

Makroekonomski model sa kognitivnim ograničenjima

Jukić, Gordana

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:925524>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Makroekonomski model sa kognitivnim ograničenjima

Jukić, Gordana

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:925524>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO–MATEMATIČKI FAKULTET
MATEMATIČKI ODSJEK

Gordana Jukić

MAKROEKONOMSKI MODEL S
KOGNITIVNIM OGRANIČENJIMA

Diplomski rad

Voditelj rada:
prof. dr. sc. Boris Cota

Zagreb, 2021.

Ovaj diplomski rad obranjen je dana _____ pred ispitnim povjerenstvom u sastavu:

1. _____, predsjednik
2. _____, član
3. _____, član

Povjerenstvo je rad ocijenilo ocjenom _____.

Potpisi članova povjerenstva:

1. _____
2. _____
3. _____

Šimi, materi i ćaći

*Algebrosima, naravno...
svima koji su bili tu, znaju oni kome...*

...zdravlje, slavlje i srce lavlje...

Sadržaj

Sadržaj	iv
Uvod	3
1 Novokeynesijanski makroekonomski model	5
1.1 Uvod	5
1.2 Model	6
1.3 Kritika modela	7
2 Bihevioralni makroekonomski model	9
2.1 Uvod	9
2.2 Model	10
2.3 Prosperitet i pad	16
3 Proširenja modela	25
3.1 Uvođenje tržišta imovine u model	25
3.2 Proširenje osnovnog modela	27
4 Optimalna monetarna politika	37
5 Modificirani model	41
6 Zaključak	47
7 Dodaci	49
7.1 MATLAB kodovi	49
7.2 Empirijski podaci	81
Bibliografija	83

Oznake koje ćemo koristiti u radu

y_t - proizvodni jaz u trenutku t

r_t - nominalna kamatna stopa u trenutku t

π_t - stopa inflacije u trenutku t

π^* - ciljana stopa inflacije

ϵ_t, η_t, u_t - bijeli šum u razdoblju t

$a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, c_3$ - koeficijenti modela

E - operator očekivanja reprezentativnoga potrošača u klasičnom novokeynesijanskom modelu s racionalnim očekivanjima

\tilde{E} - operator očekivanja u bihevioralnom makroekonomskom modelu s kognitivnim ograničenjima

\tilde{E}^e - operator očekivanja agenta ekstrapolatora u bihevioralnom makroekonomskom modelu s kognitivnim ograničenjima

\tilde{E}^f - operator očekivanja agenta fundamentalista u bihevioralnom makroekonomskom modelu s kognitivnim ograničenjima

$\alpha_{e,t}, \alpha_{f,t}$ - vjerojatnost da će agent izabrati ekstrapolatorsko, odnosno fundamentalističko heurističko pravilo za pronoziranje proizvodnoga jaza, u trenutku t

$\beta_{e,t}, \beta_{f,t}$ - vjerojatnost da će agent izabrati ekstrapolatorsko, odnosno fundamentalističko heurističko pravilo za prognoziranje inflacije, u trenutku t

$U_{e,t}, U_{f,t}$ - ocjena prognoze (korisnost) proizvodnoga jaza ekstrapolatorskoga, odnosno fundamentalističkoga heurističkog pravila u trenutku t

$U_{e,t}^\pi, U_{f,t}^\pi$ - ocjena prognoze (korisnost) proizvodnoga jaza ekstrapolatorskoga, odnosno fundamentalističkoga heurističkog pravila u trenutku t

ω_k - geometrijski opadajuće težine

$\epsilon_{e,t}, \epsilon_{f,t}$ - šum

S_t - indeks životinjskih nagona u trenutku t

γ - parametar intenziteta izbora heurističkih pravila

θ - udio tvrtki koje neće mijenjati cijenu

κ - funkcija parametra θ , možemo ju tumačiti kao indeks rigidnosti cijena

P_t - cijena dionice u trenutku t

D_t - dividenda u trenutku t

R_t - diskontna stopa

Δs_{t-1} - promjena cijene dionice od trenutka $t - 1$ do trenutka t

Uvod

Do pojave financijske krize 2007. godine činilo se da je makroekonomija dostigla vrhunac znanstvenog uspjeha. Svijet je iskusio vrijeme makroekonomske stabilnosti s niskom i stabilnom inflacijom, velikim i održivim ekonomskim rastom i malom volatilnosti mnogih ekonomskih i financijskih varijabli. Veliki broj ekonomista se složio da su novi uvidi moderne makroekonomske teorije nosili barem dio te "velike umjerenosti". Ova teorija se temelji na racionalnom agentu, koji kontinuirano optimizira svoju korisnost pomoću svih dostupnih informacija. U takvom svijetu, bez sustavnih pogrešaka, vlada stabilnost.

Takav idiličan pogled na stabilnost u svijetu potpuno racionalnih i informiranih agenata promijenila su događanja 2007. godine. Ti preokreti su doveli do izražaja mišljenja ekonomista koji su se zalagali da makroekonomija mora u obzir uzeti odmake od racionalnosti, posebice odmake od pretpostavke racionalnih očekivanja. Iako postoji mnogo različitih načina kako pojedinac može napraviti odmak od realnosti, to ne znači nužno da moramo odlutati u svijet iracionalnosti.

Namjera ovog rada je pokazati da jednom kada prihvatimo kognitivna ograničenja zbog kojih agenti ne mogu u potpunosti razumjeti kompleksnost svijeta u kojem žive možemo razviti model temeljen na drugačijem pojmu realnosti. Ovakav model vodi do bogatije makroekonomske dinamike koja je bliža opaženoj dinamici proizvodnje i inflacije nego dinamika koja proizlazi iz standardnog modela koji se temelji na racionalnim očekivanjima.

Kao i standardni makroekonomski model, i bihevioralni model se sastoji od jednadžbe agregatne potražnje, jednadžbe agregatne ponude i Taylorovog pravila, no razlika je u načinu na koji agenti koriste informacije da bi predvidjeli budućnost.

U prvom poglavlju je iznesen trenutačni vodeći makroekonomski model - novokeynesijanski model te njegove kritike. Drugo poglavlje se bavi postavljanjem, rješavanjem te simulacijom bihevioralnog novokeynesijanskog modela i objašnjava njegove karakteristike. U trećem poglavlju donosimo nekoliko proširenja osnovnog bihevioralnog makroekonomskog modela. Četvrto poglavlje razmatra monetarnu politiku koja proizlazi iz bihevioralnog novokeynesijanskog modela. U petom poglavlju donosimo modificirani model te vlastito mišljenje o bihevioralnom novokeynesijanskom modelu.

Poglavlje 1

Novokeynesijanski makroekonomski model

1.1 Uvod

Novokeynesijanski makroekonomski model je trenutni vodeći makroekonomski model. U posljednjih nekoliko desetljeća korišten je za analizu ekonomskih fluktuacija i u vođenju makroekonomske politike (ECB¹, FED²). Njegova osnovna obilježja su[15]:

1. mikro osnove - makroekonomske jednadžbe se izvode iz maksimiziranja korisnosti potrošača i maksimiziranja profita proizvođača.
2. racionalna očekivanja, odnosno očekivanja konzistentna s modelom - agenti znaju model i pravu distribuciju šokova koji pogađaju ekonomiju te koriste sve dostupne informacije kako bi prognozirali budućnost. Sposobni su izračunati ravnotežno stanje modela i vjeruju da će i ostali agenti temeljiti očekivanja na tom ravnotežnom stanju, što dovodi do usklađenosti očekivanja pa je dovoljno imati jednog reprezentativnoga agenta da bi modelirali cijelu ekonomiju.
3. rigidnost cijena - cijene nisu fleksibilne, odnosno ne prilagođavaju se trenutačno. Iako proizvođači konstantno optimiziraju cijene, zbog institucionalnih ograničenja ne mogu ih trenutačno prilagoditi.

¹ECB - Europska središnja banka (*European Central Bank*)

²FED - Sustav federalnih rezervi (*Federal Reserve System*).FED je privatna institucija koja je ovlaštena za regulaciju i kontrolu financijskih i monetarnih institucija i tržišta u SAD-u. [2]

1.2 Model

Najjednostavnija verzija novokeynesijanskog makroekonomskoga modela se sastoji od tri jednadžbe: jednadžbe agregatne potražnje, jednadžbe agregatne ponude (novokeynesijanske Phillipsove krivulje) i Taylorovog pravila[11].

Jednadžba agregatne potražnje se izvodi iz maksimizacije korisnosti reprezentativnoga potrošača, a glasi ovako:

$$y_t = E_t y_{t+1} + a_2(r_t - E_t \pi_{t+1}) + \epsilon_t, \quad (1.1)$$

gdje je

y_t - proizvodni jaz u razdoblju t

r_t - nominalna kamatna stopa u razdoblju t

π_t - stopa inflacije u razdoblju t

ϵ_t - bijeli šum

E_t - operator očekivanja reprezentativnoga potrošača

$r_t - E_t \pi_{t+1}$ - realna kamatna stopa

a_2 - koeficijent modela, $a_2 < 0$

Interpretacija jednadžbe: agenti koji optimiziraju korisnost više će trošiti kada očekuju porast budućeg dohotka, a manje će trošiti kada realna kamatna stopa raste jer se tada teže zadužuju.

Jednadžba agregatne ponude (1.2) se izvodi iz maksimiziranja profita reprezentativnoga proizvođača uz pretpostavku da se cijene ne prilagođavaju trenutačno zbog, na primjer, institucionalnih ograničenja (primjerice, kolektivni ugovori se ne mogu prilagoditi odmah zbog vremena potrebnog za pregovaranje). Ova pretpostavka se modelira pomoću Calvo mehanizma prilagodbe cijena. Ovaj mehanizam prvi je razvio Giulio Calvo 1983. godine u radu "Staggered Prices in a utility-maximizing framework" [9]. Dvije su pretpostavke ovog mehanizma:

1. nominalne cijene se ne prilagođavaju konstantno (na primjer, zbog institucionalnih ograničenja ili ograničenih resursa - nije moguće u svakom trenutku izračunati optimalnu cijenu na osnovu maksimizacije profita i prilagoditi svoju cijenu toj optimalnoj)
2. prilagodbe cijena su asinkrone (ne prilagođavaju sve tvrtke cijene u istom trenutku)

Kako bi jednostavno objasnio ovaj mehanizam, Calvo pretpostavlja iduće:

1. za svaku tvrtku, u trenutku kada smije promijeniti cijenu, emitira se "signal"³

³pod "signal" smatramo zamišljeni signal koji se emitira u trenutku kada tvrtka smije promijeniti cijenu. Na taj način uspijevamo odabrati tvrtke, koje će promijeniti cijene, na slučajan način.

2. svaka tvrtka smije prilagoditi cijenu kada primi "signal" koji je za nju emitiran
3. vjerojatnost da će se nasumični signal emitirati u idućih h razdoblja ima geometrijsku razdiobu, nezavisan je o trenucima u kojima se emitirao u prošlosti te je nezavisan među tvrtkama.
4. sa θ označavamo udio tvrtki koje nisu primile signal da mogu prilagoditi cijene

Na taj način, u periodu t , dobivamo da je θ udio tvrtki čija cijena ostaje nepromijenjena, dok ostatak od $1 - \theta$ tvrtki cijene prilagođava maksimiziranjem profita, odnosno $1 - \theta$ je vjerojatnost da će tvrtka smjeti prilagoditi cijenu. Takva rigidnost cijena dovodi do raspršenja odgovora na šok. Kada šok pogodi ekonomiju, samo će se $1 - \theta$ cijena prilagoditi, odnosno θ proporcija cijena se neće prilagoditi. U idućem razdoblju ćemo imati θ^2 proporciju cijena koje se nisu promijenile. Nakon bilo kojeg konačnog vremenskog razdoblja, uvijek ćemo imati udio cijena koje se nisu prilagodile. [9], [1] Tada jednačba agregatne ponude glasi:

$$\pi_t = b_1 E_t \pi_{t+1} + \kappa y_t + \eta_t, \quad (1.2)$$

gdje je

π_t - stopa inflacije u trenutku t

η_t - bijeli šum u trenutku t

κ - funkcija parametra θ , možemo ju tumačiti kao indeks rigidnosti cijena. Kada je $\theta = 0$, odnosno nema rigidnosti cijena (krivulja agregatne ponude je vertikalna) $\kappa = \infty$, a kada je $\theta = 1$, $\kappa = 0$ (krivulja agregatne ponude je horizontalna).

Taylorovo pravilo opisuje ponašanje središnje banke i čini treću jednačbu modela:

$$r_t = c_1(\pi_t - \pi^*) + c_2 y_t + c_3 r_{t-1} + u_t, \quad (1.3)$$

gdje je

π^* - ciljana stopa inflacije

Ravnotežno stanje proizvodnoga jaza i stope inflacije iznosi 0, a model se koristi kako bi promatrali učinke šokova proizvodnoga jaza, inflacije te kamatne stope u kratkom roku.

1.3 Kritika modela

Suočavanjem novokeynesijskog modela s empirijskim podacima došlo se do nekoliko velikih problema [15]:

1. Prvi problem je nedostatak inertnosti - šokovi imaju trenutni učinak koji se brzo širi. Iz jednačbi modela vidimo da šok u periodu t ima učinak jedino u tom periodu jer endogene varijable u budućim periodima ovise jedino međusobno i o šokovima

iz tih, budućih perioda. Drugim riječima, nema vremenskog pomaka inflacije ni proizvodnoga jaza, niti direktno u jednadžbama, niti indirektno kroz očekivanja. Ova značajka predstavlja ključni problem jer je iz empirijskih podataka jasno da su realni učinci šokova dugotrajni i ne događaju se trenutačno kada se pojavi šok.

2. Prema jednadžbi agregatne ponude, inflacija pada tijekom razdoblja prosperiteta, odnosno kada je $y_t > 0$, što predstavlja drugi problem. Ovu značajku su primijetili Ball[8] i Mankiw[24]. Ball promatra problem kroz kredibilitet središnje banke. Pokazuje da novokeynesijanski model implicira da obaranje inflacije prati razdoblje prosperiteta, ali pruža dokaze da stvarni pad inflacije prati recesija.
3. Razdoblja prosperiteta i padova su u novokeynesijanskom modelu objašnjeni endogenim šokovima koji pogađaju ekonomiju, a nemaju normalnu distribuciju. Takav način modeliranja proizvodnoga jaza dovodi do simulacije proizvodnoga jaza koji nije autokoreliran i ima normalnu distribuciju što nije u skladu s empirijskim podacima čija su svojstva objašnjena u poglavlju 2.3 Prosperitet i pad.

Ovi su problemi doveli ekonomiste pred dvojbu: koristiti model s teoretskom osnovom, ali nauštrb konzistentnosti s empirijom ili promijeniti model tako da bolje opisuje empirijske podatke. Sve se više ekonomista okreće biheavioralnoj ekonomiji kako bi pronašli model temeljen na mikroosnovama koji bolje opisuje empirijske podatke.

Poglavlje 2

Bihevioralni makroekonomski model

2.1 Uvod

Rani pokušaji pojedinih ekonomista da poboljšaju prognoze makroekonomskih modela, pomoću rezultata bihevioralne ekonomije, kako bi bolje opisivali empirijske podatke bili su ad hoc kritizirani. Pojavom financijske krize 2007-2008 i posljedične velike recesije dogodio se zaokret u makroekonomiji. Postalo je jasno da standardni makroekonomski model ne opisuje dobro stvarnost. U Studenom 2011, tadašnji guverner Europske središnje banke, Jean-Claude Trichet je opisao zabrinutost makroekonomista standardnim modelom:

”Kad je kriza došla, ozbiljna ograničenja postojećih ekonomskih i financijskih modela odmah su postala očita. Makro modeli nisu uspjeli predvidjeti krizu i činilo se da nisu u stanju uvjerljivo objasniti što se događa s gospodarstvom. Kao kreator politike tijekom krize, uvjerio sam se u ograničenu pomoć dostupnih modela. Zapravo bih išao korak dalje: suočeni s krizom, uobičajenim alati su nas napustili.”[21]

Na pomolu je bio zaokret u makroekonomiji čija je budućnost bila predmet debate među ekonomistima. Vines and Wills[27] su predložili četiri glavne promjene standardnog modela:

1. naglasiti financijska ograničenja
2. ograničiti racionalna očekivanja
3. uključiti heterogene agente
4. osmisliti prikladnije mikro osnove

U ovom poglavlju razmatrat ćemo bihevioralni novokeynesijanski model koji je razvio De Grauwe [11] u kojem agenti imaju kognitivna ograničenja. Agenti koriste jednostavna, ali pristrana pravila (heuristička pravila) kako bi prognozirali budući proizvodni jaz i stopu

inflacije. Agenti su voljni učiti iz svojih grešaka te mijenjaju heuristička pravila ovisno o tome koje je uspješnije.

2.2 Model

Bihevioralni makroekonomski model se, kao i klasični novokeynesijanski model, temelji na trima jednadžbama - jednadžbi agregatne potražnje, jednadžbi agregatne ponude i Taylorovog pravila, ali uz nekoliko bitnih razlika koje dovode do važnih prednosti ovog modela - inercije i heterogenosti agenata.

U jednadžbu agregatne potražnje uvodi se proizvodni jaz s vremenskim pomakom. Prilikom promjene uvjeta agenti se ne mogu trenutačno prilagoditi, na primjer zbog navika ili institucionalnih ograničenja, što dovodi do inercije u donošenju odluka. Primjerice, kolektivni ugovori se ne mogu trenutačno prilagođavati zbog vremena potrebnog za pregovaranje.

$$y_t = a_1 \tilde{E}_t y_{t+1} + (1 - a_1) y_{t-1} + a_2 (r_t - \tilde{E}_t \pi_{t+1}) + \epsilon_t, \quad (2.1)$$

gdje je

y_t - proizvodni jaz u razdoblju t

r_t - nominalna kamatna stopa u razdoblju t

π_t - stopa inflacije u razdoblju t

ϵ_t - bijeli šum

\tilde{E}_t - operator očekivanja (očekivanja nisu racionalno formirana)

Jednadžba agregatne ponude je izvedena iz maksimizacije profita individualnog proizvođača. Kao i u klasičnom novokeynesijanskom modelu koristi se Calvo pravilo i indeksiranje pri prilagodbi cijena. To dovodi do vremenskih pomaka varijable inflacije u jednadžbi. Jednadžba ponude se također može interpretirati kao novokeynesijanska Philipsova krivulja:

$$\pi_t = b_1 \tilde{E}_t \pi_{t+1} + (1 - b_1) \pi_{t-1} + b_2 y_t + \eta_t \quad (2.2)$$

Treća jednadžba je Taylorovo pravilo¹, a opisuje ponašanje središnje banke:

$$r_t = c_1 (\pi_t - \pi^*) + c_2 y_t + c_3 r_{t-1} + u_t, \quad (2.3)$$

¹Taylorovo pravilo je tehnika stabiliziranja ekonomske aktivnosti određivanjem kamatne stope. Ukoliko inflacija ili proizvodni jaz premaše ciljane vrijednosti koje je odredila središnja banka za 1%, prema Taylorovom pravilu, središnja banka bi trebala povećati kamatnu stopu za više od 1% kako bi stabilizirala ekonomiju. Kada inflacija ili proizvodni jaz padnu ispod ciljane razine, središnja banka smanjuje kamatnu stopu potičući time investicije i gospodarstvo. Koeficijenti Taylorovog pravila i Taylorov princip su objašnjeni u poglavlju 4. Optimalna monetarna politika.

gdje je

π^* - ciljana stopa inflacije (zbog jednostavnosti mi ćemo smatrati da je postavljena na 0)

Pretpostavljamo da središnja banka izgladuje kamatnu stopu i takvo ponašanje je predstavljeno vremenskim pomakom kamatne stope u jednadžbi (2.3).

Heuristika u modelu

Bihevioralni novokeynesijanski model se temelji na kognitivnim ograničenjima agenata. Zbog toga agenti koriste jednostavna heuristička pravila za prognoziranje budućeg proizvodnoga jaza i inflacije. Razlikujemo dva tipa heurističkih pravila: "fundamentalističko" pravilo, gdje su očekivani proizvodni jaz i inflacija jednaki svojim ravnotežnim vrijednostima (vrijednostima koje cilja središnja banka) te "ekstrapolacijsko" pravilo, gdje su očekivani proizvodni jaz i inflacija jednaki svojim prošlim vrijednostima. Korištenje ovakvih pravila prognoziranja ne zahtijeva od agenata da koriste informacije koje ne razumiju i ne zahtijeva od njih da u potpunosti razumiju svijet i model.

Iako bi bilo idealno da su pravila predviđanja izvedena na mikro osnovi, pravila koja koristimo u ovom modelu nisu, nego su nametnuta *ex post* jer je naše znanje o modeliranju procesuiranja informacija u svijetu gdje agenti iskušavaju kognitivna ograničenja još uvijek jako slabo.

Opisano jednadžbama, prethodno razmatranje glasi:

Fundamentalističko pravilo za proizvodni jaz:

$$\tilde{E}_t^f y_{t+1} = 0, \quad (2.4)$$

ekstrapolacijsko pravilo za proizvodni jaz:

$$\tilde{E}_t^e y_{t+1} = y_{t-1}. \quad (2.5)$$

Prognozu tržišta računamo kao težinski prosjek fundamentalističke i ekstrapolacijske prognoze:

$$\tilde{E}_t y_{t+1} = \alpha_{f,t} E_t^f y_{t+1} + \alpha_{e,t} E_t^e y_{t+1} \quad (2.6)$$

$$\tilde{E}_t y_{t+1} = \alpha_{f,t} 0 + \alpha_{e,t} y_{t-1} \quad (2.7)$$

$$\alpha_{f,t} + \alpha_{e,t} = 1, \quad (2.8)$$

gdje su $\alpha_{f,t}$ i $\alpha_{e,t}$ vjerojatnosti da agent koristi fundamentalističko, odnosno ekstrapolacijsko pravilo prognoziranja.

Kako bi prognozirali inflaciju, agenti koriste sličnu heuristiku kao kod prognoziranja proizvodnoga jaza. Fundamentalističko pravilo se temelji na ciljanoj inflaciji koju postavlja središnja banka i još se naziva "ciljanje inflacije". Agenti koji ne vjeruju središnjoj banci u postavljanju ciljane inflacije koriste ekstrapolacijsko pravilo te ekstrapoliraju prošlu inflaciju u budućnost.

Fundamentalističko pravilo koristi ciljanu inflaciju središnje banke π^* koja je u ovom modelu normalizirana da iznosi 0:

$$\tilde{E}_t^f \pi_{t+1} = \pi^*, \quad (2.9)$$

a ekstrapolacijsko pravilo je definirano kao:

$$\tilde{E}_t^e \pi_{t+1} = \pi_{t-1}. \quad (2.10)$$

Tržišna prognoza je težinski prosjek ovih dviju prognoza:

$$\tilde{E}_t \pi_{t+1} = \beta_{f,t} \tilde{E}_t^f \pi_{t+1} + \beta_{e,t} \tilde{E}_t^e \pi_{t+1} \quad (2.11)$$

ili

$$\tilde{E}_t \pi_{t+1} = \beta_{f,t} \pi^* + \beta_{e,t} \pi_{t-1} \quad (2.12)$$

i

$$\beta_{f,t} + \beta_{e,t} = 1. \quad (2.13)$$

Evolucijska selekcija i heterogena očekivanja

Bihevioralni novokeynesijanski model koji razmatramo se temelji na pretpostavci da agenti imaju kognitivna ograničenja te da su voljni učiti iz svojih grešaka. Kako bi modelirali učenje agenata koristit ćemo strategiju koja se zove *evolucijska selekcija* ili *učenje temeljeno na uspješnosti*[20]. Evolucijska selekcija je strategija u kojoj agenti na neki način definiraju kriterij uspjeha te podvrgavaju svoje heurističko pravilo njemu. Ako je njihovo pravilo bilo uspješno, zadržavaju ga i za sljedeće razdoblje. Ako njihovo pravilo nije bilo uspješno, odabiru novo pravilo među alternativnim pravilima. Ove strategije su u posljednjih petnaest godina mnogo proučavane te postoji nekoliko pristupa prilagodljivom učenju. Prvi je modeliranje prilagodljivih očekivanja pomoću generalizirane funkcije očekivanja, koristeći prošla opažanja varijable za prognozu budućih. Drugi pristup je razmatranje agenata kao ekonometričara i statističara koji koriste standardne statističke procedure kako bi formirali očekivanja. Treći je pristup korištenje umjetne inteligencije. Agenti se promatraju kao umjetni sustavi koji odgovaraju na inpute te se prilagođavaju i uče vremenom. U ovom radu koristit ćemo drugi pristup, odnosno promatrat ćemo agente kao statističare i ekonometričare.

Definirajmo prvo način na koji agenti ocjenjuju heuristička pravila:

$$U_{f,t} = - \sum_{k=0}^{\infty} \omega_k [y_{t-k-1} - \tilde{E}_{f,t-k-2} y_{t-k-1}]^2 \quad (2.14)$$

$$U_{e,t} = - \sum_{k=0}^{\infty} \omega_k [y_{t-k-1} - \tilde{E}_{e,t-k-2} y_{t-k-1}]^2, \quad (2.15)$$

gdje su:

$U_{f,t}$ - ocjena prognoze (korisnost) fundamentalističkog pravila

$U_{e,t}$ - ocjena prognoze (korisnost) ekstrapolacijskog pravila

ω_k - geometrijski opadajuće težine

$U_{f,t}$ i $U_{e,t}$ su definirane kao srednje kvadratne pogreške predviđanja (MSFE²). Težine ω_k opadaju jer pretpostavljamo da agenti zaboravljaju, odnosno daju manje težine greškama koje su napravili davno u prošlosti nego greškama koje su napravili nedavno.

Idući korak je odabir heurističkog pravila koje će agent koristiti na osnovu njegove ocjene. Kada bi agenti bili u potpunosti racionalni, izabrali bi pravilo koje ima bolju izvedbu, odnosno ako je $U_{f,t} > U_{e,t}$ izabrali bi fundamentalističko pravilo i obrnuto.

Međutim, psiholozi su otkrili da kada agenti imaju na izbor više alternativa, odluka ovisi i o njihovom trenutnom stanju uma, koje je u velikoj mjeri nepredvidljivo. Na stanje uma može utjecati mnogo stvari, na primjer vremenski uvjeti, nedavna emocionalna iskustva i slično. Jedan od načina na koji to možemo formalizirati je uvođenje nasumične komponente (šuma) $\epsilon_{f,t}$ i $\epsilon_{e,t}$ u izraze za $U_{f,t}$ i $U_{e,t}$. Tada je vjerojatnost odabira fundamentalističkog pravila:

$$\alpha_{f,t} = P[U_{f,t} + \epsilon_{f,t} > U_{e,t} + \epsilon_{e,t}] \quad (2.16)$$

te analogan izraz za ekstrapolacijsko pravilo.

Kako bi izveli precizniji izraz za vjerojatnost odabira pravila, moramo odrediti distribuciju varijabli $\epsilon_{f,t}$ i $\epsilon_{e,t}$. U literaturi se obično pretpostavlja da su logistički distribuirane i tada izrazi za vjerojatnosti odabira pravila glase:

$$\alpha_{f,t} = \frac{\exp(\gamma U_{f,t})}{\exp(\gamma U_{f,t}) + \exp(\gamma U_{e,t})} \quad (2.17)$$

i

$$\alpha_{e,t} = \frac{\exp(\gamma U_{e,t})}{\exp(\gamma U_{f,t}) + \exp(\gamma U_{e,t})} = 1 - \alpha_{f,t}. \quad (2.18)$$

Izraz (2.17) govori da kako se ocjena u prošlosti fundamentalističkog pravila za prognoziranje popravljiva relativno u odnosu na ocjenu ekstrapolacijskog pravila, agenti će vjerojatnije odabrati fundamentalističko pravilo za prognoziranje buduće proizvodnje.

²Mean Square Forecast Error

Parametar γ mjeri "intenzitet izbora". Ovisi o varijanci varijabli $\epsilon_{f,t}$ i $\epsilon_{e,t}$, kada je varijanca jako visoka, γ teži prema 0. U tom slučaju agent odlučuje koje će pravilo izabrati bacanjem novčića, a vjerojatnost odabira fundamentalističkog pravila iznosi 0.5. Kada γ teži ka beskonačnosti varijanca je nula. Tada vjerojatnost odabira fundamentalističkog pravila iznosi 0 ili 1. Parametar γ možemo interpretirati kao želju za učenjem iz prošlosti. Kada je $\gamma = 0$, agent nije voljan učiti iz prošlosti, a volja raste kako raste γ .

Mehanizam odabira koji koristimo se može interpretirati kao mehanizam učenja temeljen na "pokušaju i pogrešci". Kada agent shvati da pravilo koje je on izabrao ima lošiju ocjenu od alternativnog, voljan je zamijeniti svoje pravilo za bolje. Zbog toga što su konstantno željni učiti i mijenjati svoje ponašanje agenti izbjegavaju pravljenje sistematičnih grešaka što osigurava nepristranost tržišnih prognoza.

Korištenjem istog mehanizma odabira kao i za prognoziranje proizvodnog jaza možemo odrediti vjerjatnosti $\beta_{f,t}$ i $\beta_{e,t}$:

$$\beta_{f,t} = \frac{\exp(\gamma U_{f,t}^\pi)}{\exp(\gamma U_{f,t}^\pi) + \exp(\gamma U_{e,t}^\pi)} \quad (2.19)$$

$$\beta_{e,t} = \frac{\exp(\gamma U_{e,t}^\pi)}{\exp(\gamma U_{f,t}^\pi) + \exp(\gamma U_{e,t}^\pi)}, \quad (2.20)$$

gdje su $U_{f,t}^\pi$ i $U_{e,t}^\pi$ ocjene predviđanja (korisnosti) povezane s fundamentalističkim i ekstrapolativnim pravilom. One su definirane jednako kao i za proizvodni jaz, negativna vrijednost težinskog prosjeka prošlih kvadratnih greški predviđanja koristeći fundamentalističko, odnosno ekstrapolativno pravilo.

Ako je središnja banka pouzdana, korištenje fundamentalističkog pravila će davati dobre prognoze i vjerojatnost da će se agent osloniti na ciljanu inflaciju će biti velika. Ako fundamentalističko pravilo nema dobre prognoze (u usporedbi s jednostavnim ekstrapolacijskim pravilom), vjerojatnost da će ga agenti koristiti bit će mala.

Heterogenost agenata je važna odlika biheviornog novokeynesijskog modela. Za razliku od klasičnog novokeynesijskog modela u kojem cijelu ekonomiju modeliramo pomoću reprezentativnoga agenta, u biheviornom novokeynesijskom modelu smatramo da se agenti međusobno razlikuju u svojim uvjerenjima i ponašanju, koji se mogu mijenjati kroz vrijeme. Također, međusobne interakcije agenata utječu na njihove odabire heurističkih pravila. Budući da se zbog prilagodljivog učenja te međusobnih interakcija agenti prebacuju s jednog heurističkog pravila na drugo, na agregatnoj razini to generira endogena razdoblja prosperiteta i padova oponašajući tako stvarne makrofinancijske podatke kao što su baloni i padovi, teški repovi i nakupljena volatilitnost.

Individualna očekivanja svakog pojedinog agenta mogu imati utjecaj na događaje u stvarnosti. Primjerice, previše optimistična očekivanja su pojačala snažan rast na svjetskim financijskim tržištima u kasnim 1990-ima, kao što su i nedavno pojačala pretjerani

rast cijena nekretnina od 2000 do 2008[22]. Pretjerano pesimistična očekivanja također mogu utjecati na ekonomiju, pa su tako primjerice pesimistična očekivanja mogla pojačati učinke i produbiti financijsku krizu koja je počela 2007/2008 godine. Heterogenost agenata ima veliku ulogu prilikom formiranja agregatnih očekivanja. Agenti se u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu razlikuju u svojim uvjerenjima i ponašanju, koji se mogu mijenjati kroz vrijeme. Također, međusobne interakcije agenata mogu utjecati na odabir heurističkog pravila, odnosno formiranje očekivanja. Takvo prebacivanje agenata s jednog heurističkog pravila na drugo generira endogene cikluse, odnosno razdoblja prosperiteta i padova, oponašajući time stvarnu dinamiku.

Rješavanje modela

Polazeći od jednadžbi (2.1), (2.2) i (2.3), metodom supstitucije možemo doći do matričnog zapisa modela.

Prvi korak je uvrštavanje jednadžbe (2.3) u jednadžbu (2.1):

$$y_t = a_1 \tilde{E}_t y_{t+1} + (1 - a_1) y_{t-1} + a_2 c_1 (\pi_t - \pi^*) + a_2 c_2 y_t + a_2 c_3 r_t - 1 + a_2 u_t - a_2 \tilde{E}_t \pi_{t+1} \epsilon_t,$$

a jednadžbu (2.2) prepisujemo:

$$\pi_t = b_1 \tilde{E}_t \pi_{t+1} + (1 - b_1) \pi_{t-1} + b_2 y_t + \eta_t$$

pa sređivanjem dolazimo do:

$$(1 - a_2 c_2) y_t - a_2 c_1 \pi_t = a_1 \tilde{E}_t y_{t+1} - a_2 \tilde{E}_t \pi_{t+1} + (1 - a_1) y_{t-1} + a_2 c_3 r_{t-1} + a_2 u_t + \epsilon_t$$

$$\pi_t - b_2 y_t = b_1 \tilde{E}_t \pi_{t+1} + (1 - b_1) \pi_{t-1} + \eta_t.$$

Ako zapišemo gornje jednadžbe pomoću matrica dobivamo matrični oblik:

$$\begin{bmatrix} 1 & -b_2 \\ -a_2 c_1 & 1 - a_2 c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \pi_t \\ y_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ -a_2 & a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{E}_t \pi_{t+1} \\ \tilde{E}_t y_{t+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 - b_1 & 0 \\ 0 & 1 - a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \pi_{t-1} \\ y_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ a_2 c_3 \end{bmatrix} r_{t-1} + \begin{bmatrix} \eta_t \\ a_2 u_t + \epsilon_t \end{bmatrix},$$

odnosno ako označimo matrice na sljedeći način

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -b_2 \\ -a_2 c_1 & 1 - a_2 c_2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ -a_2 & a_1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 - b_1 & 0 \\ 0 & 1 - a_1 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 0 \\ a_2 c_3 \end{bmatrix}, v = \begin{bmatrix} \eta_t \\ a_2 u_t + \epsilon_t \end{bmatrix}$$

$$Z_t = \begin{bmatrix} \pi_t \\ y_t \end{bmatrix}$$

dobivamo:

$$AZ_t = B\tilde{E}_t Z_{t+1} + CZ_{t-1} + br_{t-1} + v_t. \quad (2.21)$$

Rješenje je dano idućim izrazom:

$$Z_t = A^{-1}[B\tilde{E}_t Z_{t+1} + CZ_{t-1} + br_{t-1} + v_t] \quad (2.22)$$

i postoji kada matrica A nije singularna odnosno ako vrijedi $(1 - a_2c_2) - a_2b_2c_1 \neq 0$.

Ovime smo dobili rješenje za y_t i π_t uz dane prognoze za y_{t+1} i π_{t+1} koje su opisane jednačbama od (2.4) do (2.17) i mogu se uvrstiti u model. Rješenje za r_t dobijemo kada uvrstimo rješenja za y_t i π_t u jednačbu (2.3).

S obzirom na to da je model nelinearan, teško je doći do analitičkih rješenja pa ćemo umjesto toga koristiti numeričke metode kako bi analizirali dinamiku modela.

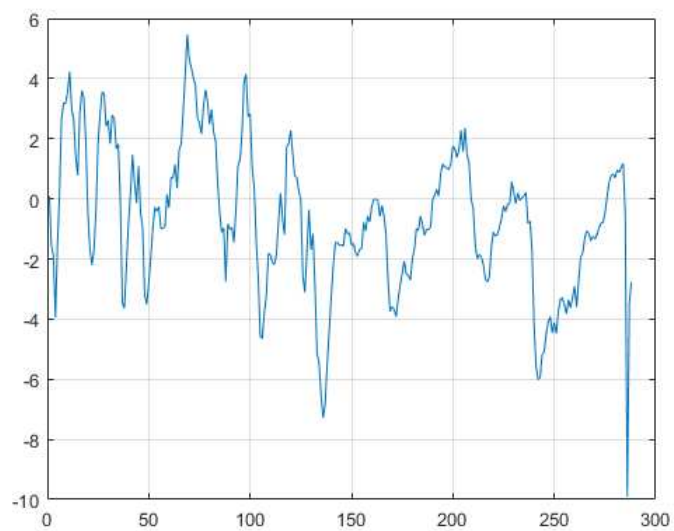
2.3 Prosperitet i pad

Kapitalizam je karakteriziran razdobljima prosperiteta, odnosno snažnog rasta te padovima - razdobljima opadanja rasta ekonomije. Svaki makroekonomski model pokušava objasniti razdoblja prosperiteta i padova.

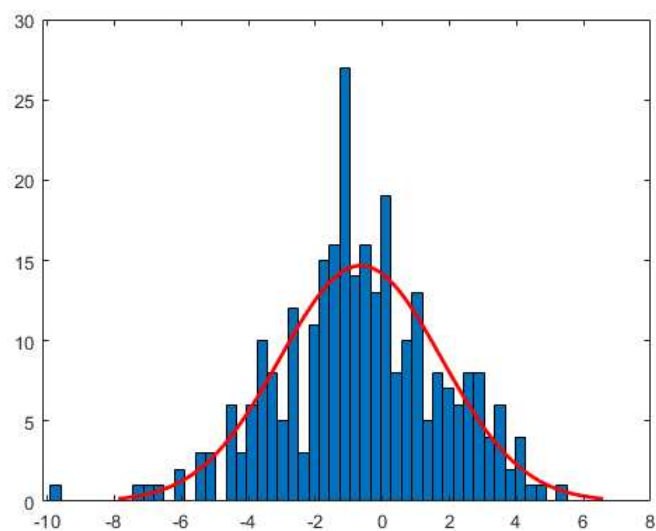
Promotrimo prvo empirijske podatke o proizvodnom jazu za SAD u razdoblju 1949 - 2020. Podaci koji su korišteni za ovu analizu su preuzeti sa [https : //ycharts.com/indicators/us_percent_gdp_gap](https://ycharts.com/indicators/us_percent_gdp_gap) i prikazani u tablicama 7.1 i 7.2. Proizvodni jaz je prikazan na slici 2.1. Na grafu su lako uočljiva snažna ciklička kretanja što dovodi do pretpostavke da je proizvodni jaz snažno autokoreliran, odnosno da je proizvodni jaz u periodu t snažno povezan s proizvodnim jazom u periodu $t - 1$. Kako bi to i potvrdili, računamo koeficijent autokorelacije proizvodnoga jaza. Rezultat je prikazan u idućoj tablici:

	empirijski podaci
koeficijent autokorelacije	0.89

Važna odlika proizvodnoga jaza koja nije odmah uočljiva na slici 2.1 je ta da nije normalno distribuiran. Za SAD i većinu zemalja OECD-a to je pokazano u Fagiolo et al. [17], a mi ćemo to pokazati za SAD. Kako bi vizualno promotrili distribuciju proizvodnoga jaza, crtamo histogram 2.2.



Slika 2.1: Proizvodni jaz SAD-a od 1949. do 2020.



Slika 2.2: Histogram proizvodnoga jaza SAD-a od 1949. do 2020.

Sa histograma vidimo da je velika koncentracija podataka oko očekivanja (koje iznosi 0). Za provjeru računamo koeficijent spljoštenosti. Rezultat je prikazan u idućoj tablici:

svojstvo	empirijski podaci	normalna razdioba
koeficijent spljoštenosti	3.3258	3.0

Još jedna karakteristika koju možemo vizualno primijetiti na histogramu su teški repovi, odnosno jako velika odstupanja proizvodnoga jaza od 0 su češća nego što bi bila da je normalno distribuiran. Kako bi sve to i formalno potvrdili, provesti ćemo Kolmogorov-Smirnovljev test normalnosti uz razinu značajnosti 95%:

H_0 : uzorak ima normalnu distribuciju

H_1 : uzorak nema normalnu distribuciju

Rezultati testa prikazani su u idućoj tablici:

	vrijednost
testna statistika	0.3056
p-vrijednost	$4.5662e - 24$

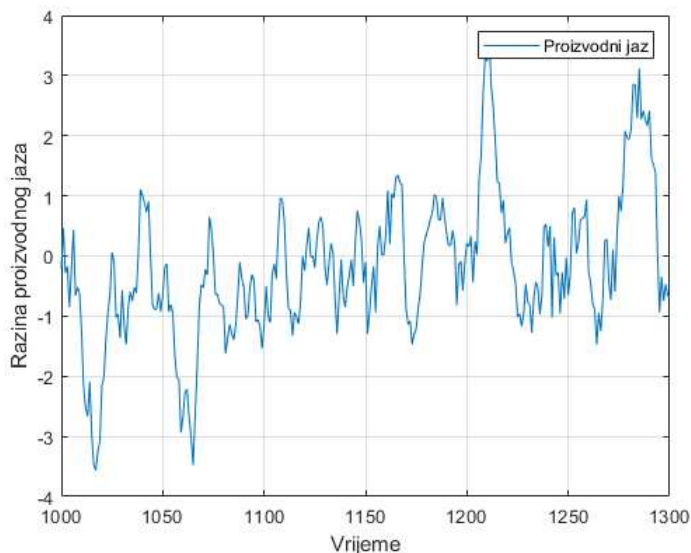
p-vrijednost testa je $4.5662e - 24$, što znači da na svim razumnim razinama značajnosti odbacujemo osnovnu hipotezu H_0 u korist alternativne hipoteze H_1 , odnosno na svim razumnim razinama značajnosti odbacujemo hipotezu da je uzorak normalno distribuiran u korist hipoteze da uzorak nije normalno distribuiran.

Simulacija bihevioralnog novokeynesijanskog modela

U ovom odjeljku simulirat ćemo proizvodni jaz i inflaciju koristeći bihevioralni novokeynesijanski model te objasniti karakteristike dobivenih simulacija. Kao vremenske jedinice koristiti ćemo mjesece, a za šokove potražnje, ponude i kamatne stope pretpostavljamo da su nezavisni i normalno distribuirani s očekivanjem 0 i standardnom devijacijom 0.5.

Slika 2.3 prikazuje proizvodni jaz simuliran u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu. Možemo primijetiti snažnu cikličku dinamiku, koja je karakterizirala i empirijske podatke. Ta ciklička dinamika posljedica je *životinjskih nagona*. Životinjski nagoni su koncept koji je u ekonomiju uveo Keynes, a definiramo ga kao valove optimizma i pesimizma agenata koji imaju samoispunjavajuća svojstva i potiču kretanja investicija i proizvodnje. O životinjskim nagonima možemo razmišljati kao o indeksu koji nam govori koji je udio agenata koji predviđaju pozitivan proizvodni jaz. Indeks životinjskih nagona definiramo na sljedeći način:

$$S_t = \begin{cases} \alpha_{e,t} - \alpha_{f,t}, & \text{za } y_{t-1} > 0 \\ -\alpha_{e,t} + \alpha_{f,t}, & \text{za } y_{t-1} < 0 \end{cases} \quad (2.23)$$



Slika 2.3: Simulacija proizvodnoga jaza u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu

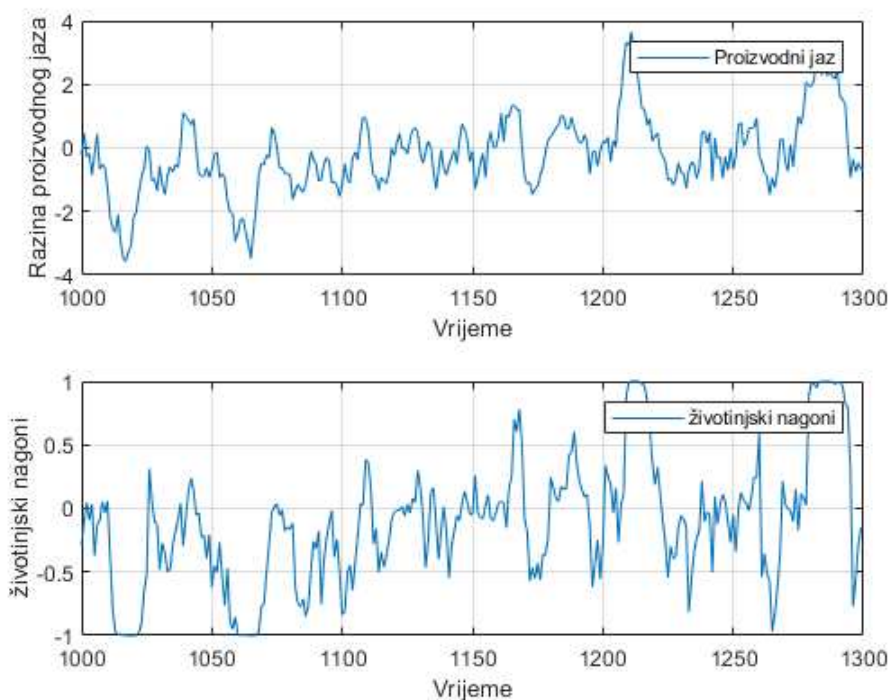
odnosno

$$S_t = \begin{cases} \alpha_{e,t} - (1 - \alpha_{e,t}) = 2\alpha_{e,t} - 1, & \text{za } y_{t-1} > 0 \\ -\alpha_{e,t} + (1 - \alpha_{f,t}) = -2\alpha_{e,t} + 1, & \text{za } y_{t-1} < 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

Vrijednost indeksa se kreće od -1 do 1 , a ovisi o vrijednosti y_{t-1} :

1. kada je $y_{t-1} > 0$, udio ekstrapolatora koji prognoziraju pozitivan proizvodni jaz iznosi $\alpha_{e,t}$. Budući da je $y_{t-1} > 0$ fundamentalisti očekuju smanjenje proizvodnoga jaza prema prirodnoj razini 0 te stoga prognoziraju negativan proizvodni jaz. Udio takvih agenata je $\alpha_{f,t}$.
2. kada je $y_{t-1} < 0$, udio ekstrapolatora koji prognoziraju negativan proizvodni jaz je $\alpha_{e,t}$ i dajemo mu negativan predznak. Fundamentalisti u ovom slučaju očekuju rast proizvodnoga jaza prema prirodnoj razini 0 te prognoziraju pozitivan proizvodni jaz. Udio takvih agenata je $\alpha_{f,t}$.
3. Kada je $\alpha_{e,t} = \alpha_{f,t}$ $S_t = 0$ životinjski nagoni nemaju nikakav utjecaj.
4. Kada je $S_t = 1$ svi agenti predviđaju pozitivan proizvodni jaz, a kada je $S_t = -1$, svi agenti predviđaju negativan proizvodni jaz.

Samoispunjujuće svojstvo životinjskih nagona se može opisati na sljedeći način: Pretpostavimo da niz nasumičnih šokova stvori mogućnost da jedno od heurističkih pravila, na primjer, ekstrapolacijsko, ima manju pogrešku pri prognoziranju (manji MSFE³). To navodi agente koji koriste fundamentalističko pravilo na promjenu. Ukoliko se u tom periodu pomoću ekstrapolacijskog pravila prognozira pozitivan proizvodni jaz, sve više agenata će postati optimistično i prognozirati proizvodni jaz. Takav efekt zaraze dovodi do povećanja korištenja ekstrapolacijskog pravila i prognoziranja pozitivnog proizvodnoga jaza, što stimulira agregatnu potražnju. Dolazi do razdoblja prosperiteta. U nekom trenutku, negativni šokovi ili reakcija središnje banke povećavanjem kamatne stope zbog inflacije koja tijekom prosperiteta premašuje ciljanu vrijednost će dovesti do toga da fundamentalističko pravilo postane ponovno poželjno i ekonomija radi zaokret.



Slika 2.4: Simulacija proizvodnoga jaza i indeksa životinjskih nagona u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu

Gornji dio slike 2.4 prikazuje ponovno simulirani proizvodni jaz, dok na donjem dijelu slike možemo vidjeti simulaciju indeksa životinjskih nagona. Očita je povezanost

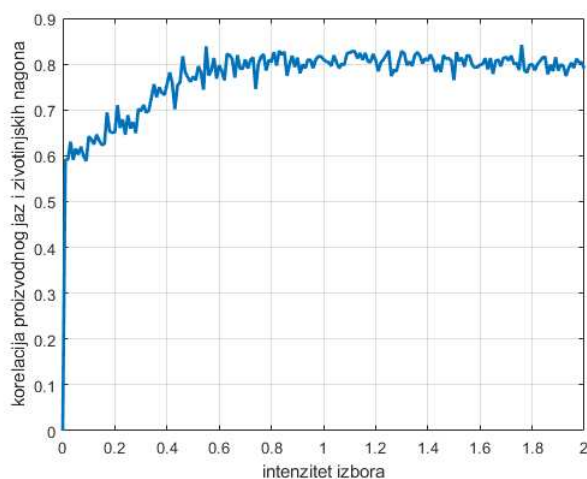
³Mean Square Forecast Error (srednjekvadratna pogreška prognoziranja)

životinjskih nagona i kretanja proizvodnoga jaza što dovodi do zaključka da biheviornalni model generira endogene valove optimizma i pesimizma dovodeći tako do razdoblja prosperiteta i padova.

Kako bi razumjeli zbog čega dolazi do pojave životinjskih nagona predstaviti ćemo analizu osjetljivosti parametara. Koeficijent korelacije indeksa životinjskih nagona i proizvodnoga jaza sa slike 2.4 iznosi 0.81. Što se događa s koeficijentom kada se mijenjaju parametri modela?

Parametar koji ćemo proučavati je γ , odnosno parametar intenziteta izbora. Kao što je već objašnjeno u odjeljku "Heuristika u modelu" parametar γ predstavlja intenzitet kojim agenti mijenjaju heuristička pravila:

1. Kada je $\gamma = 0$, mehanizam odabira pravila je stohastički, odnosno agent odabire heurističko pravilo bacanjem novčića. Na taj način ništa ne uči iz prošlosti.
2. Kako se parametar γ povećava prema razini 1, agenti postaju osjetljivi na greške iz prošlosti i uče iz njih te korelacija između proizvodnoga jaza i indeksa životinjskih nagona naglo raste. Iz toga možemo zaključiti kako je za pojavu životinjskih nagona dovoljna jako mala razina parametra γ , odnosno minimalna razina želje za učenjem.

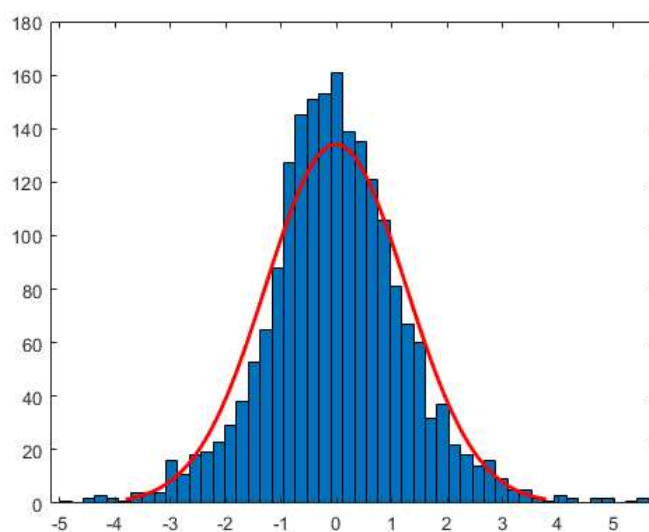


Slika 2.5: Intenzitet odabira i životinjski nagoni

Simuliranjem proizvodnoga jaza za vrijednosti parametra γ između 0 i 2 s korakom 0.01 dobili smo opažanje koje je prikazano na slici 2.5 i u skladu je s prethodnim razmatranjem.

Kao što je pokazano za empirijske podatke za SAD, kretanja proizvodnoga jaza nemaju normalnu distribuciju. Zahvaljujući endogenim valovima optimizma i pesimizma, bihevioralni novokeynesijanski model simulira proizvodni jaz čija distribucija nije normalna. U nastavku pružamo nekoliko opažanja na osnovu kojih to možemo zaključiti, a na kraju i formalni test normalnosti.

Na slici 2.6 prikazan je histogram proizvodnoga jaza simuliranog u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu. Za lakšu usporedbu, crvenom linijom je označena gustoća normalne razdiobe.



Slika 2.6: Histogram proizvodnoga jaza simuliranog u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu

Na histogramu možemo primijetiti kako postoji značajno nakupljanje podataka oko očekivanja distribucije, znatno više nego što bi to trebalo biti kod normalne razdiobe. Kako bi to potvrdili računamo koeficijent spljoštenosti. Za simulirani proizvodni jaz on iznosi 4.3865, dok za normalnu razdiobu iznosi 3 (prikazano u tablici). Na histogramu još možemo primijetiti da simulirani proizvodni jaz ima teške repove. To znači da je previše podataka koji značajno odstupaju od očekivanja.

svojstvo	simulacija	normalna razdioba
koeficijent spljoštenosti	4.3865	3.0

Kako bi formalno dokazali da simulirani proizvodni jaz nema normalnu distribuciju, koristili smo Jarque-Bera test, uz razinu značajnosti 95% ($\alpha = 0.05$):

H_0 : uzorak je normalno distribuiran

H_1 : uzorak nije normalno distribuiran

Rezultati testa prikazani su u idućoj tablici.

	vrijednost
testna statistika	167.8749
p-vrijednost	1.0000e-03

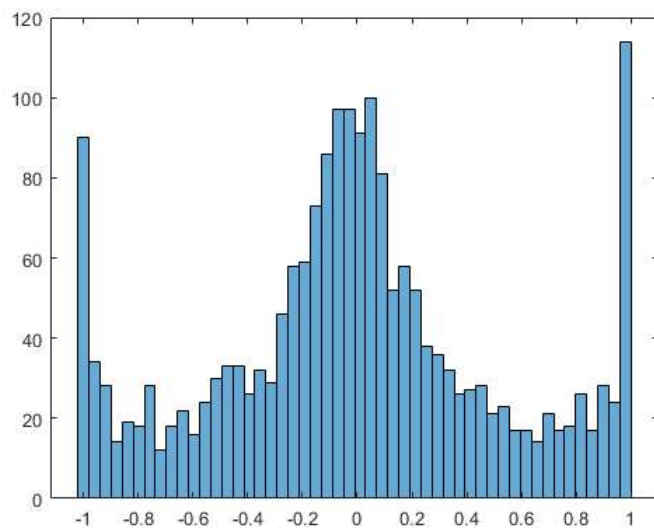
Budući da je p-vrijednost < 0.05 , na razini značajnosti 95% možemo odbaciti osnovnu hipotezu H_0 u korist alternativne hipoteze H_1 , odnosno možemo odbaciti pretpostavku da je uzorak normalno distribuiran.

Kod promatranja empirijskih podataka za SAD primjetili smo da je proizvodni jaz snažno autokoreliran. Provjerili smo koeficijente autokorelacije proizvodnoga jaza simuliranog u bihevioralnom modelu, a rezultati su prikazani u sljedećoj tablici.

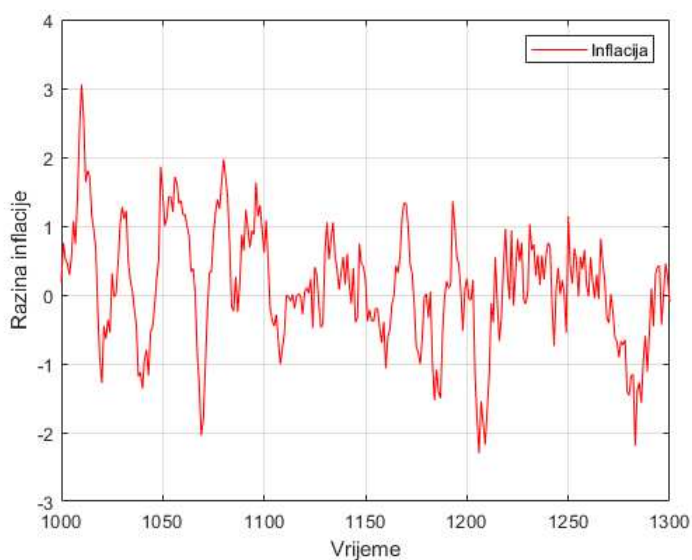
	simulacija	empirijski podaci
koeficijent autokorelacije	0.91	0.89

Ne-normalna distribucija proizvodnoga jaza u bihevioralnom modelu omogućava pojavu velikih odstupanja od očekivanja, odnosno za razliku od klasičnoga novokeynesijskoga modela, ne zanemaruje mogućnost pojave razdoblja prosperiteta i padova. Ovu pojavu u bihevioralnom modelu možemo objasniti indeksom životinjskih nagona, pa na slici 2.7 promatramo histogram životinjskih nagona. Na histogramu vidimo koncentraciju indeksa oko sredine distribucije, odnosno očekivanja te oko ekstremnih vrijednosti -1 i 1 . U razdobljima kada imamo koncentraciju indeksa oko očekivanja nalazimo se u mirnom periodu, bez izraženog optimizma ili pesimizma agenata te bez velikih volatilnosti proizvodnoga jaza. U razdobljima kada je indeks koncentriran oko -1 i 1 , većina agenata prognozira negativan, odnosno pozitivan proizvodni jaz. Zbog samoispunjujućeg svojstva životinjskih nagona, dolazi do razdoblja pada, odnosno prosperiteta, to jest, velikih kretanja proizvodnoga jaza.

Promotrimo još i simulaciju inflacije u bihevioralnom novokeynesijskom modelu na slici 2.8. Ako usporedimo kretanje inflacije sa indeksom životinjskih nagona vidjeti ćemo da postoji povezanost. U slučajevima kada udio agenata koji biraju ekstrapolacijsko heurističko pravilo iznosi oko 50%, inflacija se kreće u rasponu 1% oko vrijednosti koju cilja središnja banka (pretpostavka je da je to 0 u ovom modelu). U slučajevima kada su agenti koji koriste ekstrapolacijsko pravilo dominantni, stopa inflacije značajno fluktuirala.



Slika 2.7: Histogram životinjskih nagona simuliranih u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu



Slika 2.8: Inflacija simulirana u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu

Poglavlje 3

Proširenja modela

3.1 Uvođenje tržišta imovine u model

Financijska kriza 2007. godine pokazala je da je kretanje tržišta imovine važno za razumijevanje makroekonomskih fluktuacija. Kretanja tržišta dionica, obveznica i nekretnina utječu na kretanja proizvodnje i inflacije. Stoga u naš makroekonomski model uvodimo tržišta imovine, odnosno tržište dionica. Zanimati će nas dvije stvari - kako tržište imovine utječe na kretanja proizvodnje i inflacije te treba li i ako treba, na koji način, središnja banka reagirati na razvoj cijena imovine.

Cijene dionica i agregatna potražnja i ponuda

Promjena cijena dionica utječe na agregatnu potražnju na dva načina. Prvi je rezultat "efekta bogatstva" - kada cijene dionica rastu, raste i bogatstvo potrošača što ih navodi na još veću potrošnju. Drugi je koncept kreditnog pojačanja. Kada tvrtke posuđuju novac, recimo od banke, one plaćaju premiju rizika jer banke nisu u potpunosti informirane o rizicima investicija tvrtke. Što je veći percipirani rizik, premija rizika je veća. Kada cijene dionica rastu, raste i vrijednost neto kapitala tvrtke. U tom slučaju rizik banke prilikom posuđivanja novca tvrtki se smanjuje, pa se smanjuje i premija rizika. Banke postaju voljne posuđivati novac, a krediti postaju lakše dostupni tvrtkama čime se stimuliraju investicije.

Promjene cijena dionica utječu i na agregatnu ponudu. Porast cijena dionica dovodi do smanjenja premije rizika što smanjuje troškove kredita tvrtke, odnosno granične troškove tvrtke što stimulira agregatnu ponudu.

Promjene cijena dionica možemo promatrati i kroz bilancu tvrtke. Rast cijena dionica poboljšava bilancu te omogućuje tvrtkama da povećaju potrošnju na investicije i da dobivaju kredite s manjim troškovima. S obzirom na to da porast cijena dionica u periodu t poboljšava bilancu na kraju razdoblja t , tvrtka profitira zbog poboljšane bilance tek u

idućem periodu $t + 1$. Također, pad cijena dionica ima obrnute efekte na bilance tvrtki, što dovodi do negativnih efekata na potrošnju na investicije i troškove kredita.

Da bi izračunali cijene dionica koristiti ćemo popularni model diskontiranih dividendi, odnosno Gordonov model¹:

$$P_t = \frac{E_t(D_{t+1})}{R_t}, \quad (3.1)$$

gdje je

$E_t(D_{t+1})$ - očekivana buduća dividenda, za koju se pretpostavlja da je od perioda $t + 1$ nadalje, konstantna

$R_t = r_t + \phi$ - diskontna stopa koja se koristi za računanje sadašnje vrijednosti budućih dividendi

R_t se sastoji od kamatne stope r_t i premije na kapital ϕ za koju ćemo mi pretpostavljati da je konstantna. Dakle pretpostavljamo da u svakom periodu agenti prognoziraju buduće dividende i pretpostavljaju da će nadalje u budućnosti biti konstantne. Agenti rade prognozu dividendi nanovo u svakom periodu.

Dividende su proporcija nominalnog bruto domaćeg proizvoda (BDP-a)² pa je prognoziranje dividendi usko vezano za prognoziranje proizvodnoga jaza i inflacije.

Promjena cijena dionica u jednadžbama bihevioralnog modela

Krivulja agregatne potražnje sada izgleda ovako:

$$y_t = a_1 \tilde{E}_t y_{t+1} + (1 - a_1)y_{t-1} + a_2(r_t - \tilde{E}_t \pi_{t+1}) + a_3 \Delta s_{t-1} + \epsilon_t, \quad (3.2)$$

gdje je Δs_{t-1} promjena cijena dionica i $a_3 \geq 0$ (pretpostavljamo da porast cijena dionica ima pozitivan efekt na agregatnu potražnju).

Jednadžba agregatne ponude:

$$\pi_t = b_1 \tilde{E}_t \pi_{t+1} + (1 - b_1)\pi_{t-1} + b_2 y_t + b_3 \Delta s_{t-1} + \eta_t, \quad (3.3)$$

gdje je $b_3 \leq 0$ (pretpostavljamo da porast cijena dionica smanjuje granične troškove i tako ima negativan efekt na inflaciju).

U Taylorovo pravilo uključujemo promjene cijena dionica čime omogućujemo središnjoj banci da reagira na promjene u cijenama:

$$r_t = c_1(\pi_t - \pi^*) + c_2 y_t + c_3 r_{t-1} + c_4 \Delta s_{t-1} + u_t \quad (3.4)$$

¹Gordonov model rasta koristi se za određivanje vrijednosti dionice na temelju budućeg niza dividendi koje rastu konstantnom stopom. Detaljnije objašnjen u [4], [5].

²prosječni udio dividendi u BDP-u SAD-a od 1947. do 2020. iznosi 3.54% Izvor:
<https://fred.stlouisfed.org/graph/?g=t80>

Iz jednadžbe (3.4) vidi se da središnja banka reagira na promjene cijena dionica drugačije nego na kretanja proizvodnoga jaza i inflacije. Za proizvodni jaz i inflaciju središnja banka ima ciljne vrijednosti i pokušava smanjiti odstupanja od njih. Za promjene cijena dionica središnja banka nema ciljanu vrijednost, jer trenutno ne postoji neka općeprihvaćena ekonomska teorija o tome koja je najbolja razina cijena dionica, već se koristi načelom "kontra trenda" (*leaning against the wind*³).

Agenti i dalje na isti način prognoziraju proizvodni jaz i inflaciju, ali sada moramo odrediti i način na koji prognoziraju dividende čime se određuju cijene dionica kroz jednadžbu (3.1). Pretpostavljamo da su dividende konstantni postotak nominalne proizvodnje (BDP-a). Prognozu nominalne proizvodnje računamo kao zbroj prognoze inflacije i proizvodnje .

Simulacija modela

3.2 Proširenje osnovnog modela

Uvod

U bihevioralnom modelu koji smo razvili agenti su koristili jednostavna heuristička pravila i bili su ili fundamentalisti ili ekstrapolatori. Koristeći ta jednostavna pravila proveli smo analize i dobili rezultate i karakteristike modela. Postavlja se pitanje što bi se dogodilo da smo koristili drugačija pravila prognožiranja. Dakle, trebamo analizirati robustnost modela. To ćemo napraviti proširujući izbor heurističkih pravila prognožiranja zadržavajući dosadašnji mehanizam odabira.

Bihevioralni novokeynesijanski model s tri heuristička pravila

Do sada smo u modelu pretpostavljali da fundamentalisti znaju ravnotežnu vrijednost proizvodnoga jaza i na osnovu nje prognoziraju budući proizvodni jaz. U ovom proširenju ćemo odbaciti tu pretpostavku i zauzeti stav da agenti nisu sigurni koja je ravnotežna vrijednost proizvodnoga jaza. Pretpostaviti ćemo da agenti smatraju kako kretanja proizvodnoga jaza nisu normalno distribuirana te da su svjesni rizika pojave velikih promjena.

Ponovno koristimo najjednostavniju moguću heuristiku, ali ovoga puta fundamentaliste dijelimo na optimistične fundamentaliste i pesimistične fundamentaliste. Optimistični fundamentalisti predviđaju pozitivan proizvodni jaz, a pesimistični negativan. Stoga fundamentalistička pravila prognožiranja glase ovako:

³Načelo *leaning against the wind* podrazumijeva čvršću monetarnu politiku nego što je potrebno u svrhu financijske stabilnosti i postizanja ciljne inflacije. [26]

$$\tilde{E}_t^{fo} y_{t+1} = a \quad (3.5)$$

$$\tilde{E}_t^{fp} y_{t+1} = -a, \quad (3.6)$$

gdje je (3.5) optimistično fundamentalističko pravilo, (3.6) pesimistično fundamentalističko pravilo, a a pozitivna konstanta.

Osim ova dva pravila, zadržavamo i ekstrapolacijsko pravilo:

$$\tilde{E}_t^e y_{t+1} = y_{t-1}. \quad (3.7)$$

Mehanizam odabira ostaje kao i u osnovnom bihevioralnom modelu - agenti biraju između tri pravila računajući korisnosti, odnosno ocjenu svakog od njih:

$$U_{fo,t} = - \sum_{k=1}^{\infty} \omega_k [y_{t-k} - \tilde{E}_{fo,t-k-1} y_t - k] \quad (3.8)$$

$$U_{fp,t} = - \sum_{k=1}^{\infty} \omega_k [y_{t-k} - \tilde{E}_{fp,t-k-1} y_t - k] \quad (3.9)$$

$$U_{e,t} = - \sum_{k=1}^{\infty} \omega_k [y_{t-k} - \tilde{E}_{e,t-k-1} y_t - k], \quad (3.10)$$

gdje je

$E_{fo,t}$ - korisnost optimističnog fundamentalističkog pravila

$E_{fp,t}$ - korisnost pesimističnog fundamentalističkog pravila

$E_{e,t}$ - korisnost ekstrapolacijskog pravila

Pripadajuće vjerojatnosti izbora svakog od tih pravila su sljedeće:

$$\alpha_{fo,t} = \frac{\exp(\gamma U_{fo,t})}{\exp(\gamma U_{fo,t}) + \exp(\gamma U_{fp,t}) + \exp(\gamma U_{e,t})} \quad (3.11)$$

$$\alpha_{fp,t} = \frac{\exp(\gamma U_{fp,t})}{\exp(\gamma U_{fo,t}) + \exp(\gamma U_{fp,t}) + \exp(\gamma U_{e,t})} \quad (3.12)$$

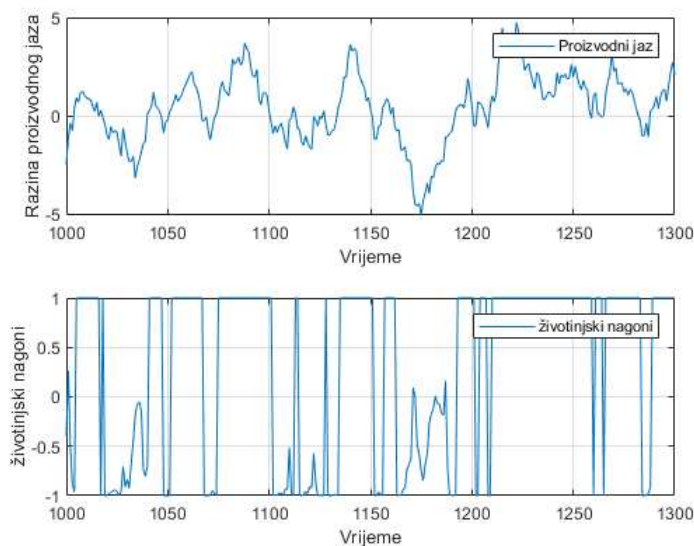
$$\alpha_{e,t} = \frac{\exp(\gamma U_{e,t})}{\exp(\gamma U_{fo,t}) + \exp(\gamma U_{fp,t}) + \exp(\gamma U_{e,t})}. \quad (3.13)$$

Dakle, sada agenti od tri pravila biraju ono koje je najuspješnije.

Na isti način kako smo simulirali osnovni bihevioralni makroekonomski model, sada ćemo simulirati i prošireni.

Koristeći iste koeficijente modela, dobivamo iduće rezultate.

Na slici 3.1 vidimo simulaciju proizvodnoga jaza indeksa životinjskih nagona u proširenom bihevioralnom modelu. Ovoga puta životinjske nagone smo definirali kao zbroj proporcija ekstrapolatora koji prognoziraju pozitivan proizvodni jaz i optimističnih fundamentalista.



Slika 3.1: Simulacija proizvodnoga jaza i životinjskih nagona u proširenom modelu

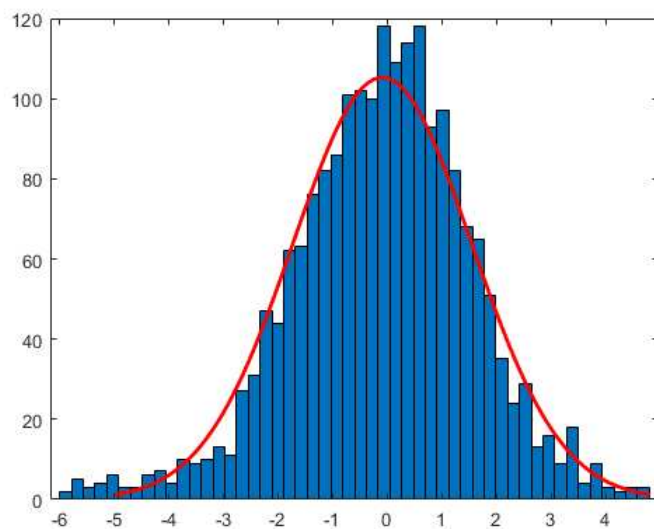
I u ovom slučaju primjećujemo cikličku dinamiku proizvodnoga jaza, koja je čak i izraženija nego u osnovnom bihevioralnom modelu, a posljedica je distribucije životinjskih nagona.

Kako bi to bolje razumjeli razumijeli, prikazimo i histogram proizvodnoga jaza (slika 3.2) te histogram životinjskih nagona (slika 3.3). Na histogramu životinjskih nagona vidimo koncentraciju indeksa oko ekstremnih vrijednosti.

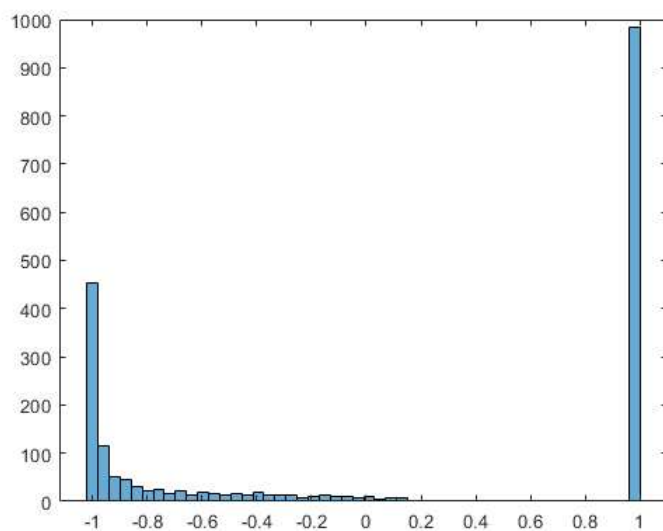
Ponovno, vizualno možemo primjetiti da proizvodni jaz nije normalno distribuiran, a u ovom slučaju imamo i teže repove. To je posljedica velike koncentracije životinjskih nagona oko ekstremnih vrijednosti 0 i 1. Koeficijent spljoštenosti (*kurtosis*) prikazan je u idućoj tablici:

svojtvo	simulacija	normalna razdioba
koeficijent spljoštenosti	3.6692	3.0

Također, proveden je i Jarque-Berra test kako bismo i formalno odbacili normalnost na razini značajnosti 95%. Rezultati su prikazani na slici u idućoj tablici.



Slika 3.2: Histogram proizvodnoga jaza simuliranog u proširenom modelu



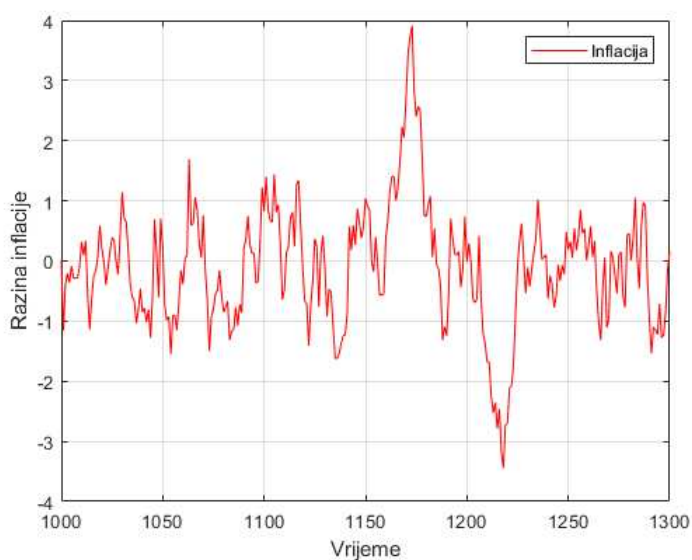
Slika 3.3: Histogram životinjskih nagona simuliranog u proširenom modelu

	vrijednost
testna statistika	69.6901
p-vrijednost	1.0000e-03

p-vrijednost iznosi 0.001, što je manje od 0.05 pa uz razinu značajnosti 95% možemo odbaciti osnovnu hipotezu da je uzorak normalno distribuiran u korist alternativne hipoteze da uzorak nije normalno distribuiran.

Možemo zaključiti da postojanje optimističnih i pesimističnih fundamentalista u kombinaciji sa ekstrapolatorima pojačava valove optimizma i pesimizma i dovodi do simulacije proizvodnoga jaza koja odudara od normalne distribucije i više nego simulacija proizvodnoga jaza u osnovnom modelu.

Simulacija inflacije je slična kao i u osnovnom modelu. Rezultat je prikazan na slici 3.4. U razdobljima kada dominiraju fundamentalisti inflacija se kreće umjereno, dok u razdobljima kada prevladavaju ekstrapolatori vidimo snažnije odmake od ciljane vrijednosti (0).



Slika 3.4: Simulacija inflacije u proširenom modelu

Bihevioralni novokeynesijanski model s četiri heuristička pravila

U ovom odjeljku promotriti ćemo proširenje osnovnog bihevioralnog novokeynesijanskog modela pomoću alternativnih heurističkih pravila za predviđanje proizvodnoga jaza. He-

uristička pravila koja koristimo su iduća:

$$\tilde{E}_t^e y_{t+1} = y_{t-1} \quad (3.14)$$

$$\tilde{E}_t^f y_{t+1} = 0 \quad (3.15)$$

$$\tilde{E}_t^r y_{t+1} = 2y_{t-1} - y_{t-2} \quad (3.16)$$

$$\tilde{E}_t^c y_{t+1} = y_{t-1} - 0.5(y_{t-1} - y_{t-2}). \quad (3.17)$$

Prognozu tržišta tada računamo kao:

$$\tilde{E}_t y_{t+1} = \alpha_{e,t} \tilde{E}_t^e y_{t+1} + \alpha_{f,t} \tilde{E}_t^f y_{t+1} + \alpha_{tr,t} \tilde{E}_t^r y_{t+1} + \alpha_{c,t} \tilde{E}_t^c y_{t+1}, \quad (3.18)$$

gdje su $\alpha_{e,t}, \alpha_{f,t}, \alpha_{tr,t}, \alpha_{c,t}$ vjerojatnosti izbora pravila (3.14), (3.15), (3.16) te (3.17) redom i vrijedi

$$\alpha_{e,t} + \alpha_{f,t} + \alpha_{tr,t} + \alpha_{c,t} = 1. \quad (3.19)$$

Kao i u osnovnom bihevioralnom novokeynesijskom modelu, definiramo način na koji agenti ocjenjuju heuristička pravila:

$$U_{e,t} = - \sum_{k=0}^{\infty} \omega_k [y_{t-k-1} - \tilde{E}_{e,t-k-2} y_{t-k-1}]^2 \quad (3.20)$$

$$U_{f,t} = - \sum_{k=0}^{\infty} \omega_k [y_{t-k-1} - \tilde{E}_{f,t-k-2} y_{t-k-1}]^2 \quad (3.21)$$

$$U_{tr,t} = - \sum_{k=0}^{\infty} \omega_k [y_{t-k-1} - \tilde{E}_{tr,t-k-2} y_{t-k-1}]^2 \quad (3.22)$$

$$U_{c,t} = - \sum_{k=0}^{\infty} \omega_k [y_{t-k-1} - \tilde{E}_{c,t-k-2} y_{t-k-1}]^2 \quad (3.23)$$

te pomoću njih računamo vjerojatnosti izbora pravila:

$$\alpha_{e,t} = \frac{\exp(\gamma U_{e,t})}{\exp(\gamma U_{f,t}) + \exp(\gamma U_{e,t}) + \exp(\gamma U_{tr,t}) + \exp(\gamma U_{c,t})} \quad (3.24)$$

$$\alpha_{f,t} = \frac{\exp(\gamma U_{f,t})}{\exp(\gamma U_{f,t}) + \exp(\gamma U_{e,t}) + \exp(\gamma U_{tr,t}) + \exp(\gamma U_{c,t})} \quad (3.25)$$

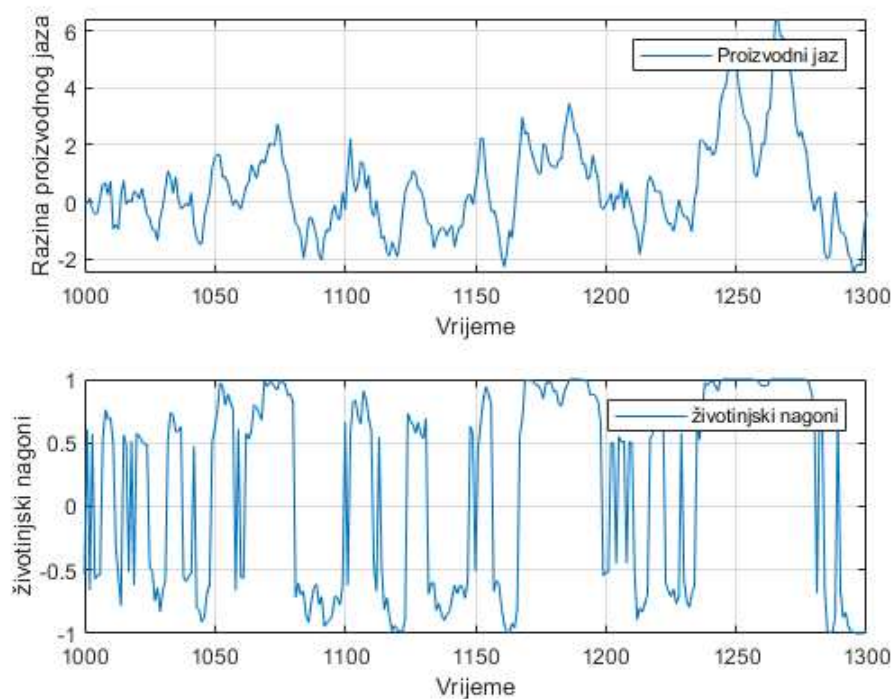
$$\alpha_{tr,t} = \frac{\exp(\gamma U_{tr,t})}{\exp(\gamma U_{f,t}) + \exp(\gamma U_{e,t}) + \exp(\gamma U_{tr,t}) + \exp(\gamma U_{c,t})} \quad (3.26)$$

$$\alpha_{c,t} = \frac{\exp(\gamma U_{c,t})}{\exp(\gamma U_{f,t}) + \exp(\gamma U_{e,t}) + \exp(\gamma U_{tr,t}) + \exp(\gamma U_{c,t})}, \quad (3.27)$$

gdje je γ parametar koji mjeri "intenzitet izbora", definiran kao i u osnovnom bihevioralnom novokeynesijanskom modelu.

Za prognoziranje inflacije koristimo ista heuristička pravila kao i u osnovnom bihevioralnom novokeynesijanskom modelu.

Promotrimo sada simulaciju modela. Na slici 3.5 prikazana je simulacija proizvodnoga jaza i indeksa životinjskih nagona u proširenom modelu. Kao i u osnovnom modelu možemo primijetiti snažnu cikličku dinamiku koja je posljedica indeksa životinjskih nagona.



Slika 3.5: Simulacija proizvodnoga jaza i indeksa životinjskih nagona u proširenom bihevioralnom novokeynesijanskom modelu

Za razliku od osnovnog modela, u proširenom modelu je indeks životinjskih nagona puno više koncentriran oko ekstremnih vrijednosti -1 i 1 , što možemo vidjeti i na histogramu indeksa životinjskih nagona koji je prikazan na slici 3.6.

Zbog toga, pojava velikih odstupanja od očekivane vrijednosti proizvodnoga jaza, odnosno pojava dubokih recesija i razdoblja prosperiteta je vjerojatnija nego u osnovnom modelu. To možemo primijetiti i na histogramu proizvodnoga jaza u vidu teških repova. Histogram je prikazan na slici 3.7. Također, na istom histogramu vidimo i koncentraciju proizvodnog jaza oko očekivanja te i u ovom slučaju izgleda da proizvodni jaz nema normalnu distribuciju.

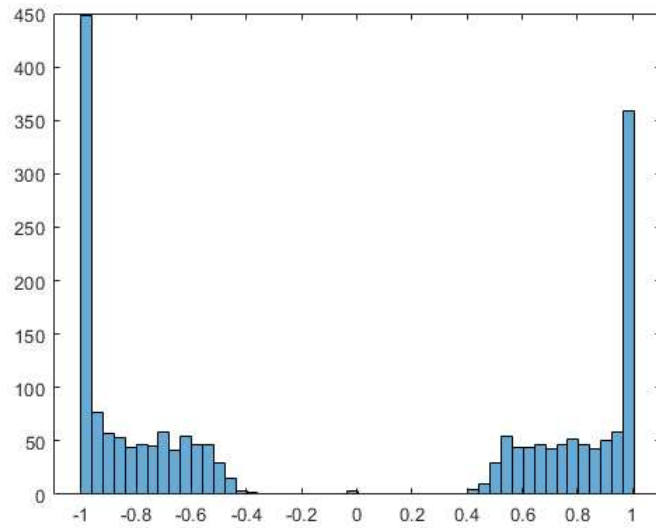
svojstvo	simulacija	normalna razdioba
koeficijent spljoštenosti	3.7737	3.0

Kako bi to formalno dokazali, ponovno koristimo Jarque-Berra test normalnosti:

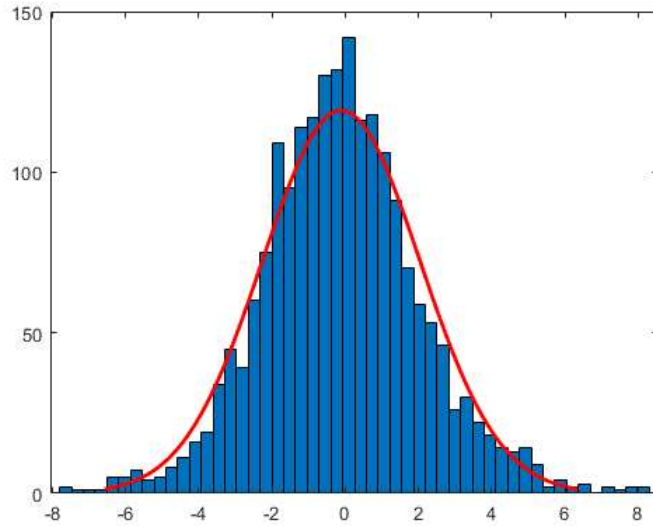
	vrijednost
testna statistika	58.4797
p-vrijednost	1.0000e-03

Budući da je p-vrijednost < 0.05 na razini značajnosti 95% možemo odbaciti osnovnu hipotezu testa u korist alternativne, odnosno možemo odbaciti pretpostavku da je uzorak normalno distribuiran.

	simulacija	empirijski podaci
koeficijent autokorelacije	0.96	0.89



Slika 3.6: Histogram indeksa životinjskih nagona simuliranog u proširenom modelu



Slika 3.7: Histogram proizvodnoga jaza simuliranog u proširenom modelu

Poglavlje 4

Optimalna monetarna politika

Monetarna politika odnosi se na odluke koje donose središnje banke kako bi utjecale na cijenu i dostupnost novca u gospodarstvu. Kako bi to mogle, središnje banke koriste makroekonomske modele koji oponašaju društva i ekonomije u kojima živimo. Pomoću makroekonomskih modela razumijevamo prošlost i sadašnjost, prognoziramo budućnost te testiramo alternativne scenarije.

Većina središnjih banaka je do krize 2007. godine koristila makroekonomske modele sa racionalnim očekivanjima u kojima je bio jasan imperativ korištenja politike ciljanja inflacije. U takvim modelima reagiranje središnje banke stabilizacijom proizvodnje uz ciljanje inflacije uvijek vodi ka povećanju volatilnosti inflacije. Primjerice, Europska središnja banka ima za cilj monetarne politike očuvati stabilnost cijena, odnosno održati inflaciju ispod, ali blizu 2 % u srednjoročnom razdoblju.

U bihevioralnom novokeynesijanskom modelu, zbog drugačijih očekivanja, ima smisla očekivati i drugačije rezultate u simultanom provođenju stabilizacije proizvodnje i ciljanja inflacije. Kako bi razumjeli učinke takve politike, pokušati ćemo konstruirati vezu između stabilizacije proizvodnje i ciljanja inflacije.

Napišimo ponovno jednadžbu Taylorovog pravila u bihevioralnom novokeynesijanskom modelu. Kako smo već objasnili, Taylorovo pravilo opisuje ponašanje središnje banke, a sada ćemo i detaljnije objasniti koeficijente jednadžbe:

$$r_t = c_1(\pi_t - \pi^*) + c_2 y_t + c_3 r_{t-1} + u_t \quad (4.1)$$

, gdje je

r_t - nominalna kamatna stopa u razdoblju t

π_t - stopa inflacije u razdoblju t

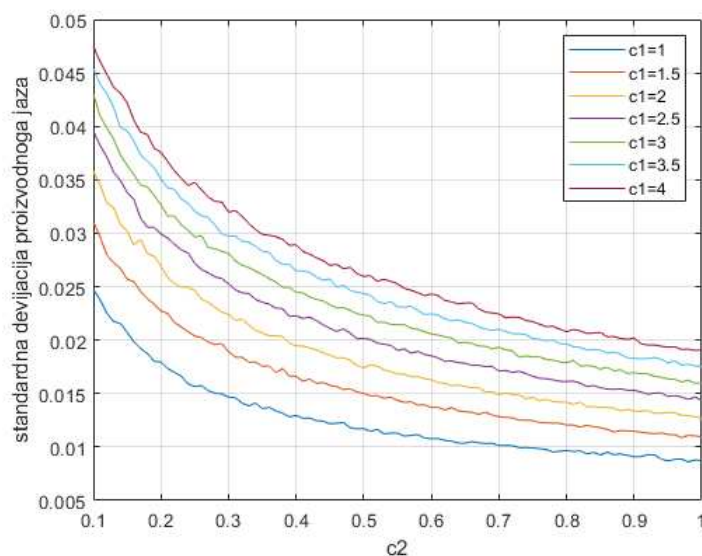
π_t^* - ciljana stopa inflacije

u_t - bijeli šum

c_1, c_2, c_3 - koeficijenti modela

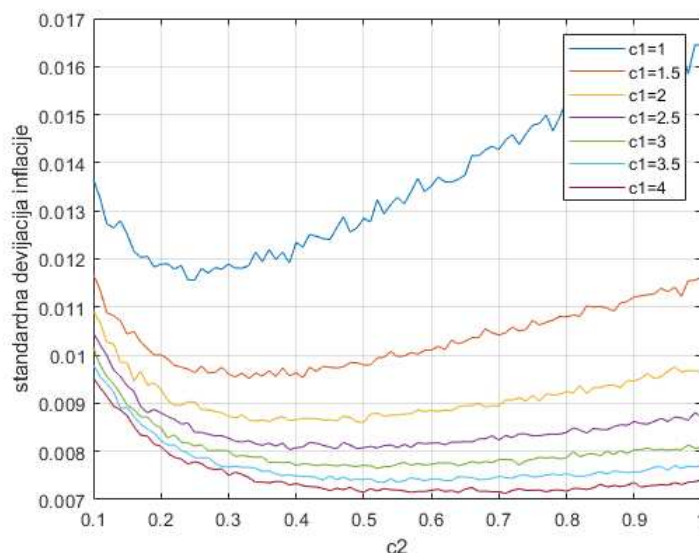
Objasnimo detaljnije koeficijente modela. Koeficijent c_1 mjeri intenzitet kojim središnja banka odgovara na odstupanja stope inflacije od ciljane vrijednosti. Što je veći koeficijent c_1 , to će šokovi imati manji utjecaj na kretanja inflacije. Jordi Gali je u svom djelu "Monetary policy, Inflation and Business Cycle" pokazao kako parametar c_1 mora biti veći od ili jednak 1 kako bi model bio stabilan. Taj uvjet se naziva još i *Taylorovo pravilo*. Koeficijent c_2 mjeri intenzitet kojim središnja banka odgovara na odstupanja proizvodnje od potencijalne razine, odnosno intenzitet kojim središnja banka odgovara na kretanja proizvodnoga jaza.

Kako bi konstruirali vezu između ciljanja inflacije i stabilizacije proizvodnje, promatramo odnos koeficijenata c_1 i c_2 u jednadžbi (4.1). Simulirali smo model na sljedeći način: za vrijednosti koeficijenta $c_1 = 1, 2, \dots, 8$ model je simuliran 100 puta i uzeta je prosječna standardna devijacija proizvodnoga jaza i inflacije za vrijednosti koeficijenta $c_2 = 0.1, 0.2, \dots, 0.9, 1$. Rezultati su prikazani na slikama 4.1 i 4.2. Vidimo da što je veći koeficijent c_1 standardna devijacija proizvodnoga jaza raste, a što je veći koeficijent c_2 standardna devijacija pada.



Slika 4.1: Analiza koeficijenta c_2 - proizvodni jaz

Na slici 4.2 vidimo odnos koeficijenta c_2 i standardne devijacije inflacije. Taj odnos nije linearan, odnosno kada koeficijent c_2 raste od 0 prema 1, standardna devijacija inflacije prvo opada, a zatim nakon neke točke počinje rasti. Na ovoj slici vidimo i da što je veći koeficijent c_1 , standardna devijacija inflacije opada.



Slika 4.2: Analiza koeficijenta c_2 - inflacija

Kako nam ovi rezultati mogu pomoći pri odabiru idealnih koeficijenata c_1 i c_2 ?

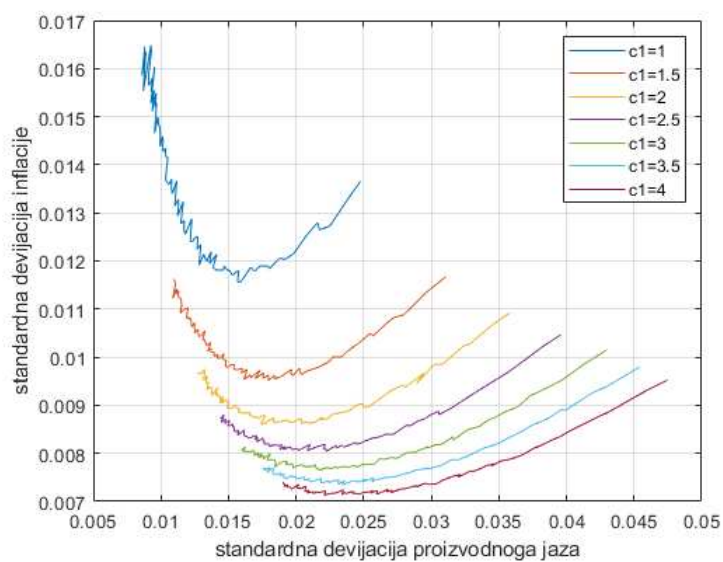
Koeficijent c_2 biramo kao točku minimuma krivulja sa slike 4.2. Očito je da bi središnja banka trebala koristiti stabilizaciju proizvodnje u nekoj mjeri, jer tako može smanjiti i volatilnost inflacije i volatilnost proizvodnoga jaza.

Na slici 4.2 vidimo da se povećanjem koeficijenta c_1 krivulja odnosa c_2 i standardne devijacija inflacije pomiče prema dolje, ali i da su ti pomaci sve manji, što je c_1 veći. Ukoliko simuliramo model za $c_1 > 6$ možemo primijetiti da daljnje povećavanje koeficijenta nema značajan utjecaj na pomak krivulje, odnosno smanjenje standardne devijacije inflacije. Dakle, smisleno je imati koeficijent c_1 između vrijednosti 1 i 6.

Kako bi mogli izabrati koeficijent c_1 promotrimo odnos standardnih devijacija proizvodnoga jaza i inflacije za različite koeficijente c_1 na slici 4.3.

Sa slike je očito kako povećanjem koeficijenta c_1 smanjujemo standardnu devijaciju inflacije, ali nauštrb standardne devijacije proizvodnoga jaza. Za simulacije modela u ovom radu odabrana je vrijednost koeficijenta $c_1 = 1.5$ i $c_2 = 0.5$ pri čemu je standardna devijacija inflacije oko 0.01, a standardna devijacija proizvodnoga jaza oko 0.015.

Možemo zaključiti da bi se optimalna monetarna politika središnje banke trebala temeljiti na ciljanju inflacije, ali bez zanemarivanja dobrobiti koje može dobiti putem stabilizacije proizvodnje.



Slika 4.3: Analiza koeficijenta c_2 - odnos standardne devijacije proizvodnoga jaza i standardne devijacije inflacije

Poglavlje 5

Modificirani model

Radeći na ovom diplomskom radu i istražujući literaturu o bihevioralnom makroekonomskom modelu i bihevioralnoj ekonomiji općenito postala sam svjesna kako pojedinac ne može razumjeti kompleksni svijet oko sebe. Naše neznanje i nemogućnost percepcije određenih događaja, ali i trenutno stanje uma na koje utječu razni emotivni događaji, vrijeme, stanje društva i slično uvelike oblikuju odluke koje donosimo, pa tako i odluke u pogledu prognoziranja budućeg stanja ekonomije. Naučila sam kako ljudi brzo zaboravljaju događaje u prošlosti i pridaju im sve manje važnosti prilikom formiranja svojih odluka za budućnost. U razdobljima prosperiteta često zaboravljamo da se ekonomija kreće u ciklusima i da je vrlo vjerojatno da ćemo se uskoro naći u razdoblju pada ekonomije i recesije. Isprepletanjem znanja psihologije i ekonomije dobivamo mogućnost razvijanja modela koji će nam pomoći u prognoziranju kretanja ekonomije, posebice velikih padova. Tada bi mogli oblikovati monetarnu politiku tako da izbjegnemo ili ublažimo posljedice padova. Veliki korak u ovom području upravo je model koji je opisan u ovom radu i koji postaje sve više prihvaćen. U ovom poglavlju ću predložiti takav model, ali sa modificiranim načinom računanja očekivanja.

Jednadžbe kojima smo zadali model ostaju iste:

$$y_t = a_1 \tilde{E}_t y_{t+1} + (1 - a_1) y_{t-1} + a_2 (r_t - \tilde{E}_t \pi_{t+1}) + \epsilon_t \quad (5.1)$$

$$\pi_t = b_1 \tilde{E}_t \pi_{t+1} + (1 - b_1) \pi_{t-1} + b_2 y_t + \eta_t \quad (5.2)$$

$$r_t = c_1 (\pi_t - \pi^*) + c_2 y_t + c_3 r_{t-1} + u_t \quad (5.3)$$

ali način računanja očekivanja je drugačiji. Za proizvodni jaz imamo kao i u osnovnom modelu fundamentaliste koji se oslanjaju na ciljeve središnje banke i tako prognoziraju

produktivni jaz. Osim fundamentalista imamo i ekstrapolatore, ali ovaj put radimo razliku između dvije vrste ekstrapolatora - onih koji prognoziraju budući proizvodni jaz samo na osnovu prethodne vrijednosti te onih koji pamte više razdoblja i prognoziraju proizvodni jaz kao prosjek prethodna tri razdoblja. Takva pravila zapisana formalno izgledaju ovako:

$$\tilde{E}_t^f y_{t+1} = 0 \quad (5.4)$$

$$\tilde{E}_t^{e1} y_{t+1} = y_{t-1} \quad (5.5)$$

$$\tilde{E}_t^{e3} y_{t+1} = y_{t-1} - y_{t-2} - y_{t-3}. \quad (5.6)$$

Za prognoziranje inflacije također zadržavamo fundamentalističko pravilo pomoću kojeg agenti prognoziraju inflaciju na osnovu vrijednosti koju cilja središnja banka te ekstrapolatore dijelimo na one koji pamte samo jedno razdoblje te one koji pamte tri razdoblja u prošlost. U ovom slučaju kod ekstrapolatora koji prognoziraju inflaciju na osnovu tri prošla razdoblja radimo korekciju ukoliko prosjek inflacije u prošla tri razdoblja previše odudara od vrijednosti koju cilja središnja banka (ukoliko odudara za više od 2% uzimamo prosjek vrijednosti koju cilja središnja banka i prosjeka prethodna tri razdoblja):

$$\tilde{E}_t^f \pi_{t+1} = \pi^* \quad (5.7)$$

$$\tilde{E}_t^{e1} \pi_{t+1} = \pi_{t-1} \quad (5.8)$$

$$\tilde{E}_t^{e3} \pi_{t+1} = \begin{cases} \frac{\pi_{t-1} - \pi_{t-2} - \pi_{t-3}}{3}, & \text{za } \left| \frac{\pi_{t-1} - \pi_{t-2} - \pi_{t-3}}{3} - \pi^* \right| < 2 \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\pi_{t-1} - \pi_{t-2} - \pi_{t-3}}{3} - \pi^* \right), & \text{za } \left| \frac{\pi_{t-1} - \pi_{t-2} - \pi_{t-3}}{3} - \pi^* \right| > 2. \end{cases} \quad (5.9)$$

Tržišnu prognozu, kao i u osnovnom modelu, računamo kao težinski prosjek:

$$\tilde{E}_t y_{t+1} = \alpha_1 \tilde{E}_t^f y_{t+1} + \alpha_2 \tilde{E}_t^{e1} y_{t+1} + \alpha_3 \tilde{E}_t^{e3} y_{t+1} \quad (5.10)$$

$$\tilde{E}_t \pi_{t+1} = \beta_1 \tilde{E}_t^f \pi_{t+1} + \beta_2 \tilde{E}_t^{e1} \pi_{t+1} + \beta_3 \tilde{E}_t^{e3} \pi_{t+1} \quad (5.11)$$

uz

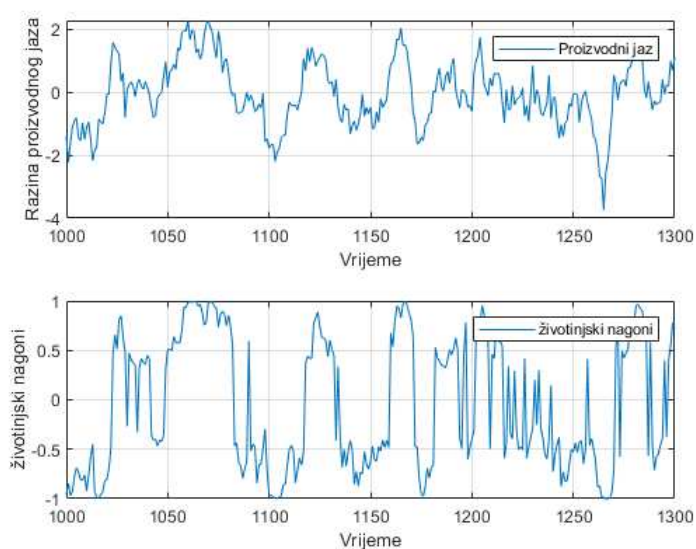
$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (5.12)$$

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1. \quad (5.13)$$

Težine iz (5.12) i (5.13) računamo na način na koji je opisano u osnovnom modelu.

Ovakav model simulirali smo i dobili iduće rezultate:

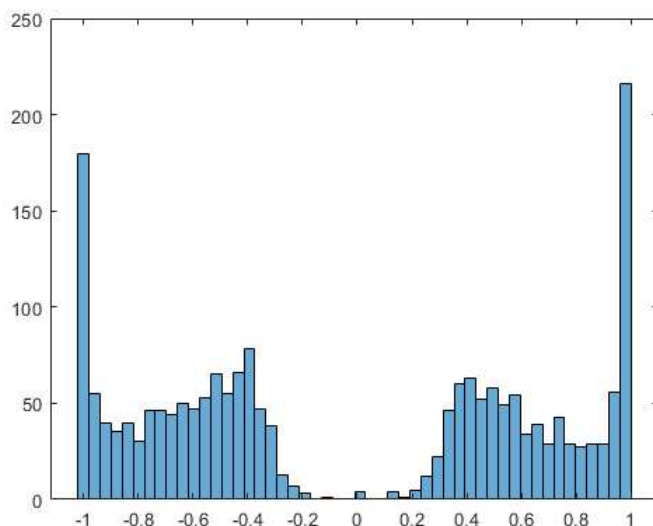
Na slici 5.1 vidimo proizvodni jaz i indeks životinjskih nagona simuliran u ovom modelu. Primjećujemo ciklička kretanja nastala kao posljedica kretanja indeksa životinjskih nagona. Ako promotrimo histogram indeksa životinjskih nagona na slici 5.2 možemo primijetiti značajno nakupljanje indeksa oko ekstremnih vrijednosti -1 i 1 . Takvo nakupljanje dovodi do pojave razdoblja prosperiteta i padova u kretanju proizvodnoga jaza, što je važna karakteristika empirijskih podataka, stoga možemo zaključiti da u tom pogledu model dobro oponaša empirijske podatke.



Slika 5.1: Simulacija proizvodnoga jaza i indeksa životinjskih nagona u modificiranom modelu

Druga važna karakteristika empirijskih podataka je ne-normalna distribucija proizvodnoga jaza. Na histogramu proizvodnoga jaza 5.3 vidimo veliku koncentraciju podataka oko očekivanja i teške repove, što nije u skladu sa normalnom distribucijom pa računamo koeficijent spljoštenosti:

svojstvo	simulacija	normalna razdioba
koeficijent spljoštenosti	3.9812	3.0



Slika 5.2: Histogram indeksa životinjskih nagona simuliranog u modificiranom modelu

Kako bi formalno pokazali da proizvodni jaz nema normalnu distribuciju proveli smo Kolmogorov-Smirnovljev test normalnosti, a rezultati su u sljedećoj tablici:

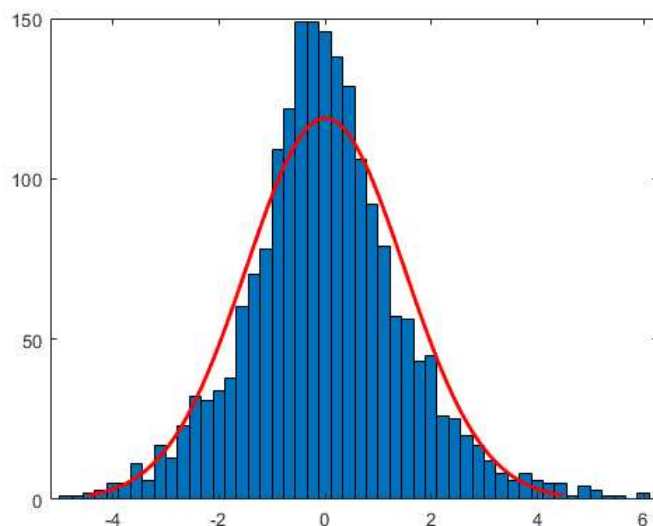
	vrijednost
testna statistika	0.0739
p-vrijednost	5.7963e-10

Na osnovu p-vrijednosti možemo zaključiti da na svim razumnim razinama značajnosti možemo odbaciti pretpostavku da je proizvodni jaz normalno distribuiran u korist pretpostavke da proizvodni jaz nije normalno distribuiran. Ovime smo pokazali da model dobro oponaša empirijske podatke i kada je u pitanju ne-normalna distribucija proizvodnoga jaza.

Treća važna karakteristika proizvodnoga jaza je velika autokorelacija. U sljedećoj tablici su prikazani koeficijenti simuliranog proizvodnoga jaza i empirijskih podataka.

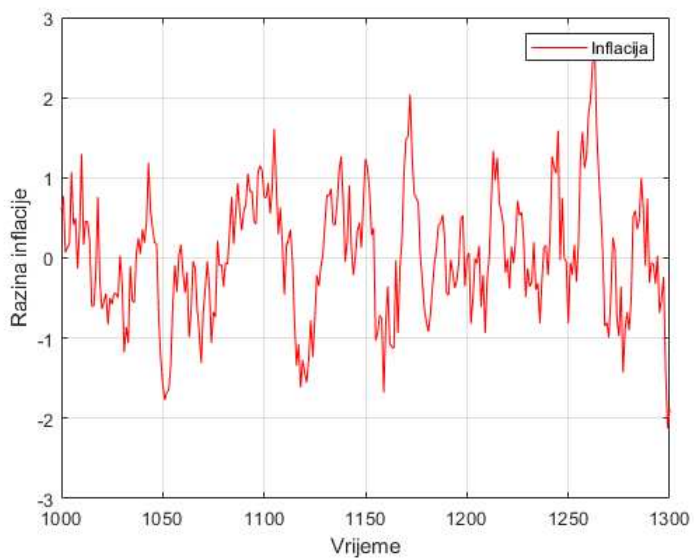
	simulacija	empirijski podaci
koeficijent autokorelacije	0.94	0.89

Na slici 5.4 je prikazana inflacija simulirana u modelu. Vidimo da ima ciklička kretanja, ali da uglavnom ostaje u rasponu od 2% oko ciljane vrijednosti (pretpostavili smo da



Slika 5.3: Histogram proizvodnoga jaza simuliranoga u modificiranom modelu

je $\pi^* = 0$ u modelu). To je posljedica načina na koji smo definirali očekivanja - fundamentalisti koriste π^* pri prognoziranju, a dio ekstrapolatora korigira svoju prognozu ukoliko previše odudara od vrijednosti koju cilja središnja banka. Takvo simuliranje inflacije je u skladu sa monetarnim politikama koje danas vodi većina središnjih banaka, pa možemo zaključiti da model dobro oponaša empirijske podatke i u slučaju proizvodnoga jaza i inflacije. Štoviše, ako uzmemo u obzir razmatranja u 4. poglavlju ovoga rada, ovakav model može doprinijeti stabilnosti ekonomije jer omogućuje istodobno korištenje politike ciljanja inflacije i stabilizacije proizvodnje uz određene uvjete koje smo opisali u 4. poglavlju. Zbog toga smatram da bi središnje banke trebale prihvatiti ovakve modele i iskoristiti prednosti koje smo opisali u ovom radu.



Slika 5.4: Simulacija inflacije u modificiranom modelu

Poglavlje 6

Zaključak

Bihevioralna ekonomija je relativno nova grana ekonomije koja kombinira znanja iz psihologije i ekonomije kako bismo što bolje razumjeli ljudsko ponašanje. Ekonomija se dugo vremena oslanjala na pretpostavke da su ljudske preferencije dobro definirane i da se ne mijenjaju kroz vrijeme te pomoću njih objašnjavala ponašanje ljudi. Da takav način modeliranja stvarnosti nije dobar, pokazalo se pojavom krize 2007. godine koju tada standardni makroekonomski modeli nisu mogli objasniti. Zbog toga su se ekonomisti okrenuli novim načinima modeliranja ponašanja ljudi te je bihevioralna ekonomija postala sve više prihvaćena. Ovaj diplomski rad se bavi bihevioralnim makroekonomskim modelom te njegovim prednostima u odnosu na novokeynesijanski model. Kako bi razumjeli zašto nam je potreban bihevioralni model, na početku rada uveden je novokeynesijanski model te dana kritika tog modela. Nakon što je postalo jasno da novokeynesijanski model ne simulira dobro dinamiku proizvodnoga jaza i inflacije, počelo se raditi na novim modelima, među kojima je i bihevioralni model uveden u ovom radu. Takav model odbacuje pretpostavku racionalnih očekivanja te uvodi u model agente sa kognitivnim ograničenjima koji ne mogu u potpunosti razumjeti svijet i model te se oslanjaju na jednostavna heuristička pravila kako bi prognozirali proizvodni jaz i inflaciju. Upravo takav način modeliranja prognoza dovodi do valova optimizma i pesimizma u prognoziranju čija je posljedica ciklička dinamika proizvodnoga jaza i inflacije. Simuliranjem modela i usporedbom sa empirijskim podacima pokazali smo da ovakav model doista bolje opisuje stvarne podatke. Uz osnovni model, uveli smo i nekoliko proširenja modela te modificirani model, od kojih svaki doprinosi boljem modeliranju stvarnosti. Bihevioralni model nam je potom bio temelj za razmatranje optimalne monetarne politike prilikom čega smo zaključili da se optimalna monetarna politika oslanja na ciljanje inflacije, ali pritom ne isključuje korištenje stabilizacije proizvodnje. Oslanjanje središnje banke na stabilizaciju proizvodnje uz ciljanje inflacije može dovesti do boljih rezultata, odnosno stabilnijeg stanja ekonomije. Možemo zaključiti da bihevioralni makroekonomski model bolje opisuje stvarnost od novokeynesijanskog modela.

Poglavlje 7

Dodaci

7.1 MATLAB kodovi

Simulacija bihevioralnog novokeynesijskog modela

```
function [y, pi, s] = BNK_model (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, gamma, T)

    %parametar odabira
    gamma=1;

    %ciljana vrijednost inflacije
    pi\_star=0;

    %matrice za matricni zapis
    A=[1 -b2; -a2*c1 1-a2*c2];
    B=[b1 0; -a2 a1];
    C=[1-b1 0; 0 1-a1];
    b=[0; a2*c3];
    %v se računa u svakom koraku iteracije

    %standardne devijacije sokova
    sigma1=0.5;
    sigma2=0.5;
    sigma3=0.5;

    %varijable
    y=zeros(T,1);
```

```

pi=zeros(T,1);
r=zeros(T,1);

%sokovi
epsilont=zeros(T,1);
etat=zeros(T,1);
ut=zeros(T,1);

%zivotinjski nagoni
s=zeros(T,1);

%pocetne vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickog pravila
alfa=0.5;
beta=0.5;

%nizovi u kojima pamtimo sve vjerojatnosti izbora
alfat=zeros(T,1);
betat=zeros(T,1);

%korisnosti pojedinih pravila
U_e_pi=zeros(T,1);
U_f_pi=zeros(T,1);
U_e_y=zeros(T,1);
U_f_y=zeros(T,1);

rho=0.5;
rhoout=0.0;
rhoinf=0.0;
rhotayl=0.0;
rhoBH=0.0;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%simulacija modela

for t=2:T

    %racunanje sumova
    epsilont(t)=rhoout*epsilont(t-1)+sigma1*randn;

```



```

etat(t)=rhoinf*etat(t-1) + sigma2*randn;
ut(t)=rhotayl*ut(t-1)+sigma3*randn;

%matrica v za matricni zapis
v=[etat(t); a2*ut(t)+epsilont(t)];

%trzisna prognoza inflacije
E_pi=beta*pi(t-1)+(1-beta)*pi_star;

%trzisna prognoza proizvodnog jaza
pom=(0+randn/2);
E_y=alfa*y(t-1)+(1-alfa)*pom;

Z_forecast=[E_pi; E_y];
Z_lag=[pi(t-1); y(t-1)];

%rjesenje modela
D=B*Z_forecast+C*Z_lag+b*r(t-1)+v;
Z=A\D;

pi(t)=Z(1,1);
y(t)=Z(2,1);
r(t)=c1*pi(t)+c2*y(t)+c3*r(t-1)+ut(t);

%nove vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickih pravila

U_e_pi(t)=rho*U_e_pi(t-1)-(1-rho)*(pi(t-1)-pi(t))^2;
U_f_pi(t)=rho*U_f_pi(t-1)-(1-rho)*(pi_star-pi(t))^2;

U_e_y(t)=rho*U_e_y(t-1)-(1-rho)*(y(t-1)-y(t))^2;
U_f_y(t)=rho*U_f_y(t-1)-(1-rho)*(pom-y(t-1))^2;

beta=rhoBH*betat(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_e_pi(t))/
      (exp(gamma*U_e_pi(t))+exp(gamma*U_f_pi(t)));
alfa=rhoBH*alfat(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_e_y(t))/
      (exp(gamma*U_e_y(t))+exp(gamma*U_f_y(t)));

alfat(t)=alfa;

```

```
betat(t)=beta;

%zivotinjski nagoni
if y(t-1)>0;
    s(t)=2*alfa-1;
end

if y(t-1)<0;
    s(t)=1-2*alfa;
end
end
end

%parametar odabira
gamma=1;

%parametri modela
a1=0.5;
a2=-0.2;
b1=0.5;
b2=0.05;
c1=1.5;
c2=0.5;
c3=0.5;

%duljina simuliranog niza
T=2000;

[y, pi, s] = BNK_model (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, T)

%Simulacija proizvodnog jaza u bihevioralnom makroekonomskom modelu
figure();
plot(1000:1300,y(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina proizvodnog jaza");
legend("Proizvodni jaz");

%Simulacija inflacije u bihevioralnom makroekonomskom modelu
figure();
```

```
plot(1000:1300,pi(1000:1300), "color", "red");
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina inflacije");
legend("Inflacija");

%histogram proizvodnog jaza sa funkcijom gustoce normalne razdiobe
figure();
histfit(y, 50);

%histogram zivotinjskih nagona
figure();
histogram(s, 50);

%simulacija proizvodnoga jaza i zivotinjskih nagona
figure();
tiledlayout(2,1)

nexttile
plot(1000:1300,y(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina proizvodnog jaza");
legend("Proizvodni jaz");

nexttile
plot(1000:1300,s(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("životinjski nagoni");
legend("životinjski nagoni");

%lag proizvodnog jaza i inflacije
pilag=zeros(T,1);
ylag=zeros(T,1);
for t=2:T
    pilag(t)=pi(t-1);
    ylag(t)=y(t-1);
end
```

```
%koeficijenti korelacije
corr_y=corrcoef(y, ylag)
corr_pi=corrcoef(pi, pilag)
corr_y_s=corrcoef(y, s)

%Jarque-Bera test normalnosti
[jb,pvalue, jbstat]=jbstest(y, 0.05)

%kurtosis
kurt=kurtosis(y)
```

Ispitivanje osjetljivosti parametra γ

```
%parametri modela
a1=0.5;
a2=-0.2;
b1=0.5;
b2=0.05;
c1=1.5;
c2=0.5;
c3=0.5;

%duljina simuliranog niza
T=2000;

%parametar odabira
gammat=0:0.01:2;

corr_y_s=zeros(length(gammat),1);

for i=1:length(gammat)

    gamma=gammat(i)

    [y, pi, s] = BNK_model (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, gamma, T)

    ylag=zeros(T,1);
```

```

    for t=2:T
        ylag(t)=y(t-1);
    end

    %koeficijenti korelacije
    corr=corrcoef(y, s);
    corr_y_s(i)=corr(1,2);
end

corr_y_s(1)=0;
figure(8)
plot(gammat,corr_y_s, 'LineWidth',2);
grid on;
xlabel("intenzitet izbora");
ylabel("korelacija proizvodnog jaz i zivotinjskih nagona");

```

Simulacija bihevioralnog keynesijanskog modela s 3 pravila

```

function [y, pi, s] = BNK_model (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, gamma, T)

    %ciljana vrijednost inflacije
    pi_star=0;

    %matrice za matricni zapis
    A=[1 -b2; -a2*c1 1-a2*c2];
    B=[b1 0; -a2 a1];
    C=[1-b1 0; 0 1-a1];
    b=[0; a2*c3];
    %v se računa u svakom koraku iteracije

    %standardne devijacije sokova
    sigma1=0.5;
    sigma2=0.5;
    sigma3=0.5;

    %varijable
    y=zeros(T,1);
    pi=zeros(T,1);

```

```
r=zeros(T,1);

%sokovi
epsilont=zeros(T,1);
etat=zeros(T,1);
ut=zeros(T,1);

%zivotinjski nagoni
s=zeros(T,1);

%pocetne vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickog pravila
alfa_y=0.5;
beta_y=0.25;
gama_y=0.25;

alfa_pi=0.5;
beta_pi=0.5;

%nizovi u kojima pamtimo sve vjerojatnosti izbora
alfat_y=zeros(T,1); %ekstrapolacijsko
betat_y=zeros(T,1); %adaptivno
gamat_y=zeros(T,1); %trend

alfat_pi=zeros(T,1); %ekstrapolacijsko
betat_pi=zeros(T,1); %adaptivno

%korisnosti pojedinih pravila
U_e_pi=zeros(T,1);
U_f_pi=zeros(T,1);

U_e_y=zeros(T,1);
U_f_y=zeros(T,1);
U_t_y=zeros(T,1);

rho=0.5;
rhoout=0.0;
rhoinf=0.0;
rhotayl=0.0;
rhoBH=0.0;
```

```

a=3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%simulacija modela

for t=2:T

    %racunanje sumova
    epsilont(t)=rhoout*epsilont(t-1)+sigma1*randn;
    etat(t)=rhoinf*etat(t-1) + sigma2*randn;
    ut(t)=rhotayl*ut(t-1)+sigma3*randn;

    %matrica v za matricni zapis
    v=[etat(t); a2*ut(t)+epsilont(t)];

    %trzisna prognoza inflacije
    E_pi=alfa_pi*pi(t-1)+beta_pi*pi_star;

    %trzisna prognoza proizvodnog jaza
    pom=(0+randn/2);
    E_y=alfa_y*y(t-1)+beta_y*(a+pom) +gama_y*(-a-pom);

    Z_forecast=[E_pi; E_y];
    Z_lag=[pi(t-1); y(t-1)];

    %rjesenje modela
    D=B*Z_forecast+C*Z_lag+b*r(t-1)+v;
    Z=A\D;

    pi(t)=Z(1,1);
    y(t)=Z(2,1);
    r(t)=c1*pi(t)+c2*y(t)+c3*r(t-1)+ut(t);

    %nove vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickih pravila

    U_e_pi(t)=rho*U_e_pi(t-1)-(1-rho)*(pi(t-1)-pi(t))^2;
    U_f_pi(t)=rho*U_f_pi(t-1)-(1-rho)*(pi_star-pi(t))^2;

```

```

U_e_y(t)=rho*U_e_y(t-1)-(1-rho)*(y(t-1)-y(t))^2;
U_f_y(t)=rho*U_f_y(t-1)-(1-rho)*((a-pom)-y(t-1))^2;
U_t_y(t)=rho*U_t_y(t-1)-(1-rho)*((-a-pom)-y(t-1))^2;

alfa_y=rhoBH*alfat_y(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_e_y(t))/
        (exp(gamma*U_e_y(t))+exp(gamma*U_f_y(t))+exp(gamma*U_t_y(t)));
beta_y=rhoBH*betat_y(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_f_y(t))/
        (exp(gamma*U_e_y(t))+exp(gamma*U_f_y(t))+exp(gamma*U_t_y(t)));
gama_y=rhoBH*gamat_y(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_t_y(t))/
        (exp(gamma*U_e_y(t))+exp(gamma*U_f_y(t))+exp(gamma*U_t_y(t)));

alfa_pi=rhoBH*alfat_pi(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_e_pi(t))/
        (exp(gamma*U_e_pi(t))+exp(gamma*U_f_pi(t)));
beta_pi=rhoBH*betat_pi(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_f_pi(t))/
        (exp(gamma*U_e_pi(t))+exp(gamma*U_f_pi(t)));

alfat_y(t)=alfa_y;
betat_y(t)=beta_y;
gamat_y(t)=gama_y;

alfat_pi(t)=alfa_pi;
betat_pi(t)=beta_pi;

%zivotinjski nagoni
if y(t-1)>0;
    s(t)=2*(alfa_y+beta_y)-1
end

if y(t-1)<0;
    s(t)=-2*(alfa_y+beta_y)+1
end
end
end

%parametar odabira
gamma=1;

%parametri modela
a1=0.5;

```



```
a2=-0.2;
b1=0.5;
b2=0.05;
c1=1.5;
c2=0.5;
c3=0.5;

%duljina simuliranog niza
T=2000;

[y, pi, s] = BNK_model (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, gamma, T)

%Simulacija proizvodnog jaza u bihevioralnom makroekonomskom modelu
figure();
plot(1000:1300,y(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina proizvodnog jaza");
legend("Proizvodni jaz");

%Simulacija inflacije u bihevioralnom makroekonomskom modelu
figure();
plot(1000:1300,pi(1000:1300), "color", "red");
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina inflacije");
legend("Inflacija");

%histogram proizvodnog jaza sa funkcijom gustoce normalne razdiobe
figure();
histfit(y, 50);

%histogram zivotinjskih nagona
figure()
histogram(s, 50)

figure();
tiledlayout(2,1)
```

```

nexttile
plot(1000:1300,y(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina proizvodnog jaza");
legend("Proizvodni jaz");

```

```

nexttile
plot(1000:1300,s(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("životinjski nagoni");
legend("životinjski nagoni");
%lag proizvodnog jaza i outputa
pilag=zeros(T,1);
ylag=zeros(T,1);
for t=2:T
    pilag(t)=pi(t-1);
    ylag(t)=y(t-1);
end

```

```

%koeficijenti korelacije
corr_y=corrcoef(y, ylag)
corr_pi=corrcoef(pi, pilag)
corr_y_s=corrcoef(y, s)

```

```

%Jarque-Bera test normalnosti
[jb,pvalue, jbstat]=jbstest(y, 0.05)

```

```

%kurtosis
kurt=kurtosis(y)

```

Simulacija bihevioralnog keynesijanskog modela s 4 pravila

```

function [y, pi, s] = BNK_model_4 (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, gamma, T)

    %ciljana vrijednost inflacije
    pi_star=0;

```

```
%matrice za matricni zapis
A=[1 -b2; -a2*c1 1-a2*c2];
B=[b1 0; -a2 a1];
C=[1-b1 0; 0 1-a1];
b=[0; a2*c3];
%v se računa u svakom koraku iteracije

%standardne devijacije sokova
sigma1=0.5;
sigma2=0.5;
sigma3=0.5;

%varijable
y=zeros(T,1);
pi=zeros(T,1);
r=zeros(T,1);

%random komponente modela (šumovi)
epsilont=zeros(T,1);
etat=zeros(T,1);
ut=zeros(T,1);

%sokovi
epsilont=zeros(T,1);
etat=zeros(T,1);
ut=zeros(T,1);

%zivotinjski nagoni
s=zeros(T,1);

%pocetne vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickog pravila
alfa_y=0.25;
beta_y=0.25;
gama_y=0.25;
delta_y=0.25;

alfa_pi=0.25;
```



```

%racunanje sumova
epsilont(t)=rhoout*epsilont(t-1)+sigma1*randn;
etat(t)=rhoinf*etat(t-1) + sigma2*randn;
ut(t)=rhotayl*ut(t-1)+sigma3*randn;

%matrica v za matricni zapis
v=[etat(t); a2*ut(t)+epsilont(t)];

%trzisna prognoza inflacije
E_pi=alfa_pi*pi(t-1)+beta_pi*pi_star+gama_pi*(2*pi(t-1)-pi(t-2))
      +delta_pi*(pi(t-1)-0.5*(pi(t-1)-pi(t-2)));

%trzisna prognoza proizvodnog jaza
pom=(0+randn/2);
E_y=alfa_y*y(t-1)+beta_y*pom
      +gama_y*(2*y(t-1)-y(t-2))+delta_y*(y(t-1)-0.5*(y(t-1)-y(t-2)));

Z_forecast=[E_pi; E_y];
Z_lag=[pi(t-1); y(t-1)];

%rjesenje modela
D=B*Z_forecast+C*Z_lag+b*r(t-1)+v;
Z=A\D;

pi(t)=Z(1,1);
y(t)=Z(2,1);
r(t)=c1*pi(t)+c2*y(t)+c3*r(t-1)+ut(t);

%нове vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickih pravila
U_e_pi(t)=rho*U_e_pi(t-1)-(1-rho)*(pi(t-1)-pi(t))^2;
U_f_pi(t)=rho*U_f_pi(t-1)-(1-rho)*(pi_star-pi(t))^2;
U_t_pi(t)=rho*U_t_pi(t-1)-(1-rho)*(2*pi(t-1)-pi(t-2)-pi(t))^2;
U_c_pi(t)=rho*U_c_pi(t-1)-(1-rho)*(pi(t-1)
      -0.5*(pi(t-1)-pi(t-2))-pi(t))^2;

U_e_y(t)=rho*U_e_y(t-1)-(1-rho)*(y(t-1)-y(t))^2;
U_f_y(t)=rho*U_f_y(t-1)-(1-rho)*(pom-y(t-1))^2;

```

$$U_{t_y}(t) = \rho * U_{t_y}(t-1) - (1-\rho) * (2*y(t-1) - y(t-2) - y(t-1))^2;$$

$$U_{c_y}(t) = \rho * U_{c_y}(t-1) - (1-\rho) * (y(t-1) - 0.5 * (y(t-1) - y(t-2)) - y(t-1))^2;$$

$$\text{alfa}_y = \rho_{BH} * \text{alfat}_y(t-1) + (1-\rho_{BH}) * \exp(\gamma * U_{e_y}(t)) /$$

$$(\exp(\gamma * U_{e_y}(t)) + \exp(\gamma * U_{f_y}(t))$$

$$+ \exp(\gamma * U_{t_y}(t)) + \exp(\gamma * U_{c_y}(t)));$$

$$\text{beta}_y = \rho_{BH} * \text{betat}_y(t-1) + (1-\rho_{BH}) * \exp(\gamma * U_{f_y}(t)) /$$

$$(\exp(\gamma * U_{e_y}(t)) + \exp(\gamma * U_{f_y}(t))$$

$$+ \exp(\gamma * U_{t_y}(t)) + \exp(\gamma * U_{c_y}(t)));$$

$$\text{gama}_y = \rho_{BH} * \text{gamat}_y(t-1) + (1-\rho_{BH}) * \exp(\gamma * U_{t_y}(t)) /$$

$$(\exp(\gamma * U_{e_y}(t)) + \exp(\gamma * U_{f_y}(t))$$

$$+ \exp(\gamma * U_{t_y}(t)) + \exp(\gamma * U_{c_y}(t)));$$

$$\text{delta}_y = \rho_{BH} * \text{deltat}_y(t-1) + (1-\rho_{BH}) * \exp(\gamma * U_{c_y}(t)) /$$

$$(\exp(\gamma * U_{e_y}(t)) + \exp(\gamma * U_{f_y}(t))$$

$$+ \exp(\gamma * U_{t_y}(t)) + \exp(\gamma * U_{c_y}(t)));$$

$$\text{alfa}_{pi} = \rho_{BH} * \text{alfat}_{pi}(t-1) + (1-\rho_{BH}) * \exp(\gamma * U_{e_{pi}}(t)) /$$

$$(\exp(\gamma * U_{e_{pi}}(t)) + \exp(\gamma * U_{f_{pi}}(t))$$

$$+ \exp(\gamma * U_{t_{pi}}(t)) + \exp(\gamma * U_{c_{pi}}(t)));$$

$$\text{beta}_{pi} = \rho_{BH} * \text{betat}_{pi}(t-1) + (1-\rho_{BH}) * \exp(\gamma * U_{f_{pi}}(t)) /$$

$$(\exp(\gamma * U_{e_{pi}}(t)) + \exp(\gamma * U_{f_{pi}}(t))$$

$$+ \exp(\gamma * U_{t_{pi}}(t)) + \exp(\gamma * U_{c_{pi}}(t)));$$

$$\text{gama}_{pi} = \rho_{BH} * \text{gamat}_{pi}(t-1) + (1-\rho_{BH}) * \exp(\gamma * U_{t_{pi}}(t)) /$$

$$(\exp(\gamma * U_{e_{pi}}(t)) + \exp(\gamma * U_{f_{pi}}(t))$$

$$+ \exp(\gamma * U_{t_{pi}}(t)) + \exp(\gamma * U_{c_{pi}}(t)));$$

$$\text{delta}_{pi} = \rho_{BH} * \text{deltat}_{pi}(t-1) + (1-\rho_{BH}) * \exp(\gamma * U_{c_{pi}}(t)) /$$

$$(\exp(\gamma * U_{e_{pi}}(t)) + \exp(\gamma * U_{f_{pi}}(t))$$

$$+ \exp(\gamma * U_{t_{pi}}(t)) + \exp(\gamma * U_{c_{pi}}(t)));$$

$$\text{alfat}_y(t) = \text{alfa}_y;$$

$$\text{betat}_y(t) = \text{beta}_y;$$

$$\text{gamat}_y(t) = \text{gama}_y;$$

$$\text{deltat}_y(t) = \text{delta}_y;$$

$$\text{alfat}_{pi}(t) = \text{alfa}_{pi};$$

$$\text{betat}_{pi}(t) = \text{beta}_{pi};$$

$$\text{gamat}_{pi}(t) = \text{gama}_{pi};$$

$$\text{deltat}_{pi}(t) = \text{delta}_{pi};$$

```
%zivotinjski nagoni
if y(t-1)>0;
    s(t)=2*(alfa_y+gama_y+delta_y)-1;
end

if y(t-1)<0;
    s(t)=1-2*(alfa_y+gama_y+delta_y);
end
end
end

%parametar odabira
gamma=1;

%parametri modela
a1=0.5;
a2=-0.2;
b1=0.5;
b2=0.05;
c1=1.5;
c2=0.5;
c3=0.5;

%duljina simuliranog niza
T=2000;

[y, pi, s] = BNK_model_4 (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, gamma, T)

%Simulacija proizvodnog jaza u bihevioralnom makroekonomskom modelu
figure();
plot(1000:1300,y(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina proizvodnog jaza");
legend("Proizvodni jaz");

%Simulacija inflacije u bihevioralnom makroekonomskom modelu
figure();
plot(1000:1300,pi(1000:1300), "color", "red");
grid on;
```

```
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina inflacije");
legend("Inflacija");

%histogram proizvodnog jaza sa funkcijom gustoce normalne razdiobe
figure();
histfit(y, 50);

%histogram zivotinjskih nagona
figure()
histogram(s, 50)

figure();
tiledlayout(2,1)

nexttile
plot(1000:1300,y(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina proizvodnog jaza");
legend("Proizvodni jaz");

nexttile
plot(1000:1300,s(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("životinjski nagoni");
legend("životinjski nagoni");
%lag proizvodnog jaza i outputa
pilag=zeros(T,1);
ylag=zeros(T,1);
for t=2:T
    pilag(t)=pi(t-1);
    ylag(t)=y(t-1);
end

%koeficijenti korelacije
corr_y=corrcoef(y, ylag)
corr_pi=corrcoef(pi, pilag)
```



```
corr_y_s=corrcoef(y, s)

%Jarque-Bera test normalnosti
[jb,pvalue, jbstat]=jbttest(y, 0.05)

%kurtosis
kurt=kurtosis(y)
```

Simulacija modificiranog bihevioralnog novokeynesijskog modela

```
function [y, pi, s] = BNK_model_mod (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, gamma, T)

    %ciljana vrijednost inflacije
    pi_star=0;

    %matrice za matricni zapis
    A=[1 -b2; -a2*c1 1-a2*c2];
    B=[b1 0; -a2 a1];
    C=[1-b1 0; 0 1-a1];
    b=[0; a2*c3];
    %v se računa u svakom koraku iteracije

    %standardne devijacije sokova
    sigma1=0.5;
    sigma2=0.5;
    sigma3=0.5;

    %varijable
    y=zeros(T,1);
    pi=zeros(T,1);
    r=zeros(T,1);

    %random komponente modela (šumovi)
    epsilont=zeros(T,1);
    etat=zeros(T,1);
    ut=zeros(T,1);

    %sokovi
```

```
epsilon=zeros(T,1);
etat=zeros(T,1);
ut=zeros(T,1);

%zivotinjski nagoni
s=zeros(T,1);

%pocetne vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickog pravila
alfa_y=0.25;
beta_y=0.5;
gama_y=0.25;

alfa_pi=0.25;
beta_pi=0.5;
gama_pi=0.25;

%nizovi u kojima pamtimo sve vjerojatnosti izbora
alfat_y=zeros(T,1); %ekstrapolacijsko
betat_y=zeros(T,1); %adaptivno
gamat_y=zeros(T,1); %trend

alfat_pi=zeros(T,1); %ekstrapolacijsko
betat_pi=zeros(T,1); %adaptivno
gamat_pi=zeros(T,1); %trend

%korisnosti pojedinih pravila
U_e_pi=zeros(T,1);
U_f_pi=zeros(T,1);
U_t_pi=zeros(T,1);

U_e_y=zeros(T,1);
U_f_y=zeros(T,1);
U_t_y=zeros(T,1);

%napisat sta je ovo
rho=0.5;
rhoout=0.0;
rhoinf=0.0;
rhotayl=0.0;
```

```

rhoBH=0.0;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%simulacija modela

for t=4:T

    %racunanje sumova
    epsilont(t)=rhoout*epsilont(t-1)+sigma1*randn;
    etat(t)=rhoinf*etat(t-1) + sigma2*randn;
    ut(t)=rhotayl*ut(t-1)+sigma3*randn;

    %matrica v za matricni zapis
    v=[etat(t); a2*ut(t)+epsilont(t)];

    %trzisna prognoza inflacije
    if(abs(1/3*(pi(t-1)+pi(t-2)+pi(t-3)))<2)
        E_pi=alfa_pi*pi(t-1)+beta_pi*pi_star
            +gama_pi*1/3*(pi(t-1)+pi(t-2)+pi(t-3));
    else
        E_pi=alfa_pi*pi(t-1)+beta_pi*pi_star
            +gama_pi*1/2*(1/3*(pi(t-1)+pi(t-2)+pi(t-3))+pi_star);
    end
    %trzisna prognoza proizvodnog jaza
    pom=(0+randn/2);
    E_y=alfa_y*y(t-1)+beta_y*pom +gama_y*1/3*(y(t-1)+y(t-2)+y(t-3));

    Z_forecast=[E_pi; E_y];
    Z_lag=[pi(t-1); y(t-1)];

    %rjesenje modela
    D=B*Z_forecast+C*Z_lag+b*r(t-1)+v;
    Z=A\D;

    pi(t)=Z(1,1);
    y(t)=Z(2,1);
    r(t)=c1*pi(t)+c2*y(t)+c3*r(t-1)+ut(t);

```

```

%nove vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickih pravila

U_e_pi(t)=rho*U_e_pi(t-1)-(1-rho)*(pi(t-1)-pi(t))^2;
U_f_pi(t)=rho*U_f_pi(t-1)-(1-rho)*(pi_star-pi(t))^2;

if(abs(1/3*(pi(t-1)+pi(t-2)+pi(t-3)))<2)
    U_t_pi(t)=rho*U_t_pi(t-1)-
        (1-rho)*(1/3*(pi(t-1)+pi(t-2)+pi(t-3))-pi(t))^2;
else
    U_t_pi(t)=rho*U_t_pi(t-1)
        -(1-rho)*(1/2*(1/3*(pi(t-1)+pi(t-2)+pi(t-3)))+pi_star-pi(t))^2;
end

U_e_y(t)=rho*U_e_y(t-1)-(1-rho)*(y(t-1)-y(t))^2;
U_f_y(t)=rho*U_f_y(t-1)-(1-rho)*(pom-y(t-1))^2;
U_t_y(t)=rho*U_t_y(t-1)-(1-rho)*(1/3*(y(t-1)+y(t-2)+y(t-3))-y(t-1))^2;

alfa_y=rhoBH*alfat_y(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_e_y(t))/
    (exp(gamma*U_e_y(t))+exp(gamma*U_f_y(t))+exp(gamma*U_t_y(t)));
beta_y=rhoBH*betat_y(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_f_y(t))/
    (exp(gamma*U_e_y(t))+exp(gamma*U_f_y(t))+exp(gamma*U_t_y(t)));
gama_y=rhoBH*gamat_y(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_t_y(t))/
    (exp(gamma*U_e_y(t))+exp(gamma*U_f_y(t))+exp(gamma*U_t_y(t)));

alfa_pi=rhoBH*alfat_pi(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_e_pi(t))/
    (exp(gamma*U_e_pi(t))+exp(gamma*U_f_pi(t))+exp(gamma*U_t_pi(t)));
beta_pi=rhoBH*betat_pi(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_f_pi(t))/
    (exp(gamma*U_e_pi(t))+exp(gamma*U_f_pi(t))+exp(gamma*U_t_pi(t)));
gama_pi=rhoBH*gamat_pi(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_t_pi(t))/
    (exp(gamma*U_e_pi(t))+exp(gamma*U_f_pi(t))+exp(gamma*U_t_pi(t)));

alfat_y(t)=alfa_y;
betat_y(t)=beta_y;
gamat_y(t)=gama_y;

alfat_pi(t)=alfa_pi;
betat_pi(t)=beta_pi;
gamat_pi(t)=gama_pi;

```

```
%zivotinjski nagoni
if y(t-1)>0;
    s(t)=2*(alfa_y+gama_y)-1;
end

if y(t-1)<0;
    s(t)=-2*(alfa_y+gama_y)+1;
end
end
end

%parametar odabira
gamma=1;

%parametri modela
a1=0.5;
a2=-0.2;
b1=0.5;
b2=0.05;
c1=1.5;
c2=0.5;
c3=0.5;

%duljina simuliranog niza
T=2000;

[y, pi, s] = BNK__model_mod (a1, a2, b1, b2, c1, c2, c3, gamma, T)

%Simulacija proizvodnog jaza u bihevioralnom makroekonomskom modelu
figure();
plot(1000:1300,y(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina proizvodnog jaza");
legend("Proizvodni jaz");

%Simulacija inflacije u bihevioralnom makroekonomskom modelu
figure();
plot(1000:1300,pi(1000:1300), "color", "red");
```

```
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina inflacije");
legend("Inflacija");

%histogram proizvodnog jaza sa funkcijom gustoce normalne razdiobe
figure();
histfit(y, 50);

%histogram zivotinjskih nagona
figure()
histogram(s, 50)

figure();
tiledlayout(2,1)

nexttile
plot(1000:1300,y(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("Razina proizvodnog jaza");
legend("Proizvodni jaz");

nexttile
plot(1000:1300,s(1000:1300));
grid on;
xlabel("Vrijeme");
ylabel("životinjski nagoni");
legend("životinjski nagoni");
%lag proizvodnog jaza i outputa
pilag=zeros(T,1);
ylag=zeros(T,1);
for t=2:T
    pilag(t)=pi(t-1);
    ylag(t)=y(t-1);
end

%koeficijenti korelacije
corr_y=corrcoef(y, ylag)
```

```
corr_pi=corrcoef(pi, pilag)
corr_y_s=corrcoef(y, s)

%Jarque-Bera test normalnosti
[jb,pvalue, jbstat]=jbtest(y, 0.05)

%kurtosis
kurt=kurtosis(y)
```

Empirijski podaci - kod

```
%ucitavanje tablice iz .xlsx datoteke
table=readtable('SAD_proizvodni_jaz.xlsx', 'ReadVariableNames', true);
value=table.'x');

%string u broj
y=zeros(length(value),1);
for i=1:length(value)
    y(i)=str2double(value(i));
end

%plot proizvodnoga jaza
figure(1);
plot(y);
grid on;

%histogram proizvodnoga jaza
figure(2);
histfit(y, 50);

%racuna y_lag
ylag=zeros(length(y),1);
for t=2:length(y)
    ylag(t)=y(t-1);
end

%koeficijent korelacije proizvodnoga jaza
```

```
corr_y=corrcoef(y, ylag)

%koeficijent spljostenosti proizvodnoga jaza
kurt=kurtosis(y)

%test normalnosti proizvodnoga jaza
[h,p,ksstat,cv]=kstest(y)
```

Optimalna monetarna politika

```
function [y_std, pi_std] = model (c1, c2)

%parametar odabira
gamma=1;

%ciljana vrijednost inflacije
pi_star=0;

%parametri modela
a1=0.5;
a2=-0.2;
b1=0.5;
b2=0.05;
c3=0.5;

%matrice za matricni zapis
A=[1 -b2; -a2*c1 1-a2*c2];
B=[b1 0; -a2 a1];
C=[1-b1 0; 0 1-a1];
b=[0; a2*c3];
%v se računa u svakom koraku iteracije

%duljina simuliranog niza
T=2000;

%standardne devijacije sokova
sigma1=0.5;
sigma2=0.5;
sigma3=0.5;
```



```
%varijable
y=zeros(T,1);
pi=zeros(T,1);
r=zeros(T,1);

%random komponente modela (šumovi)
epsilont=zeros(T,1);
etat=zeros(T,1);
ut=zeros(T,1);

%sokovi
epsilont=zeros(T,1);
etat=zeros(T,1);
ut=zeros(T,1);

%zivotinjski nagoni
s=zeros(T,1);

%pocetne vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickog pravila
alfa=0.5;
beta=0.5;

%nizovi u kojima pamtimo sve vjerojatnosti izbora
alfat=zeros(T,1);
betat=zeros(T,1);

%korisnosti pojedinih pravila
U_e_pi=zeros(T,1);
U_f_pi=zeros(T,1);
U_e_y=zeros(T,1);
U_f_y=zeros(T,1);

%napisat sta je ovo
rho=0.5;
rhoout=0.0;
rhoinf=0.0;
rhotayl=0.0;
rhoBH=0.0;
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%simulacija modela
```

```
for t=2:T
```

```
  %racunanje sumova
```

```
  epsilont(t)=rhoout*epsilont(t-1)+sigma1*randn;
```

```
  etat(t)=rhoinf*etat(t-1) + sigma2*randn;
```

```
  ut(t)=rhotayl*ut(t-1)+sigma3*randn;
```

```
  %matrica v za matricni zapis
```

```
  v=[etat(t); a2*ut(t)+epsilont(t)];
```

```
  %trzisna prognoza inflacije
```

```
  E_pi=beta*pi(t-1)+(1-beta)*pi_star;
```

```
  %trzisna prognoza proizvodnog jaza
```

```
  pom=(0+randn/2);
```

```
  E_y=alfa*y(t-1)+(1-alfa)*pom;
```

```
  Z_forecast=[E_pi; E_y];
```

```
  Z_lag=[pi(t-1); y(t-1)];
```

```
  %rjesenje modela
```

```
  D=B*Z_forecast+C*Z_lag+b*r(t-1)+v;
```

```
  Z=A\D;
```

```
  pi(t)=Z(1,1);
```

```
  y(t)=Z(2,1);
```

```
  r(t)=c1*pi(t)+c2*y(t)+c3*r(t-1)+ut(t);
```

```
%nove vrijednosti vjerojatnosti izbora heuristickih pravila
```

```
U_e_pi(t)=rho*U_e_pi(t-1)-(1-rho)*(pi(t-1)-pi(t))^2;
```

```
U_f_pi(t)=rho*U_f_pi(t-1)-(1-rho)*(pi_star-pi(t))^2;
```

```

U_e_y(t)=rho*U_e_y(t-1)-(1-rho)*(y(t-1)-y(t))^2;
U_f_y(t)=rho*U_f_y(t-1)-(1-rho)*(pom-y(t-1))^2;

beta=rhoBH*betat(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_e_pi(t))/
      (exp(gamma*U_e_pi(t))+exp(gamma*U_f_pi(t)));
alfa=rhoBH*alfat(t-1)+(1-rhoBH)*exp(gamma*U_e_y(t))/
      (exp(gamma*U_e_y(t))+exp(gamma*U_f_y(t)));

alfat(t)=alfa;
betat(t)=beta;

%zivotinjski nagoni
if y(t-1)>0;
    s(t)=2*alfa-1;
end

if y(t-1)<0;
    s(t)=1-2*alfa;
end
end

y_std=std(y);
pi_std=std(pi);

end

%ciljana vrijednost inflacije
pi_star=0;

c1=1:0.5:4;
c2=0.1:0.01:1;

n=length(c2);
m=length(c1);

T=10000;

y_std=zeros(T,1);
pi_std=zeros(T,1);

```

```
y_std_avg=zeros(n,m);
pi_std_avg=zeros(n,m);
for k=1:m
    k
    for i=1:n

        for j=1:100
            [y_std(j), pi_std(j)]=model(c1(k), c2(i));
        end

        y_std_avg(i,k)=mean(y_std);
        pi_std_avg(i,k)=mean(pi_std);
    end

end

%plot c2 analiza - proizvodni jaz
figure()
plot(c2,y_std_avg(:,1))
hold on
plot(c2,y_std_avg(:,2))
hold on
plot(c2,y_std_avg(:,3))
hold on
plot(c2,y_std_avg(:,4))
hold on
plot(c2,y_std_avg(:,5))
hold on
plot(c2,y_std_avg(:,6))
hold on
plot(c2,y_std_avg(:,7))
hold off
grid on
xlabel("c2")
ylabel("standardna devijacija proizvodnoga jaza")
legend()
legend("c1=1", "c1=1.5", "c1=2", "c1=2.5", "c1=3", "c1=3.5", "c1=4")

%plot c2 analiza - inflacija
```

```
figure()
plot(c2, pi_std_avg(:,1))
hold on
plot(c2, pi_std_avg(:,2))
hold on
plot(c2, pi_std_avg(:,3))
hold on
plot(c2, pi_std_avg(:,4))
hold on
plot(c2, pi_std_avg(:,5))
hold on
plot(c2, pi_std_avg(:,6))
hold on
plot(c2, pi_std_avg(:,7))
hold off
grid on
xlabel("c2")
ylabel("standardna devijacija inflacije")
legend("c1=1", "c1=1.5", "c1=2", "c1=2.5", "c1=3", "c1=3.5", "c1=4")

%plot trade-off
figure()
plot(y_std_avg(:,1),pi_std_avg(:,1))
hold on
plot(y_std_avg(:,2),pi_std_avg(:,2))
hold on
plot(y_std_avg(:,3),pi_std_avg(:,3))
hold on
plot(y_std_avg(:,4),pi_std_avg(:,4))
hold on
plot(y_std_avg(:,5),pi_std_avg(:,5))
hold on
plot(y_std_avg(:,6),pi_std_avg(:,6))
hold on
plot(y_std_avg(:,7),pi_std_avg(:,7))
hold off
grid on
xlabel("standardna devijacija proizvodnoga jaza")
ylabel("standardna devijacija inflacije")
```

```
legend("c1=1", "c1=1.5", "c1=2", "c1=2.5", "c1=3", "c1=3.5", "c1=4")
```

7.2 Empirijski podaci

Tablica 7.1: Proizvodni jaz SAD-a od 1949. do 1993.

Izvor: https://ycharts.com/indicators/us_percent_gdp_gap

	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957
Q1	0.09%	-1.51%	3.17%	2.63%	3.60%	-1.66%	1.82%	2.42%	2.68%
Q2	-1.56%	0.15%	3.55%	1.38%	3.36%	-2.20%	2.81%	2.61%	1.66%
Q3	-1.88%	2.65%	4.23%	0.78%	1.87%	-1.70%	3.55%	1.83%	1.83%
Q4	-3.95%	3.19%	2.99%	2.82%	-0.46%	-0.41%	3.50%	2.79%	-0.05%
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
Q1	-3.45%	0.15%	1.09%	-3.51%	-0.28%	-0.97%	0.71%	1.64%	5.47%
Q2	-3.64%	1.47%	-0.46%	-2.82%	-0.42%	-0.94%	0.69%	1.81%	4.65%
Q3	-2.25%	0.56%	-0.97%	-1.95%	-0.26%	0.15%	1.14%	2.92%	4.35%
Q4	-0.85%	-0.14%	-3.20%	-1.02%	-0.99%	-0.30%	0.35%	4.13%	4.04%
	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Q1	3.79%	3.06%	2.97%	-0.47%	-0.83%	-0.39%	3.89%	1.05%	-4.57%
Q2	2.71%	3.62%	2.23%	-1.12%	-1.02%	1.10%	4.15%	0.41%	-4.65%
Q3	2.53%	3.25%	1.93%	-0.97%	-0.94%	1.28%	2.73%	-1.39%	-3.78%
Q4	2.15%	2.48%	0.53%	-2.75%	-1.45%	2.18%	2.82%	-2.60%	-3.24%
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Q1	-1.82%	-1.84%	-1.20%	1.52%	-0.03%	-0.36%	-5.14%	-6.83%	-2.25%
Q2	-1.87%	-0.76%	1.72%	0.76%	-2.59%	-1.69%	-5.44%	-5.49%	-1.47%
Q3	-2.11%	0.19%	1.83%	0.72%	-3.11%	-1.16%	-6.56%	-4.41%	-1.44%
Q4	-2.19%	-0.66%	2.27%	0.27%	-1.75%	-2.92%	-7.29%	-3.26%	-1.55%

Tablica 7.2: Proizvodni jaz SAD-a od 1994. do 2020.

Izvor: https://ycharts.com/indicators/us_percent_gdp_gap

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Q1	-1.52%	-1.12%	-1.91%	-1.07%	-0.01%	-0.22%	-3.75%	-3.33%	-2.51%
Q2	-1.58%	-1.55%	-1.68%	-0.57%	-0.02%	-0.56%	-3.59%	-2.86%	-2.55%
Q3	-0.99%	-1.48%	-1.65%	-0.77%	-0.04%	-1.16%	-3.67%	-2.49%	-2.70%
Q4	-1.16%	-1.80%	-0.78%	-0.24%	-0.58%	-2.69%	-3.91%	-2.07%	-2.01%
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q1	-1.69%	-0.86%	-0.94%	0.10%	1.05%	1.66%	1.57%	-0.03%	-1.85%
Q2	-0.99%	-1.21%	-0.01%	0.85%	0.96%	1.38%	2.36%	-0.30%	-1.94%
Q3	-1.05%	-1.02%	0.11%	1.16%	1.18%	1.64%	1.49%	-1.51%	-2.17%
Q4	-0.57%	-1.02%	0.32%	1.05%	1.76%	2.28%	1.16%	-2.00%	-2.67%
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Q1	-2.77%	-1.25%	-0.23%	0.57%	-0.06%	-0.81%	-5.58%	-5.09%	-4.46%
Q2	-2.58%	-1.18%	-0.42%	0.23%	0.03%	-0.74%	-6.01%	-4.50%	-4.11%
Q3	-1.58%	-0.94%	-0.17%	-0.16%	0.09%	-1.68%	-5.95%	-4.09%	-4.48%
Q4	-1.11%	-0.64%	-0.16%	0.19%	0.22%	-4.17%	-5.18%	-3.92%	-3.73%
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Q1	-3.34%	-3.35%	-3.59%	-1.31%	-1.25%	-0.81%	0.54%	0.96%	-0.55%
Q2	-3.29%	-3.63%	-2.71%	-1.07%	-1.34%	-0.78%	0.76%	0.87%	-9.90%
Q3	-3.54%	-3.28%	-1.94%	-1.14%	-1.20%	-0.48%	0.83%	1.05%	-3.48%
Q4	-3.82%	-2.91%	-1.82%	-1.39%	-0.98%	0.05%	0.70%	1.18%	-2.77%

Bibliografija

- [1] *Calvo (staggered) contracts*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Calvo_\(staggered\)_contracts](https://en.wikipedia.org/wiki/Calvo_(staggered)_contracts).
- [2] *Federal Reserve District*, https://hr.wikipedia.org/wiki/Sustav_federalnih_rezervi.
- [3] *Taylor Rule*, https://en.wikipedia.org/wiki/Taylor_rule.
- [4] *What Is the Gordon Growth Model?*, <https://www.fool.com/investing/stock-market/types-of-stocks/dividend-stocks/gordon-growth-model/>.
- [5] *What is the Gordon Growth Model?*, <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/valuation/gordon-growth-model/>.
- [6] *Što je monetarna politika?*, <https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me/html/what-is-monetary-policy.hr.html>.
- [7] M. Anufriev, C. Hommes i T. Makarewicz, *Simple forecasting heuristics that make us smart: Evidence from different market experiment*, *Journal of the European Economic Association* **2018**, br. 17, 1538–1584.
- [8] L.M. Ball, *Credible Disinflation with Staggered Price-Setting*, *The American Economic Review* **1994**, br. 84, 282–289.
- [9] G. Calvo, *Staggered Prices in a utility-maximizing framework*, *Journal of Monetary Economics* **1983**, br. 12, 383–398.
- [10] R. Clarida, J. Galí i M. Gertler, *The Science of Monetary Policy: A New Keynesian Perspective*, *Journal of Economic Literature* **1999**, 1661–1707.
- [11] P. De Grauwe, *Lessons on Behavioral Macroeconomics*, Princeton University Press, 2012.

- [12] _____, *Booms and busts in economic activity: A bibehavioral explanation*, Journal of Economic Behavior & Organization **2012**, br. 83, 484–501.
- [13] P. De Grauwe i J. Yuemei, *Structural reforms, animal spirits and monetary policies*, European Economic Review **2020**, br. 124.
- [14] R. Dieci i X. He, *Heterogeneous Agent Models in Finance*, (2018).
- [15] J. C. Driscoll i S. Holden, *Behavioral economics and macroeconomic models*, Journal of Macroeconomics **2014**, br. 41, 133–147.
- [16] George W. Evans i Seppo Honkapohja, *Chapter 7 Learning dynamics*, Handbook of Macroeconomics, sv. 1, Elsevier, 1999, str. 449–542, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574004899010101>.
- [17] G. Fagiolo, M. Napoletano i A. Roventini, *Are output growth-rate distributions fat-tailed? Some evidence from OECD countries*, Journal of Applied econometrics, br. 23, 639–669.
- [18] J. Galí, *Monetary Policy, Inflation and the Business Cycle*, Princeton University Press, 2008.
- [19] A. Hayes, *Taylor Rule*, <https://www.investopedia.com/terms/t/taylorsrule.asp>.
- [20] C. Hommes, *Heterogeneous models in economics and finance*, (2006).
- [21] _____, *Behavioral experimental macroeconomics and policy analysis: a complex systems approach*, (2018).
- [22] _____, *The heterogeneous expectations hypothesis: Some evidence from the lab*, Journal of Economic Dynamics & Control **2011**, br. 35, 1–24.
- [23] C. Hommes, D. Massaro i M. Weber, *Monetary policy under behavioral expectations: Theory and experiment*, European Economic Review **2019**, br. 118, 193–212.
- [24] N. Gregory Mankiw, *The Inexorable and Mysterious Tradeoff Between Inflation and Unemployment*, Working Paper 7884, National Bureau of Economic Research, September 2000, <http://www.nber.org/papers/w7884>.
- [25] H. Pollit, *What is macroeconomic modelling? And why do we do it?*, <https://www.camecon.com/blog/what-is-macroeconomic-modelling-and-why-do-it/>.
- [26] Lars E.O. Svensson, *Leaning Against the Wind: The Role of Different Assumptions About the Costs*, <https://www.nber.org/papers/w23745>.

- [27] D. Vines i S. Wills, *The rebuilding macroeconomic theory project: an analytical assessment*, Oxford Review Economic Policy **2018**, br. 34(1-2), 1–42.

Sažetak

U diplomskom radu opisan je bihevioralni novokeynesijanski model s kognitivnim ograničenjima. U prvom poglavlju opisan je trenutačni vodeći makroekonomski model - novokeynesijanski model i dana njegova kritika. U drugom poglavlju uveden je, objašnjen i riješen bihevioralni model. Također, u istom poglavlju simuliran je bihevioralni model te su opisane njegove karakteristike i uspoređen je s empirijskim podacima. Treće poglavlje donosi proširenja modela i njihove simulacije. Četvrto poglavlje se bavi optimalnom monetarnom politikom u okviru bihevioralnoga modela. Peto poglavlje donosi modificirani model i vlastito mišljenje o bihevioralnom makroekonomskom modelu.

Summary

In this thesis Behavioral New Keynesian macroeconomic model with cognitive limitations is described. The first chapter describes the current leading macroeconomic model - the New Keynesian model and gives its critique. In the second chapter, a behavioral model is introduced, explained, and resolved. Also, in the same chapter, the behavioral model is simulated and its characteristics are described and compared with empirical data. The third chapter brings extensions of the model and their simulations. The fourth chapter deals with optimal monetary policy within the behavioral model. The fifth chapter brings a modified model and my own opinion on the behavioral macroeconomic model.

Životopis

Rođena sam 6. ožujka 1997. godine u Zagrebu. Djetinjstvo sam provela u Posušju gdje sam završila osnovnu i srednju školu. 2015. godine upisujem preddiplomski sveučilišni studij Matematika na Matematičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2018. godine stječem titulu sveučilišne prvostupnice matematike i upisujem diplomski studij Financijska i poslovna matematika na istom fakultetu. Za vrijeme studiranja sudjelovala sam na manifestaciji Dan i noć PMF-a i Smotri sveučilišta u Zagrebu.