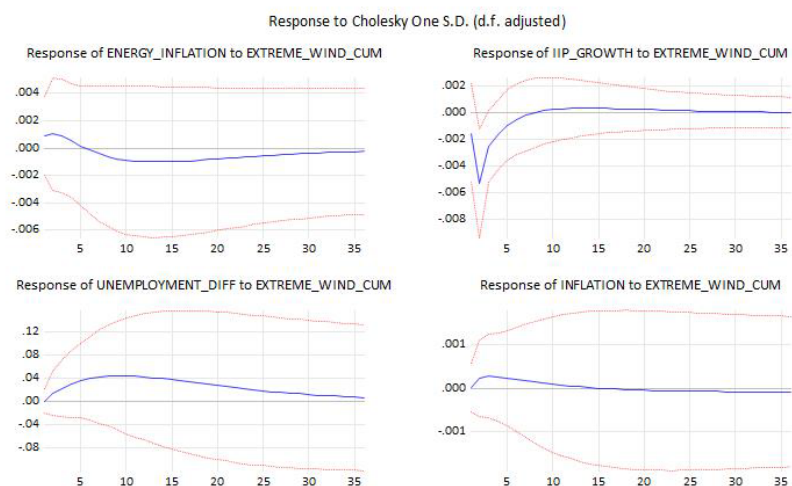
Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označavaju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni



Slika A5. Funkcije impulsnih odziva strukturnog VAR-a





Napomena: Predočene su funkcije odziva za Monte Carlo pristup procjene 95%-tne intervalne procjene s 1000 ponavljanja. Pune krivulje odnose se na prosječni odziv pojedine varijable, a iscrtkane linije označavaju procjenu donje i gornje granice intervalne procjene.

Izvor: autoričini izračuni



Literatura

Acevedo, S., Mrkaic, M., Novta, N., Pugacheva, E., Topalova, P. (2020): *The effects of weather shocks on economic activity: what are the channels of impact?*. Journal of Macroeconomics, 65, 103207.

Adger, W.N., Quinn, T., Lorenzoni, I., Murphy, C., Sweeney, J. (2013): *Changing social contracts in climate-change adaptation*. Nature climate change, 3, 330-333.

Bank of England (2018): *The impact of adverse weather*. Inflation report, Q1, 12.

Batten, S. (2018): *Climate change and the macro-economy: a critical review*. Bank of England Staff Working Paper No. 706.

Batten, S., Sowerbutts, R., Tanaka, M. (2020): *Climate change: Macroeconomic impact and implications for monetary policy*. Book chapter in: Ecological, Societal, and Technological Risks and the Financial Sector, eds: Walker, T., Gramlich, D., Bitar, M., Fardnia, P., Palgrave Macmillan.

Beirne, J., Dafermos, Y., Kriwoluzky, A., Renzhi, N., Volz, U., Wittich, J. (2021): *The effects of natural disasters on price stability in the euro area*, The SOAS Department of Economics Working Paper Series, No. 244. London: SOAS University of London.

Bloomberg (2022): *Climate change hits Europe with new weather extremes*. Available at: <https://www.bloomberg.com/news/features/2022-04-22/climate-change-hits-europe-with-new-weather-extremes>.

Burke, M., Dykema, J., Lobell, D., Miguel, E., Satyanath, S. (2015): *Incorporating Climate Uncertainty into Estimates of Climate Change Impacts, with Applications to U.S and African Agriculture*. Review of Economics and Statistics 97(2), 461–471.

Cavallo, E., Galiani, S., Noy, I., Pantano, J. (2010): *Catastrophic Natural Disasters and Economic Growth*. Mimeo, Inter-American Development Bank: Washington, D.C.

Chatterjee, C., Mozumder, P. (2014): *Understanding household preferences for hurricane risk mitigation information: evidence from survey responses*. Risk Analysis, 34, 984-996.

Ciccarelli, M., Marotta, F. (2021): *Demand or supply? An empirical exploration of the effects of climate change on the macroeconomy*. ECB Working Papers, No. 2608, European Central Bank.



Cœuré, B. (2018): *Monetary policy and climate change*, Speech at the conference on “Scaling up Green Finance: The Role of Central Banks”, organized by the Network for Greening the Financial System, the Deutsche Bundesbank and the Council on Economic Policies, Berlin.

Colacito, R., Hoffmann, B., Phan, T. (2019): *Temperature and growth: a panel analysis of the United States*. *Journal of Money, Credit and Banking*, 51(2-3), 313–368.

Copernicus Climate Change Service (2021): *European State of the Climate 2021 Report*. Available at: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2021>.

De Winne, J., Peersman, G. (2018): *Agricultural price shocks and business cycles - a global warning for advanced economies*. CESifo Working Paper Series 7037, CESifo.

Dell, M., Jones, B.F., Olken B.A. (2014). *What do we learn from the weather? The New Climate-Economy Literature*, *Journal of Economic Literature*, 52(3), pp. 740-798.

Dell, M., Jones, B.F., Olken, B.A. (2012): *Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century*. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3), 66-95.

Dell, M., Jones, B.F., Olken, B.A. (2014): *What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature*. *Journal of Economic Literature*, 52(3), 740-798.

Diffenbaugh, N.S., Burke, M. (2019): *Global warming has increased global economic inequality*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(20), 9808-9813.

Donadelli, M., Jüppner, M., Riedel, M., Schlag, C. (2017). *Temperature shocks and welfare costs*. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 82, pp. 331-355.

Du, D., Zhao, X., Huang, R. (2017): *The impact of climate change on developed economies*. *Economics Letters*, 153, 43-46.

ECB/ESRB (2020): *Positively green: Measuring climate change risks to financial stability*. European Central Bank, European Systemic Risk Board, June 2020.

EEA (2017): *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016*. EEA Report No 1/2017.

EEA (2020): *EEA climate state and impact (CLIM) indicators*. Available at: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators#c0=30&c12-operator=or&b_start=0&c10=CLIM

EIOPA (2020a): *The pilot dashboard on insurance protection gap for natural catastrophes*. Available at: https://www.eiopa.europa.eu/document-library/feedback-request/pilot-dashboard-insurance-protection-gap-natural-catastrophes_en.

EIOPA (2020b): *On Methodology on potential inclusion of climate change in the Nat Cat standard formula*. Available at:

<https://www.eiopa.europa.eu/sites/default/files/publications/consultations/discussion-paper-methodology-on-potential-inclusion-of-climate-change-in-nat-cat-standard-formula.pdf>

EIOPA (2022): *Financial stability report 2022, June 2022*.

https://www.eiopa.europa.eu/document-library/financial-stability-report/financial-stability-report-june-2022_en.

El Hadri, H., D. Mirza, and I. Rabaud (2019): *Natural disasters and countries' exports: New insights from a new (and an old) database*. *The World Economy*, 42(9), 2668–2683.

European Central Bank (2021a): *The ECB's monetary policy strategy statement*. Frankfurt am Main, 8 July.

European Central Bank (2021b): *ECB presents action plan to include climate change considerations in its monetary policy strategy*. Press release with annex "Detailed roadmap of climate change-related actions", Frankfurt am Main, 8 July.

European Environment Agency (2022). Available at:

<https://www.eea.europa.eu/ims/economic-losses-from-climate-related>.

Eurostat (2022). Database. Available at:

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>.

Faccia, D., Parker, M., Stracca, L. (2021): *Feeling the heat: extreme temperatures and price stability*. ECB Working Paper, No. 2626. European Central Bank.

FAO (2023). Online database.

Feitelson, E., Tubi, A. (2017): *A main driver or an intermediate variable? Climate change, water and security in the Middle East*. *Global Environment Change*, 44, 39–48.

Felbermayr, G., Groeschl, J. (2014): *Naturally negative: the growth effects of natural disasters*. *Journal of Development Economics*, 111, 92-106.

Fomby, T., Ikeda, Y., Loayza, NV. (2013): *The growth aftermath of natural disasters*. *Journal of Applied Econometrics*, 28(3), 412-434.

Friant, M. C., Vermeulen, W.J.V., Salomone, R. (2021): *Analysing European Union circular economy policies: words versus actions*. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 337-353.

- Giglio, S., Kelly, B. T., Stroebel, J. (2020): *Climate finance*. Technical report, National Bureau of Economic Research.
- Gourio, F. (2015): *The effect of weather on first-quarter GDP*. Chicago Fed Letter, No. 341.
- Hanfa (2022). Database. Available at: <https://www.hanfa.hr/publikacije/statistika/>.
- Houser, T., Hsiang, S., Kopp, R. and Larsen, K. (2015): *Economic risks of climate change: An American Prospectus*. New York: Columbia University Press.
- IFAB (2022). Database. Available at: <https://www.ifabfoundation.org/e3ci/>.
- IMF (2018): Chapter 3: *The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: How Can Low-Income Countries Cope?*. September 27, 2017. Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2018/06/22/The-Effects-of-Weather-Shocks-on-Economic-Activity-What-are-the-Channels-of-Impact-45970>.
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jones, B.F., Olken, B.A. (2010): *Climate shocks and exports*. NBER working paper series, No. 15711, National Bureau of Economic Research.
- Jošić, H., Jošić, M., Janečić, M. (2016). *Testing the environmental Kuznets curve in the case of Croatia*. Notitia - journal for sustainable development, 2 (2), pp. 31-47.
- Kaczan, D.J., Orgill-Meyer, J. (2019): *The impact of climate change on migration: a synthesis of recent empirical insights*. Climatic Change, 158, 281-300.
- Kilimani, N., van Heerden, J., Bohlmann, H., Roos, L. (2018): *Economy-wide impact of drought induced productivity losses*. Disaster Prevention and Management: An International Journal, <https://doi.org/10.1108/DPM-05-2018-0155>.
- Kim, H. S., Matthes, C., Phan, T. (2021): *Extreme Weather and the Macroeconomy*. Working Paper Series, WP 21-14, Federal Reserve Bank of Richmond.
- Koop, G., Pesaran, M. H., Potter, S. M. (1996). *Impulse response analysis in nonlinear multivariate models*. Journal of Econometrics 74, 119-147.
- Lamperti, F., DOsi, G., Napoletano, M., Roventini, A., Sapio, A. (2018): *Faraway, so close: coupled climate and economic dynamics in an Agent-Based integrated assessment model*. Ecological Economics, 150, 315-339.

- Lang, M., Švaljek, M., Ivanov, M. (2020): *The Wave Has Risen: Central Banks' Response to Climate Change*. 26th Dubrovnik Economic Conference paper. Available at: https://www.hnb.hr/documents/20182/2916247/dec26_lang-svaljek-ivanov.pdf/74eb83b8-8c06-321d-f374-3f2c1eb5ce03?t=1594749091927.
- Lis, E.M., Nickel, C. (2009): *The impact of extreme weather events on budget balances and implications for fiscal policy*. ECB Working Paper Series, No. 1055, European Central Bank.
- Liu, M., Shamdasani, Y., Taraz, V. (2021b): *Climate change and labor reallocation: Evidence from six decades of the Indian Census*. Working paper. Available at: <http://ssrn.com/abstract=3905985>.
- Liu, Z., Sun, H., Tang, S. (2021a): *Assessing the impacts of climate change to financial stability: Evidence from China*. International Journal of Climate Change Strategies and Management, 13(3), 375-393.
- Lucas, C.H., Booth, K.I., Garcia, C. (2021): *Insuring homes against extreme weather events: a systematic review of the research*. Climatic Change, 165, 61.
- Lucidi, F. S., Pisa, M. M., Tancioni, M. (2022). *The macroeconomic effects of temperature shocks in Europe*. Working paper, available at: <https://ssrn.com/abstract=4109417> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4109417>.
- Lütkepohl, H. (1993): *Introduction to Multiple Time Series Analysis, 2nd. ed.* Berlin: Springer-Verlag.
- Lütkepohl, H. (2006): *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berlin: Springer.
- Lütkepohl, H. (2010): *Vector Autoregressive Models*. Economics Working Paper ECO 2011/30, European University Institute.
- Marković, M., Šoštarić, J., Josipović, M., Atilgan, A. (2021). *Extreme Weather Events Affect Agronomic Practices and Their Environmental Impact in Maize Cultivation*. Applied Sciences 11, 7352.
- Ministry of Finance (2022): *Reported damages by type of natural disaster by county*. Available at: <https://mfin.gov.hr/istaknute-teme/koncesije-i-drzavne-potpore/prirodne-nepogode/prijavljene-stete-po-vrstama-prirodnih-nepogoda-po-zupanijama/3050>.
- Mukherjee M., Ouattara, B. (2021): *Climate and monetary policy: do temperature shocks lead to inflationary pressures?*. Climatic Change, 167(3), 1–21.
- Nand, M., Bardsley, D. (2020): *Climate change loss and damage policy implications for pacific island countries*. Local Environment, 25(9), 725-740.

- Neog, B.J. (2022): *Temperature shocks and rural labour markets: evidence from India*. *Climatic Change*, 171, 16.
- Ngoma, H., Lupiya, P., Kabisa, M., Hartley, F. (2021): *Impacts of climate change on agriculture and household welfare in Zambia: an economy-wide analysis*. *Climatic Change*, 167, 55.
- North, F., Schüwer, U. (2017): *Natural disaster and bank stability: evidence from the US Financial system*. AFE Working Paper Series, No. 167.
- Noy, I. (2009): *The macroeconomic consequences of disasters*. *Journal of Development Economics*, 88(2), 221-231.
- Noy, I., Nulasri, A. (2007). *What do exogeneous shocks tell us about growth theories?* University of Hawaii Economics, Working paper, No. 07-28.
- Osberghaus, D. (2019): *The effects of natural disasters and weather variations on international trade and financial flows: A review of the empirical literature*. *Economics of Disasters and Climate Change*, 3, 305–325.
- Parker, M. (2018): *The Impact of Disasters on Inflation*. *Economics of Disasters and Climate Change*, 2(1), 21–48.
- Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1998): *Generalized impulse response analysis in linear multivariate models*. *Economics Letters*, 58(1), 17–29.
- Pisa, M. M., Lucidi, F.S., Tancioni, M. (2022): *The macroeconomic effects of temperature shocks in Europe*. Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4109417>.
- Primorac, M., Golub, L. (2019). *Fiscal risks of natural disasters in Croatia*. *Proceedings of the Faculty of Economics and Business in Zagreb*, 17(2), 39-58.
- Raddatz, C. (2009): *The wrath of God: macroeconomic costs of natural disasters*. Policy Research Working Paper Series 5039, The World Bank.
- Reiling, K., Brady, C. (2015): *Climate change and conflict: an annex to the USAID Climate-Resilient Development Framework*. *Political Geography*, 3–44.
- Rutenberg, N., Diamond, I. (1993): *Fertility in Botswana: The Recent Decline and Future Prospects*. *Demography*, 30(2), 143–157.
- Schnabel, I. (2020): *When markets fail – the need for collective action in tackling climate change*. Speech at the European Sustainable Finance Summit, Frankfurt am Main.

Scope Ratings (2021): *Extreme climate events in Europe: rising economic losses can lead to greater sovereign ratings divergence*, Bloomberg. Available at:

https://www.scopegroup.com/dam/jcr:eb50a1cd-7bcd-46db-a2fe-80fa9b1d76da/Scope%20Ratings_Extreme%20climate%20events_2021%20Nov.pdf.

Seifert, I., Botzen, WJW., Kreibich, H., Aerts J.C.J. (2013): *Influence of flood risk characteristics of flood insurance demand: a comparison between Germany and the Netherlands*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 45-60.

Šestak, I., Vitezica, L., Hrelja, I. (2021). *Analysis of Climate Change in Croatia Based on Calculation of Temperature Thresholds*. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 87(4), 295-302.

Škrinjarić, T. (2019). *Environmental Kuznets Curve in Croatia: panel data approach with Croatian counties*. *Journal of Central European Agriculture*, 2019, 20(2), 712-740.

Škrinjarić, T. (2020): *Empirical assessment of the circular economy of selected European countries*. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120246.

Solaun, K., Cerda, E. (2017): *The Impact of Climate Change on the Generation of Hydroelectric Power—A Case Study in Southern Spain*. *Energies*, 10, 1343.

Šverko Grdić, Z., Krstinić Nižić, M. (2017). *Development of tourist demand in correlation with climate change in the republic of Croatia*. *Economic Review*, 67(1), 27-43.

Tadić, L., Brleković, T., Potočki, K. (2021): *Application of principal component analysis to drought indicators of three representative Croatian regions*. *Elektronički časopis građevinskog fakulteta Osijek - e-GFOS*, 12(22), 41-55.

Tran, B.R., Wilson, D. J. (2022): *The Local Economic Impact of Natural Disasters*. Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper series, No. 2020-34.

Weidman, J. (2020): *Central banks cannot solve climate change on their own*. *Financial Times*.

World Bank Group (2021): *Climate risk country profile Croatia*. Available at: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/croatia>.

Wu-Xia (2022). Website, shadow rate data. Available at: <https://sites.google.com/site/jingcynthiawu/home/wu-xia-shadow-rates>.

IZDAVAČ

Hrvatska narodna banka
Trg hrvatskih velikana 3
10000 Zagreb
T. +385 1 4564 555
www.hnb.hr

GLAVNI UREDNIK

Ljubinko Jankov

UREDNIŠTVO

Vedran Šošić
Gordi Sušić
Davor Kunovac
Maroje Lang
Davor Galinec
Maja Bukovšak
Dražen Odorčić
Boris Cota
Tomislav Ridzak
Evan Kraft
Ante Žigman

IZVRŠNI UREDNIK

Katja Gattin Turkalj

DIZAJNER

Vjekoslav Gjergja

GRAFIČKI UREDNIK

Slavko Križnjak

TEHNIČKI UREDNIK

Nevena Jerak Muravec

Za stajališta iznesena u ovom radu odgovorni su autori i ta stajališta nisu nužno istovjetna službenim stajalištima Hrvatske narodne banke.

Molimo korisnike ove publikacije da pri korištenju podataka obvezno navedu izvor.

ISSN 1334-0131 (online)

Kratkoročni i srednjoročni učinci ekstremnih vremenskih prilika na hrvatsko gospodarstvo

ISSN 1334-0131 (online)



HNB

EUROSUSTAV