

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**NAFTNI ŠOKI V DINAMIČNEM STOHAŠTIČNEM MODELU
SPLOŠNEGA RAVNOTEŽJA**

Ljubljana, marec 2012

ANDREJ KUŠTRIN

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani **Andrej Kuštrin**, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom **Naftni šoki v dinamičnem stohastičnem modelu splošnega ravnotežja**, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem **prof. dr. Igorjem Mastenom**.

Izrecno izjavljam, da v skladu z določili Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah (Ur. l. RS, št. 21/1995 s spremembami) dovolim objavo magistrskega dela na fakultetnih spletnih straneh.

S svojim podpisom zagotavljam, da

- je predloženo besedilo rezultat izključno mojega lastnega raziskovalnega dela;
- je predloženo besedilo jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem
 - poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam v magistrskem delu, citirana oziroma navedena v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, in
 - pridobil vsa dovoljenja za uporabo avtorskih del, ki so v celoti (v pisni ali grafični obliki) uporabljena v tekstu, in sem to v besedilu tudi jasno zapisal;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah (Ur. l. RS, št. 21/1995 s spremembami);
- se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega magistrskega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom.

V Ljubljani, dne 7. 3. 2012

Podpis avtorja: _____

KAZALO

UVOD	1
1 SVETOVNI NAFTNI TRG IN DEJAVNIKI CEN NAFTE	2
1.1 OPREDELITEV NAFTNIH ŠOKOV	3
1.2 PONUDBENA STRAN	5
1.3 STRAN POVPRASEVANJA	8
1.4 RAZLOGI ZA MANJŠI NEGATIVNI VPLIV DANAŠNJIH NAFTNIH ŠOKOV	10
2 KANALI PRENOSA NAFTNIH ŠOKOV V GOSPODARSTVO	12
2.1 NEPOSREDNI VPLIV	13
2.2 POSREDNI VPLIV	17
2.3 SEKUNDARNI UČINEK	18
2.4 UČINEK POVPRASEVANJA	19
2.4.1 Dohodkovni učinek	20
2.4.2 Alokacijski učinek	21
2.4.3 Učinek denarne politike	22
3 RAZVOJ IN ZNAČILNOSTI DSGE MODELOV	23
4 DSGE MODEL MAJHNEGA ODPRTEGA GOSPODARSTVA Z NAFTNIMI ŠOKI	29
4.1 GOSPODINJSTVA	31
4.1.1 Funkcije povpraševanja in agregatni indeksi cen	34
4.1.2 Inflacija cen domačih dobrin, HICP inflacija, realni devizni tečaj in definicije relativnih cen	36
4.1.3 Optimizacijski problem gospodinjstev	38
4.1.4 Mednarodna delitev tveganj in nepokrita obrestna pariteta	41
4.2 DOMAČA PODJETJA	42
4.2.1 Proizvodna tehnologija in minimizacija stroškov	42
4.2.2 Določanje cen	44
4.3 UVOZNA PODJETJA	49
4.4 TUJE GOSPODARSTVO	50
4.5 TRŽNO RAVNOTEŽJE	51
4.5.1 Agregatno povpraševanje in določitev proizvoda	51
4.5.2 Stran ponudbe: povezava med realnimi mejnimi stroški in proizvodno vrzeljo	54
5 OCENJEVANJE MODELA	56

5.1	PREDSTAVITEV METODE OCENJEVANJA	56
5.1.1	Funkcija verjetja	58
5.1.2	Metropolis-Hastingsov algoritem	65
5.2	KALIBRIRANE VREDNOSTI PARAMETROV	67
5.3	PRIORNE VREDNOSTI PARAMETROV	67
5.4	UPORABLJENI PODATKI	69
5.5	REZULTATI OCENJEVANJA	70
6	REŠITEV IN SIMULACIJA MODELA	73
6.1	PREDSTAVITEV PROGRAMSKEGA PAKETA DYNARE	73
6.2	OSNOVNE REŠEVANJA DSGE MODELOV	74
6.3	IMPULZNO ODZIVNE FUNKCIJE NA NAFTNI ŠOK	83
	SKLEP	87
	LITERATURA IN VIRI	89

KAZALO TABEL

TABELA 1: NAJVEČJE PORABNICE NAFTE MED LETOMA 2000 IN 2010 (V 1000 SODČKIH NA DAN)	8
TABELA 2: KUMULATIVNA SPREMEMBA BDP-JA IN SPREMEMBA INFLACIJE PO NAFTNIH ŠOKIH ZA IZBRANA GOSPODARSTVA	10
TABELA 3: UTEŽI NAFTNIH DERIVATOV V HICP INDEKSU V DRŽAVAH EU27 V LETU 2011	14
TABELA 4: STRUKTURA MALOPRODAJNE CENE 95-OKTANSKEGA BENCINA IN DIZELSKEGA GORIVA V DRŽAVAH EU 27 NA DAN 3. OKTOBRA 2011	17
TABELA 5: NEPOSREDNI IN POSREDNI VPLIV VIŠJIH CEN NAFTE NA TEKOČI RAČUN PLAČILNE BILANCE	21
TABELA 6: VRSTE PORAZDELITEV PARAMETROV, NJIHOVO DEFINICIJSKO OBMOČJE IN USTREZEN UKAZ V DYNARE-U	68
TABELA 7: PRIORNE PORAZDELITVE PARAMETROV	68
TABELA 8: REZULTATI OCENJEVANJA	71

KAZALO SLIK

SLIKA 1: SESTAVA BRUTO POTROŠNJE ENERGIJE V SLOVENIJI V LETU 2009 (1000 TON NAFTNEGA EKVIVALENTA) ..	3
SLIKA 2: NAJVEČJE NETO IZVOZNICE NAFTE V LETU 2009	6
SLIKA 3: NAJVEČJE NETO UVOZNICE NAFTE V LETU 2009	9
SLIKA 4: OSNOVNI PRIKAZ PRENOSA NAFTNIH ŠOKOV V GOSPODARSTVO	12
SLIKA 5: POVEZAVA MED CENAMI IN PLAČAMI	18
SLIKA 6: GIBANJE EFEKTIVNE OBRESTNE MERE IN REALNE CENE STROŠKOV UVOŽENE NAFTE Z OZNAČENIMI RECESIJAMI ZA ZDA	22

SLIKA 7: PRIKAZ TAYLORJEVEGA PRAVILA	28
SLIKA 8: PRIORNA IN POSTERIORNA PORAZDELITEV OCENJEVANIH PARAMETROV	72
SLIKA 9: SHEMATSKI PRIKAZ DELOVANJA PROGRAMSKEGA PAKETA DYNARE	74
SLIKA 10: IMPULZNI ODZIVI NEKATERIH MAKROEKONOMSKIH SPREMENLJIVK NA NAFTNI ŠOK NA INTERVALU 20-IH OBDOBIJ (UPORABA OCENJENIH VREDNOSTI PARAMETROV)	84
SLIKA 11: IMPULZNI ODZIVI NEKATERIH MAKROEKONOMSKIH SPREMENLJIVK NA NAFTNI ŠOK NA INTERVALU 20-IH OBDOBIJ (OSNOVNA SIMULACIJA).....	85
SLIKA 12: IMPULZNI ODZIVI NEKATERIH MAKROEKONOMSKIH SPREMENLJIVK NA NAFTNI ŠOK NA INTERVALU 20-IH OBDOBIJ OB UPORABI TROŠARINSKEGA PRAVILA	85
SLIKA 13: IMPULZNI ODZIVI NEKATERIH MAKROEKONOMSKIH SPREMENLJIVK NA NAFTNI ŠOK NA INTERVALU 20-IH OBDOBIJ (MANJŠI DELEŽ NAFTNIH DERIVATOV V POTROŠNI KOŠARICI)	86
SLIKA 14: IMPULZNI ODZIVI NEKATERIH MAKROEKONOMSKIH SPREMENLJIVK NA NAFTNI ŠOK NA INTERVALU 20-IH OBDOBIJ (VIŠJA ELASTIČNOST SUBSTITUCIJE MED NAFTNIMI DERIVATI IN OSNOVNIMI DOBRINAMI)	87
SLIKA 15: IMPULZNI ODZIVI NEKATERIH MAKROEKONOMSKIH SPREMENLJIVK NA NAFTNI ŠOK NA INTERVALU 40-IH OBDOBIJ (VIŠJA PERSISTENTNOST NAFTNEGA ŠOKA).....	87

UVOD

Do prvih večjih sprememb v ceni nafte je prišlo v letih 1973-1974 in 1978-1980, ko sta se zgodila prva dva naftna šoka. Skokovitima porastoma cen nafte so sledila obdobja stalnih nihanj, v zadnjem desetletju pa smo priča ponovnemu porastu cen, saj se je cena nafte vrste Brent (enomesečnih terminskih pogodb), ki velja za referenčno ceno nafte na evropskem trgu, iz ravni leta 2001 pa do danes povečala za dobrih 280 %.

Kljub razvoju alternativnih virov energije, nafta in njeni derivati še vedno predstavljajo pomembno strateško surovino, ki se uporablja na številnih področjih, od prevozov in ogrevanja do uporabe v proizvodnem procesu, zlasti v kmetijskem in industrijskem sektorju gospodarstva. Prav zaradi pomembnosti pri energetske oskrbi gospodarstev in negativnih posledic naftnih šokov za gospodarstvo (predvsem v smislu višje inflacije in nižje gospodarske rasti), sta nafta in njena cena vse od začetnih naftnih šokov predmet proučevanja številnih makroekonomistov.

Cilj magistrskega dela je oblikovanje dinamičnega stohastičnega modela splošnega ravnotežja (angl. *Dynamic Stochastic General Equilibrium Model*) ali krajše DSGE modela majhnega odprtega gospodarstva z vključenimi naftnimi šoki in ugotavljanje odziva izbranih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok.

Namen magistrskega dela je bralca seznaniti z makroekonomskim modeliranjem v obliki izgradnje DSGE modela in z osnovami Bayesianske metode, ki se v literaturi vse bolj uveljavlja za ocenjevanje strukturnih parametrov tovrstnih modelov.

Glavna raziskovalna vprašanja, s katerimi se ukvarjam v magistrskem delu, so:

- ❖ Kateri so vzroki za nihanje cen surove nafte na svetovnem trgu?
- ❖ Na kakšne načine lahko cena nafte vpliva na posamezno gospodarstvo?
- ❖ Na podlagi simulacije DSGE modela in senzitivnostne analize ugotoviti, kakšen vpliv na makroekonomske spremenljivke imajo naftni šoki.

Magistrsko delo je razdeljeno na šest vsebinskih poglavij. V prvem poglavju najprej na kratko predstavim osnovne značilnosti svetovnega naftnega trga in nekatere dejavnike, ki vplivajo na gibanje cene nafte. Na koncu tega poglavja navajam nekaj glavnih razlogov za manjše negativne posledice naftnih šokov v zadnjem desetletju v primerjavi s tistimi v 70. letih.

V okviru drugega poglavja opišem različne kanale prenosa naftnih šokov v posamezno gospodarstvo, saj je poznavanje natančnega transmisijskega mehanizma naftnega šoka in tudi vzroka, intenzitete ter morebitnega časovnega zamika pri delovanju ključnega pomena za razumevanje njegovega vpliva na gospodarstvo in za vodenje ustrezne ekonomske politike.

V tretjem poglavju predstavljam teoretične značilnosti DSGE modelov z vidika njihovega razvoja in temeljne strukture tovrstnih modelov.

Četrto poglavje je namenjeno predstavitvi teoretičnega DSGE modela majhnega odprtega gospodarstva kot osnovnega metodološkega orodja za proučevanje vpliva različnih vrst šokov na makroekonomske spremenljivke v gospodarstvu. V magistrskem delu se osredotočam na naftne šoke, zaradi zahtev metode ocenjevanja pa sem v model vključil tudi ostale vrste šokov. Čeprav enačbe modela predstavljajo le poenostavljen opis realnosti, saj temeljijo na številnih predpostavkah, pa izpeljani model z vključitvijo naftnih derivatov v potrošno košarico gospodinjstev in v produkcijsko funkcijo podjetij predstavlja učinkovito teoretično orodje za razumevanje in razlago predvsem neposrednega in posrednega vpliva naftnih šokov na gospodarstvo.

Peto poglavje namenjam ocenjevanju izpeljanega modela z uporabo Bayesijske metode, ki ima to pomembno lastnost, da pri ocenjevanju strukturnih parametrov upošteva model kot celoto in s tem različne medsebojne vplive med spremenljivkami. Poglavje začnem s predstavitvijo osnovnih značilnosti Bayesijske metode, nadaljujem z izpeljavo enačb diskretnega Kalmanovega filtra, s katerim lahko oblikujem funkcijo verjetja in nazadnje predstavim Metropolis-Hastingsov algoritem, ki ga kot simulacijsko metodo uporabim za ocenjevanje posteriornih porazdelitev ocenjevanih parametrov.

V šestem poglavju najprej predstavim osnovne značilnosti reševanja DSGE modelov, nato pa ocenjene parametre skupaj s kalibriranimi vrednostmi parametrov uporabim v rešitvi in simulaciji modela z namenom analize vpliva naftnega šoka na izbrane makroekonomske spremenljivke za Slovenijo. V sklopu tega poglavja napravim še senzitivnostno analizo, kjer vpliv naftnega šoka proučujem pri različnih vrednostih parametrov. Ocenjevanje, reševanje in simulacijo modela izvedem z uporabo programskega modula Dynare v programskem paketu Matlab.

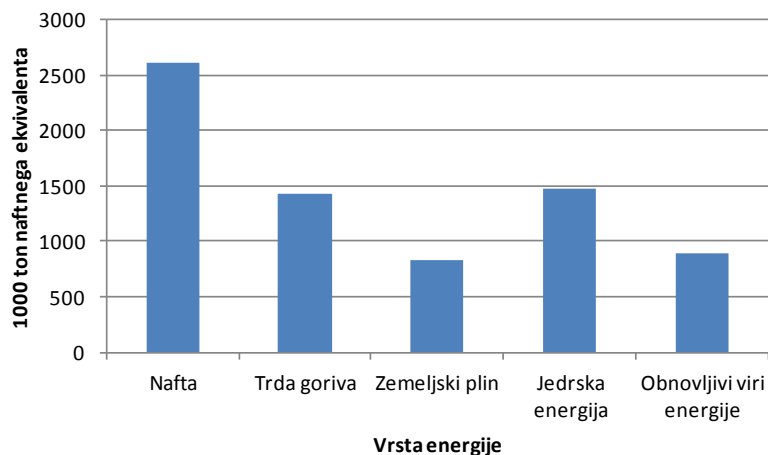
V sklepnem delu povzemam ključne ugotovitve. Na koncu sledijo še priloge magistrskega dela, kjer lahko bralec, ki ga področje makroekonomskega modeliranja še posebej zanima, najde podrobne izpeljave enačb modela.

1 SVETOVNI NAFTNI TRG IN DEJAVNIKI CEN NAFTE

Fosilna goriva, med katerimi ima pomembno vlogo nafta, predstavljajo najpomembnejši vir pri zadovoljevanju energetskega potreb večine gospodarstev, zato ne preseneča dejstvo, da cena nafte velja za eno izmed najpomembnejših cen, ki lahko pomembno vpliva na ekonomsko dogajanje v gospodarstvu. Tudi Slovenija pri vlogi nafte kot pomembnem viru energije ne

izstopa, saj je iz Slike (1) razvidno, da je v letu 2009 poraba nafte predstavljala največji delež v celotni bruto potrošnji energije.

Slika 1: Sestava bruto potrošnje energije v Sloveniji v letu 2009 (1000 ton naftnega ekvivalenta)



Vir: Eurostat, Gross inland energy consumption, by fuel, b. l.

Cena nafte se pomembno razlikuje od cen ostalih dobrin, zaradi česar ji makroekonomisti posvečajo še posebno pozornost. Prvi razlog je, da so lahko naftne cene podvržene precejšnjim in dolgo trajajočim porastom, kar ni toliko značilno za cene ostalih dobrin in storitev. Drugi razlog, da so povišanja cen nafte bolj pomembna od povišanj cen drugih dobrin, je na kratek rok precej neelastično povpraševanje po nafti in njenih derivatih. Kot tretji razlog lahko navedem, da na skoke naftnih cen običajno vplivajo zunanji dejavniki, ki niso povezani z dogajanjem v posameznem gospodarstvu. Zadnji razlog pa je, da se visoke cene nafte povezuje z obdobji nizke gospodarske rasti ali celo recesijami, inflacijo in povečano brezposelnostjo (Kilian, 2008, 871-872).

Za ceno nafte lahko rečem, da se oblikuje na trgu kot rezultat medsebojnega delovanja ponudbe in povpraševanja, kar je možno v ekonomiji predstaviti z uporabo analitičnega orodja krivulje ponudbe in povpraševanja. V nadaljevanju najprej podajam definicijo naftnih šokov nato pa predstavljam značilnosti ponudbene in povpraševalne strani svetovnega naftnega trga ter navajam nekatere glavne dejavnike, ki lahko vplivajo na ceno nafte.

1.1 Opredelitev naftnih šokov

Naftni šok lahko opredelim kot nenadno in izrazito povišanje cen nafte. Iz obdobja po drugi svetovni vojni je poznanih kar nekaj takšnih skokov cen, ki so nastali ob različnih dogodkih. Prvi manjši naftni šok je svet doživel leta 1956 ob Sueški krizi, vendar to povišanje cen v primerjavi s kasnejšimi dogajanjem ni bilo tako pomembno, saj ni pripeljalo do naftne krize.

Razmere so se spremenile po oktobru 1973, ko je prišlo do arabsko-izraelske vojne in do prve resne svetovne naftne krize (Sjekloča, 2008). Zaradi ameriške in evropske podpore Izraelu, je OPEC za te države uvedel naftni embargo, kar je sprožilo trikratno povišanje cen nafte, iz 2,90 USD za sodček v letu 1973 na 9 USD za sodček v letu 1974 (Prašnikar & Domadenik, 2005, str. 17; Sill, 2007, str. 22). Od takrat naprej se naftni trg ni več popolnoma umiril. Cene nafte so po tem obdobju nekoliko padle, vendar je že naslednje povišanje sledilo ob Iranski revoluciji 1978-1979 in ob začetku iransko-iraške vojne leta 1980 (Sjekloča, 2008). V obdobju 1978-1980 se je tako cena nafte povečala iz 12 USD za sodček na 30 USD za sodček. Dramatični spremembi cen nafte v obeh obdobjih sta danes znani kot cenovna šoka OPEC (Prašnikar & Domadenik, 2005, str. 17). Med ostalimi pomembnimi dogodki, ki so v preteklosti vplivali na višje cene nafte, so še vojna v Perzijskem zalivu leta 1990, težave v venezuelski naftni industriji in napad na Irak leta 2003, padec vrednosti dolarja in naravne nesreče v Mehiškem zalivu. V zadnjih nekaj letih pa so bili v ozadju višjih cen nafte predvsem dejavniki na strani povpraševanja, kjer se največkrat omenja visoka svetovna gospodarska rast in hitra rast povpraševanja v Aziji, kar je povečalo povpraševanje po nafti in posledično njeno ceno (Sjekloča, 2008).

Kilian (2009, str. 1054) v osnovi razlikuje med tremi glavnimi skupinami šokov, ki lahko vplivajo na povišanje cen nafte:

- ❖ **ponudbeni naftni šok** (angl. *oil supply shock*) je primer tipičnega naftnega šoka, kot posledica izpada proizvodnje nafte zaradi vojaških konfliktov ali določitve proizvodnih kvot s strani držav izvoznic nafte;
- ❖ **šok agregatnega povpraševanja** (angl. *aggregate demand shock*), ki pomeni povečanje povpraševanja po nafti in povišanje njenih cen zaradi hitre rasti gospodarstev, kot posledica povečanega agregatnega povpraševanja;
- ❖ **specifični šok povpraševanja** (angl. *oil specific-demand shock*) je primer povpraševanja po nafti iz previdnostnih razlogov kot rezultat pričakovanj o trenutni ali prihodnji okrnjeni ponudbi nafte, lahko pa je tak šok tudi posledica špekulativnega povpraševanja po nafti.

Kilian (2009, str. 1053) skozi empirično analizo ugotovi, da so imeli v obdobju 1975-2007 največji vpliv na realno ceno nafte šoki v obeh vrstah povpraševanja, ponudbeni šoki pa so imeli zgodovinsko gledano majhen pomen.

Poleg omenjene raziskave obstajajo še druge raziskave, ki predvsem z uporabo VAR modelov proučujejo vpliv naftnih šokov na gospodarstvo. Med začetnimi raziskavami na področju naftnih šokov lahko izpostavim študijo Hamiltona (1983, str. 228, 231), v kateri se avtor ukvarja z ugotavljanjem vzrokov naftnih šokov med letoma 1947 in 1982 ter vprašanjem

obstoja vzročne povezanosti med naftnimi šoki in recesijami v ZDA. Hamilton ugotavlja, da so bile takoj po vojni glavni vzrok visokih cen nafte nezadostne investicije v proizvodnjo in transportne kapacitete, da bi zadovoljile porabo nafte, kasneje pa omenja dejavnike kot so Sueška kriza, zmanjšanje rezerv nafte v ZDA, stavke naftnih delavcev, politični nemiri na Bližnjem vzhodu in ponudbena politika držav članic OPEC-a (embargo), kar se je odrazilo na zmanjšani ponudbi nafte in posledično njenih višjih cenah. Iz raziskave tudi sledi, da so bile višje cene nafte glavni vzrok za visoko inflacijo in hkrati eden izmed pomembnih povzročiteljev recesij, saj je kar 7 od 8 recesij v ZDA v povojnem času neposredno sledilo precejšnjim povišanjem cen nafte.

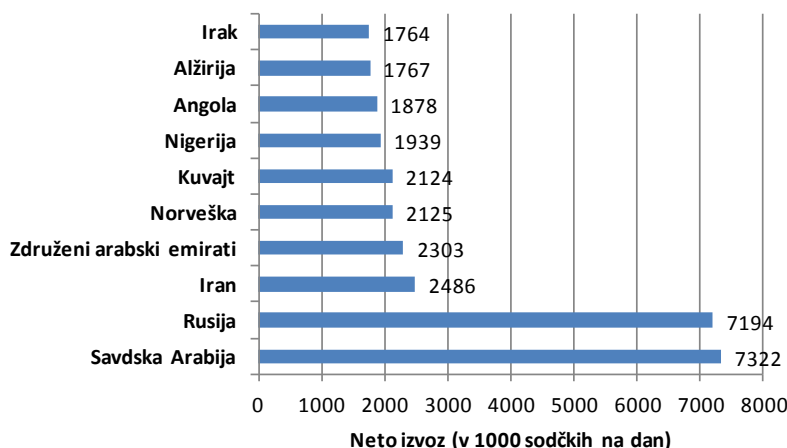
V eni izmed novejših raziskav Peersman in Van Robays (2009, str. 611-614) za evroobmočje in ZDA prikažeta impulzne odzive potrošnih cen, proizvoda, nominalne obrestne mere in deviznega tečaja med evrom in dolarjem na vse tri zgoraj omenjene šoke, pri čemer odzive normalizirata na 10 % povišanje cen nafte. Za ponudbeni naftni šok ugotovita, da zviša potrošne cene v evroobmočju za 0,44 %, obenem pa vodi v permanentno znižanje proizvoda za 0,31 %. Opazen je še restriktiven odziv denarne politike, medtem ko devizni tečaj med evrom in dolarjem ostane nespremenjen. Nadalje, šok v agregatnem povpraševanju povzroči apreciacijo evra in povišanje inflacije za 0,40 %. Popolnoma drugače kot pri ponudbenemu naftnemu šoku na šok v agregatnem povpraševanju reagira proizvod, saj pride do njegovega povečanja. Centralna banka zato ob tem ni soočena s problemom istočasne stabilizacije proizvoda in inflacije. Specifični šok povpraševanja vodi do izrazite apreciacije evra, kar lahko izvira iz težnje po investiranju v surovine kot načinu za zaščito pred depreciacijo dolarja. Apreciacija evra zato pripomore k manjšemu dvigu inflacije, ki je enako 0,10 % na dolgi rok, in precejšnjemu prehodnemu upadu proizvoda. Kljub očitnemu zmanjšanju proizvoda je odziv denarne politike v tem primeru neznačilen. Impulzni odzivi za ZDA so podobni, najbolj omembe vredna razlika pa je odziv denarne politike. Iz impulznih odzivov je namreč razvidno, da Evropska centralna banka (angl. *European Central Bank*; v nadaljevanju ECB) ob naftnem šoku večjo pozornost namenja stabilizaciji inflacije, ameriška centralna banka (angl. *U. S. Federal Reserve System*; v nadaljevanju FED) pa stabilizaciji proizvoda.

1.2 Ponudbena stran

Pri ponudbi nafte ima vodilno vlogo organizacija OPEC, ki je bila ustanovljena leta 1960 v Bagdadu s strani petih držav (Iran, Irak, Kuvajt, Savdska Arabija in Venezuela), kasneje pa so se jim pridružile še druge države. Trenutno organizacijo poleg držav ustanoviteljic sestavlja še 7 drugih držav, in sicer Alžirija, Angola, Ekvador, Libija, Nigerija, Katar in Združeni arabski emirati. Iz Slike (2) je namreč razvidno, da je bilo v letu 2009 kar 8 od 10. največjih neto izvoznih nafte članic organizacije OPEC. Cilj omenjene organizacije je koordinacija in poenotenje naftnih politik držav članic, zagotavljanje učinkovite, gospodarne in redne dobave nafte ter omogočanje rednega dohodka proizvajalcem, investitorjem v naftno industrijo pa

pošten donos na vloženi kapital (Brief History, 2011). Države članice OPEC-a so imele po zadnjih razpoložljivih podatkih ob koncu leta 2010 v lasti nekaj več kot 81 % vseh dokazanih svetovnih rezerv surove nafte, zato je pričakovati, da bo imela organizacija tudi v prihodnosti velik vpliv pri oblikovanju svetovne ponudbene politike in s tem na ceno nafte (OPEC Share of World Crude Oil Reserves 2010, 2011).

Slika 2: Največje neto izvoznice nafte v letu 2009



Vir: U. S. Energy Information Administration, Countries, b. l.

Visoke cene nafte so ob prvem naftnem šoku leta 1973 okrepile tudi pomen drugih nahajališč, kjer je bila proizvodnja nafte še do tedaj s stroškovnega vidika neupravičena, s čimer se je zmanjšala moč OPEC-a (Sveriges Riksbank, 2003, str. 25). Od držav nečlanic OPEC-a pomembno mesto na naftnem trgu zaseda Rusija, ki je pri dnevni proizvodnji nafte v letu 2009 celo prehitela Savdsko Arabijo, po količini dnevno izvožene nafte pa se uvršča na drugo mesto takoj za njo. Poleg Rusije je z vidika ponudbe nafte pomembna tudi Norveška, ki je zaradi bogatih nahajališč in presežka načrpane nafte postala njena največja izvoznica v Evropi in ena največjih na svetu.

Glede na to, da so države članice OPEC-a eden izmed glavnih ponudnikov nafte na svetovnem trgu, lahko njihovo **politiko določanja proizvodnih kvot in višino prostih proizvodnih zmogljivosti** označim za dva možna dejavnika cen nafte. OPEC cen nafte ne določa neposredno, ampak nanje vpliva posredno preko določanja največje dovoljene količine proizvedene nafte za posamezne države članice. Če velja prepričanje, da je cena nafte na trgu prenizka, bo OPEC z določitvijo kvot zmanjšal proizvodnjo nafte, in obratno. Vloga proizvodnih kvot je prišla do izraza leta 1986, ko je Savdska Arabija kljub postavljenim proizvodnim omejitvam povečala svojo proizvodnjo nafte in s tem povzročila padec cen iz 28 na manj kot 10 USD za sodček (Samuelson & Nordhaus, 2002, str. 174). Zaradi tovrstne nediscipline med članicami OPEC-a in pogoste medsebojne vpletenosti v vojaške konflikte, politika proizvodnih kvot še danes ni uspešna (Sjekloča, 2008). Pomembne so tudi proste proizvodne kapacitete, ki so namenjene blažitvi nenadnih naftnih šokov. Savdska Arabija ima

med članicami OPEC-a največje proste proizvodne zmogljivosti, ki so v maju 2010 znašale 62 % celotnih prostih kapacitet vseh držav članic kartela OPEC. Skromne proste proizvodne kapacitete, ki pomenijo manjšo elastičnost ponudbe nafte, lahko povečajo občutljivost naftnih cen na trenutne oziroma morebitne prihodnje ponudbene in povpraševalne šoke ter vplivajo na nestabilnost naftnega trga (European Central Bank, 2010, str. 80).

Eden izmed dejavnikov, ki lahko na ponudbeni strani vpliva na ceno nafte v prihodnosti, so tudi **težko dostopna nova nahajališča**, ki se nahajajo večinoma globoko pod morjem ali celo pod ledom, zato bo pridobivanje nafte iz teh nahajališč dražje. V kolikor ne bo prišlo do tehnoloških izboljšav, ki bi znižale stroške črpanja, se bo nova nahajališča začelo izkoriščati šele pri višjih cenah nafte. Po drugi strani pa so zaloge premoga in zemeljskega plina obsežnejše, bistveno manj izkoriščene, geografsko bolj razpršene in tudi lažje dostopne, zato bosta lahko v prihodnosti ob pomanjkanju lažje dostopne nafte vse večjo vlogo prevzela ta dva energenta, pa tudi uporaba alternativnih virov energije, ki temelji na izkoriščanju obnovljivih virov energije, bo vedno bolj pridobivala na pomenu, kar je cilj tudi Evropske komisije, ki predvideva, da naj bi do leta 2020 delež obnovljivih virov energije dosegel 20 % v končni porabi energije (Urad Vlade RS za komuniciranje, b. l.).

V javnosti velja splošno sprejeto prepričanje, da so za visoke poraste cen nafte krive tudi **vojne in drugi politični dogodki na območjih črpanja nafte**, ki preko zmanjšane ponudbe vplivajo na njeno ceno. Tudi če takšno prepričanje ostane sprejeto, pa se je velikokrat v zgodovini izkazalo, da ta povezava ni tako očitna. Hamilton (2003, str 370) kot primer navaja vojno med Iranom in Irakom leta 1980 in invazijo na Kuvajt leta 1990. Čeprav je v obeh primerih prišlo do podobnega zmanjšanja proizvodnje nafte (za 7,2 % v prvem in 8,8 % v drugem primeru), je bil učinek na ceno nafte precej večji v primeru invazije na Kuvajt kot pri iransko-iraški vojni. Barsky in Kilian (2004, str. 16-17) v tem primeru ponujata drugo razlago, ki pravi, da se zaradi bližajoče vojne poveča previdnostno povpraševanje po nafti, ki predvsem v primerih neelastične ponudbe povzroči povišanje njenih cen. Takšen primer je bila leta 2003 vojna v Iraku, ki je bila za razliko od drugih dogodkov zelo pričakovana. Čeprav v času vojne ni prišlo do omembe vrednih poškodb naftne infrastrukture, ki bi vplivale na okrnjeno ponudbo nafte, je cena nafte narasla, kar je mogoče pripisati povečani negotovosti v času pred začetkom vojne. Izkušnje iz preteklosti tudi kažejo, da nemiri na Bližnjem vzhodu ne povzročijo nujno povišanja cen nafte, in da lahko do povišanja naftnih cen pride tudi v odsotnosti teh šokov. Primer, ki ga navajata Barsky in Kilian (2004, str. 12), je obdobje od marca 1999 do novembra 2000, v katerem se je realna cena nafte močno povišala, vendar v tem času ni bilo nobenih vojaških nemirov ali drugih eksogenih dogodkov na Bližnjem vzhodu, ki bi lahko vplivali na ceno nafte. Slednje govori v prid temu, da so pomembni tudi drugi dejavniki cen nafte, predvsem tisti na strani povpraševanja.

1.3 Stran povpraševanja

Tako kot za ponudbo nafte, je tudi za povpraševanje po njej značilno, da je na kratek rok relativno neelastično. To povzroči, da imajo majhne spremembe v ponudbi nafte relativno velike učinke na njeno ceno (Damijan, Masten, & Polanec, 2004, str. 14).

Kot kaže Tabela (1) se je svetovna poraba nafte med letoma 2000 in 2010 v povprečju povečevala in je v letu 2010 znašala nekaj več kot 87 milijonov sodčkov dnevno. Razvidno je tudi, da je trend povečevanja porabe nafte precej močan pri Kitajski in Indiji, pri ostalih državah, ki so predstavljene v spodnji Tabeli, pa poraba nafte ostaja na približno enakih ravneh.

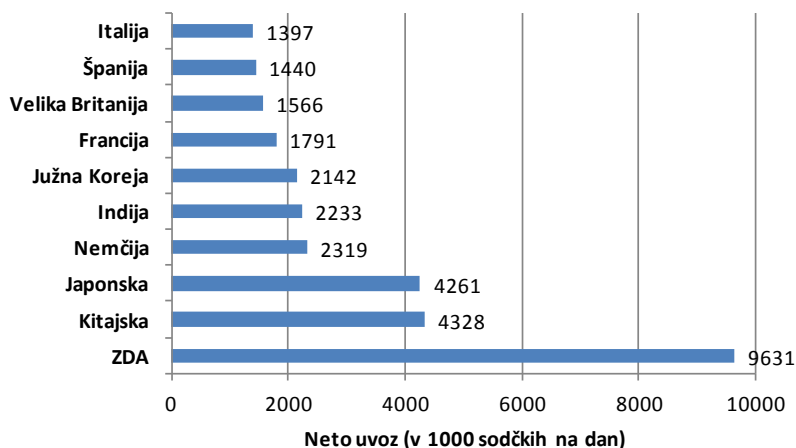
Tabela 1: Največje porabnice nafte med letoma 2000 in 2010 (v 1000 sodčkah na dan)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ZDA	19701	19649	19761	20033	20732	20802	20687	20680	19498	18771	19148
Kitajska	4766	4859	5262	5771	6738	6944	7437	7817	7937	8201	9057
Japonska	5530	5394	5320	5413	5238	5334	5203	5029	4836	4391	4451
Indija	2261	2288	2376	2420	2574	2567	2571	2835	3068	3211	3319
Rusija	2698	2688	2730	2755	2767	2777	2893	2913	3036	2936	3199
Savdska Arabija	1578	1622	1668	1780	1913	2001	2074	2200	2387	2624	2812
Brazilija	2018	2047	2030	2010	2020	2078	2094	2234	2382	2399	2604
Nemčija	2746	2787	2697	2648	2619	2592	2609	2380	2502	2409	2441
Južna Koreja	2252	2259	2308	2326	2283	2308	2317	2389	2287	2326	2384
Kanada	1922	2008	2051	2115	2231	2229	2246	2323	2288	2179	2276
SVET	76605	77304	78268	79823	82827	84126	84958	86428	85999	84714	87382

Vir: BP Statistical Review of World Energy June 2011, 2011, str. 9.

Z vidika povpraševanja ni pomembna poraba nafte, ampak neto uvoz, ki se izračuna kot razlika med celotno porabo nafte in lastno proizvodnjo. Največje neto uvoznice nafte glede na število dnevno uvoženih sodčkov so bile v letu 2009 ZDA (9,6 milijonov sodčkov). Med deset največjih neto uvoznic nafte se uvršča tudi 5 evropskih gospodarstev, med katerimi izstopa Nemčija, ki je leta 2009 uvozila v povprečju 2,3 milijona sodčkov na dan.

Slika 3: Največje neto uvoznice nafte v letu 2009



Vir: U. S. Energy Information Administration, Countries, b. l.

Pomemben dejavnik cen nafte na strani povpraševanja so **hitro rastoča gospodarstva** (predvsem Indija in Kitajska) in njihovo povpraševanje po nafti, saj za svoj razvoj potrebujejo veliko količino energetskih virov (tudi nafte). Pomen teh gospodarstev pri vplivanju na ceno nafte se je pokazal ob Azijski krizi med letoma 1997-1998, ko je cena nafte padla, pa tudi v zadnjem desetletju, ko so gospodarstva, ki so se razvijala po visoki stopnji, odločilno pripomogla k naraščanju naftnih cen. Če primerjam porabo surove nafte na prebivalca v letu 2008 med evroobmočjem (12 sodčkov), ZDA (23 sodčkov), Kitajsko (2 sodčka) in Indijo (1 sodček), lahko ugotovim, da imata Indija in Kitajska še veliko potenciala pri rasti povpraševanja, zato bosta skupaj z ostalimi hitro rastočimi gospodarstvi tudi v nadaljevanju predstavljali pomemben dejavnik cen nafte (European Central Bank, 2010, str. 79).

Precejšnja nihanja v ceni nafte v zadnjih letih in povečanje likvidnosti na naftnem terminskem trgu ter porast števila udeležencev, ki ne trgujejo fizično z nafto, so spodbudili tudi razprave o vplivu **finančne aktivnosti na terminskih trgih** na ceno nafte (Lombardi & Van Robays, 2011, str. 2). Glede na motiv delovanja na naftnem terminskem trgu nastopata dve vrsti ekonomskih subjektov. Prvi so investitorji, ki fizično trgujejo z nafto (angl. *commercials*), njihovo delovanje pa je usmerjeno v zavarovanje pred neugodnim gibanjem cene nafte, tako da se s ponudniki vnaprej dogovorijo o ceni, ki jo bodo morali plačati za dobavo nafte v prihodnosti. Drugi pa so investitorji, ki zavestno prevzemajo tveganje (angl. *non-commercials*), v upanju da jim bo to prineslo dobiček. Obe vrsti udeležencev na terminskem trgu delujeta v skladu s pričakovanji o gibanju temeljnih dejavnikov, ki vplivajo na ceno nafte (stabilizacijska finančna aktivnost). Vlagatelji pa so lahko na naftnem terminskem trgu prisotni tudi zgolj zato, ker želijo del svojega naložbenega portfelja nameniti nafti, saj naftne terminske pogodbe predstavljajo dobro sredstvo za zaščito pred inflacijo, obenem pa so negativno povezane z delniškimi indeksi (destabilizacijska finančna aktivnost). Lombardi in Van Robays (2011, str. 5) na podlagi mesečnih podatkov ocenita strukturni VAR model za obdobje 1991-2010 in ugotovita, da finančna aktivnost na terminskem trgu na kratek rok

vpliva na cene nafte na promptnem trgu, hkrati pa z destabilizacijskim finančnim šokom pojasnita 10 % celotne variabilnosti v ceni nafte v proučevanem obdobju.

1.4 Razlogi za manjši negativni vpliv današnjih naftnih šokov

Cene nafte z večjimi in manjšimi nihanji naraščajo tudi v zadnjem desetletju, vendar pa je kljub temu njihov negativni vpliv na gospodarsko aktivnost in rast cen manjši kot pred dvema oziroma tremi desetletji, ko so hitra povišanja naftnih cen povzročila celo recesije globalnih razsežnosti in visoko inflacijo. Tabela (2) prikazuje kumulativno spremembo BDP-ja in spremembo inflacije po naftnih šokih za deset večjih gospodarstev. Že na prvi pogled je iz spodnje tabele razvidno, da odziv gospodarske rasti in inflacije ob dveh naftnih šokih v zadnjem desetletju, ki sta bila po velikosti primerljiva s tistima v 70. letih, ni bil več tako očiten kot v preteklosti.

Tabela 2: Kumulativna sprememba BDP-ja in sprememba inflacije po naftnih šokih za izbrana gospodarstva

	Kumulativna sprememba BDP-ja				Sprememba inflacije			
	1973:3 – 1974:1	1979:1 – 1980:2	1999:1 – 2000:4	2002:1 – 2005:3	1973:3 – 1974:1	1979:1 – 1980:2	1999:1 – 2000:4	2002:1 – 2005:3
Kanada	-8,3	-1,0	-1,5	3,2	4,7	1,8	2,2	0,5
Nemčija	-9,6	-3,5	1,3	-2,5	0,1	2,6	1,1	-0,2
Francija	-7,6	-4,4	0,6	1,2	5,4	3,1	1,3	0,5
U. K.	-16,4	-9,2	0,4	2,5	10,2	4,3	0,0	0,5
Italija	-8,6	0,4	3,0	-2,0	7,7	5,6	1,0	-0,1
Japonska	-16,1	-4,4	7,6	3,3	7,9	1,0	-1,7	0,9
U. S.	-13,3	-11,8	-3,7	7,1	4,9	4,0	1,7	-0,2
G7	-12,6	-7,7	-0,2	3,9	4,8	1,9	0,3	0,0
EA-12	-9,1	-2,9	1	-0,4	4,3	2,7	1,3	-0,5
OECD	-11,2	-6,5	0,1	4,1	4,9	1,8	0,1	-0,5

Vir: O. J. Blanchard & J. Galí, The Macroeconomic Effects of Oil Price Shocks: Why are the 2000s so different from the 1970s?, 2007, str. 14-15.

Roubini in Setser (2004) opredelita glavne dejavnike, od katerih je odvisen vpliv naftnih šokov na gospodarstvo, kjer izpostavita zlasti velikost šoka tako z vidika absolutnega porasta kot porasta realne cene nafte, trajanje šoka, odvisnost ekonomije od naftnih virov energije in odziv denarnih in fiskalnih oblasti. Ob upoštevanju teh dejavnikov obstaja več razlogov za manjši negativni vpliv naftnih šokov na gospodarstva v zadnjem desetletju v primerjavi s tistimi v 70. letih prejšnjega stoletja.

V času od prvih dveh naftnih kriz, ki sta se zgodili v 70. letih, se je energetska odvisnost držav od nafte močno zmanjšala, saj so negativne posledice takratnih naftnih kriz države spodbudile k iskanju in uporabi drugih virov energije (Kilian, 2008, str. 894). Obenem je v zadnjih 30. letih prišlo do **povečanja energetske učinkovitosti** oziroma **zmanjšanja**

energetske naftne intenzivnosti, ki se je na svetovni ravni znižala za več kot polovico, kar pomeni, da se enak BDP ustvari ob pol manjši porabi nafte (Urad RS za makroekonomske analize in razvoj, 2005, str. 21-22).

Eden izmed razlogov za manjše negativne makroekonomske posledice naftnih šokov v zadnjem desetletju je tudi **sprememba v načinu vodenja ekonomske politike**. Do naftnih šokov v 70. letih je prišlo v času, ko je bila inflacija v večini zahodnih držav v porastu, za kar naj bi bilo krivo sistematično vodenje ekspanzivne ekonomske politike. Takšno inflacijsko okolje ni nudilo ustreznega načina za omejitev vse močnejših inflacijskih pričakovanj. Danes je nizka in stabilna inflacija cilj mnogih centralnih bank po svetu, kar posledično prispeva k njihovi večji kredibilnosti in manjšim negativnim posledicam naftnih šokov, saj javnost pričakuje, da bodo nosilci ekonomskih politik ob naftnem šoku ustrezno ukrepali (Blanchard & Galí, 2007, str. 5; Sveriges Riksbank, 2004, str. 18).

Drugi dejavnik je tudi **razlika v intenzivnosti rasti cen nafte**. Ob preteklih naftnih šokih leta 1974 in 1979 so se cene nafte realno povešale za več kot 250 % oziroma 130 % glede na preteklo leto. Če na drugi strani primerjam gibanje cen nafte v zadnjih nekaj letih, lahko ugotovim, da so za tolikšno povišanje potrebovale celo desetletje. Ob manjši energetske intenzivnosti je takšno bolj postopno naraščanje naftnih cen pomenilo, da so se lahko države uvoznice v vseh pogledih bolje sproti prilagajale višjim cenam nafte (Urad RS za makroekonomske analize in razvoj, 2005, str. 22).

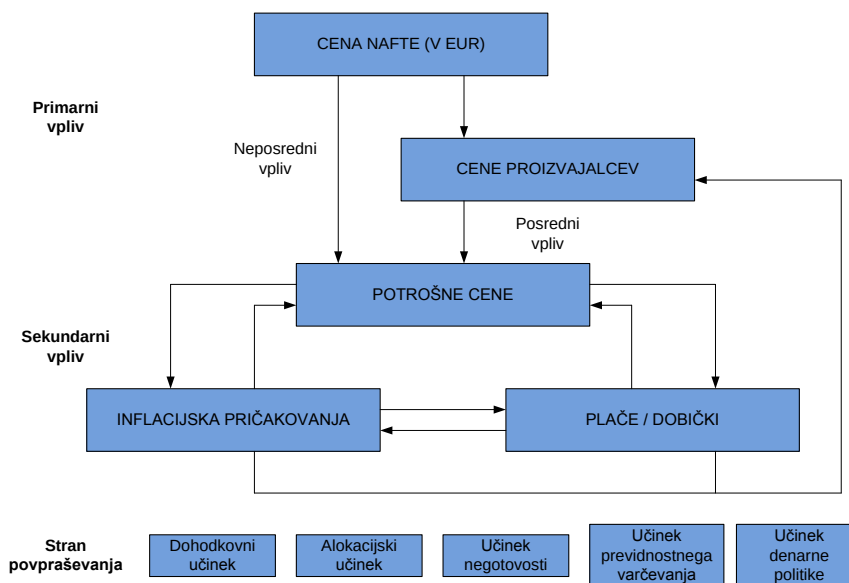
Naslednji vzrok, ki ga lahko izpostavim, je **trajanje naftnih šokov**. Naftni šoki v preteklosti so trajali dalj časa, saj so se cene po doseženem vrhu 1973 umirile šele po štirih do petih letih (Roubini, & Setser, 2004). Do izrazitega povišanja cen nafte je prišlo tudi v juliju 2008, ko so cene nafte dosegle najvišjo vrednost, vendar je bilo to povišanje kratkotrajno, saj so se cene takoj po tem obdobju hitro znižale in že po nekaj mesecih dosegle ravni izpred naftnega šoka.

Kot zadnji razlog lahko navedem **razlike v vzrokih za rast cen nafte**. Za naftne šoke pred 20. in 30. leti je bilo značilno, da so bili povzročeni pretežno s ponudbene strani, medtem ko je bila vzrok povišanj cen nafte v zadnjem desetletju predvsem visoka mednarodna gospodarska rast in večje povpraševanje po nafti predvsem Indije in Kitajske, kar ima lahko manjši negativni vpliv na realno gospodarsko aktivnost kot popolni ponudbeni naftni šok, saj lahko ugodna gospodarska gibanja v teh državah pozitivno vplivajo tudi na njihove zunanjetrgovinske partnerice (Urad RS za makroekonomske analize in razvoj, 2005, str. 22).

2 KANALI PRENOSA NAFTNIH ŠOKOV V GOSPODARSTVO

Cene nafte preko različnih kanalov prenosa z različnim časovnim zamikom in z različno intenziteto vplivajo tako rekoč na vse ključne makroekonomske kategorije narodnega gospodarstva. Najbolj očiten je vpliv cen nafte na inflacijo, ki je lahko neposreden, posreden in sekundaren. V prvem primeru se višje cene nafte odrazijo na višjih cenah energetskih proizvodov, zajetih v cenovnem indeksu, v drugem primeru višje cene nafte, preko višjih proizvodnih stroškov podjetij, najprej vplivajo na cene proizvajalcev in nato na potrošne cene, v zadnjem primeru pa lahko povišanje potrošnih cen, zaradi neposrednega in posrednega učinka, povzroči zahteve zaposlenih po višjih plačah, kar predstavlja dodatni stroškovni pritisk na cene. Naftni šok ima vpliv tudi na realno gospodarsko aktivnost preko ponudbene strani gospodarstva in skozi različne kanale na strani povpraševanja. Na ponudbeni strani višji stroški nafte pomenijo relativno višje cene proizvodov, za proizvodnjo katerih je uporaba nafte neizogibna, kar povzroči manjše povpraševanje po teh proizvodih, podjetja pa zaradi upada proizvodnje manj povprašujejo po ostalih proizvodnih dejavnikih in s tem vplivajo na povečanje brezposelnosti. Na strani povpraševanja pa lahko naftni šok vpliva na zmanjšanje oziroma spremembo v strukturi agregatnega povpraševanja preko dohodkovnega in alokacijskega učinka, povečanega previdnostnega varčevanja, učinka negotovosti in odziva denarne politike.

Slika 4: Osnovni prikaz prenosa naftnih šokov v gospodarstvo



Vir: European Central Bank, Monthly Bulletin August 2010, 2010, str. 86, Chart 6.

2.1 Neposredni vpliv

Največji in obenem takojšen je neposredni vpliv cen nafte na inflacijo, in sicer preko tistega dela, kjer je cena nafte (predvsem avtomobilsko gorivo in kurilno olje) zajeta v cenovnem indeksu. Intenziteta neposrednega učinka je odvisna od deleža naftnih proizvodov v indeksu potrošnih cen in možnosti substitucije nafte z drugimi viri energije. V času naraščajočih cen nafte lahko pride tudi do povišanja svetovnih cen drugih energetskega virov, na primer zemeljskega plina, kot posledica povečanega povpraševanja po teh oblikah energije, kar ima lahko zopet vpliv na agregatni cenovni indeks (Peersman & Van Robays, 2009, str. 615). Čeprav se zdi, da spremembe cen naftnih derivatov na mednarodnih borzah v enaki meri vplivajo na stopnje inflacije v posameznih državah, pa je v resnici takšno prepričanje napačno (Banka Slovenije, 2005, str. 11). Na to vpliva več dejavnikov, katerih delovanje podrobneje predstavljam v nadaljevanju.

Kot prvi dejavnik lahko navedem uporabo **različnih uteži naftnih derivatov** pri izračunu cenovnih indeksov. Uteži v harmoniziranem indeksu cen življenjskih potrebščin (angl. *Harmonised Index of Consumer Prices*; v nadaljevanju HICP indeks), ki se uporablja za primerjavo inflacije med državami Evropske unije (v nadaljevanju EU), vsako leto na osnovi anket o porabi gospodinjstev izračunajo nacionalni statistični uradi (Banka Slovenije, 2005, str. 11). Tabela (3) prikazuje deleže naftnih derivatov, ki jih sestavljajo tekoča goriva ter goriva in maziva, v HICP indeksu po posameznih državah EU27 za leto 2011. Razvidno je, da Slovenija z vrednostjo deleža 8,781 spada med države z najvišjim deležem naftnih derivatov v HICP indeksu, saj ima večji delež od Slovenije samo še Luksemburg. Poleg tega je omenjeni delež pri Sloveniji za skoraj 64 % večji od povprečja EU27. To pomeni, da je učinek povišanja cen nafte na svetovnem trgu na indeks cen v Sloveniji močnejši kot v ostalih državah EU.

Tabela 3: Uteži naftnih derivatov v HICP indeksu v državah EU27 v letu 2011

	2011		SKUPAJ
	Tekoča goriva	Goriva in maziva	
Avstrija	0,748	4,287	5,035
Belgija	1,420	4,566	5,986
Bolgarija	0,002	6,988	6,990
Ciper	0,717	4,603	5,320
Češka	0,004	4,103	4,107
Danska	1,000	4,004	5,004
Estonija	0,088	4,812	4,900
EU12	0,956	4,690	5,646
EU27	0,720	4,650	5,370
Finska	0,496	4,150	4,646
Francija	0,930	4,402	5,332
Grčija	2,660	4,989	7,649
Irska	1,262	5,536	6,798
Italija	0,815	3,923	4,738
Latvija		5,621	5,621
Litva	0,008	6,411	6,419
Luksemburg	0,960	8,060	9,020
Madžarska		5,485	5,485
Malta		3,883	3,883
Nemčija	1,261	4,470	5,731
Nizozemska		5,345	5,345
Poljska	0,036	4,673	4,709
Portugalska	0,279	6,975	7,254
Romunija	0,001	4,832	4,833
Slovaška		2,735	2,735
Slovenija	1,576	7,205	8,781
Španija	0,505	6,036	6,541
Švedska	0,152	4,694	4,846
Velika Britanija	0,200	4,300	4,500

Vir: Eurostat, *Harmonized Indices of Consumer Prices – Item Weights*, b. l.

Drugi dejavnik asimetričnega vpliva gibanja cen naftnih derivatov na inflacijo po državah EU je **različna rast cen naftnih derivatov v posameznih državah** kot posledica učinkov spreminjanja davčne politike, strukture končnih cen naftnih derivatov in tečajnih sprememb. Maloprodajna cena naftnega derivata je v splošnem sestavljena iz nabavne cene, trošarin, marže prodajalca in davka na dodano vrednost (v nadaljevanju DDV). Eden izmed razlogov za različno rast cen naftnih derivatov po državah so spremembe v davčni politiki, ki lahko potekajo preko spreminjanja trošarin in stopenj DDV. Naslednji razlog izhaja iz strukture končne cene naftnega derivata, saj se v primeru ko nabavna cena predstavlja višji delež maloprodajne cene naftnega derivata, spremembe nabavnih cen bolj odražajo na rasti končnih cen. Zadnji razlog pa je apreciacija domače valute, ki lahko prispeva k nižji rasti cen naftnih derivatov (Bilten, 2005, str. 11).

V nadaljevanju prikazujem, kakšen vpliv na inflacijo imajo različni deleži cen nafte v HICP indeksu in razlike v deležu trošarin. Celoten algebraičen prikaz povzemam po Damijan et al. (2004, str. 17-20). Maloprodajno ceno naftnega derivata z DDV (oznaka zanjo je $p_{O,t}^{MP-DDV}$) lahko zapišem z naslednjo enačbo:

$$p_{O,t}^{MP-DDV} = (p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)(1 + \tau_{DDV}), \quad (1)$$

kjer je $p_{O,t}^w$ svetovna nabavna cena naftnega derivata, τ_{TR} je trošarina v fiksnem znesku, m je bruto marža naftnih distributerjev, τ_{DDV} pa je davčna stopnja DDV.

Najprej lahko zapišem stopnjo rasti maloprodajne cene naftnega derivata kot razmerje maloprodajnih cen v dveh zaporednih obdobjih:

$$\begin{aligned}\pi_{t,t+1}^{MP_DDV} &= \frac{p_{O,t+1}^{MP_DDV}}{p_{O,t}^{MP_DDV}} - 1 = \frac{(p_{O,t+1}^w + \tau_{TR} + m)(1 + \tau_{DDV})}{(p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)(1 + \tau_{DDV})} - 1 \\ &= \frac{(p_{O,t+1}^w + \tau_{TR} + m)}{(p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)} - 1 = \frac{p_{O,t+1}^w - p_{O,t}^w}{(p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)} \\ &= \frac{p_{O,t+1}^w - p_{O,t}^w}{p_{O,t}^w} \frac{p_{O,t}^w}{(p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)} = \pi_{O,t+1}^w \frac{p_{O,t}^w}{(p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)},\end{aligned}\quad (2)$$

pri tem pa predpostavljam, da se stopnja DDV, znesek trošarin in bruto marža ne spreminjajo v času. Iz enačbe (2) sledi, da je prenos svetovnih cen naftnih derivatov (nabavnih cen) v maloprodajne cene odvisen od deleža nabavnih cen v ceni pred DDV, to je ceni, ki je vsota nabavne cene, trošarine in bruto marže. Če bi bil delež nabavne cene enak 1, ker bi bili trošarina in bruto marža enaki 0, bi bila stopnja rasti maloprodajnih cen naftnih derivatov enaka stopnji rasti svetovnih cen. Ko je delež nabavne cene majhen, ker sta trošarina ali pa marža relativno visoki, je stopnja rasti maloprodajnih cen naftnih derivatov manjša od stopnje rasti svetovnih cen, in obratno.

Poenostavljeno formulo za stopnjo HICP inflacije lahko zapišem kot:

$$\pi_{t+1}^{HICP} = \alpha \pi_{O,t+1}^{MP_DDV} + (1 - \alpha) \pi_{t+1}^{OST}, \quad (3)$$

pri čemer je α delež naftnih derivatov v HICP indeksu, π_{t+1}^{OST} pa je stopnja inflacije cen ostalih dobrin.

Nadalje lahko ob upoštevanju enačbe (2) zapišem izraz za stopnjo HICP inflacije kot:

$$\pi_{t+1}^{HICP} = \alpha \frac{p_{O,t}^w}{(p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)} \pi_{O,t+1}^w + (1 - \alpha) \pi_{t+1}^{OST}. \quad (4)$$

Na podoben način kot stopnjo rasti maloprodajnih cen naftnih derivatov lahko zapišem tudi izraz za stopnjo rasti cen ostalih dobrin:

$$\pi_{t+1}^{OST} = \frac{p_{O,t}^{MP}}{(p_{O,t}^{MP} + W_t + M_t)} \frac{p_{O,t}^w}{(p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)} \pi_{O,t+1}^w, \quad (5)$$

pri tem je z W_t označen strošek dela, M_t pa je strošek materiala in kapitala na enoto proizvoda. Prvi člen na desni strani predstavlja delež stroškov naftnih derivatov na enoto proizvoda v lastni ceni proizvoda. To pomeni, da večji kot je delež stroškov naftnih derivatov na enoto proizvoda, večji je prenos rasti svetovnih cen nafte na končno ceno proizvoda in obratno.

Ob upoštevanju enačb (4) in (5) dobim, da je stopnja HICP inflacije enaka:

$$\pi_{t+1}^{HICP} = \frac{p_{O,t}^w}{(p_{O,t}^w + \tau_{TR} + m)} \pi_{O,t+1}^w \left[\alpha + \frac{(1 - \alpha)p_{O,t}^{MP}}{(p_{O,t}^{MP} + W_t + M_t)} \right]. \quad (6)$$

Kot je razvidno iz enačbe (6), imajo države z manjšim deležem trošarin v končni maloprodajni ceni naftnega derivata večji prenos rasti svetovnih cen nafte v inflacijo in obratno. Na višjo stopnjo inflacije pa vpliva tudi višji delež stroškov nafte v lastni ceni proizvoda.

V Tabeli (4) prikazujem še strukturo maloprodajne cene 95-oktanskega bencina in dizelskega goriva v državah EU27 na dan 3. oktobra 2011. Razvidno je, da vse države kupujejo naftne derivate po približno enakih nabavnih cenah, zato je končna maloprodajna cena v posamezni državi odvisna predvsem od višine marže, trošarine in stopnje DDV. Z vidika stopnje rasti maloprodajnih cen naftnih derivatov in skupne inflacije je pomemben delež nabavne cene v maloprodajni ceni brez DDV. Ta delež za Slovenijo pri najbolj prodajanem 95-oktanskem bencinu znaša 46,41 %, pri dizelskem gorivu pa 48,30 %, kar slovensko gospodarstvo v obeh primerih uvršča med sam vrh. V drugih državah je ta delež nižji, bodisi zaradi višjih trošarin ali marž, kar bolj blaži prenos višjih nabavnih cen naftnih derivatov v stopnjo rasti njihovih končnih maloprodajnih cen.

Tabela 4: Struktura maloprodajne cene 95-oktanskega bencina in dizelskega goriva v državah EU 27 na dan 3. oktobra 2011

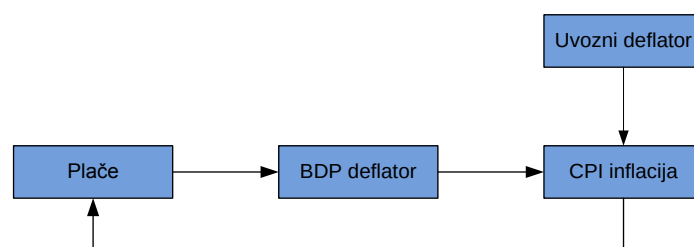
	95-oktanski bencin					Dizelsko gorivo				
	Nabavna				Maloprodajna	Nabavna				Maloprodajna
	cena	Marža	Trošarina	DDV		cena	Marža	Trošarina	DDV	
Avstrija	0,498	0,130	0,555	0,237	1,420	0,498	0,183	0,446	0,225	1,352
Belgija	0,490	0,189	0,621	0,273	1,573	0,490	0,219	0,469	0,247	1,425
Bolgarija	0,493	0,138	0,411	0,208	1,250	0,493	0,173	0,376	0,208	1,250
Ciper	0,498	0,214	0,366	0,162	1,240	0,498	0,261	0,336	0,164	1,259
Češka	0,503	0,153	0,527	0,237	1,420	0,503	0,222	0,452	0,235	1,412
Danska	0,493	0,230	0,605	0,332	1,660	0,493	0,256	0,473	0,306	1,528
Estonija	0,493	0,160	0,430	0,217	1,300	0,493	0,184	0,402	0,216	1,295
EU12	0,499	0,170	0,599	0,253	1,521	0,499	0,214	0,449	0,231	1,393
EU27	0,499	0,165	0,527	0,247	1,438	0,499	0,212	0,408	0,232	1,351
Finska	0,503	0,177	0,589	0,292	1,561	0,503	0,253	0,348	0,254	1,358
Francija	0,498	0,158	0,673	0,261	1,590	0,498	0,186	0,512	0,234	1,430
Grčija	0,503	0,191	0,679	0,316	1,689	0,503	0,274	0,426	0,277	1,480
Irska	0,508	0,179	0,552	0,260	1,499	0,508	0,205	0,468	0,248	1,429
Italija	0,503	0,209	0,625	0,268	1,605	0,503	0,253	0,475	0,246	1,477
Latvija	0,498	0,104	0,424	0,226	1,252	0,498	0,147	0,346	0,218	1,209
Litva	0,503	0,184	0,429	0,234	1,350	0,503	0,226	0,294	0,215	1,238
Luksemburg	0,498	0,186	0,462	0,172	1,318	0,498	0,208	0,320	0,154	1,180
Madžarska	0,508	0,165	0,363	0,259	1,295	0,508	0,207	0,288	0,251	1,254
Malta	0,508	0,209	0,490	0,214	1,421	0,508	0,203	0,382	0,197	1,290
Nemčija	0,493	0,121	0,698	0,249	1,561	0,493	0,179	0,528	0,228	1,428
Nizozemska	0,493	0,184	0,727	0,267	1,671	0,493	0,214	0,429	0,216	1,352
Poljska	0,498	0,088	0,375	0,221	1,182	0,498	0,156	0,295	0,218	1,167
Portugalska	0,503	0,189	0,588	0,294	1,574	0,503	0,251	0,378	0,260	1,392
Romunija	0,493	0,154	0,373	0,245	1,265	0,493	0,214	0,305	0,243	1,255
Slovaška	0,498	0,153	0,557	0,242	1,450	0,498	0,238	0,373	0,222	1,331
Slovenija	0,498	0,156	0,419	0,215	1,288	0,498	0,187	0,346	0,206	1,237
Španija	0,503	0,181	0,433	0,201	1,318	0,503	0,232	0,351	0,195	1,281
Švedska	0,498	0,119	0,594	0,303	1,514	0,498	0,199	0,528	0,306	1,531
Velika Britanija	0,493	0,140	0,664	0,260	1,557	0,493	0,183	0,661	0,268	1,605

Vir: Europe's Energy Portal, 2011.

2.2 Posredni vpliv

Cene nafte vplivajo na inflacijo tudi na **posreden način** preko višjih stroškov podjetij. Nafta namreč kot proizvodni dejavnik vstopa v produkcijske funkcije podjetij. Višje cene nafte se zato odrazijo pri rasti proizvodnih stroškov, kar preko rasti proizvajalčevih cen povzroči pritisk na rast cen drugih proizvodov in storitev, zajetih v cenovnem indeksu (Hafner, 2005, str. 44). Države, v katerih podjetja v proizvodnji bolj intenzivno uporabljajo naftne derivate in je delež teh stroškov večji, lahko posledično ob danih spremembah naftnih cen pričakujejo večje podražitve drugih proizvodov (Damijan et al. 2004, str. 16). V nasprotju z neposrednim učinkom ima posredni stroškovni učinek vpliv na potrošne cene z določenim časovnim zamikom. Končni vpliv na inflacijo je odvisen tudi od stopnje konkurence v posamezni fazi proizvodnega procesa, saj lahko nihanja v profitni marži delno ublažijo stroškovne pritiske (Peersman & Van Robays, 2009, str. 617). V državah, ki so popolnoma odvisne od uvoza nafte, ima povišanje naftnih cen najprej vpliv na uvozni deflator in šele preko t. i. sekundarnega učinka na BDP deflator, kot prikazuje Slika (5).

Slika 5: Povezava med cenami in plačami



2.3 Sekundarni učinek

Peersman in Van Robays (2009, str. 618-619) opozorita na dodaten kanal prenosa, preko katerega lahko cene nafte vplivajo na inflacijo. Zaradi višje splošne ravni cen v gospodarstvu, kot posledica neposrednega in posrednega vpliva cen nafte, lahko zaposleni v naslednjem obdobju plačnih pogajanj zahtevajo višje plače, z namenom da bi ohranili svojo kupno moč. Če se podjetja odločijo, da bodo višje stroške plač prevaila na cene svojih proizvodov in storitev, pride do dodatnega porasta inflacije ali tudi do sekundarnega učinka (angl. *second-round effect*). Višje plače in cene pa lahko v naslednjem koraku sprožijo spiralni učinek, kar privede do večje vztrajnosti v stopnji inflacije. Zniževanje inflacije pa lahko v tem primeru postane izredno težavno. Pomembna značilnost trga dela, ki lahko sproži sekundarni učinek, je obstoj avtomatične indeksacije plač, ki je lahko določena z zakonom, ali pa je prisotna kot del kolektivnih in individualnih pogodb o zaposlitvi. Poleg tega lahko na sekundarni učinek vplivajo tudi inflacijska pričakovanja, ki so odvisna od kredibilnosti centralne banke pri vodenju denarne politike.

Do sekundarnega učinka pa lahko pride tudi v odsotnosti formalne avtomatične indeksacije plač, in sicer zaradi obstoja sindikatov, ki se v imenu delavcev pogajajo o realni plači. Ob visoki stopnji zaposlitvene varnosti je verjetnost dejanske indeksacije in s tem realne rigidnosti plač večja, saj lahko pri večji varnosti zaposlitve in ob tesnem trgu dela sindikati v okviru kolektivnih pogajanj zahtevajo višje realne plače (Peersman & Van Robays, 2009, str. 631). Kot kazalnik fleksibilnosti trga dela so strokovnjaki Organizacije za ekonomsko sodelovanje in razvoj (angl. *Organisation for Economic Co-operation and Development*) razvili indeks zaposlitvene varnosti (angl. *Employment Protection Legislation Index*; v nadaljevanju EPL indeks), ki se osredotoča predvsem na institucionalno togost pri ureditvi trga dela in varovanja zaposlitve. Indeks lahko zavzema vrednosti med 0 in 6, pri čemer višja številka pomeni bolj togo ureditev trga dela (Lušina & Brezigar Masten, 2011, str. 22).

Peersman in Van Robays (2009, str. 603, 631) za evroobmočje in ZDA proučujeta tudi transmisijski mehanizem ponudbenega naftnega šoka. V nasprotju z ZDA, kjer ugotovita, da je vpliv višjih cen nafte na inflacijo predvsem neposreden (preko cen naftnih derivatov v cenovnem indeksu) in posreden (preko višjih stroškov nafte kot proizvodnega dejavnika), je

za evroobmočje pomemben mehanizem prenosa sekundarni učinek preko zahtev zaposlenih po višjih plačah. Poleg tega omenjena avtorja za različne države evroobmočja ugotovita visoko stopnjo povezanosti med EPL indeksom in ocenjenim odzivom nominalnih plač in BDP deflatorja na 10 % povišanje cen nafte, kot posledico ponudbenega naftnega šoka, in sicer s korelacijskima koeficientoma 0,63 pri nominalnih plačah in 0,75 pri BDP deflatorju.

2.4 Učinek povpraševanja

Stroškovni in sekundarni učinek predstavljata transmisijski kanal cen nafte na strani ponudbe, saj preko višjih stroškov proizvodnje vplivata na splošno raven cen v gospodarstvu in s tem na poslabšanje gospodarske aktivnosti. Slednje pomeni premik krivulje agregatne ponudbe navzgor. Višji stroški nafte tako vodijo do višje agregatne ravni cen, upada proizvoda in povečanja brezposelnosti. Zaradi negativnega naklona krivulje agregatnega povpraševanja, ima dana sprememba v agregatni ponudbi večji vpliv na agregatno raven cen, kot bi bil, če bi bila krivulja agregatnega povpraševanja popolnoma elastična. Večja elastičnost krivulje agregatnega povpraševanja bi namreč pomenila manjši negativen vpliv na agregatno raven cen.

Končni prenos višjih cen nafte v inflacijo je odvisen tudi od njihovega vpliva na agregatno povpraševanje. Zaradi rasti cen nafte, bo višja splošna raven cen v gospodarstvu povzročila zmanjšanje obsega povpraševanja, kar predstavlja premik po krivulji agregatnega povpraševanja. Da bi podjetja preprečila upad proizvodnje, lahko znižajo svojo profitno maržo ali celo plače svojim zaposlenim, do česar lahko pride v vsakem delu proizvodne verige. V tem primeru je prenos višjih stroškov proizvodnih dejavnikov (nafte) in/ali plač v inflacijo nepopoln. Na drugi strani pa lahko (ponudbeni) naftni šok povzroči tudi premik krivulje agregatnega povpraševanja v levo in s tem padec gospodarske aktivnosti in inflacije. Do zmanjšanja agregatnega povpraševanja in proizvoda lahko pride zaradi učinka negotovosti (angl. *uncertainty effect*). Ob zmanjšanju ponudbe nafte se namreč pojavi negotovost o njeni prihodnji dostopnosti in gibanju njene cene, kar lahko pripelje do tega, da podjetja in gospodinjstva odložijo nekatere investicijske projekte oziroma nakupe trajnih potrošnih dobrin, ki so v uporabi komplementarne naftnim proizvodom. Višje cene nafte lahko potrošnike tudi spodbudijo, da povečajo obseg varčevanja. Takšen učinek previdnostnega varčevanja (angl. *precautionary savings effect*) je lahko posledica negotovih gospodarskih razmer v prihodnosti, saj lahko zaradi naftnega šoka pride do povečanja brezposelnosti in izgube dohodka. Večje varčevanje pa pomeni manjšo potrošnjo in s tem manjše agregatno povpraševanje (Peersman & Van Robays, 2009, str. 621-622). Ostale tri kanale prenosa na strani povpraševanja (dohodkovni učinek, alokacijski učinek in učinek denarne politike) pa zaradi večjega vsebinskega obsega predstavljam v ločenih razdelkih.

2.4.1 Dohodkovni učinek

Naftni šok deluje tudi kot nekakšen davek na potrošnjo, saj se dohodek prelije iz držav neto uvoznice nafte, ki tistim, ki so neto izvoznice. Od tega največ pridobijo naftna podjetja, saj jim višje cene surove nafte omogočajo doseganje visokih dobičkov. Ker je povpraševanje po nafti na kratek rok običajno zelo neelastično, višje cene nafte in tudi drugih energetskih virov pri potrošnikih povzročijo zmanjšanje njihovega razpoložljivega dohodka, zaradi česar se ob nespremenjenem dohodku zmanjša povpraševanje po ostalih proizvodih in storitvah. Negativni učinek povpraševanja je močnejši, če je mednarodna menjava med državami neto izvoznici in uvoznici nafte majhna, saj se sredstva v tem primeru ne povrnejo nazaj v državo v obliki povečanega uvoznega povpraševanja s strani držav izvoznice nafte (angl. *indirect* ali »*oil bill recycling*« *effect*). Istočasno pa povišanje cen nafte povzroči neposreden porast uvoznih stroškov nafte, kar ima za posledico poslabšanje tekočega računa plačilne bilance držav neto uvoznice nafte (angl. *direct trade effect*) (European Central Bank, 2010, str. 84; Sill, 2007, str. 23). V primeru, ko je izvor naftnega šoka v domačem gospodarstvu, se lahko dohodek, ki so ga potrošniki namenili nakupu naftnih derivatov, delno povrne v obliki višjih plač in visokih donosov delnic domačih energetskih podjetij (Kilian, 2008, str. 881).

Tabela (5) prikazuje izračune strokovnjakov evrosistema o neposrednem in posrednem vplivu višjih cen nafte na tekoči račun plačilne bilance za gospodarstvo evroobmočja, ZDA in Kitajske. V prvem primeru se cena nafte poviša za približno 35 % (iz 52 USD za sodček, kar je bila povprečna cena nafte v drugi polovici leta 2009, na 70 USD za sodček), v drugem primeru pa se cena nafte zviša za približno 92 % (na 100 USD za sodček). Rezultati v spodnji tabeli so prikazani za štiri različne dogodke, in sicer glede na to, koliko prihodkov držav izvoznice nafte iz naslova izvoza nafte se povrne nazaj v državo uvoznico nafte v obliki povečanega uvoznega povpraševanja: 0 %, 20 %, 60 % in 100 % (European Central Bank, 2010, str. 85).

V prvem primeru, kjer v izračunih predpostavljajo, da ne pride do posrednega mednarodnega učinka, se tekoča računa plačilne bilance evroobmočja in ZDA poslabšata za 0,7 % oziroma 1,8 % BDP-ja, pri Kitajski pa za 0,4 % oziroma 1,1 % BDP-ja, kar je odvisno od tega, do kolikšnega povišanja cen nafte pride. Iz preostalih dogodkov (2-4) je tudi razvidno, da gospodarstvu evroobmočja in Kitajske, za razliko od ZDA, precej pridobita od posrednega učinka povečanja uvoznega povpraševanja s strani držav izvoznice nafte, kar je možno pojasniti z geografsko bližino tem državam in tesnimi zgodovinskimi vezmi. Na drugi strani je pomembna tudi struktura uvoznega povpraševanja v državah izvoznicah nafte, ki je določena predvsem z izgradnjo potrebne infrastrukture, zato so lahko države, ki so usmerjene v proizvodnjo kapitalnih dobrin v precejšnji prednosti (European Central Bank, 2010, str. 85-86).

Tabela 5: Neposredni in posredni vpliv višjih cen nafte na tekoči račun plačilne bilance

	DOGODEK 1		DOGODEK 2		DOGODEK 3		DOGODEK 4	
	0 %		20 %		60 %		100 %	
Povišanje cen nafte na:	70 USD za sodček	100 USD za sodček	70 USD za sodček	100 USD za sodček	70 USD za sodček	100 USD za sodček	70 USD za sodček	100 USD za sodček
Evroobmočje	-0,7**	-1,8	-0,6	-1,5	-0,3	-0,9	-0,1	-0,4
»max-min«*	-0,1 do -1,9	-0,2 do -5,2	0,1 do -1,8	0,3 do -4,7	0,4 do -1,4	1,1 do -3,8	0,8 do -1,1	2,0 do -3,0
ZDA	-0,7	-1,8	-0,6	-1,7	-0,6	-1,6	-0,5	-1,4
Kitajska	-0,4	-1,1	-0,3	-0,8	-0,1	-0,3	0,1	0,3

Legenda:

* Vrednosti pod oznako »max-min« prikazujejo najmanjši in največji vpliv višjih cen nafte na tekoči račun plačilne bilance med državami evroobmočja.

** Vrednosti v stolpcih tabele pomenijo odstotek BDP-ja.

Vir: European Central Bank, Monthly Bulletin August 2010, 2010, str. 85.

2.4.2 Alokacijski učinek

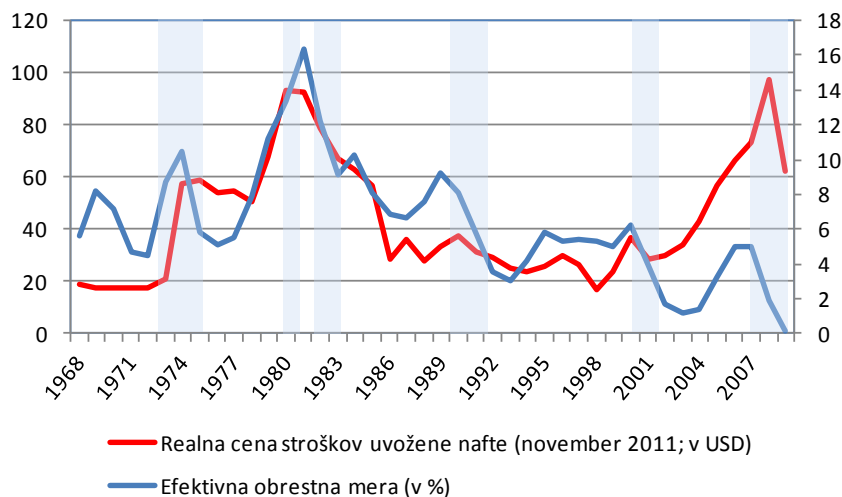
Na strani povpraševanja lahko višje cene nafte povzročijo spremembo v strukturi agregatnega povpraševanja, in sicer od energetske intenzivnih v energetske bolj učinkovite dobrine. Spremenjena struktura agregatnega povpraševanja in višje cene nafte v primerjavi z ostalimi vmesnimi dobrinami, ki jih podjetja uporabljajo v proizvodnji, lahko na ponudbeni strani povzročijo prerazporeditev dela in kapitala iz energetske intenzivnih v energetske manj intenzivne ali z vidika porabe nafte bolj učinkovite panoge, obenem pa se podjetja usmerijo v proizvodnjo energetske bolj učinkovitih dobrin. Zaradi rigidnosti na trgu dela in kapitala ter s tem povezanih stroškov, ima lahko takšno prestrukturiranje kratkoročno negativen vpliv na proizvod in zaposlenost (Peersman & Van Robays, 2009, str. 621; Sill, 2007, str. 24). V tem sklopu lahko omenim raziskavo Davisa in Haltiwangerja (2001, str. 508-509), v kateri se avtorja ukvarjata z vplivom naftnih šokov na zaposlenost v industrijskem sektorju gospodarstva v ZDA med letoma 1972 in 1988, s čimer poskušata empirično ovrednotiti pomen in posledice alokacijskega učinka. Avtorja ugotavljata, da je v proučevanem obdobju z višjimi cenami nafte mogoče pojasniti od 20 do 25 % variabilnosti v rasti zaposlenosti. Nadalje za največji naftni šok v vzorcu (1973Q3-1973Q4) ocenita, da je v industrijskem sektorju povzročil upad zaposlenosti za 8 % v obdobju dveh let. Ugotovita tudi, da občutljivost zaposlenosti na naftni šok narašča s kapitalsko in energetske intenzivnostjo proizvodnega procesa ter s proizvodnjo trajnih potrošnih dobrin. Podobno kot iz drugih raziskav, je tudi iz njune raziskave opazen asimetričen odziv zaposlenosti na naftni šok, saj se zaposlenost zmanjša bolj ob pozitivnem naftnem šoku kot pa se poveča ob negativnem naftnem šoku.

2.4.3 Učinek denarne politike

Povišanje cen nafte ima lahko vpliv na gospodarstvo tudi preko odziva denarne politike. Centralna banka ima kot instrument na voljo obrestno mero, s spreminjanjem katere lahko vpliva na povpraševanje in inflacijo v isti smeri. Če naftni šok vpliva na gospodarsko aktivnost in inflacijo v nasprotnih smereh, je centralna banka ob tem soočena s problemom istočasne stabilizacije proizvoda in inflacije. V kolikor centralna banka na naftni šok odgovori s povišanjem obrestnih mer (restriktivna denarna politika), ima lahko takšen odziv negativen učinek na povpraševanje in proizvod, kar predstavlja še zadnji kanal prenosa naftnega šoka v gospodarstvo. Centralna banka mora ob takšni naravi naftnega šoka najti ustrezno kombinacijo restriktivne in ekspanzivne denarne politike, da lahko na eni strani ublaži inflacijske pritiske, obenem pa prepreči negativne učinke na proizvodnjo (Sveriges Riksbank, 2004, str. 16).

Obdobje od 70. let prejšnjega stoletja naprej je bilo v ZDA zaznamovano s številnimi recesijami. Za obdobje pred vsako recesijo je značilen istočasen porast cen nafte in obrestne mere ameriške centralne banke, kar je razvidno tudi iz Slike (6). Glede na to, da energenti predstavljajo le majhen delež celotnega BDP-ja, so nekateri raziskovalci dvomili, da lahko naftni šoki sami po sebi povzročijo recesijo velikih razsežnosti, zato so bili mnenja, da je bila izrazito restriktivna denarna politika v ZDA v posameznih obdobjih od 70. let naprej glavni krivec za nastale gospodarske razmere po naftnih šokih.

Slika 6: Gibanje efektivne obrestne mere in realne cene stroškov uvožene nafte z označenimi recesijami za ZDA



Legenda: Osenčeno območje prikazuje obdobje recesije.

Vir: Federal Reserve Bank of St. Louis, *Effective Federal Funds Rate*, b. l.; US Business Cycle Expansions and Contractions, 2011; U. S. Energy Information Administration Short, *Real Prices Viewer*, 2011.

Eno izmed takšnih raziskav za ZDA izvedejo Bernanke, Gertler in Watson (1997), kjer si za izhodišče postavijo vprašanje, kolikšen bi bil upad proizvoda, če bi FED ob naftnem šoku ohranil obrestno mero nespremenjeno. Na podlagi mesečnih podatkov za ZDA od januarja 1965 do decembra 1995 ocenijo VAR model s konstantnim členom in sedmimi odlogi, pri tem pa uporabijo različne mere naftnih šokov. Avtorji omenjene raziskave ugotovijo, da je upad proizvoda povezan predvsem s povišanjem obrestnih mer in le v manjši meri z naftnimi šoki. Hamilton in Herrera (2004) ugovarjata, da njihove ocene niso robustne in da je končni rezultat analize zelo občutljiv na izbiro števila odlogov, zato ocenita VAR model z uporabo večjega števila odlogov (12 in 16) in pokažeta, da ima naftni šok znaten negativni vpliv na BDP tudi v primeru, ko obrestna mera ostane nespremenjena. Kot odgovor na njune očitke Bernanke et al. (2004) ponovno izvedejo raziskavo z uporabo kvartalnih podatkov in štirih odlogov. Najprej ocenijo odziv ekonomije na hkratno povišanje cen nafte in obrestne mere. Rezultati empirične analize pokažejo, da bi 10 % povišanje cen energentov in posledično povišanje obrestne mere za 150 bazičnih točk, povzročilo znižanje BDP-ja za približno 0,7 %, kar je v skladu z njihovimi ugotovitvami iz prve raziskave. Raziskavo zaključijo s sklepom, da bi se BDP ob naftnem šoku in nespremenjeni obrestni meri zmanjšal za približno 0,4 %, kar je več od njihovih prvotnih ocen, kjer so trdili, da naftni šok sam po sebi nima tolikšnega vpliva na proizvod.

Dodatno težavo naftni šoki predstavljajo v primeru vodenja skupne denarne politike. Čeprav je naftni šok primer simetričnega šoka, saj prizadene vse države članice skupnega denarnega območja, je lahko njegov vpliv na posamezne države različen, kar je odvisno predvsem od njihove energetske odvisnosti in vloge nafte pri tem, lastne proizvodnje, obstoja substitutov in različne dinamike trga dela. Ob odločitvi centralne banke, da bo kot odgovor na naftni šok povišala obrestno mero, so države z zanemarljivim dvigom cen ob naftnem šoku soočene z veliko bolj izrazito restriktivno denarno politiko, kot države, kjer naftni šok povzroči močan porast cen. Restriktivna denarna politika poslabša gospodarsko aktivnost, zaradi česar se v nadaljevanju stopnja inflacije zniža, kar posledično vodi do še višje realne obrestne mere in do dodatnega poslabšanja gospodarskega stanja v teh državah (Peersman & Van Robays, 2009, str. 633-634).

3 RAZVOJ IN ZNAČILNOSTI DSGE MODELOV

Makroekonomisti poskušajo ekonomsko dogajanje v narodnem gospodarstvu opisati z različnimi metodami. Ena izmed možnosti so tudi DSGE modeli, ki so v zadnjih 20. letih postali metodološko orodje vseh pomembnih ustanov s področja ekonomije, saj je z njimi mogoče uspešno predstaviti določeno gospodarstvo in analizirati veliko število ekonomskih tem. Eden izmed razlogov za razvoj DSGE modelov je tudi, da za razliko od tradicionalnih makroekonometričnih modelov niso podvrženi t. i. Lucasovi kritiki, ki pravi, da je o prihodnjih povezavah med spremenljivkami nemogoče sklepati na podlagi zgodovinskih

povezav, če pride v tem času do temeljnih sprememb v ekonomskem sistemu (Galí, 2008, str. 6; Woodford, 2003, str. 11).

DSGE modeli temeljijo na dinamičnem obravnavanju ekonomije in upoštevajo prisotnost stohastičnih dejavnikov, obenem pa izhajajo iz teorije splošnega ravnotežja. Kot sledi iz njihovega imena, so modeli dinamični, kar pomeni, da so odločitve ekonomskih subjektov povezane skozi čas. Modeli so tudi stohastični, saj dopuščajo možnost obstoja nenadnih (nepričakovanih) šokov, ki potiskajo gospodarstvo izven ustaljenega stanja. Poleg tega so DSGE modeli osnovani na konceptu splošnega ravnotežja, ki pomeni stanje, kjer vsi ekonomski subjekti in trgi hkrati dosežejo ravnotežje. DSGE modeli imajo dve pomembni značilnosti. Prva je, da so tovrstni modeli osnovani na mikroekonomskih temeljih, kjer vsak od ekonomskih subjektov optimizira svoje odločitve ob upoštevanju določene omejitve. Na ta način DSGE model sestavljajo pogoji prvega reda za maksimizacijo koristnosti in dobička ter druge modelske enačbe. Druga značilnost pa je, da ekonomski subjekti uporabljajo racionalna pričakovanja, ki se oblikujejo ob poznavanju vseh dosegljivih informacij in pravega modela gospodarstva, v katerem ekonomski subjekti delujejo (Sušjan, 2006, str. 255).

Teoretični temelji DSGE modelov izvirajo iz dveh makroekonomskih šol, in sicer šole realnih poslovnih ciklov (angl. *Real Business Cycle School*; v nadaljevanju RBC šola) in novo keynesianske ekonomike (angl. *New Keynesian Economics*). RBC šola temelji na neoklasični paradigmi obravnavanja poslovnih ciklov znotraj fleksibilnega tržnega mehanizma, novo keynesianska ekonomika pa pravi, da je za razlago gospodarskih nihanj potrebno poznavanje različnih tržnih nepopolnosti.

Za začetnika makroekonomskega modeliranja v obliki DSGE modelov veljata Kydland in Prescott, pomembna predstavnika RBC šole, ki sta leta 1982 v svojem članku »*Time to Build and Aggregate Fluctuations*« razvila prvi dinamični makroekonomski model racionalnih pričakovanj, izpeljan iz mikroekonomskih temeljev (sestavljen iz pogojev prvega reda optimizacijskega problema potrošnikov in podjetij), ki je postal osrednje metodološko orodje za analizo gospodarskih gibanj. Značilnost njunega modela je, da odločitve ekonomskih subjektov opisujeta v popolno konkurenčnem gospodarstvu brez kakršnih koli rigidnosti, kar pomeni, da se cene in količine ob morebitnem šoku takoj prilagodijo in povrnejo nazaj na svojo optimalno oziroma dolgoročno raven (Fernández-Villaverde, 2010, str. 4).

Kljub pomembni metodološki pridobitvi in začetnim empiričnim uspehom RBC modelov pri repliciranju določenih značilnosti posameznih gospodarstev (predvsem ameriškega), so ekonomisti v njih videli številne pomanjkljivosti. RBC šola in njeni modeli kot glavni vir makroekonomskih nihanj navajajo predvsem nenadne spremembe v tehnologiji, kar lahko izpostavim kot njihovo prvo pomanjkljivost, saj zanemarjajo pomen drugih šokov (Mankiw, 1989, str. 82). Poleg navedenega so po prepričanju zagovornikov tradicionalnega (Keynesianskega) pogleda tehnološke spremembe glavni dejavnik dolgoročne rasti in so kot

take nepovezane s poslovnimi cikli (Galí, 2008, str. 3). Naslednja pomanjkljivost RBC modelov je modeliranje gospodarstva v okviru popolne konkurence in upoštevanje predpostavke o popolni fleksibilnosti cen, kar pomeni, da denarna politika nima vpliva na realne makroekonomske kategorije. Takšen pogled pa je bil v nasprotju z rezultati empiričnih VAR modelov in s prepričanju centralnih bankirjev, ki so denarno politiko videli kot sredstvo za učinkovanje na gospodarstvo (Woodford, 2003, str. 6-7). V skladu z RBC teorijo je poslovni cikel tudi povsem običajen in učinkovit odgovor ekonomije na spremembe v proizvodni tehnologiji, zato bi bili kakršnikoli stabilizacijski ukrepi ekonomske politike nepotrebni in nezaželeni (Mankiw, 1989, str. 83). Takšno prepričanje pa ni bilo značilno za predstavnike tradicionalnega pogleda, saj so bili mnjenja, da so recesije posledica neučinkovite in nezadostne izrabe proizvodnih zmogljivosti, zato je gospodarstvo mogoče ponovno oživiti predvsem z ukrepi spodbujanja agregatnega povpraševanja (Galí, 2008, str. 3).

Sčasoma so ekonomisti pričeli v DSGE modele vključevati elemente, ki so sestavni del novo keynesianske ekonomike, predvsem v smislu različnih nominalnih in realnih rigidnosti, vpeljave monopolistične konkurence in obravnavanja denarne politike kot nenevtralne v kratkem obdobju, zaradi česar imajo običajno DSGE modeli pred svojim imenom pridevnik novo keynesianski. Začetki novo keynesianske ekonomike segajo v 80. leta prejšnjega stoletja. Osnovna značilnost te šole je, da se njeni predstavniki ukvarjajo predvsem z mikroekonomsko razlago cenovnih in plačnih rigidnosti (angl. *price and wage rigidities*) in drugih tržnih nefleksibilnosti, ki vodijo do (keynesianskih) makroekonomskih rezultatov in do neravnotežnih stanj na različnih trgih. Omenjena šola je nastala kot kritika nove klasične makroekonomike in drugih (neo) liberalnih šol, ki so trdile, da so trgi samoregulirajoči in fleksibilni, kar pomeni, da se vsa neravnovesja hitro in samodejno odpravijo in da je vmešavanje države v njihovo delovanje nepotrebno ali celo škodljivo. Novo keynesianska ekonomika se v zgodovini ekonomske misli uvršča v novo neoklasično sintezo in je del ortodoksne ekonomske teorije ali tudi ekonomske teorije glavnega toka ter predstavlja eno izmed bolj vplivnih makroekonomskih šol (Sušjan, 2006, str. 268).

Novo keynesianska ekonomika namenja velik poudarek tisti Keynesovi ideji, ki pravi, da na trgih obstajajo določene nepopolnosti, ki preprečujejo vzpostavitev ravnotežja pri polni zaposlenosti. Menijo namreč, da bi morebitna popolna cenovna fleksibilnost na dolgi rok pomenila vzpostavitev polnozaposlitvenega ravnotežja. To pa je bila že osnovna značilnost neoklasičnega keynesianizma, ki je nastal takoj po drugi svetovni vojni, le da jo predstavniki novo keynesianske ekonomike sedaj predstavljajo z uporabo matematičnih modelov za pojasnjevanje teh rigidnosti. Po drugi strani pa se novo keynesianska ekonomika oddaljuje od izvirnega sporočila Keynesove teorije, iz katerega izhaja, da tudi popolnoma fleksibilen cenovni mehanizem v realnosti ne bi nujno zagotavljal vzpostavitve polnozaposlitvenega ravnotežja. Vzrok za to je negotovost, ki je bila v Keynesovi teoriji pomemben pojasnjevalni

dejavnik makroekonomskih nihanj in neravnotežnih stanj (Sušjan, 2006, str. 213, 268, 272-273).

Temeljni gradniki DSGE modelov so gospodinjstva, podjetja, država, centralna banka, pa tudi preostali svet, če gre za model odprtega gospodarstva. Gospodinjstva običajno zasledujejo neko ciljno življenjsko funkcijo koristnosti, ki je v primeru DSGE modelov največkrat odvisna od več spremenljivk. Gospodinjstva črpajo korist iz potrošnje, prostega časa in denarnih imetij na svojih računih (Tovar, 2009, str. 5). Dinamični modeli tudi predpostavljajo, da gospodinjstva ne vrednotijo enako sedanjosti in prihodnosti, saj prihodnost običajno podcenjujejo, kar predstavlja množenje funkcije koristnosti s subjektivnim diskontnim faktorjem. Življenjska funkcija koristnosti gospodinjstev je tako tehtana vsota obdobjnih funkcij koristnosti, pri čemer so uteži subjektivni diskontni faktorji. Na podlagi tako oblikovane funkcije koristnosti in omejitve, s katero so določeni poraba in viri dohodka, je nato mogoče izpeljati pogoje prvega reda za vse odločitvene spremenljivke. Gospodinjstva imajo v lasti podjetja, od katerih pridobijo dobičke. Gospodinjstva plačujejo tudi davke, od države pa so deležna določenih transferjev.

Poleg gospodinjstev so pomemben sestavni del DSGE modelov tudi podjetja, ki jih je lahko več vrst (proizvajalci končnih in vmesnih dobrin, uvozna ter izvozna podjetja, itd.). Podjetja so monopolistični konkurenti, kar pomeni, da imajo možnost določiti ceno svojim proizvodom, hkrati pa se soočajo s standardno padajočo krivuljo povpraševanja po svojih proizvodih. Najbolj pogost način vpeljave monopolistične konkurence v model je uporaba Dixit-Stiglitzovega agregatorja (Dixit & Stiglitz, 1977, str. 298):

$$Y_t = \left[\int_0^1 Y_t(j)^{\frac{1}{\varepsilon}} dj \right]^{\varepsilon}, \quad (7)$$

kjer je Y_t agregatni proizvod, $Y_t(j)$ je proizvod j -tega podjetja, pri čemer je $j \in [0,1]$. Parameter ε meri ukrivljenost agregacijske tehnologije. Če velja $\varepsilon = 1$, so proizvodi različnih podjetij med seboj popolni substituti. V DSGE modelih je vrednost parametra ε večja od 1, kar je osnova za obstoj monopolistične konkurence.

Modeli nadalje predpostavljajo, da so podjetja pri določanju cen podvržena rigidnostim, kjer se za analitično zelo obvladljiv način modeliranja cenovnih rigidnosti izkaže Calvov model, ki predpostavlja naključno spreminjanje cen. Cene lahko spremenijo le tista podjetja, ki za to prejmejo signal. Podjetja, ki signala ne dobijo, cene ohranijo nespremenjene. Na ta način denarna politika ni več nevtralna, ampak postane pomemben instrument v rokah centralne banke za vplivanje na gospodarstvo (Galí, 2008, str. 49). Iz predpostavke o cenovnem obnašanju podjetij je nadalje mogoče izpeljati novo keynesiansko Phillipsovo krivuljo, ki povezuje tekočo inflacijo z inflacijskimi pričakovanji in realnimi mejnimi stroški. Podjetja od

gospodinjstev najemajo delo in kapital, le-ta pa od tega dobijo plačo in donos na posojen kapital. Poleg tega podjetja na osnovi svojega poslovanja gospodinjstvom izplačajo tudi dobiček. Produktijska funkcija, ki se običajno uporablja v DSGE modelih, je standardna Cobb-Douglasova produktijska funkcija, ki ima v primeru dveh produktijskih dejavnikov (običajno dela in kapitala, čeprav v modelu namesto kapitala uporabim količino naftnih derivatov) naslednjo obliko:

$$Y_t = K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1. \quad (8)$$

Cobb-Douglasova produktijska funkcija ima dve pomembni značilnosti:

- ❖ konstantni donosi obsega, kar pomeni, da povečanje obeh produktijskih dejavnikov za določen faktor (npr. 2) vodi v povečanje proizvodnje za faktor 2:

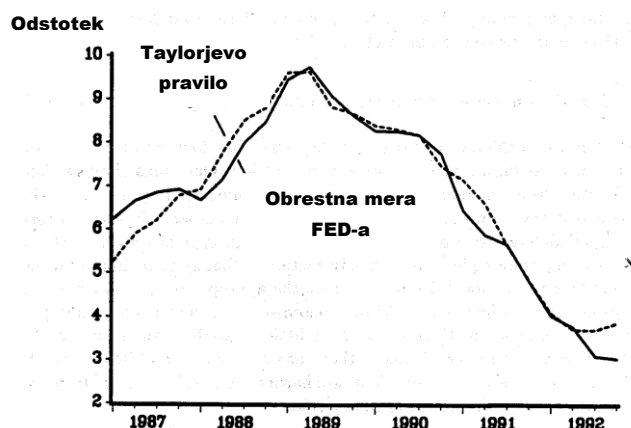
$$(2K_t)^\alpha (2L_t)^{1-\alpha} = 2^\alpha K_t^\alpha 2^{1-\alpha} L_t^{1-\alpha} = 2K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}; \quad (9)$$

- ❖ mejna proizvoda kapitala in dela (parcialna odvoda po K_t in L_t) sta pozitivna, a padajoča, kar lahko algebraično prikažem kot:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y_t}{\partial K_t} &= \alpha K_t^{\alpha-1} L_t^{1-\alpha} > 0, & \frac{\partial^2 Y_t}{\partial K_t^2} &= \alpha(\alpha-1) K_t^{\alpha-2} L_t^{1-\alpha} < 0 \\ \frac{\partial Y_t}{\partial L_t} &= (1-\alpha) K_t^\alpha L_t^{-\alpha} > 0, & \frac{\partial^2 Y_t}{\partial L_t^2} &= (1-\alpha)(-\alpha) K_t^\alpha L_t^{-\alpha-1} < 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Od drugih ekonomskih subjektov sta pomembni še država in centralna banka. Ena izmed vlog države v modelih je, da zbira davke in izplačuje transferje. Delovanje države je največkrat opisano eksogeno, kjer njena potrošnja sledi AR(1) procesu, in je podvržena določenim stohastičnim motnjam. Državni del se lahko predstavi tudi s spremenljivkami, ki so določene znotraj modela, in obnašanje države opiše z njeno proračunsko omejitvijo in opredelitvijo reakcijske funkcije fiskalne politike. V sklopu denarnih oblasti v modelih nastopa centralna banka, ki določa obrestno mero na podlagi Taylorjevega pravila, imenovanega po Johnu B. Taylorju. Taylor (1993) je na podlagi naključno izmišljenega pravila za določanje obrestne mere ugotovil, da se le-ta dobro prilega dejanskemu gibanju obrestne mere ameriške centralne banke, kot je prikazano na Sliki (7).

Slika 7: Prikaz Taylorjevega pravila



Vir: J. B. Taylor, *Discretion versus Policy Rules in Practice*, 1993, str. 204.

Taylorjevo pravilo ima v splošnem naslednjo obliko:

$$i_t = i^* + \phi_\pi(\pi_t - \pi^*) + \phi_x x_t, \quad (11)$$

kjer je $i^* = r^n + \pi_t$ dolgoročna nominalna obrestna mera, r^n je naravna obrestna mera, π_t predstavlja dejansko stopnjo inflacije, x_t pa je proizvodna vrzel (razlika med dejanskim in potencialnim oziroma naravnim proizvodom). ϕ_π je koeficient pri inflaciji, ϕ_x pa koeficient pri proizvodu, ki v originalnem Taylorjevem pravilu zavzemata vrednosti 1,5 za inflacijo in 0,5 za proizvod. Iz Taylorjevega pravila izhaja, da centralna banka poviša obrestno mero, če je tekoča inflacija nad ciljno vrednostjo, in ob pozitivni proizvodni vrzeli.

Osnovni DSGE model zaprtega gospodarstva je mogoče razširiti tudi na odprto gospodarstvo. Običajno je preostali svet sestavljen iz zaporedja majhnih odprtih gospodarstev, ki so definirana na enotskem intervalu. Največkrat tuje spremenljivke sledijo stacionarnim AR(1) procesom, kar pomeni, da dogajanje v domačem gospodarstvu ne more vplivati na tuje spremenljivke. Predvsem pri večjih odprtih gospodarstvih, ki s svojim ekonomskim delovanjem lahko vplivajo na svetovno gospodarstvo, je potrebno tudi za tuje gospodarstvo sestaviti celoten DSGE model. Pri modeliranju odprtega gospodarstva postanejo pomembna tudi vprašanja o podvrženosti trgovinskih tokov nihanju deviznega tečaja, način modeliranja mednarodnih finančnih trgov (popolni, nepopolni), veljavnost zakona ene cene, obstoj transportnih stroškov in prisotnost netrgovanega sektorja (Galí, 2008, str. 149-150).

V splošnem lahko DSGE modeli vsebujejo številne elemente, ki napravijo njihovo strukturo bolj realistično. Poleg rigidnih cen so med najbolj znanimi dopolnitvami DSGE modelov še: vpeljava rigidnih nominalnih plač (Erceg, Henderson, & Levin, 2000), upoštevanje spremenljive zasedenosti proizvodnih kapacitet, stroškov prilagajanja kapitala optimalnemu obsegu in indeksacije cen ter plač (Christiano, Eichenbaum, & Evans, 2005), vztrajnost navad

v potrošnji (Abel, 1990) in upoštevanje nepopolnih finančnih trgov z vpeljavo premije za tveganje na donos tujih obveznic (Benigno & Benigno, 2003).

DSGE modele razvijajo vse pomembne centralne banke in drugi centri za ekonomska raziskovanja po svetu in jih uporabljajo predvsem za analizo ekonomskih politik in napovedovanje. Rešitev in simulacija modela s prikazom impulznih odzivov najprej omogočata analizo t. i. »kaj če« vprašanj. Z vidika načrtovanja ekonomskih politik je DSGE modele mogoče uporabiti tudi za analizo strukturnih dejavnikov poslovnega cikla. V vsebinsko bogatejših modelih lahko dinamiko endogenih spremenljivk določa veliko število različnih vrst šokov (produktivnostni šoki, investicijski šoki, šoki v preference gospodinjstev, različni cenovni šoki, tuji šoki, fiskalni šoki). Realizacije teh šokov je mogoče pridobiti iz dejanskih podatkov ter ugotoviti, kateri in kako prispeva k tekočemu ekonomskemu dogajanju. Poznavanje teh šokov je pomembno za nosilce ekonomskih politik, saj različni šoki zahtevajo drugačne odzive (Masten, 2010, str. 27).

Poleg tega imajo DSGE modeli še nekaj dodatnih funkcionalnosti, ki jih klasični ekonometrični modeli ne omogočajo, izhajajo pa iz dejstva, da so DSGE modeli strukturne narave, v katerih so teoretično opredeljeni globoki strukturni parametri in strukturni eksogeni šoki. Gre predvsem za to, da so DSGE modeli uporabni tudi za napovedovanje, saj je z njimi mogoče napovedati bodočo dinamiko spremenljivk v klasičnem smislu, vendar imajo te napovedi pred klasičnimi napovedmi pomembno prednost. Če se DSGE model oceni z Bayesianскими metodami, ki predpostavljajo, da strukturni parametri in šoki modela izhajajo iz nekih porazdelitev, ki se ocenijo s simulacijskimi metodami, potem je pogojno na te porazdelitve mogoče dobiti tudi porazdelitve napovedi spremenljivk. Za razliko od točkovnih napovedi in intervalov zaupanja okrog točkovnih napovedi, Bayesianški DSGE modeli omogočajo izračun napovedi, ki se bodo zgodile z določeno verjetnostjo (Masten, 2010, str. 25).

4 DSGE MODEL MAJHNEGA ODPRTEGA GOSPODARSTVA Z NAFTNIMI ŠOKI

Poglavje je namenjeno predstavitvi in izpeljavi teoretičnega novo keynesianskega DSGE modela majhnega odprtega gospodarstva z vključenimi naftnimi šoki. Pri izpeljavi enačb modela izhajam iz teoretičnih temeljev in strukture modela, ki je razvit v člankih Galí in Monacelli (2005) ter Monacelli (2005), in ga dopolnim tako, da vanj vpeljem šoke v svetovnih cenah nafte.

Gospodarstvo je sestavljeno iz mnogo gospodinjstev, za katera predpostavljam, da živijo večno, njihovo število pa je normalizirano na intervalu $[0,1]$. Posamezno gospodinjstvo sprejema odločitve o potrošnji, ponudbi dela, držanju realnih denarnih blagajn in o

investiranju v vrednostne papirje . Gospodinjstva v potrošnji uporabljajo tri vrste dobrin, in sicer domače dobrine, uvožene dobrine in naftne derivate.

Nadalje je gospodarstvo sestavljeno iz mnogo domačih podjetij, ki delujejo v razmerah monopolistične konkurence, njihovo število pa je prav tako normalizirano na intervalu $[0,1]$. Za ta podjetja predpostavljam, da proizvajajo diferencirane dobrine, pri čemer v proizvodnji uporabljajo dva proizvodna dejavnika, in sicer delo in naftne derivate v skladu s Cobb-Douglasovo produkcijsko funkcijo. Za vse dobrine proizvedene doma predpostavljam, da so tudi mednarodno trgovane, kar pomeni, da gre za eno sektorski model.

Poleg domačih podjetij v gospodarstvu delujejo tudi uvozna podjetja (prav tako definirana na enotskem intervalu), ki na svetovnem trgu kupujejo homogene dobrine po ceni P_t^* , in jih nato pretvarjajo v diferencirane uvozne dobrine. Zaradi tržne moči teh podjetij in cenovnih rigidnosti obstaja med cenami uvoženih dobrin na tujem in domačem trgu odstopanje od zakona ene cene. Tako domača kot uvozna podjetja pri postavljanju cen sledijo Calvovemu načinu, ki predpostavlja, da lahko v danem trenutku le del podjetij postavi novo optimalno ceno, cene ostalih podjetij pa ostanejo nespremenjene (Calvo, 1983, str. 383).

Pri opredelitvi monetarnega dela upoštevam dejstvo, da je Slovenija od leta 2007 članica Evro območja, kar pomeni, da slovenska centralna banka nima več možnosti izvajati samostojne denarne politike, zato v modelu predpostavljam, da je domača obrestna mera določena na podlagi tuje obrestne mere ob predpostavki popolnih finančnih trgov. Država se lahko zaradi tega na naftni šok odzove zgolj z instrumenti fiskalne politike, kjer imajo osrednjo vlogo trošarine na naftne derivate.

Pri modeliranju tujega gospodarstva izhajam iz dejstva, da je Slovenija majhno odprto gospodarstvo, zato ekonomsko dogajanje pri nas ne vpliva na dinamiko tujih spremenljivk. Tuje spremenljivke so z vidika domačega gospodarstva eksogeno dane, zato gibanje tujega proizvoda in tuje inflacije opisujem s stacionarnima AR(1) procesoma, tuja obrestna mera pa je določena na podlagi Taylorjevega pravila.

Pomemben je tudi način vključitve naftnih šokov v model. Na podoben način kot Forni, Gerali in Pisani (2011, str. 8) v modelu uporabim ceno naftnih derivatov, ki je sestavljena iz svetovne naftne cene in trošarin. Za razliko od omenjenih avtorjev, ki trošarine (in ostale dajatve) modelirajo kot AR(1) proces, zanje oblikujem trošarinsko pravilo. Za svetovno ceno nafte predpostavljam, da se giblje v skladu s stacionarnim AR(1) procesom z določeno stohastično motnjo, ki jo imenujem naftni šok, trošarine pa določa država na osnovi trošarinskega pravila, kjer na njihovo višino vpliva gibanje svetovnih cen nafte in agregatnega cenovnega indeksa. V pričujočem modelu naftni derivati vstopajo v model na strani povpraševanja preko potrošnikove funkcije koristnosti, saj gre za popolnoma

komplementarno dobrino gospodinjskim prevoznim in ogrevalnim sredstvom, in na strani ponudbe kot proizvodni dejavnik v proizvodnem procesu.

Vse spremenljivke, ki jih v nadaljevanju magistrskega dela zapisujem z malimi tiskanimi črkami in strešico pomenijo odstotno odstopanje od ustaljenega stanja, kar podrobneje predstavljam na strani 76, z zvezdico pa označujem tuje spremenljivke.

4.1 Gospodinjstva

Reprezentativno gospodinjstvo zasleduje pričakovano življenjsko funkcijo koristnosti naslednje oblike:

$$E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[\chi_t^C \frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \chi_t^N \frac{N_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} + f\left(\frac{M_t}{P_{C,t}}\right) \right]. \quad (12)$$

Življenjska funkcija koristnosti je zapisana kot pričakovana vrednost v izhodiščnem obdobju t vsote diskontiranih trenutnih (obdobnih) ravni koristnosti, pri čemer je E_0 operator racionalnih pričakovanj, kar pomeni, da reprezentativno gospodinjstvo uporablja vse razpoložljive informacije na začetku planskega obdobja, torej v trenutku $t = 0$, parameter $\beta \in (0,1)$ pa označuje subjektivni diskontni faktor, ki odraža vrednotenje prihodnjih trenutnih koristnosti. Višji diskontni faktor pomeni, da gospodinjstva prihodnjo trenutno koristnost vrednotijo manj in obratno. χ_t^C in χ_t^N v življenjski funkciji koristnosti sta potrošni šok in šok ponudbe dela, ki sledita AR(1) procesoma:

$$\hat{\chi}_t^C = \rho_{\chi^C} \hat{\chi}_{t-1}^C + \varepsilon_{\chi^C,t} \quad (13)$$

$$\hat{\chi}_t^N = \rho_{\chi^N} \hat{\chi}_{t-1}^N + \varepsilon_{\chi^N,t},$$

pri čemer je $E(\chi^i) = 1$ in $\hat{\chi}_t^i = \frac{\chi_t^i - 1}{1}$, $i = \{C, N\}$. Vsi šoki v modelu imajo matematično upanje enako 0 in so neodvisno in enako porazdeljeni v času (angl. *independent and identically distributed*).

Življenjska funkcija koristnosti je sestavljena iz treh aditivno ločljivih členov. Prvi člen predstavlja koristnost, ki jo prinaša celotna potrošnja. Zapisana oblika funkcije je funkcija s konstantno nenaklonjenostjo do tveganja (angl. *constant relative risk aversion function*; CRRA funkcija), pri čemer parameter σ , za katerega velja $\sigma > 0$ in $\sigma \neq 1$, odraža inverzno vrednost elastičnosti substitucije med potrošnjami v različnih časovnih obdobjih. Ob nižjih vrednostih elastičnosti substitucije potrošnje so gospodinjstva bolj nenaklonjena tveganju

oziroma manj naklonjena spremembam v potrošnji in obratno. Ko je vrednost parametra σ enaka 1, se CRRA funkcija poenostavi v logaritemsko funkcijo:

$$f(C_t) = \ln C_t. \quad (14)$$

Drugi člen v življenjski funkciji koristnosti pomeni negativno koristnost od dela, kar nakazuje minus pred funkcijo, parameter φ pa je inverzna vrednost elastičnosti ponudbe dela, pri čemer je $\varphi > 1$, kar pomeni, da mejni strošek dela narašča. Zadnji člen pa označuje koristnost, ki jo gospodinjstvom prinaša držanje realnih denarnih blagajn. Običajna predpostavka v monetarni ekonomiji je, da velja $f' > 0$ in $f'' < 0$, kar pomeni, da več denarja prinaša dodatno koristnost, vendar pa vsako dodatno (enako) povečanje prinaša vse manjšo dodatno korist.

Agregatni indeks trenutne celotne potrošnje C_t je zapisan v obliki funkcije s konstantno elastičnostjo substitucije (angl. *constant elasticity of substitution*; v nadaljevanju CES funkcija), sestavljen pa je iz osnovne potrošnje Z_t (domače in uvožene dobrine) in potrošnje naftnih derivatov $O_{C,t}$:

$$C_t = \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}}, \quad (15)$$

kjer je η ($\eta > 0$) elastičnost substitucije med indeksom osnovne potrošnje in potrošnjo naftnih derivatov, δ ($0 < \delta < 1$) pa predstavlja delež potrošnje naftnih derivatov v celotni strukturi izdatkov gospodinjstev.

Nadalje je indeks osnovne potrošnje Z_t sestavljen iz potrošnje domačih dobrin $C_{H,t}$ in uvoženih dobrin $C_{F,t}$, kar lahko zapišem kot:

$$Z_t = \left[(1 - \kappa)^{\frac{1}{\theta}} (C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}} (C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}}. \quad (16)$$

Parameter κ ($0 < \kappa < 1$) v enačbi (16) predstavlja delež uvoženih dobrin, parameter θ ($\theta > 0$) pa meri elastičnost substitucije med potrošnjo domačih in uvoženih dobrin z vidika domačega potrošnika. $C_{H,t}$ in $C_{F,t}$ sta agregatna indeksa potrošenj za domače in uvožene dobrine posebej, ki imata obliko CES agregacijske funkcije:

$$C_{H,t} = \left[\int_0^1 C_{H,t}(j)^{\frac{\varepsilon_H-1}{\varepsilon_H}} dj \right]^{\frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H-1}} \quad (17)$$

in

$$C_{F,t} = \left[\int_0^1 C_{F,t}(j)^{\frac{\varepsilon_F-1}{\varepsilon_F}} dj \right]^{\frac{\varepsilon_F}{\varepsilon_F-1}}, \quad (18)$$

kjer $C_{H,t}(j)$, $j \in [0,1]$, označuje domačo potrošnjo domače različice dobrine, pri čemer je j indeks različice, s $C_{F,t}(j)$, $j \in [0,1]$, pa označujem domačo potrošnjo uvožene različice dobrine. Parametra ε_H in ε_F predstavljata medčasovno elastičnost substitucije med dobrinami proizvedenimi v posameznem gospodarstvu.

Vsa gospodinjstva so ex-ante enaka, zato lahko uporabim predpostavko reprezentativnega gospodinjstva. To pomeni, da se vsa gospodinjstva pri maksimizaciji (12) v vsakem obdobju soočajo z enako proračunsko omejitvijo, ki jo lahko zapišem kot:

$$\int_0^1 P_{H,t}(j)C_{H,t}(j)dj + \int_0^1 P_{F,t}(j)C_{F,t}(j)dj + P_{O,t}O_{C,t} + E_t(D_{t,t+1}B_{t+1}) \leq B_t + W_tN_t + M_{t-1} + T_t, \quad (19)$$

za vsak $t = 1, 2, \dots, \infty$. V proračunski omejitvi gospodinjstev je $P_{H,t}(j)$ cena j -te različice doma proizvedene dobrine, $P_{F,t}(j)$ je cena j -te različice v tujini proizvedene dobrine, $P_{O,t}$ pa je cena naftnih derivatov, ki je sestavljena iz svetovne cene nafte $\hat{p}_{O,t}^w$ in trošarin $\hat{\tau}_{TR,t}$:

$$\hat{p}_{O,t} = \frac{p_O^w}{p_O^w + \tau_{TR}} \hat{p}_{O,t}^w + \frac{\tau_{TR}}{p_O^w + \tau_{TR}} \hat{\tau}_{TR,t}. \quad (20)$$

Za svetovno ceno nafte predpostavljam, da v log-linearni obliki sledi stacionarnemu AR(1) procesu:

$$\hat{p}_{O,t}^w = \rho_O \hat{p}_{O,t-1}^w + \varepsilon_{O,t}^w, \quad (21)$$

kjer je $\varepsilon_{O,t}^w$ naftni šok, ki se porazdeljuje normalno z ničelno sredino in določenim standardnim odklonom.

Država pri določanju trošarin upošteva naslednje pravilo:

$$\hat{\tau}_{TR,t} = \rho_{TR} \hat{\tau}_{TR,t-1} - \phi_1 \hat{p}_{O,t}^w - \phi_2 \hat{p}_{C,t}. \quad (22)$$

iz katerega izhaja, da so trošarine odvisne od lastnih predhodnih vrednosti in gibanja svetovne cene nafte ter agregatnega indeksa cen. Država določa trošarine aciklično, kar pomeni, da jih zniža, če pride do povišanja svetovne cene nafte in agregatnega indeksa cen, in obratno. ϕ_1 in ϕ_2 sta parametra, ki kažeta, kakšno težo pri določanju trošarin država namenja spremembam svetovne cene nafte in agregatnega indeksa cen, parameter ρ_{TR} pa izkazuje vztrajnost trošarin glede na trošarine iz predhodnega obdobja.

Ponudba nafte je popolnoma elastična, saj je Slovenija majhno odprto gospodarstvo, ki s spremembo povpraševanja ne more spremeniti njene svetovne cene. To tudi pomeni, da je tujina pripravljena ponuditi poljubno količino nafte ob za nas eksogeno danih cenah. Ostale oznake v proračunski omejitvi (19) so naslednje. M_t je količina denarja, ki jo drži potrošnik ob koncu obdobja t . Iz naslova lastništva nad podjetji in držanja obveznic potrošniki prejema dividende in obresti. B_{t+1} tako označuje nominalni donos portfelja v obdobju $t + 1$, ki ga gospodinjstvo drži ob koncu obdobja t . $D_{t,t+1}$ je stohastični diskontni faktor za nominalne donose. Posamezno gospodinjstvo je tudi ponudnik delovnih storitev, pri čemer je plačilo na enoto dela enako W_t . Obseg davkov v enkratnem znesku, ki jih plača reprezentativni potrošnik pa je označen s T_t .

4.1.1 Funkcije povpraševanja in agregatni indeksi cen

Na podlagi ločene minimizacije izdatkov za domače in uvožene dobrine ob upoštevanju omejitev, ki ju predstavljata enačbi (17) in (18), lahko izpeljem naslednji funkciji povpraševanja po j -ti različici domače in uvožene dobrine (Obstfeld & Rogoff, 1996, str. 664):

$$C_{H,t}(j) = \left(\frac{P_{H,t}(j)}{P_{H,t}} \right)^{-\varepsilon_H} C_{H,t} \quad (23)$$

in

$$C_{F,t}(j) = \left(\frac{P_{F,t}(j)}{P_{F,t}} \right)^{-\varepsilon_F} C_{F,t}, \quad (24)$$

kjer sta $P_{H,t}$ in $P_{F,t}$ agregatna indeksa cen domačin in uvoženih dobrin, ki sta prav tako zapisana v obliki CES agregacijske funkcije:

$$P_{H,t} = \left[\int_0^1 P_{H,t}(j)^{1-\varepsilon_H} dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_H}} \quad (25)$$

in

$$P_{F,t} = \left[\int_0^1 P_{F,t}(j)^{1-\varepsilon_F} dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_F}}. \quad (26)$$

V nadaljevanju lahko zapišem funkcije povpraševanja za vse skupine proizvodov, ki jih dobim z maksimizacijo celotne agregatne potrošnje (osnovne dobrine in naftni derivati) in potrošnje osnovnih dobrin (domače in uvožene dobrine) ob upoštevanju omejitve, ki izenačuje dohodek z izdatki za posamezni skupini dobrin.

Funkcija povpraševanja po osnovnih dobrinah je:

$$Z_t = (1 - \delta) \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t = (1 - \delta) \left(\frac{S_{F,t}^{\kappa\delta}}{S_{O,t}^{\delta}} \right)^{-\eta} C_t. \quad (27)$$

Funkcija povpraševanja po naftnih derivatih pa ima naslednjo funkcijsko obliko:

$$O_{C,t} = \delta \left(\frac{P_{O,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t = \delta \left(\frac{S_{O,t}^{1-\delta}}{S_{F,t}^{\kappa(1-\delta)}} \right)^{-\eta} C_t, \quad (28)$$

od koder sledi, da je obseg povpraševanja po naftnih derivatih odvisen od relativnih cen naftnih derivatov v primerjavi s HICP indeksom, od uteži naftnih derivatov v agregatnem indeksu potrošnje ter od agregatne potrošnje. Podobno lahko zapišem tudi funkciji povpraševanja po domačih in uvoženih dobrinah.

Funkcija povpraševanja po domačih dobrinah je:

$$C_{H,t} = (1 - \kappa) \left(\frac{P_{H,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} Z_t = (1 - \kappa) S_{F,t}^{\theta\kappa} Z_t, \quad (29)$$

funkcija povpraševanja po uvoženih dobrinah pa je sledeča:

$$C_{F,t} = \kappa \left(\frac{P_{F,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} Z_t = \kappa S_{F,t}^{-\theta(1-\kappa)} Z_t. \quad (30)$$

Pripadajoči indeks cen osnovnih dobrin $P_{Z,t}$ je naslednji:

$$P_{Z,t} = [(1 - \kappa)P_{H,t}^{1-\theta} + \kappa P_{F,t}^{1-\theta}]^{\frac{1}{1-\theta}}, \quad (31)$$

indeks cen življenjskih potrebščin (HICP indeks) $P_{C,t}$ pa je enak:

$$P_{C,t} = [(1 - \delta)P_{Z,t}^{1-\eta} + \delta P_{O,t}^{1-\eta}]^{\frac{1}{1-\eta}}. \quad (32)$$

Enako kot Masten (2008, str. 124) predpostavljam, da je tuje povpraševanje po j -ti različici domače dobrine določeno z naslednjo funkcijo:

$$C_{H,t}^*(j) = \left(\frac{P_{H,t}(j)}{P_{H,t}}\right)^{-\varepsilon_H} \kappa^* \left(\frac{P_{H,t}}{P_t^*}\right)^{-\theta} C_t^*, \quad (33)$$

kjer je $\kappa^* = \kappa$ delež domačih dobrin v tuji potrošnji. Ker predpostavljam, da je domače gospodarstvo majhno odprto gospodarstvo (majhen parameter κ^*), lahko uporabim naslednji predpostavki: $C_t^* = Y_t^*$ in $P_t^* = P_F^*$. Če enačbo (33) vstavim v:

$$C_{H,t}^* = \left[\int_0^1 C_{H,t}^*(j)^{\frac{\varepsilon_H-1}{\varepsilon_H}} dj \right]^{\frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H-1}}, \quad (34)$$

in jo log-lineariziram ter upoštevam definicijo v enačbi (40), dobim:

$$\hat{c}_{H,t}^* = \hat{c}_t^* - \theta(\hat{p}_{H,t} - \hat{\psi}_{F,t} - \hat{p}_{F,t}) = \hat{y}_t^* + \theta(\hat{s}_{F,t} + \hat{\psi}_{F,t}). \quad (35)$$

Ob upoštevanju izraza za celotne potrošne izdatke domačih gospodinjskih:

$$P_{H,t}C_{H,t} + P_{F,t}C_{F,t} + P_{O,t}C_{O,t} = P_{C,t}C_t \quad (36)$$

lahko proračunsko omejitev (19) zapišem kot:

$$P_{C,t}C_t + M_t + E_t(D_{t,t+1}B_{t+1}) \leq B_t + W_tN_t + M_{t-1} + T_t. \quad (37)$$

4.1.2 Inflacija cen domačih dobrin, HICP inflacija, realni devizni tečaj in definicije relativnih cen

V model vstopajo tri relativne cene. Prva relativna cena se nanaša na razmerje med cenami uvoženih dobrin in cenami domačih dobrin (v nadaljevanju relativna cena uvoženih dobrin):

$$S_{F,t} = \frac{P_{F,t}}{P_{H,t}}, \quad (38)$$

druga pa na razmerje med cenami naftnih derivatov in cenami domačih dobrin (v nadaljevanju relativna cena naftnih derivatov):

$$S_{O,t} = \frac{P_{O,t}}{P_{H,t}}. \quad (39)$$

Iz prve relativne cene sledi, če se $S_{F,t}$ zniža (zviša), to pomeni, da se konkurenčna sposobnost države zmanjšuje (povečuje), saj domača država beleži višjo (nižjo) stopnjo inflacije kot tuja država. V primeru povišanja (znižanja) druge relativne cene to pomeni, da so naftni derivati postali dražji (cenejši) v primerjavi z domačimi proizvodi.

Dodatno v modelu predpostavljam, da obstaja odstopanje med cenami uvoženih dobrin na tujem in domačem trgu (zaradi tržne moči teh podjetij in rigidnosti pri postavljanju cen), kar pomeni, da lahko tretjo relativno ceno zapišem kot:

$$\psi_{F,t} = \frac{P_t^*}{P_{F,t}}. \quad (40)$$

Log-lineariziran izraz za HICP indeks je sledeč:

$$\begin{aligned} \hat{p}_{C,t} &= (1 - \delta)\hat{p}_{Z,t} + \delta\hat{p}_{O,t} = (1 - \delta)[(1 - \kappa)\hat{p}_{H,t} + \kappa\hat{p}_{F,t}] + \delta\hat{p}_{O,t} \\ &= \hat{p}_{H,t} + \kappa(1 - \delta)\hat{s}_{F,t} + \delta\hat{s}_{O,t}. \end{aligned} \quad (41)$$

Če zgornjo enačbo diferenciram, lahko zapišem povezavo med HICP inflacijo, inflacijo cen domačih dobrin, ki je definirana kot $\hat{\pi}_{H,t} = \hat{p}_{H,t} - \hat{p}_{H,t-1}$, in relativnima cenama uvoženih dobrin in naftnih derivatov:

$$\hat{\pi}_{C,t} = \hat{\pi}_{H,t} + \kappa(1 - \delta)\Delta\hat{s}_{F,t} + \delta\Delta\hat{s}_{O,t}. \quad (42)$$

Spremembo relativnih cen uvoženih dobrin in relativnih cen naftnih derivatov lahko zapišem tudi kot:

$$\Delta\hat{s}_{F,t} = \hat{\pi}_{F,t} - \hat{\pi}_{H,t} \quad (43)$$

in

$$\Delta\hat{s}_{O,t} = \hat{\pi}_{O,t} - \hat{\pi}_{H,t}. \quad (44)$$

Realni devizni tečaj je definiran kot razmerje med tujimi cenami in domačim HICP indeksom:

$$Q_t = \frac{P_t^*}{P_{C,t}} = \frac{\psi_{F,t} P_{F,t}}{P_{H,t} S_{F,t}^{\kappa(1-\delta)} S_{O,t}^\delta}. \quad (45)$$

V log-linearni obliki lahko zgornjo enačbo zapišem kot:

$$\hat{q} = \hat{\psi}_F + (1 - (1 - \delta)\kappa)\hat{s}_{F,t} - \delta\hat{s}_{O,t}, \quad (46)$$

pri čemer zaradi predpostavke fiksnega deviznega tečaja, nominalni devizni tečaj ne vpliva na odklone realnega deviznega tečaja od ravnovesja.

4.1.3 Optimizacijski problem gospodinjev

Gospodinjstva maksimizirajo svojo življenjsko funkcijo koristnosti:

$$\max_{\{C_{t+k}, N_{t+k}\}_{k=0}^{\infty}} E_t \sum_{k=0}^{\infty} \beta^k \left[\chi_{t+k}^C \frac{C_{t+k}^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \chi_{t+k}^N \frac{N_{t+k}^{1+\varphi}}{1+\varphi} + f\left(\frac{M_{t+k}}{P_{C,t+k}}\right) \right] \quad (47)$$

ob upoštevanju proračunske omejitve (37). Problem rešujem z uporabo Bellmanove enačbe, v prilogi magistrskega dela pa prikazujem reševanje istega problema z Lagrangevo metodo.

Bellmanova enačba za ta problem je:

$$V(B_t) = \max_{C_t, N_t} \left\{ U\left(C_t, N_t, \frac{M_t}{P_{C,t}}\right) + \beta E_t V(B_{t+1}) \right\}, \quad (48)$$

kjer $U(\cdot)$ predstavlja funkcijo koristnosti, $V(\cdot)$ pa je funkcija vrednosti (angl. *value function*).

Omejitev (37) lahko zapišem v nekoliko drugačni obliki:

$$E_t B_{t+1} = (1 + i_t)(B_t + W_t N_t + M_{t-1} + T_t - P_{C,t} C_t - M_t). \quad (49)$$

pri tem pa upoštevam, da je bruto domača obrestna mera $1 + i_t$ enaka inverzni vrednosti stohastičnega diskontnega faktorja.

Pogoj prvega reda glede na C_t je:

$$\frac{\partial V(B_t)}{\partial C_t} = U_C \left(C_t, N_t, \frac{M_t}{P_{C,t}} \right) - \beta E_t V_B(B_{t+1})(1 + i_t)P_{C,t} = 0, \quad (50)$$

pogoj prvega reda glede na N_t pa je sledeč:

$$\frac{\partial V(B_t)}{\partial N_t} = U_N \left(C_t, N_t, \frac{M_t}{P_{C,t}} \right) - \beta E_t V_B(B_{t+1})(1 + i_t)W_t = 0. \quad (51)$$

Če oba pogoja prvega reda združim, dobim:

$$-\frac{U_N \left(C_t, N_t, \frac{M_t}{P_{C,t}} \right)}{U_C \left(C_t, N_t, \frac{M_t}{P_{C,t}} \right)} = \frac{W_t}{P_{C,t}}. \quad (52)$$

Iz funkcije koristnosti (12) sledi, da je mejna koristnost potrošnje enaka:

$$U_C \left(C_t, N_t, \frac{M_t}{P_{C,t}} \right) = \chi_t^C C_t^{-\sigma}, \quad (53)$$

mejni strošek dela pa:

$$U_N \left(C_t, N_t, \frac{M_t}{P_{C,t}} \right) = -\chi_t^N N_t^\varphi. \quad (54)$$

Enačbi (53) in (54) nato vstavim v (52), tako da dobim:

$$\frac{W_t}{P_{C,t}} = \frac{1}{\chi_t^C} C_t^\sigma \chi_t^N N_t^\varphi. \quad (55)$$

Enačba (55) predstavlja standardni optimalnostni pogoj na trgu dela, ki pomeni, da je realna plača odvisna od mejne stopnje substitucije med potrošnjo in prostim časom. Posameznik skuša maksimirati koristnost, ki je pozitivno odvisna od realnega dohodka in prostega časa. Pri tem pa se pojavi izmenjava med tema dvema ciljema, saj je dohodek možno povečati z delom, obenem pa več dela pomeni manj prostega časa (Senjur, 2001, str. 145). Dodatna enota dela posamezniku prinaša izgubo koristnosti v višini $\chi_t^N N_t^\varphi$, hkrati pa je deležen dodane koristi v višini $\frac{W_t}{P_{C,t}} \chi_t^C C_t^{-\sigma}$. V ravnotežju bo posameznik ponudil toliko dela, da se bosta dodatna korist in dodatna izguba med seboj izenačili.

V nadaljevanju moram poiskati odvod $V(\cdot)$ v točki B_{t+1} . Da to lahko naredim, najprej potrebujem naslednji odvod:

$$V_B(B_t) = \beta E_t V_B(B_{t+1})(1 + i_t) = \frac{U_C \left(C_t, N_t, \frac{M_t}{P_{C,t}} \right)}{P_{C,t}}, \quad (56)$$

ki ga nato zgolj premaknem za eno obdobje naprej:

$$V_B(B_{t+1}) = \frac{U_C \left(C_{t+1}, N_{t+1}, \frac{M_{t+1}}{P_{C,t+1}} \right)}{P_{C,t+1}}. \quad (57)$$

Enačbo (57) nato uporabim v enačbi (56) in dobim standardno Eulerjevo enačbo za potrošnjo:

$$\beta(1 + i_t)E_t \left[\frac{P_{C,t}}{P_{C,t+1}} \frac{\chi_{t+1}^C}{\chi_t^C} \left(\frac{C_{t+1}}{C_t} \right)^{-\sigma} \right] = 1, \quad (58)$$

ki povezuje potrošnje v različnih časovnih obdobjih. Iz nje sledi, da je optimalna količina potrošnje tista, s katero se izguba koristnosti zaradi dodatne enote varčevanja v času t izenači s pričakovano diskontirano mejno koristnostjo potrošnje v obdobju $t + 1$.

Nadalje lahko prikažem tudi Eulerjeve enačbe za posamezne skupine dobrin, ki se pojavljajo v modelu, in sicer Eulerjevo enačbo za potrošnjo naftnih derivatov:

$$\begin{aligned} \hat{o}_{C,t} = E_t \hat{o}_{C,t+1} - \frac{1}{\sigma} (\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{O,t+1} + E_t \Delta \chi_{t+1}^C) - \kappa(1 - \delta) \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta \hat{s}_{F,t+1} \\ - (1 - \delta) \left(\frac{1}{\sigma} - \eta \right) E_t \Delta \hat{s}_{O,t+1}, \end{aligned} \quad (59)$$

Eulerjevo enačbo za potrošnjo domačih dobrin:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{H,t} = E_t \hat{c}_{H,t+1} - \frac{1}{\sigma} (\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{H,t+1} + E_t \Delta \chi_{t+1}^C) \\ - \kappa \left[\theta - \eta \delta - \frac{1}{\sigma} (1 - \delta) \right] E_t \Delta \hat{s}_{F,t+1} - \delta \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta \hat{s}_{O,t+1} \end{aligned} \quad (60)$$

in Eulerjevo enačbo za uvožene dobrine:

$$\begin{aligned}
\hat{c}_{F,t} &= E_t \hat{c}_{F,t+1} - \frac{1}{\sigma} (\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{F,t+1} + E_t \Delta \chi_{t+1}^C) \\
&- \left\{ \frac{1}{\sigma} - \theta + \kappa \left[\theta - \eta \delta - \frac{1}{\sigma} (1 - \delta) \right] \right\} E_t \Delta \hat{s}_{F,t+1} \\
&- \delta \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta \hat{s}_{O,t+1}.
\end{aligned} \tag{61}$$

4.1.4 Mednarodna delitev tveganj in nepokrita obrestna pariteta

V modelu predpostavljam popolne mednarodne finančne trge in popolno mobilnost finančnega kapitala. Zaradi teh predpostavk mora veljati naslednji pogoj oziroma nepokrita obrestna pariteta:

$$\frac{1}{1 + i_t} = E_t D_{t,t+1} = \frac{1}{1 + i_t^*}, \tag{62}$$

kjer je domača obrestna mera zaradi fiksnega deviznega tečaja enaka tuji obrestni meri i_t^* .

Ob upoštevanju povezave (62) lahko izenačim domačo in tujo Eulerjevo enačbo za potrošnjo in dobim:

$$\beta E_t \left[\frac{P_{C,t}}{P_{C,t+1}} \frac{\chi_{t+1}^C}{\chi_t^C} \left(\frac{C_{t+1}}{C_t} \right)^{-\sigma} \right] = E_t D_{t,t+1} = \beta E_t \left[\frac{P_t^*}{P_{t+1}^*} \left(\frac{C_{t+1}^*}{C_t^*} \right)^{-\sigma} \right], \tag{63}$$

pri tem predpostavljam, da sta subjektivna diskontna faktorja enaka v obeh gospodarstvih, in da v tujem gospodarstvu ni prisotnega potrošnega šoka.

Iz povezave (63) sledi, da mora v ravnotežju veljati naslednji pogoj:

$$C_t = \vartheta C_t^* (\chi_t^C Q_t)^{\frac{1}{\sigma}} = \vartheta C_t^* \left[\chi_t^C \psi_{F,t} S_{F,t}^{1-(1-\delta)\kappa} S_{O,t}^{-\delta} \right]^{\frac{1}{\sigma}}, \tag{64}$$

ki povezuje domačo potrošnjo s tujo potrošnjo, relativnima cenama in členom, ki meri odstopanje cen uvoženih dobrin v domačem gospodarstvu od zakona ene cene. ϑ je konstanta, ki je odvisna od začetnih pogojev porazdelitve bogastva.

4.2 Domača podjetja

V modelu sta prisotni dve vrsti domačih podjetij. Prvi so proizvajalci vmesnih dobrin, ki z uporabo dela in naftnih derivatov proizvajajo vmesne dobrine $Y_{H,t}(j)$ in jih prodajajo proizvajalcem končnih dobrin. Teh podjetij je neskončno mnogo (vendar s končno maso), vsako od njih pa je monopolistični konkurent na trgu dobrine, ki jo proizvaja, in popolni konkurent na trgih proizvodnih dejavnikov. Druga vrsta podjetij so proizvajalci končnih dobrin, ki pretvarjajo vmesne dobrine v homogeno končno dobrino $Y_{H,t}$, produkcijska funkcija teh podjetij pa je klasičen Dixit-Stiglitzov agregator:

$$Y_{H,t} = \left[\int_0^1 Y_{H,t}(j)^{\frac{1}{\mu}} dj \right]^{\mu}, \quad \mu \geq 1, \quad (65)$$

pri čemer $\mu = \frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H - 1}$ določa pribitek na cene oziroma tržno moč na domačem trgu.

Proizvajalci končne dobrine so popolni konkurenti, zato jemljejo svojo nabavno $P_{H,t}(j)$ in končno ceno $P_{H,t}$ kot dano. Na podlagi maksimizacije njihovega dobička lahko pridemo do naslednje funkcije povpraševanja po vmesnih dobrinah:

$$Y_{H,t}(j) = \left(\frac{P_{H,t}(j)}{P_{H,t}} \right)^{-\varepsilon_H} Y_{H,t}. \quad (66)$$

Z integriranjem (66) in upoštevanjem, da je $P_{H,t}$ cena ene enote končne dobrine $Y_{H,t}$, dobimo že predhodno predstavljen izraz za agregatni indeks cen domačih dobrin, ki je zapisan z enačbo (25).

4.2.1 Proizvodna tehnologija in minimizacija stroškov

Vsak proizvajalec vmesne dobrine j , $j \in [0,1]$, proizvaja diferencirano vmesno dobrino v skladu s Cobb-Douglasovo produkcijsko funkcijo:

$$Y_{H,t}(j) = [A_t N_t(j)]^{\alpha} O_{Y,t}(j)^{1-\alpha}, \quad (67)$$

kjer $N_t(j)$ predstavlja količino dela, $O_{Y,t}(j)$ količino uporabljenih naftnih derivatov, A_t pa je raven tehnologije, ki je enaka za vsa podjetja. Na ta način naftni derivati vstopajo v model kot produkcijski dejavnik in vplivajo na stroške podjetij, s tem pa na postavljanje cen. Parameter α v produkcijski funkciji označuje elastičnost proizvoda glede na s tehnološkim napredkom pomnoženega dela. Za tehnologijo predpostavljam, da sledi stacionarnemu AR(1) procesu:

$$\ln A_t = (1 - \rho_A) \ln A + \rho_A \ln A_{t-1} + \varepsilon_t^A, \quad (68)$$

oziroma zapisano kot odstotno odstopanje od ustaljenega stanja:

$$\hat{a}_t = \rho_A \hat{a}_{t-1} + \varepsilon_t^A, \quad (69)$$

pri čemer je ε_t^A produktivnostni šok, za avtoregresijski parameter ρ_A pa velja $\rho_A \in [0, 1)$.

Da bi dobil mejne stroške podjetja, lahko zapišem Lagrangevo funkcijo za minimizacijo celotnih nominalnih proizvodnih stroškov za reprezentativno podjetje v naslednji obliki:

$$\mathcal{L} = W_t N_t(j) + P_{O,t} O_{Y,t}(j) + \lambda_t \{Y_{H,t}(j) - [A_t N_t(j)]^\alpha O_{Y,t}(j)^{1-\alpha}\}. \quad (70)$$

Pri minimizaciji (70) podjetje izbira optimalni obseg dela in naftnih derivatov. Z odvajanjem Lagrangeve funkcije po količini dela $N_t(j)$, količini naftnih derivatov $O_{Y,t}(j)$ in Lagrangevem multiplikatorju λ_t najprej dobim pogoje prvega reda, iz katerih lahko nato izpeljem funkciji povpraševanja po obeh proizvodnih dejavnikih in realne mejne stroške podjetja.

Pogoj prvega reda glede na $N_t(j)$ je:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial N_t(j)} = W_t - \lambda_t \alpha [A_t N_t(j)]^{\alpha-1} A_t O_{Y,t}(j)^{1-\alpha} = W_t - \lambda_t \frac{\alpha Y_{H,t}(j)}{N_t(j)} = 0, \quad (71)$$

kar pomeni, da se podjetju izplača zaposlovati delo, dokler se mejni proizvod dela ne izenači s stroški dodatne enote dela.

Pogoj prvega reda glede na $O_{Y,t}(j)$ je:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial O_{Y,t}(j)} &= P_{O,t} - \lambda_t (1 - \alpha) [A_t N_t(j)]^\alpha O_{Y,t}(j)^{-\alpha} = P_{O,t} - \lambda_t \frac{(1 - \alpha) Y_{H,t}(j)}{O_{Y,t}(j)} \\ &= 0. \end{aligned} \quad (72)$$

Zgornji pogoj pomeni, da podjetje uporablja naftne derivate, dokler se mejni proizvod naftnega derivata ne izenači s stroški dodane enote naftnega derivata.

V nadaljevanju mi bo koristil tudi pogoj prvega reda glede na λ_t :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_t} = Y_{H,t}(j) - [A_t N_t(j)]^\alpha O_{Y,t}(j)^{1-\alpha} = 0. \quad (73)$$

Če pogoja prvega reda (71) in (72) združim in upoštevam produkcijsko funkcijo (67), lahko zapišem enačbi, s katerima sta določena obseg povpraševanja po delu:

$$N_t = \frac{1}{A_t^\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{P_{O,t}}{W_t} \right)^{1-\alpha} Y_{H,t} \quad (74)$$

in naftnih derivatih:

$$O_Y = \frac{1}{A_t^\alpha} \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \frac{W_t}{P_{O,t}} \right)^\alpha Y_{H,t}. \quad (75)$$

Nominalne mejne stroške podjetja dobim tako, da iz prvih dveh pogojev prvega reda izrazim $N_t(j)$ in $O_{Y,t}(j)$ ter ju vstavim v tretji pogoj, iz katerega nato izrazim Lagrangev multiplikator, ki je enak nominalnim mejnim stroškom:

$$\lambda_t = MC_{H,t}^n = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \frac{1}{A_t^\alpha} W_t^\alpha P_{O,t}^{1-\alpha}, \quad (76)$$

pri čemer opuščam indeks j , ker so mejni stroški enaki za vsa podjetja.

Enačbo (76) lahko uporabim tudi za zapis realnih mejnih stroškov, ki jih dobim tako, da obe strani izraza za nominalne mejne stroške delim z indeksom cen domačih dobrin:

$$MC_{H,t}^r = \frac{MC_{H,t}^n}{P_{H,t}} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \frac{1}{A_t^\alpha} \left(\frac{W_t}{P_{H,t}} \right)^\alpha \left(\frac{P_{O,t}}{P_{H,t}} \right)^{1-\alpha}. \quad (77)$$

4.2.2 Določanje cen

Domača podjetja pri postavljanju cen izhajajo iz Calvovega tipa cenovne rigidnosti, ki predpostavlja, da v vsakem obdobju vsako podjetje spremeni svoje cene na optimalno raven z verjetnostjo $1 - \xi_H$, ki je neodvisna od obdobja, v katerem je podjetje zadnjič spremenilo svoje cene. Z verjetnostjo ξ_H pa cene podjetja ostanejo nespremenjene (Calvo, 1983, str. 383). To pomeni, da je povprečen čas trajanja cen podjetja enak (Galí & Gertler, 1999, str. 199):

$$1 - \xi_H \sum_{k=0}^{\infty} k \xi_H^{k-1} = \frac{1}{1 - \xi_H}. \quad (78)$$

Podobno kot Smets in Wouters (2003, str. 1133) predpostavljam, da podjetja, ki v danem trenutku nimajo možnosti na novo določiti cene, ceno postavijo v skladu z naslednjim indeksacijskim pravilom:

$$P_{H,t+k}(j) = \left(\frac{P_{H,t+k-1}}{P_{H,t-1}} \right)^{\delta_H} P_{H,t}(j), \quad (79)$$

kjer je $\frac{P_{H,t+k-1}}{P_{H,t-1}} = \pi_{H,t+k-1}$ pretekla stopnja inflacije, δ_H pa je indeksacijski parameter, ki meri stopnjo indeksacije cen.

Optimizacijski problem domačega podjetja za maksimizacijo dobička je sledeč:

$$\max_{P_{H,t}^{nova}(j)} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_H)^k \Lambda_{t,t+k} \left[Y_{H,t+k}(j) \left(\frac{P_{H,t+k}^{nova}(j)}{P_{H,t+k}} - MC_{H,t+k}^r \right) \right], \quad (80)$$

kjer je $\Lambda_{t,t+k} = \left(\frac{C_{t+1}}{C_t} \right)^{-\sigma} \left(\frac{P_{C,t}}{P_{C,t+1}} \right).$

Ob upoštevanju omejitev, ki ju predstavljata funkcija povpraševanja po proizvodih domačega podjetja (66) in indeksacijsko pravilo (79), lahko optimizacijski problem tega podjetja zapišem v naslednji obliki:

$$\begin{aligned} \max_{P_{H,t}^{nova}(j)} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_H)^k \Lambda_{t,t+k} Y_{H,t+k} & \left\{ \left[\frac{P_{H,t}^{nova}(j)}{P_{H,t+k}} \left(\frac{P_{H,t+k-1}}{P_{H,t-1}} \right)^{\delta_H} \right]^{1-\varepsilon_H} \right. \\ & \left. - MC_{H,t+k}^r \left[\frac{P_{H,t}^{nova}(j)}{P_{H,t+k}} \left(\frac{P_{H,t+k-1}}{P_{H,t-1}} \right)^{\delta_H} \right]^{-\varepsilon_H} \right\}, \end{aligned} \quad (81)$$

Pogoj prvega reda glede na $P_{H,t+k}^{nova}(j)$ je naslednji:

$$\begin{aligned} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_H)^k \Lambda_{t,t+k} Y_{H,t+k} & \left\{ \left[\frac{P_{H,t}^{nova}(j)}{P_{H,t+k}} \left(\frac{P_{H,t+k-1}}{P_{H,t-1}} \right)^{\delta_H} \right]^{1-\varepsilon_H} \right. \\ & \left. - \frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H - 1} MC_{H,t+k}^r \left[\frac{P_{H,t}^{nova}(j)}{P_{H,t+k}} \left(\frac{P_{H,t+k-1}}{P_{H,t-1}} \right)^{\delta_H} \right]^{-\varepsilon_H} \right\}. \end{aligned} \quad (82)$$

Podjetje, ki maksimizira pričakovane diskontirane dobičke z upoštevanjem Calvo načina cenovnega obnašanja, izbere naslednjo novo optimalno ceno:

$$P_{H,t}^{nova}(j) = \frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H - 1} \frac{E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_H)^k \Lambda_{t,t+k} Y_{H,t+k} MC_{H,t+k}^n P_{H,t+k}^{\varepsilon_H-1} \left(\frac{P_{H,t+k-1}}{P_{H,t-1}} \right)^{-\varepsilon_H \delta_H}}{E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_H)^k \Lambda_{t,t+k} Y_{H,t+k} P_{H,t+k}^{\varepsilon_H-1} \left(\frac{P_{H,t+k-1}}{P_{H,t-1}} \right)^{(1-\varepsilon_H)\delta_H}}. \quad (83)$$

Iz enačbe (83) sledi, da podjetje pri določanju nove optimalne cene upošteva bodoče nominalne mejne stroške, preteklo stopnjo inflacije in dejstvo, da lahko z ustrezno verjetnostjo postavljene cene ostanejo nespremenjene več obdobj.

V primeru, ko so cene popolnoma fleksibilne ($\xi_H = 0$), se izraz (83) poenostavi v:

$$P_{H,t}^{nova}(j) = \frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H - 1} MC_{H,t}^n, \quad (84)$$

kar pomeni, da v tem primeru podjetje postavi ceno kot pribitek na nominalne mejne stroške.

Vsa podjetja, ki dobijo možnost spremeniti ceno (takih podjetij je $1 - \xi_H$), bodo izbrala isto raven cen $P_{H,t}^{nova}$. Delež podjetij, ki ne morejo spremeniti cen, temveč jih indeksirajo, je enak ξ_H . Ob upoštevanju tega lahko agregatni indeks cen domačih dobrin zapišem kot konveksno kombinacijo pretekle ravni cen $P_{H,t-1}$ in nove optimalne cene $P_{H,t}^{nova}$:

$$P_{H,t} = \left[\xi_H \left(P_{H,t-1} \left(\frac{P_{H,t-1}}{P_{H,t-2}} \right)^{\delta_H} \right)^{1-\varepsilon_H} + (1 - \xi_H) (P_{H,t}^{nova})^{1-\varepsilon_H} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_H}}, \quad (85)$$

oziroma v log-linearizirani obliki:

$$\hat{p}_{H,t}^{nova} = \frac{1}{1 - \xi_H} (\hat{p}_{H,t} - \xi_H \hat{p}_{H,t-1} - \xi_H \delta_H \hat{\pi}_{H,t-1}). \quad (86)$$

Z log-linearizacijo pogoja prvega reda optimizacijskega problema domačega podjetja dobim naslednjo enačbo za novo optimalno ceno:

$$\hat{p}_{H,t}^{nova} = \delta_H \hat{p}_{H,t-1} + (1 - \beta \xi_H) \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_H)^k [\widehat{mc}_{H,t+k}^n - \delta_H \hat{p}_{H,t+k-1}], \quad (87)$$

ki jo lahko ob uporabi metode rekurzivne substitucije zapišem za k obdobj nazaj:

$$\hat{p}_{H,t}^{nova} - \delta_H \hat{p}_{H,t-1} = (1 - \beta \xi_H) (\widehat{mc}_{H,t}^n - \delta_H \hat{p}_{H,t-1}) + \beta \xi_H (E_t \hat{p}_{H,t+1}^{nova} - \delta_H \hat{p}_{H,t}). \quad (88)$$

Nadalje v enačbi (88) upoštevam povezavo, ki sledi iz log-lineariziranega agregatnega indeksa cen domačih dobrin (86), in dobim:

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{1 - \xi_H} (\hat{p}_{H,t} - \xi_H \hat{p}_{H,t-1} - \xi_H \delta_H \hat{\pi}_{H,t-1}) - \delta_H \hat{p}_{H,t-1} \\
& = (1 - \beta \xi_H) (\widehat{mc}_{H,t}^n - \delta_H \hat{p}_{H,t-1}) \\
& + \frac{\beta \xi_H}{1 - \xi_H} (E_t \hat{p}_{H,t+1} - \xi_H \hat{p}_{H,t} - \xi_H \delta_H \hat{\pi}_{H,t}) - \beta \xi_H \delta_H \hat{p}_{H,t}.
\end{aligned} \tag{89}$$

S preureditvijo enačbe (89) in upoštevanjem pravil linearne algebre in definicije za domačo inflacijo $\hat{\pi}_{H,t} = \hat{p}_{H,t} - \hat{p}_{H,t-1}$ ter realne mejne stroške $\widehat{mc}_{H,t}^r = \widehat{mc}_{H,t}^r - \hat{p}_{H,t}$ dobim enačbo (90) oziroma hibridno obliko novo keynesianske Phillipsove krivulje majhnega odprtega gospodarstva:

$$\begin{aligned}
\hat{\pi}_{H,t} &= \frac{\beta}{1 + \beta \delta_H} E_t \hat{\pi}_{H,t+1} + \frac{\delta_H}{1 + \beta \delta_H} \hat{\pi}_{H,t-1} \\
&+ \frac{1}{1 + \beta \delta_H} \frac{(1 - \beta \xi_H)(1 - \xi_H)}{\xi_H} \widehat{mc}_{H,t}^r + \varepsilon_t^H,
\end{aligned} \tag{90}$$

kjer je ε_t^H cenovni šok v domačem sektorju, ki ga v model vpeljem ad hod.

Iz enačbe (90) izhaja, da je tekoča stopnja inflacije cen domačih dobrin odvisna od prihodnje in pretekle stopnje inflacije ter od realnih mejnih stroškov. Vpliv realnih mejnih stroškov na tekočo stopnjo inflacije je odvisen od pogostosti sprememb cen ξ_H , subjektivnega diskontnega faktorja β in od indeksacijskega parametra δ_H . Na tem mestu naj omenim, da velja $\lim_{\xi_H \rightarrow 1} \frac{(1 - \beta \xi_H)(1 - \xi_H)}{\xi_H} = 0$, kar pomeni, da večja kot je verjetnost, da bodo cene podjetja ostale nespremenjene, manjši vpliv na stopnjo inflacije ima dana sprememba v realnih mejnih stroških. Vpliv realnih mejnih stroškov na tekočo stopnjo inflacije cen domačih dobrin se zmanjšuje tudi z naraščanjem vrednosti indeksacijskega parametra.

Pomembna značilnost novo keynesianske Phillipsove krivulje je njena zazrtost v prihodnost, kar nakazuje prisotnost tekočih pričakovanj o prihodnji stopnji inflacije $E_t \hat{\pi}_{H,t+1}$ v enačbi (90). Zazrtost v prihodnost lahko prikažem tudi z zapisom enačbe Phillipsove krivulje za k obdobj naprej (Galí & Gertler, 1999, str. 217):

$$\hat{\pi}_{H,t} = \mu_1 \hat{\pi}_{H,t-1} + \frac{\lambda}{\mu_2 \gamma_f} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\mu_2} \right)^k E_t \widehat{mc}_{H,t+k}^r, \tag{91}$$

kjer sta μ_1 in μ_2 korena enačbe (90).

Iz enačbe (91) izhaja, da je tekoča stopnja inflacije cen domačih dobrin odvisna od diskontiranih vrednosti odklonov prihodnjih realnih mejnih stroškov od svojega ravnovesja. Ker pa je v modelu prisoten tudi del podjetij, ki svoje cene indeksira glede na preteklo stopnjo inflacije, usmerjenost v prihodnost ni popolna, saj je v tem primeru tekoča stopnja inflacije odvisna tudi od pretekle stopnje inflacije.

Ob odsotnosti indeksacije cen ($\delta_H = 0$) se enačba (90) spremeni v običajno Phillipsovo krivuljo:

$$\hat{\pi}_{H,t} = \beta E_t \hat{\pi}_{H,t+1} + \frac{(1 - \beta \xi_H)(1 - \xi_H)}{\xi_H} \widehat{mc}_{H,t}^r + \varepsilon_t^H. \quad (92)$$

Na prvi pogled je Phillipsova krivulja majhnega odprtega gospodarstva enaka tisti v zaprtem gospodarstvu, vendar se posamezni obliki pomembno razlikujeta v realnih mejnih stroških, ki so za izpeljani model odprtega gospodarstva podani z naslednjo enačbo:

$$\widehat{mc}_{H,t}^r = -\Psi_1 \hat{a}_t + \Psi_2 \hat{y}_t^* + \Psi_3 \hat{p}_{F,t} + \Psi_4 \hat{y}_{H,t} + \Psi_5 \hat{s}_{F,t} + \Psi_6 \hat{s}_{O,t} + \Psi_7 \hat{\chi}_t^N, \quad (93)$$

koeficienti funkcije pa so določeni z naslednjimi izrazi:

$$\begin{pmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \\ \Psi_4 \\ \Psi_5 \\ \Psi_6 \\ \Psi_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\alpha(1+\varphi)}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha\sigma}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha\varphi}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{1+\varphi(1-\alpha)}{(1+\varphi)(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha}{1+\varphi(1-\alpha)} \end{pmatrix}. \quad (94)$$

Enačba (93) kaže, da dinamiko realnih mejnih stroškov v odprtem gospodarstvu poleg domače produktivnosti in domačega proizvoda določajo še tuji proizvod in vse tri relativne cene. Realni mejni stroški so pozitivno odvisni od domačega proizvoda, in sicer preko njegovega vpliva na zaposlenost in realne plače ter negativno odvisni od domače tehnologije, ki ima neposreden vpliv na produktivnost dela. Povečano povpraševanje po nafti, ki bi nastalo zaradi proizvodnje večje količine dobrin, v pričujočem modelu ne more vplivati na ceno nafte, saj je le-ta eksogeno dana. Nadalje ima povečanje tujega proizvoda neposredni vpliv na

domačo potrošnjo, kar povzroči povečanje domačega proizvoda. Do povečanega povpraševanja po domačih proizvodih pride tudi v primeru povišanja realnih mejnih stroškov uvoznih podjetij, povečanja razmerja med cenami uvoženih in domačih dobrin ter razmerja med cenami naftnih derivatov in cenami domačih dobrin. V vseh naštetih primerih lahko domača podjetja proizvedejo več samo ob višjih mejnih stroških.

4.3 Uvozna podjetja

Poleg domačih podjetij je gospodarstvo sestavljeno tudi iz mnogo uvoznih podjetij, ki na svetovnem trgu kupujejo homogene dobrine po ceni P_t^* , in jih nato pretvarjajo v diferencirane uvozne dobrine. Tudi za uvozna podjetja predpostavljam, da so pri postavljanju cen soočena s Calvovim tipom cenovne rigidnosti, kar pomeni, da lahko podjetje z verjetnostjo $1 - \xi_F$ postavi novo optimalno ceno, z verjetnostjo ξ_F pa svoje cene ne more spremeniti. Podjetja, ki v danem trenutku nimajo možnosti spremeniti svoje cene, prav tako sledijo naslednjemu indeksacijskemu pravilu:

$$P_{F,t+k}(j) = \left(\frac{P_{F,t+k-1}}{P_{F,t-1}} \right)^{\delta_F} P_{F,t}(j), \quad (95)$$

kar pomeni, da ceno indeksirajo glede na preteklo stopnjo inflacije.

Optimizacijski problem uvoznih podjetij za maksimizacijo dobička je naslednji:

$$\max_{P_{F,t}^{nova}(j)} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_F)^k \Lambda_{t,t+k} \left[C_{F,t+k}(j) \left(\frac{P_{F,t+k}^{nova}(j)}{P_{F,t+k}} - MC_{F,t+k}^r \right) \right]. \quad (96)$$

Z vstavitvijo funkcije povpraševanja (24) in indeksacijskega pravila (95) v zgornji izraz dobim:

$$\begin{aligned} \max_{P_{F,t}^{nova}(j)} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_F)^k \Lambda_{t,t+k} C_{F,t+k} & \left\{ \left[\frac{P_{F,t}^{nova}(j)}{P_{F,t+k}} \left(\frac{P_{F,t+k-1}}{P_{F,t-1}} \right)^{\delta_F} \right]^{1-\varepsilon_F} \right. \\ & \left. - MC_{F,t+k}^r \left[\frac{P_{F,t}^{nova}(j)}{P_{F,t+k}} \left(\frac{P_{F,t+k-1}}{P_{F,t-1}} \right)^{\delta_F} \right]^{-\varepsilon_F} \right\}. \end{aligned} \quad (97)$$

Pogoj prvega reda glede na $P_{F,t}^{nova}(j)$ je naslednji:

$$E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_F)^k \Lambda_{t,t+k} C_{F,t+k} \left\{ \left[\frac{P_{F,t}^{nova}(j)}{P_{F,t+k}} \left(\frac{P_{F,t+k-1}}{P_{F,t-1}} \right)^{\delta_F} \right]^{1-\varepsilon_F} - \frac{\varepsilon_F}{\varepsilon_F - 1} MC_{F,t+k}^r \left[\frac{P_{F,t}^{nova}(j)}{P_{F,t+k}} \left(\frac{P_{F,t+k-1}}{P_{F,t-1}} \right)^{\delta_F} \right]^{-\varepsilon_F} \right\}. \quad (98)$$

Z enakim postopkom kot prej lahko tudi za uvozna podjetja na podlagi log-linearizacije pogoja prvega reda in uporabi agregatnega indeksa cen uvoženih dobrin izpeljem funkcijo optimalnega določanja cen oziroma Phillipsovo krivuljo:

$$\begin{aligned} \hat{\pi}_{F,t} &= \frac{\beta}{1 + \beta \delta_F} E_t \hat{\pi}_{F,t+1} + \frac{\delta_F}{1 + \beta \delta_F} \hat{\pi}_{F,t-1} \\ &+ \frac{1}{1 + \beta \delta_F} \frac{(1 - \beta \xi_F)(1 - \xi_F)}{\xi_F} \hat{m} \hat{c}_{F,t}^r + \varepsilon_t^F, \end{aligned} \quad (99)$$

kjer je ε_t^F cenovni šok v uvoznem sektorju, ki ga v model dodajam ad hoc.

Inflacijo cen uvoženih dobrin določa razmerje med cenami uvoženih dobrin na tujem in domačem trgu. Povečanje tega razmerja vodi v povišanje realnih mejnih stroškov uvoznih podjetij in s tem do višje stopnje inflacije cen uvoženih dobrin. Če bi bil v modelu prisoten tudi devizni tečaj, bi to razmerje določala nominalna depreciacija domače valute. Parameter ξ_F določa stopnjo odstopanja od zakona ene cene. Če bi bile cene uvoženih dobrin popolnoma fleksibilne ($\xi_F = 0$), bi velja naslednja povezava:

$$P_{F,t} = \frac{\varepsilon_F}{\varepsilon_F - 1} MC_{F,t}^n \quad (100)$$

oziroma v log-linearizirani obliki:

$$\hat{p}_{F,t} = \hat{p}_t^*. \quad (101)$$

4.4 Tuje gospodarstvo

V pričujočem modelu za tuje gospodarstvo upoštevam prvih 12 držav članic evroobmočja. Pri modeliranju tujega gospodarstva izhajam iz dejstva, da je Slovenija majhno odprto gospodarstvo, zato ekonomsko dogajanje pri nas ne vpliva na dinamiko tujih spremenljivk. Tuje spremenljivke so z vidika domačega gospodarstva eksogeno dane, zato dinamiko tujega proizvoda in tuje inflacije v modelu opisujem s stacionarnima AR(1) procesoma (Masten, 2008, str. 128):

$$\hat{y}_t^* = \rho_y \hat{y}_{t-1}^* + \varepsilon_{y^*,t} \quad (102)$$

in

$$\hat{\pi}_t^* = \rho_{\pi} \hat{\pi}_{t-1}^* + \varepsilon_{\pi^*,t}, \quad (103)$$

kjer je $\varepsilon_{y^*,t}$ šok v tujem proizvodu in $\varepsilon_{\pi^*,t}$ šok v tuji inflaciji, za tujo obrestno mero pa predpostavljam, da jo tuja centralna banka (ECB) določa na podlagi Taylorjevega pravila naslednje oblike:

$$\hat{i}_t^* = f_{\pi^*} \hat{\pi}_t^* + f_{y^*} \hat{y}_t^* + \varepsilon_{i^*,t}, \quad (104)$$

kjer sta f_{π^*} in f_{y^*} uteži pri inflaciji in proizvodu, $\varepsilon_{i^*,t}$ pa je šok v denarni politiki.

4.5 Tržno ravnotežje

4.5.1 Agregatno povpraševanje in določitev proizvoda

Ravnotežni pogoj na trgu dobrin zahteva izenačitev domače proizvodnje dobrine j z njenim povpraševanjem:

$$Y_{H,t}(j) = C_{H,t}(j) + C_{H,t}^*(j), \quad (105)$$

za vsak $j \in [0,1]$.

Če v enačbo (105) vstavim funkciji domačega in tujega povpraševanja po j -ti različici domače dobrine, dobim:

$$Y_{H,t}(j) = \left(\frac{P_{H,t}(j)}{P_{H,t}} \right)^{-\varepsilon_H} C_{H,t} + \left(\frac{P_{H,t}(j)}{P_{H,t}} \right)^{-\varepsilon_H} C_{H,t}^*. \quad (106)$$

Zgornji izraz nato integriram po vseh dobrinah:

$$\int_0^1 Y_{H,t}(j) dj = \left(\frac{1}{P_{H,t}} \right)^{-\varepsilon_H} (C_{H,t} + C_{H,t}^*) \int_0^1 P_{H,t}(j)^{-\varepsilon_H} dj, \quad (107)$$

tako da dobim agregatni pogoj na trgu dobrin:

$$Y_{H,t} = C_{H,t} + C_{H,t}^*. \quad (108)$$

Ravnotežni pogoj na trgu dobrin v tujem gospodarstvu je naslednji:

$$Y_t^* = C_t^*. \quad (109)$$

Če enačbo (108) log-lineariziram, dobim:

$$\hat{y}_{H,t} = \frac{C_H}{Y_H} \hat{c}_{H,t} + \frac{C_H^*}{Y_H} \hat{c}_{H,t}^*, \quad (110)$$

kjer sta $\frac{C_H}{Y_H}$ in $\frac{C_H^*}{Y_H}$ deleža domače in tuje potrošnje domačih dobrin v celotnem domačem proizvodu.

Domače povpraševanje po domačih dobrinah lahko v log-linearni obliki zapišem z naslednjim izrazom:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{H,t} &= \hat{z}_t - \theta(\hat{p}_{H,t} - \hat{p}_{Z,t}) \\ &= -\eta\delta(\kappa\hat{s}_{F,t} - \hat{s}_{O,t}) + \hat{c}_t - \theta[\hat{p}_{H,t} - (1 - \kappa)\hat{p}_{H,t} - \kappa\hat{p}_{F,t}] \\ &= (\theta - \eta\delta)\kappa\hat{s}_{F,t} + \eta\delta\hat{s}_{O,t} + \hat{c}_t, \end{aligned} \quad (111)$$

tuje povpraševanje po domačih dobrinah pa:

$$\hat{c}_{H,t}^* = \hat{c}_t^* - \theta(\hat{p}_{H,t}^* - \hat{p}_t^*) = \hat{c}_t^* - \theta(\hat{p}_{H,t} - \hat{\psi}_{F,t} - \hat{p}_{F,t}) = \theta(\hat{s}_{F,t} + \hat{\psi}_{F,t}) + \hat{c}_t^*. \quad (112)$$

Če enačbi (111) in (112) uporabim v enačbi (110) in pri tem upoštevam $\frac{C_H}{Y_H} = (1 - \kappa)$, $\frac{C_H^*}{Y_H} = \kappa$ in enačbo (109) dobim ravnotežni pogoj na trgu dobrin:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{H,t} &= \hat{y}_t^* + \left\{ (1 - \kappa)(\theta - \eta\delta)\kappa + (1 - \kappa)\frac{1}{\sigma}[1 - (1 - \delta)\kappa] + \kappa\theta \right\} \hat{s}_{F,t} \\ &\quad + (1 - \kappa)\delta\left(\eta - \frac{1}{\sigma}\right)\hat{s}_{O,t} + \left[(1 - \kappa)\frac{1}{\sigma} + \kappa\theta\right]\hat{\psi}_{F,t} \\ &\quad + (1 - \kappa)\frac{1}{\sigma}\hat{\chi}_t^C, \end{aligned} \quad (113)$$

iz katerega je razvidno, da je domači proizvod odvisen od tujega proizvoda in vseh treh relativnih cen, ki nastopajo v modelu, pri čemer je njihov vpliv na domači proizvod odvisen od vrednosti parametrov.

V modelu brez investicij in državne potrošnje je izraz za bruto domači proizvod naslednji:

$$Y = C_t + X_t - M_t, \quad (114)$$

kjer oznaka X_t predstavlja izvoz, oznaka M_t pa uvoz.

V log-linearizirani obliki ima enačba (114) naslednjo obliko:

$$\hat{y}_t = \frac{C}{Y} \hat{c}_t + \frac{X}{Y} \hat{x}_t - \frac{M}{Y} \hat{m}_t, \quad (115)$$

kjer je $\frac{C}{Y}$ delež potrošnje, $\frac{X}{Y}$ delež izvoza in $\frac{M}{Y}$ delež uvoza v celotnem BDP-ju.

Celotna potrošnja je sestavljena iz potrošnje domačih dobrin, uvoženih dobrin in potrošnje nafte s strani gospodinjstev:

$$\begin{aligned} C_t &= C_{H,t} + C_{F,t} + O_{C,t} \\ &= (1 - \kappa) \left(\frac{P_{H,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} Z_t + \kappa \left(\frac{P_{F,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} Z_t + \delta \left(\frac{P_{O,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t. \end{aligned} \quad (116)$$

Izvoz je sestavljen iz tujega povpraševanja po domačih dobrinah:

$$X_t = C_{H,t}^* = \kappa^* \left(\frac{P_{H,t}}{P_t^*} \right)^{-\theta} C_t^*, \quad (117)$$

uvoz pa iz uvoženih dobrin in celotnega povpraševanja po nafti (gospodinjstev in domačih podjetij):

$$\begin{aligned} M_t &= C_{F,t} + O_{C,t} + O_{Y,t} \\ &= \kappa \left(\frac{P_{F,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} Z_t + \delta \left(\frac{P_{O,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t + \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \frac{W_t}{P_{O,t} A_t} \right)^\alpha Y_{H,t}. \end{aligned} \quad (118)$$

Na osnovi dosedanjih enačb lahko izpeljem tudi dinamično IS krivuljo majhnega odprtega gospodarstva, ki ima naslednjo obliko:

$$\begin{aligned}
\hat{y}_{H,t} &= E_t \hat{y}_{H,t+1} - \frac{1}{\sigma} (\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{H,t+1}) \\
&- \kappa \left\{ \begin{aligned} &2\theta - \eta\delta - \frac{1}{\sigma}(1 - \delta) \\ &-(\theta - \eta\delta)\kappa - \frac{1}{\sigma}[1 - (1 - \delta)\kappa] \end{aligned} \right\} E_t \Delta \hat{s}_{F,t+1} \\
&- (1 - \kappa)\delta \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta \hat{s}_{O,t+1} - \kappa \left(\theta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta \hat{\psi}_{F,t+1} \\
&- \frac{1}{\sigma} (1 - \kappa) E_t \Delta \hat{\chi}_{t+1}^c.
\end{aligned} \tag{119}$$

Zgornjo IS krivuljo je mogoče zapisati tudi v enotah proizvodne vrzeli in iz nje izpeljati naravno obrestno mero. Omenjene izpeljave bodo prišle prav pri uporabi modela na gospodarstvih, ki niso znotraj denarnega območja, saj se v tem primeru lahko opredeli delovanje centralne banke in se usmeri na proučevanje optimalne denarne politike v odziv na naftne šoke.

4.5.2 Stran ponudbe: povezava med realnimi mejnimi stroški in proizvodno vrzeljo

Proizvodna vrzel (oznaka zanjo v modelu je $\hat{\tilde{y}}_{H,t}$) je teoretični koncept, ki v pričujočem modelu meri razliko med dejanskim $\hat{y}_{H,t}$ in naravnim proizvodom $\hat{y}_{H,t}^n$, to je tistim, ki bi ga gospodarstvo doseglo, če bi bile cene domačih in uvoženih dobrin popolnoma fleksibilne:

$$\hat{\tilde{y}}_{H,t} = \hat{y}_{H,t} - \hat{y}_{H,t}^n. \tag{120}$$

Izraz za naravni proizvod je naslednji:

$$\hat{y}_{H,t}^n = \frac{1 + \varphi}{\varphi} \hat{a}_t - \frac{\sigma}{\varphi} \hat{y}_t^* - \frac{1}{\varphi} \hat{s}_{F,t}^n - \frac{(1 + \varphi)(1 - \alpha)}{\alpha \varphi} \hat{s}_{O,t}^n - \frac{1}{\varphi} \hat{\chi}_t^N. \tag{121}$$

Če enačbo (121) odštejem od enačbe (93) z izraženim domačim proizvodom, dobim izraz, ki povezuje realne mejne stroške s proizvodno vrzeljo:

$$\begin{aligned}
\widehat{mc}_{H,t}^r &= \frac{\alpha \varphi}{1 + \varphi(1 - \alpha)} \hat{\tilde{y}}_{H,t} + \frac{\alpha}{1 + \varphi(1 - \alpha)} \hat{\psi}_{F,t} + \frac{\alpha}{1 + \varphi(1 - \alpha)} \hat{s}_{F,t} \\
&+ \frac{(1 + \varphi)(1 - \alpha)}{1 + \varphi(1 - \alpha)} \hat{s}_{O,t}.
\end{aligned} \tag{122}$$

Iz enačbe (122) je razvidno, da ob prisotnosti relativnih cen naftnih derivatov in odstopanju od zakona ene cene na ravni uvoznih podjetij, ne obstaja popolna proporcionalna povezava

med realnimi mejnimi stroški in proizvodno vrzeljo, kot v običajnem kanoničnem zapisu modela brez naftnih šokov in ob veljavnosti zakona ene cene.

$\hat{\hat{s}}_{F,t}$ v enačbi (122) meri razliko med relativnimi cenami uvoženih dobrin in naravno vrednostjo tega razmerja:

$$\hat{\hat{s}}_{F,t} = \hat{s}_{F,t} - \hat{s}_{F,t}^n, \quad (123)$$

$\hat{\hat{s}}_{O,t}$ pa razliko med relativnimi cenami naftnih derivatov in naravno ravno relativnih cen naftnih derivatov:

$$\hat{\hat{s}}_{O,t} = \hat{s}_{O,t} - \hat{s}_{O,t}^n. \quad (124)$$

Nazadnje moram definirati še naravne ravni obeh relativnih cen. Skladno z Monacelli (2005, str. 1062) predpostavljam, da ob popolni cenovni fleksibilnosti domače cene ostanejo nespremenjene na optimalni ravni, kar pomeni, da je njihovo odstotno odstopanje od ustaljenega stanja enako 0 ($\hat{p}_{H,t}^n = 0$). Omenjena predpostavka mi omogoča, da lahko zapišem naravno raven relativnih cen naftnih derivatov kot:

$$\hat{s}_{O,t}^n = \hat{p}_{O,t}^n, \quad (125)$$

pri čemer je naravna raven cen naftnih derivatov enaka:

$$\hat{p}_{O,t}^n = \frac{p_O^w}{p_O^w + \tau_{TR}} \hat{p}_{O,t}^w + \frac{\tau_{TR}}{p_O^w + \tau_{TR}} \hat{t}_{TR,t}^n, \quad (126)$$

naravna raven trošarin pa je:

$$\hat{t}_{TR,t}^n = \rho_{TR} \hat{t}_{TR,t-1}^n - \phi_1 \hat{p}_{O,t}^w - \phi_2 [\kappa(1 - \delta) \hat{s}_{F,t}^n + \delta \hat{s}_{O,t}^n]. \quad (127)$$

Izraz za naravno raven relativnih cen uvoženih dobrin pa lahko pridobim iz enačbe (113):

$$\hat{s}_{F,t}^n = \frac{\hat{y}_{H,t}^n - \hat{y}_t^* - (1 - \kappa) \delta \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) \hat{s}_{O,t}^n - (1 - \kappa) \frac{1}{\sigma} \hat{\chi}_t^c}{(1 - \kappa)(\theta - \eta \delta) \kappa + (1 - \kappa) \frac{1}{\sigma} [1 - (1 - \delta) \kappa] + \kappa \theta}. \quad (128)$$

Enačbo (122) lahko uporabim v Phillipsovi krivulji (90) in dobim povezavo med inflacijo in proizvodno vrzeljo:

$$\begin{aligned}
\hat{\pi}_{H,t} = & \frac{\beta}{1 + \beta\delta_H} E_t \hat{\pi}_{H,t+1} + \frac{\delta_H}{1 + \beta\delta_H} \hat{\pi}_{H,t-1} \\
& + \frac{1}{1 + \beta\delta_H} \frac{(1 - \beta\xi_H)(1 - \xi_H)}{\xi_H} \left[\frac{\alpha\varphi}{1 + \varphi(1 - \alpha)} \hat{y}_{H,t} + \frac{\alpha}{1 + \varphi(1 - \alpha)} \hat{\psi}_{F,t} \right] \\
& + \frac{\alpha}{1 + \varphi(1 - \alpha)} \hat{s}_{F,t} + \frac{(1 + \varphi)(1 - \alpha)}{1 + \varphi(1 - \alpha)} \hat{s}_{O,t} \Big] \\
& + \varepsilon_t^H.
\end{aligned} \tag{129}$$

Iz enačbe (129) sledi, da pozitivna proizvodna vrzel vodi v višjo inflacijo in obratno. Iz teorije namreč izhaja, da višje cene nafte povečujejo strošek majhnega odprtega gospodarstva in zato imajo negativen vpliv na naravni proizvod ter posledično pozitivno vplivajo na proizvodno vrzel.

5 OCENJEVANJE MODELA

5.1 Predstavitev metode ocenjevanja

Za ocenjevanje strukturnih parametrov in šokov modela uporabljam Bayesijsko statistično metodo, ki zaradi napredka računalniške tehnologije vse bolj pridobiva na pomenu. Temelji Bayesijske metode izhajajo iz Bayesovega obrazca, ki v svoji osnovni obliki pravi, da je pogojna verjetnost dogodka A enaka zmnožku pogojne verjetnosti dogodka B in mejne verjetnosti dogodka A , deljene z mejno verjetnostjo dogodka B :

$$p(A|B) = \frac{p(B|A)p(A)}{p(B)}. \tag{130}$$

Za potrebe ocenjevanja strukturnih parametrov modela lahko zgornji Bayesov obrazec preuredim tako, da namesto posameznih dogodkov uporabim vektor parametrov θ , ki jih želim oceniti, in vektor opazljivih spremenljivk Y^T modela do trenutka T , in dobim (Mancini Griffoli, 2011, str. 80):

$$p(\theta|Y^T) = \frac{p(\theta; Y^T)}{p(Y^T)} \tag{131}$$

ter

$$p(Y^T|\theta) = \frac{p(\theta; Y^T)}{p(\theta)}, \tag{132}$$

kjer je $p(\theta|Y^T)$ pogojna verjetnost parametrov glede na podatke (posteriorna porazdelitev), $p(\theta; Y^T)$ je skupna porazdelitev parametrov in podatkov, $p(Y^T|\theta)$ je pogojna porazdelitev podatkov glede na parametre modela ali tudi funkcija verjetja, $p(\theta)$ je nepogojna porazdelitev parametrov oziroma priorna porazdelitev, $p(Y^T)$ pa označuje mejno porazdelitev podatkov.

Če zgornja obrazca združim, dobim:

$$p(\theta_A|Y^T, A) = \frac{p(Y^T|\theta_A, A)p(\theta_A, A)}{p(Y^T|A)}, \quad (133)$$

pri čemer je črka A oznaka za model, mejna porazdelitev podatkov modela $p(Y^T|A)$ pa je podana z:

$$\begin{aligned} p(Y^T|A) &= \int_{\Theta_A} p(\theta_A; Y^T|A) d\theta_A = \int_{\Theta_A} p(Y^T|\theta_A, A)p(\theta_A|A) d\theta_A \\ &= \int_{\Theta_A} K(\theta_A|Y^T, A) d\theta_A, \end{aligned} \quad (134)$$

kjer je Θ_A celoten prostor parametrov modela A .

Ker je člen $p(Y^T|A)$ v enačbi (133) neodvisen od parametrov modela, ga lahko smatram za konstanto, tako da lahko zgornji obrazec zapišem kot:

$$p(\theta_A|Y^T, A) \propto p(Y^T|\theta_A, A)p(\theta_A|A) \equiv K(\theta_A|Y^T, A), \quad (135)$$

kjer je $K(\theta_A|Y^T, A)$ posteriorna gostota (angl. *posterior kernel*). Iz enačbe (135) sledi, da je posteriorna verjetnost regresijskih parametrov sorazmerna zmnožku pogojne verjetnosti podatkov in priornih vrednosti parametrov. Bayesianška metoda pri ocenjevanju strukturnih parametrov modela upošteva tako posameznikova predhodna prepričanja o vrednostih ocenjevanih parametrov (priorne vrednosti) kot tudi informacije, ki jih vsebujejo uporabljeni podatki (funkcija verjetja).

Ocenjevanje modela običajno poteka v določenih fazah. Model je potrebno najprej log-linearizirati in ga zapisati v obliki prostora stanj. Pri ocenjevanju modela je pomembno, da je število opazljivih spremenljivk enako številu strukturnih šokov, saj je v nasprotnem primeru prisoten problem stohastične singularnosti (angl. *stochastic singularity*), ki pomeni, da variančno-kovariančna matrika opazljivih spremenljivk ni obrnljiva. Opisana težava je med drugim rešljiva z dodajanjem merskih napak v model ali z vključitvijo dodatnih strukturnih šokov, ki pa morajo imeti smiselno ekonomsko razlago (Tovar, 2009, str. 18). Posameznik lahko pred samo izvedbo ocenjevanja izračuna opisne statistike dejanskih podatkov in jih kasneje primerja z enakimi statistikami podatkov, pridobljenimi na podlagi modelskih

simulacij. Računalnik nato iz priornih vrednosti in podatkov sestavi posteriorno gostoto in s pomočjo simulacijske metode (z uporabo Metropolis-Hastingsovega algoritma) pridobi posteriorno porazdelitev parametrov. Dodatna stvar, ki jo Bayesijska metoda omogoča, je primerjava različnih modelov na osnovi ocene mejne funkcije verjetja, na podlagi katere je mogoče izračunati Bayesov faktor (angl. *Bayesian factor*):

$$BF_{A,B} = \frac{p(Y^T|A)}{p(Y^T|B)} \quad (136)$$

in posteriorno razmerje obetov (angl. *posterior odds ratio*):

$$PO_{A,B} = \frac{p(A)}{p(B)} BF_{A,B}. \quad (137)$$

Bayesov faktor pri izbiri med dvema različnima modeloma upošteva prileganje modela podatkom, posteriorno razmerje obetov pa poleg tega upošteva tudi posameznikova predhodna prepričanja o ustreznosti posameznega modela, kar odraža priorno razmerje obetov $\frac{p(A)}{p(B)}$. Za izračun obeh statistik je potrebno pridobiti mejno funkcijo verjetja, zapisano z enačbo (134), pri čemer se v literaturi omenjata predvsem dva pristopa, in sicer Laplace aproksimacija in cenilka modificirane harmonične sredine. Na koncu lahko posameznik napravi še senzitivnostno analizo, tako da model oceni z različnimi priornimi vrednostmi, s čimer je možno preveriti robustnost dobljenih rezultatov (Canova, 2007, str. 441-442). Na ravni magistrskega dela se osredotočam zgolj na oceno nekaterih strukturnih parametrov, ostale možnosti v okviru Bayesijske metode pa puščam za nadaljnje raziskovanje.

5.1.1 Funkcija verjetja

Pomemben korak v procesu ocenjevanja DSGE modela je ovrednotenje funkcije verjetja, ki odraža porazdelitveno funkcijo opazljivih spremenljivk kot funkcijo parametrov modela in neopazljivih modelskih spremenljivk. V ta namen lahko na podlagi rešitve modela zapišem model v prostoru stanj z naslednjima dvema povezavama (Fernández-Villaverde, 2010, str. 15-17):

$$S_t = f(S_{t-1}, W_t, \theta) \quad (138)$$

in

$$Y_t = g(S_t, V_t, \theta). \quad (139)$$

Enačba (138) je enačba prehoda (angl. *transition equation*), ki povezuje vektor stanj S_t z vektorjem stanj v predhodnem obdobju S_{t-1} in strukturnimi šoki modela W_t . Enačba (139), ki se imenuje merska enačba (angl. *measurement equation*), pa prikazuje odvisnost vektorja opazljivih spremenljivk Y_t od vektorja stanj in merskih napak V_t . Parameter θ pa označuje strukturne parametre modela.

Ob uporabi enačbe (138) v enačbi (139) lahko zapišem:

$$Y_t = g[f(S_{t-1}, W_t, \theta), V_t, \theta]. \quad (140)$$

Na podlagi enačb (138) in (139) lahko izračunam tudi naslednji verjetnosti:

$$p(S_t | S_{t-1}, \theta) \quad (141)$$

in

$$p(Y_t | S_t, \theta). \quad (142)$$

Funkcijo verjetja $p(Y^T | \theta)$ lahko pridobim na naslednji rekurzivni način:

$$\begin{aligned} p(Y^T | \theta) &= p(y_1 | \theta) \prod_{t=2}^T p(y_t | Y^{t-1}, \theta) \\ &= \int p(y_1 | S_1, \theta) dS_1 \prod_{t=2}^T \int p(y_t | S_t, \theta) p(S_t | Y^{t-1}, \theta) dS_t. \end{aligned} \quad (143)$$

Poznavanje pogojne verjetnosti stanj $\{p(S_t | Y^{t-1}, \theta)\}_{t=1}^T$ in njihovih priornih vrednosti $p(S_1)$ mi omogoča izračun funkcije verjetja.

Pogojno verjetnost stanj glede na predhodna opazovanja je mogoče pridobiti s pomočjo Chapman-Kolmogorove enačbe. Omenjena enačba pove, da je pogojna verjetnost stanj glede na pretekla opazovanja enaka prehodni verjetnosti stanj pomnoženi s preteklo pogojno verjetnostjo stanj, integrirano po vseh možnih stanjih:

$$p(S_t | Y^{t-1}, \theta) = \int p(S_t | S_{t-1}, \theta) p(S_{t-1} | Y^{t-1}, \theta) dS_{t-1}. \quad (144)$$

S pomočjo Bayesovega obrazca lahko zgornjo napoved pogojne verjetnosti stanja posodobim z novo meritvijo:

$$p(S_t|Y^t, \theta) = \frac{p(y_t|S_t, \theta)p(S_t|Y^{t-1}, \theta)}{p(y_t|Y^{t-1}, \theta)}, \quad (145)$$

kjer je:

$$p(y_t|Y^{t-1}, \theta) = \int p(y_t|S_t, \theta)p(S_t|Y^{t-1}, \theta)dS_t \quad (146)$$

pogojna funkcija verjetja.

Ker je zgornji postopek računsko zapleten in zahteva veliko integriranja, lahko za oceno funkcije verjetja uporabim Kalmanov filter, ki velja za pomembno orodje v uporabni makroekonomiji. Osnovna značilnost Kalmanovega filtra je, da gre za rekurzivno metodo, ki omogoča optimalno ocenjevanje vektorja stanj na podlagi opazljivih spremenljivk in posodobitev te ocene ob dostopnosti nove meritve (Canova, 2007, str. 200).

V nadaljevanju prikazujem izpeljave enačb diskretnega Kalmanovega filtra, ki jih povzemam po Hamilton (1994, str. 92-101), Fernández-Villaverde (2010, str. 17-18), Canova (2007, str. 199) in Perše (2004, str. 11-18; 59-61).

Enačbo prehoda (138) in mersko enačbo (139) lahko s konkretnima funkcijskima oblikama zapišem kot:

$$s_t = As_{t-1} + w_t \quad (147)$$

in

$$y_t = Bs_t + v_t, \quad (148)$$

kjer je s_t vektor spremenljivk stanja, y_t je vektor opazljivih spremenljivk modela, w_t je vektor strukturnih šokov, v_t predstavlja vektor merskih napak, A in B pa sta ustrezni matriki strukturnih parametrov modela.

Za vektor strukturnih šokov predpostavljam, da se porazdeljuje normalno z aritmetično sredino 0, njegova variančno-kovariančna matrika pa je Q , kar lahko zapišem kot:

$$E[w_t] = 0, \quad E[w_t w_k'] = \begin{cases} Q, & t = k \\ 0, & t \neq k \end{cases} \quad (149)$$

Prav tako za vektor merskih napak uporabim predpostavko o normalni porazdelitvi z aritmetično sredino 0 in variančno-kovariančno matriko, ki jo tokrat označujem z R :

$$E[v_t] = 0,$$

$$E[v_t v_k'] = \begin{cases} R, & t = k \\ 0, & t \neq k \end{cases} \quad (150)$$

Pred začetkom razlage moram podati nekaj osnovnih definicij, ki bodo prišle prav pri nadaljnjih izpeljavah. Obstajata dve različni oceni vektorja stanj. Prva je priorna ocena vektorja stanj, ki jo označujem s $s_{t|t-1}$, in pomeni oceno vektorja stanj v trenutku, ko y^t še ni znan:

$$s_{t|t-1} \equiv E[s_t | y^{t-1}], \quad (151)$$

druga pa je posteriorna ocena vektorja stanj z oznako $s_{t|t}$, pri čemer je y^t v trenutku dajanja ocene poznan:

$$s_{t|t} \equiv E[s_t | y^t]. \quad (152)$$

Variančno-kovariančni matriki priorne in posteriorne ocene vektorja stanj sta naslednji:

$$\Sigma_{t|t-1} = E \left[(s_t - s_{t|t-1})(s_t - s_{t|t-1})' | y^{t-1} \right] \quad (153)$$

in

$$\Sigma_{t|t} = E \left[(s_t - s_{t|t})(s_t - s_{t|t})' | y^t \right]. \quad (154)$$

Zapišem lahko tudi priorno oceno vektorja opazljivih spremenljivk:

$$y_{t|t-1} \equiv E[y_t | y^{t-1}] \quad (155)$$

in njeno variančno-kovariančno matriko, ki jo označujem s simbolom $\Omega_{t|t-1}$:

$$\Omega_{t|t-1} = E \left[(y_t - y_{t|t-1})(y_t - y_{t|t-1})' | y^{t-1} \right]. \quad (156)$$

Ker je Kalmanov filter linearen, lahko zapišem, da je posteriorna ocena vektorja stanj enaka priorni oceni vektorja stanj, popravljeni za novo meritev:

$$s_{t|t} = Fs_{t|t-1} + Ky_t. \quad (157)$$

Nadalje lahko zapišem vektor napake posteriorne ocene stanja:

$$e_{t|t} = s_{t|t} - s_t \quad (158)$$

in vektor napake priorne ocene stanja:

$$e_{t|t-1} = s_{t|t-1} - s_t. \quad (159)$$

Če v enačbi za vektor napake posteriorne ocene uporabim enačbi (157) in (159), dobim:

$$e_{t|t} = s_{t|t} - s_t = Fs_{t|t-1} + Ky_t - s_t = F(s_t + e_{t|t-1}) + Ky_t - s_t. \quad (160)$$

V enačbi (160) dodatno upoštevam enačbo (148), tako da dobim:

$$\begin{aligned} e_{t|t} &= F(s_t + e_{t|t-1}) + K(Bs_t + v_t) - s_t \\ &= Fe_{t|t-1} + (F + KB - I)s_t + Kv_t. \end{aligned} \quad (161)$$

Če želim, da je posteriorna ocena vektorja stanj nepristranska, mora biti srednja vrednost napake med posteriorno oceno vektorja stanj in njeno dejansko vrednostjo enaka 0:

$$E[e_{t|t}] = FE[e_{t|t-1}] + (F + KB - I)E[s_t] + KE[v_t] = 0. \quad (162)$$

Zgornji pogoj je izpolnjen, ko matriki F in K zadoščata naslednjemu pogoju:

$$F + KB - I = 0, \quad (163)$$

oziroma:

$$F = I - KB. \quad (164)$$

Če pogoj (164) upoštevam v enačbi (157), dobim:

$$s_{t|t} = (I - KB)s_{t|t-1} + Ky_t = s_{t|t-1} + K(y_t - Bs_{t|t-1}). \quad (165)$$

Ob uporabi pogoja (164) v enačbi (161) dobim naslednji izraz za napako posteriorne ocene vektorja stanj:

$$e_{t|t} = (I - KB)e_{t|t-1} + Kv_t. \quad (166)$$

V nadaljevanju lahko ob uporabi enačbe (166) zapišem izraz za variančno-kovariančno matriko posteriorne ocene vektorja stanj:

$$\begin{aligned}\Sigma_{t|t} &= E \left[\left((I - KB)e_{t|t-1} + Kv_t \right) \left((I - KB)e_{t|t-1} + Kv_t \right)' \right] \\ &= E \left[(I - KB)e_{t|t-1}e_{t|t-1}'(I - KB)' + Kw_t w_t' K' \right] \\ &\quad + E \left[(I - KB)e_{t|t-1}K'v_t' + Kv_t(I - KB)'e_{t|t-1}' \right].\end{aligned}\quad (167)$$

Zgornjo enačbo lahko ob upoštevanju $e_{t|t-1}v_t' = 0$, $v_t e_{t|t-1}' = 0$, $e_{t|t-1}e_{t|t-1}' = \Sigma_{t|t-1}$ in $w_t w_t' = R$ preoblikujem v:

$$\Sigma_{t|t} = (I - KB)\Sigma_{t|t-1}(I - KB)' + K R K'. \quad (168)$$

Enačbo (168) lahko zapišem v razširjeni obliki kot:

$$\Sigma_{t|t} = \Sigma_{t|t-1} + K(B\Sigma_{t|t-1}B' + R)K' - KB\Sigma_{t|t-1} - (KB\Sigma_{t|t-1})'. \quad (169)$$

Optimalno Kalmanovo matriko, ki minimizira enačbo (169), dobim tako, da najprej zapišem sled (angl. *trace*; oznaka je Tr) zgornje enačbe:

$$\text{Tr}[\Sigma_{t|t}] = \text{Tr}[\Sigma_{t|t-1}] + \text{Tr}[K(B\Sigma_{t|t-1}B' + R)K'] - 2\text{Tr}[KB\Sigma_{t|t-1}] \quad (170)$$

in jo nato odvajam glede na K , tako da dobim:

$$\frac{\partial \text{Tr}(\Sigma_{t|t})}{\partial K} = K \left[B\Sigma_{t|t-1}B' + (B\Sigma_{t|t-1}B')' \right] - 2(B\Sigma_{t|t-1})' = 0. \quad (171)$$

Iz enačbe (171) nato izrazim optimalno Kalmanovo matriko:

$$K = \Sigma_{t|t-1}B'(B\Sigma_{t|t-1}B' + R)^{-1}. \quad (172)$$

Če optimalno Kalmanovo matriko uporabim v enačbi (168), dobim naslednji izraz za variančno-kovariančno matriko napake posteriorne ocene stanja:

$$\begin{aligned}
\Sigma_{t|t} &= (I - KB)\Sigma_{t|t-1}(I - KB)' + KKK' \\
&= \Sigma_{t|t-1} - KB\Sigma_{t|t-1} - \Sigma_{t|t-1}B'K' + KB\Sigma_{t|t-1}B'K' + KKK' \\
&= \Sigma_{t|t-1} - KB\Sigma_{t|t-1} - \Sigma_{t|t-1}B'K' + K(B\Sigma_{t|t-1}B' + R)K' \\
&= \Sigma_{t|t-1} - KB\Sigma_{t|t-1} - \Sigma_{t|t-1}B'K' \\
&\quad + \Sigma_{t|t-1}B'(B\Sigma_{t|t-1}B' + R)^{-1}(B\Sigma_{t|t-1}B' + R)K' \\
&= \Sigma_{t|t-1} - KB\Sigma_{t|t-1} - \Sigma_{t|t-1}B'K' + \Sigma_{t|t-1}B'K' \\
&= \Sigma_{t|t-1} - KB\Sigma_{t|t-1} = (I - KB)\Sigma_{t|t-1}.
\end{aligned} \tag{173}$$

Ker imam sedaj izpeljane vse potrebne enačbe, lahko Kalmanov filter predstavim v naslednjih korakih (Canova, 2007, str. 200-201):

- ❖ Določitev začetne priorne ocene vektorja stanj $s_{t|t-1}$ in variančno-kovariančne matrike $\Sigma_{t|t-1}$;
- ❖ Izračun priorne ocene vektorja opazljivih spremenljivk in pripadajoče variančno-kovariančne matrike za obdobje t :

$$y_{t|t-1} = E[y_t | y^{t-1}] = E[Bs_t + Dv_t | y^{t-1}] = Bs_{t|t-1} \tag{174}$$

$$\begin{aligned}
\Omega_{t|t-1} &= E[(y_t - y_{t|t-1})(y_t - y_{t|t-1})' | y^{t-1}] \\
&= E[(Bs_t + v_t - Bs_{t|t-1})(Bs_t + v_t - Bs_{t|t-1})' | y^{t-1}] \\
&= E[B(s_t - s_{t|t-1})(s_t - s_{t|t-1})'B' | y^{t-1}] + E[v_t v_t' | y^{t-1}] \\
&= B\Sigma_{t|t-1}B' + R;
\end{aligned} \tag{175}$$

- ❖ Izračun funkcije verjetja na podlagi opazovanj do trenutka t :

$$L(y_t | \theta) = -\frac{n}{2} \log 2\pi - \frac{1}{2} \log |\Omega_{t|t-1}| - \frac{1}{2} (y_t - y_{t|t-1}) \Omega_{t|t-1}^{-1} (y_t - y_{t|t-1})'; \tag{176}$$

- ❖ Izračun posteriorne ocene vektorja stanj in pripadajoče variančno-kovariančne matrike za obdobje t :

$$s_{t|t} = s_{t|t-1} + \Sigma_{t|t-1}B'\Omega_{t|t-1}^{-1}(y_t - y_{t|t-1}) \tag{177}$$

$$\Sigma_{t|t} = \Sigma_{t|t-1} - \Sigma_{t|t-1}B'\Omega_{t|t-1}^{-1}B\Sigma_{t|t-1}; \tag{178}$$

- ❖ Izračun priorne ocene vektorja stanj in variančno-kovariančne matrike za obdobje $t + 1$:

$$s_{t+1|t} \equiv E[s_{t+1}|y^t] = E[(As_t + w_{t+1})|y^t] = As_{t|t} \quad (179)$$

$$\begin{aligned} \Sigma_{t+1|t} &= E \left[(s_{t+1} - s_{t+1|t})(s_{t+1} - s_{t+1|t})' | y^t \right] = \\ &= E \left[(As_t + w_{t+1} - As_{t|t})(As_t + w_{t+1} - As_{t|t})' | y^t \right] \\ &= E \left[A(s_t - s_{t|t})(s_t - s_{t|t})' A' | y^t \right] + E[w_{t+1}w_{t+1}' | y^t] \\ &= A\Sigma_{t|t}A' + Q; \end{aligned} \quad (180)$$

❖ Ponovitev prejšnjih korakov za $t = 2, 3, 4, \dots, T$.

5.1.2 Metropolis-Hastingsov algoritem

V naslednjem koraku Dynare na podlagi priornih vrednosti in funkcije verjetja izračuna logaritem posteriorne gostote (Mancini Griffoli, 2011, str. 82-83):

$$\ln K(\theta|Y^T) = \ln L(\theta|Y^T) + \ln p(\theta), \quad (181)$$

ki ga nato maksimizira glede na θ z uporabo izbrane numerične optimizacijske metode, tako da dobi oceno modusa posteriorne porazdelitve θ^m in Hessejeve matrike ovrednotene pri tem modusu $H(\theta^m)$. Za optimizacijo je na voljo več različnih metod, pri čemer uporabim metodo, ki jo je razvil Christopher Sims (metoda je v Matlabu znana pod imenom csminwel).

Ker je porazdelitev v enačbi (181) nelinearna v parametrih in jo je težko analitično izračunati, je potrebno za pridobitev posteriorne porazdelitve parametrov uporabiti simulacijske metode. Ena izmed takšnih je Metropolis-Hastingsov algoritem (v nadaljevanju M-H algoritem), ki deluje na način, da iz neke začetne porazdelitve (angl. *candidate generating density*) $q(\theta^{(s-1)}; \theta)$ vzorči vrednosti parametrov, pri čemer so vzorčene vrednosti parametrov odvisne samo od njihovih predhodnih vrednosti. To pomeni, da je M-H algoritem Monte Carlo simulacijska metoda, ki temelji na tvorjenju Markovskih verig (angl. *Monte-Carlo Markov-Chain Sampling Method*; v nadaljevanju MCMC metoda), kjer vzorčene vrednosti parametrov $(\theta^{(s)})$ za $s = 1, \dots, S$ predstavljajo verigo. Pred začetkom vzorčenja je potrebno izbrati neko začetno vrednost vektorja parametrov $\theta^{(0)}$. Algoritem nato iz porazdelitvene funkcije vzorči nov vektor parametrov θ^* in izračuna stopnjo sprejetja $\alpha(\theta^{(s-1)}; \theta^*)$, na osnovi katere sprejme predlagano vrednost parametra $\theta^{(s)} = \theta^*$, z verjetnostjo $1 - \alpha(\theta^{(s-1)}; \theta^*)$ pa obdrži vrednost parametra iz predhodnega obdobja $\theta^{(s)} = \theta^{(s-1)}$. Na koncu opisanega postopka, ki ga je mogoče ponoviti S -krat, sledi izračun povprečja $g(\theta^{(1)}) \dots g(\theta^{(S)})$ vseh sprejetih vrednosti, hkrati pa je potrebno iz Markovske verige

izpustiti določeno število sprejetih vrednosti parametrov, da se izniči vpliv začetnih arbitrarno določenih vrednosti (Koop, 2003, str. 92-93).

Delovanje M-H algoritma lahko bolj natančno predstavim v naslednjih korakih (Koop, 2003, str. 97-98; Mancini Griffoli, 2011, str. 83-84):

- ❖ Določitev začetne porazdelitvene funkcije, iz katere algoritem vzorči vrednosti parametrov:

$$\theta^* = \theta^{(s-1)} + z; \quad z \sim f_N(\theta^{s-1}, c\Sigma_{\theta^m}), \quad (182)$$

kjer je z naključna spremenljivka, ki se porazdeljuje normalno s srednjo vrednostjo θ^{s-1} in varianco Σ_{θ^m} , pri čemer je srednja vrednost enaka posteriornemu modusu, varianca pa inverzni vrednosti Hessejeve matrike, ovrednoteni pri posteriornemu modusu, ki ju Dynare izračuna pri maksimizaciji logaritma posteriorne gostote. c pa je faktor, ki zagotavlja ustrezno stopnjo sprejetja vzorčenih vrednosti parametrov;

- ❖ Vzorčenje novega vektorja parametrov θ^* iz porazdelitvene funkcije (182);
- ❖ Izračun stopnje sprejetja:

$$\alpha(\theta^{(s-1)}; \theta^*) = \frac{p(\theta^*|Y^T)}{p(\theta^{s-1}|Y^T)} = \frac{K(\theta^*|Y^T)}{K(\theta^{s-1}|Y^T)}; \quad (183)$$

- ❖ Sprejetje oziroma zavrnitev vzorčenega vektorja parametrov v skladu z naslednjim pravilom:

$$\theta^s = \begin{cases} \theta^*, & \text{z verjetnostjo } \min(\alpha, 1) \\ \theta^{s-1}, & \text{sicer;} \end{cases} \quad (184)$$

- ❖ V kolikor je predlagana vrednost θ^* sprejeta, je potrebno posodobiti srednjo vrednost začetne porazdelitvene funkcije (srednjo vrednost je potrebno postaviti na θ^*);
- ❖ Ponovitev prejšnjih korakov;
- ❖ Po zadostnem številu ponovitev sledi konstrukcija histograma sprejetih vrednosti parametrov.

V primeru ko je vrednost posteriorne gostote pri predlagani vrednosti parametra θ^* večja od vrednosti posteriorne gostote, izračunane pri predhodni vrednosti parametra θ^{s-1} , bo algoritem z gotovostjo sprejel predlagano vrednost in posodobil srednjo vrednost začetne

porazdelitvene funkcije. Tudi če je vrednost posteriorne gostote pri θ^* nižja od vrednosti pri θ^{s-1} , bo algoritem z določeno verjetnostjo želel obdržati predlagano vrednost parametra. Razlog je v tem, da lahko v porazdelitvi obstajata tako lokalni kot globalni maksimum. Če bi algoritem obdržal le vrednosti parametrov, pri katerih je posteriorna gostota večja, bi ga lahko to pripeljalo v lokalni maksimum, zato želi obdržati tudi parametre z nižjo vrednostjo posteriorne gostote, kar ga lahko v nadaljevanju privede celo do višjih vrednosti posteriorne gostote. V celotnem postopku vzorčenja je ključnega pomena varianca začetne porazdelitvene funkcije in faktor (angl. *scale factor*), s katerim je le-ta pomnožena. Če je varianca začetne funkcije, iz katere algoritem vzorči parametre, zelo majhna, bo stopnja sprejetja velika, kar pomeni, da algoritem ne bo preiskal celotne domene posteriorne porazdelitve, zato obstaja verjetnost, da se bo Markovska veriga ustalila pri lokalnem maksimumu. V kolikor pa je varianca velika, bo stopnja sprejetja majhna. V tem primeru bo algoritem veliko časa pri iskanju porabil pri repih porazdelitve in bo težko našel maksimum porazdelitve. Zaradi tega je pomembna izbira faktorja c , ki zagotovi, da stopnja sprejetja ni ne prevelika ne premajhna (Koop, 2003, str. 98; Mancini Griffoli, 2011, str. 84-85).

5.2 Kalibrirane vrednosti parametrov

V tem razdelku podajam vrednosti parametrov, ki niso predmet ocenjevanja, zato njihove vrednosti postavljam na neko fiksno raven. Subjektivni diskontni faktor β zavzema vrednost 0,995, kar je skladno z 2 % obrestno mero v ustaljenem stanju. Delež naftnih derivatov v celotni strukturi potrošnje gospodinjstev δ je postavljen na 0,08, kar je vrednost, ki se v letu 2011 uporablja pri izračunih HICP inflacije za Slovenijo. Delež uvoženih dobrin v celotni strukturi osnovnih dobrin κ sem določil na 0,67. Za delež svetovne cene nafte v končni maloprodajni ceni naftnega derivata uporabim vrednost 0,4, za delež trošarin pa vrednost 0,6. Avtoregresijski parameter svetovne cene nafte ρ_O sem postavil na 0,8, za standardno napako naftnega šoka pa sem izbral vrednost 1. Koeficient ϕ_1 pri svetovni ceni nafte v trošarinskem pravilu zavzema vrednost 0,3, koeficient ϕ_2 pri agregatnem indeksu cen pa 0,1, za avtoregresijski parameter ρ_{TR} , ki meri vztrajnost trošarin, pa sem izbral vrednost 0,5. Za delež naftnih derivatov v proizvodu $1 - \alpha$ uporabim vrednost 0,1. Na ponudbeni strani tudi predpostavljam, da je vrednost indeksacijskega parametra domačih cen δ_H enaka 0,17. Ostali parametri z vidika simulacije modela glede na naftni šok niso pomembni, zato njihovih vrednosti na tem mestu ne predstavljam.

5.3 Priorne vrednosti parametrov

Bayesianska metoda posamezniku omogoča, da v proces ocenjevanja vključi tudi lastna prepričanja o vrednostih ocenjevanih parametrov oziroma njihove priorne vrednosti, ki jih poda v obliki verjetnostnih porazdelitvenih funkcij. Izbrane priorne vrednosti lahko temeljijo

na preteklih empiričnih študijah, lahko pa so rezultat povsem subjektivnih prepričanj posameznika. Pred začetkom ocenjevanja modela je potrebno za vsak ocenjevani parameter določiti vrsto porazdelitve, srednjo vrednost in standardni odklon. Tabela (6) prikazuje vrste porazdelitev, ki se običajno uporabljajo pri ocenjevanju, njihov ukaz v Dynare-u, oznako porazdelitve in njihovo definicijsko območje. Vrednost p_3 v spodnji Tabeli je postavljena na 0, vrednost p_4 pa na 1.

Tabela 6: Vrste porazdelitev parametrov, njihovo definicijsko območje in ustrezen ukaz v Dynare-u

Vrsta porazdelitve	Ukaz v Dynare-u	Oznaka porazdelitve	Definicijsko območje
Normalna porazdelitev	NORMAL_PDF	$N(\mu, \sigma)$	$\mathbb{R}$
Gama porazdelitev	GAMMA_PDF	$G_2(\mu, \sigma, p_3)$	$(p_3, +\infty]$
Beta porazdelitev	BETA_PDF	$B(\mu, \sigma, p_3, p_4)$	$[p_3, p_4]$
Inverzna gama porazdelitev	INV_GAMMA_PDF	$IG_1(\mu, \sigma)$	$\mathbb{R}^+$
Enakomerna porazdelitev	UNIFORM_PDF	$U(p_3, p_4)$	$[p_3, p_4]$

Vir: T. Mancini Griffoli, *DYNARE User Guide: An Introduction to the Solution & Estimation of DSGE Models*, 2011, str. 48.

Parametre, ki jih bom ocenil, skupaj s srednjo vrednostjo in standardnim odklonom oziroma stopinjami prostosti podajam v Tabeli (7).

Tabela 7: Priorne porazdelitve parametrov

Parameter	Opis parametra	Vrsta porazdelitve	Sredina	SD/df
σ	Inverzna vrednost elastičnosti substitucije med potrošnjami	Normalna	1	0,25
φ	Inverzna vrednost elastičnosti ponudbe dela	Normalna	2	0,75
η	Elastičnost substitucije med potrošnjo osnovnih dobrin in potrošnjo naftnih derivatov	InvGama	0,4	4
θ	Elastičnost substitucije med potrošnjo domačih in uvoženih dobrin	InvGama	1,5	4
ξ_H	Calvov parameter rigidnosti cen za domača podjetja	Beta	0,65	0,1
ρ_A	Avtoregresijski parameter za produktivnost	Beta	0,85	0,1
ρ_{χ^C}	Avtoregresijski parameter za potrošni šok	Beta	0,85	0,1
ρ_{χ^N}	Avtoregresijski parameter za šok v ponudbo dela	Beta	0,85	0,1
ρ_{y^*}	Avtoregresijski parameter tujega proizvoda	Beta	0,7	0,2
ρ_{π^*}	Avtoregresijski parameter tuje inflacije	Beta	0,7	0,2
Stderr ε_t^A	Produktivnostni šok	InvGama	0,4	4
Stderr $\varepsilon_{\chi^C,t}$	Potrošni šok	InvGama	0,2	2
Stderr $\varepsilon_{\chi^N,t}$	Šok v ponudbo dela	InvGama	0,2	2
Stderr ε_t^H	Cenovni šok za domača podjetja	InvGama	0,5	∞
Stderr ε_t^F	Cenovni šok za uvozna podjetja	InvGama	0,5	∞
Stderr $\varepsilon_{y^*,t}$	Šok v tujem proizvodu	InvGama	0,02	∞
Stderr $\varepsilon_{\pi^*,t}$	Šok v tuji inflaciji	InvGama	0,00076	∞
Stderr $\varepsilon_{i^*,t}$	Šok v tuji obrestni meri	InvGama	0,00088	∞

Legenda: Oznaka SD je angleška kratica za standardni odklon, df za stopinje prostosti in Stderr za standardno napako.

5.4 Uporabljeni podatki

Spremenljivke, ki jih bom uporabil pri ocenjevanju so: bruto domači proizvod (2000 = 100; oznaka je *BDP*), indeks cen življenjskih potrebščin (2005 = 100; oznaka je *CPI*), zasebna potrošnja gospodinjstev (2000 = 100; oznaka je *C*), izvoz (2000 = 100; oznaka je *X*), uvoz (2000 = 100; oznaka je *M*), vrednosti tujega bruto domačega proizvoda (2000 = 100; oznaka je *BDPEA*), tujega BDP deflatorja (2000 = 100; oznaka je *BDPdefEA*) in tuje obrestne mere (12-mesečni Euribor; oznaka je *EAR*). Tuje časovne serije se nanašajo na evroobmočje (prvih 12 držav članic), ostale pa na Slovenijo. Vse podatke sem pridobil iz Eurostatove podatkovne baze *Search Database*, pri čemer so vse časovne serije, z izjemo indeksa cen življenjskih potrebščin, desezonirane in popravljene za število delovnih dni, temeljijo pa na obdobju 1995Q1-2010Q4. Vse časovne serije, razen tuje obrestne mere, uporabim v obliki prvih diferenc logaritma, tujo obrestno mero pa delim s 400. V postopku ocenjevanja v Dynare-u dodatno uporabim ukaz *prefilter* = 1, ki iz podatkov odšteje še sredino.

Pred začetkom ocenjevanja moram opazljive spremenljivke, ki jih objavlja uradna statistika, povezati z modelskimi spremenljivkami. Povezave so naslednje:

- ❖ bruto domači proizvod:

$$\Delta \ln BDP_t = \hat{y}_t - \hat{y}_{t-1}; \quad (185)$$

- ❖ indeks cen življenjskih potrebščin:

$$\Delta \ln CPI_t = \hat{\pi}_{C,t}; \quad (186)$$

- ❖ zasebna potrošnja gospodinjstev:

$$\begin{aligned} \Delta \ln C_t = & (1 - \kappa)(1 - \delta)[\hat{z}_t - \hat{z}_{t-1} - \theta(\hat{p}_{H,t} - \hat{p}_{H,t-1}) + \theta(\hat{p}_{Z,t} - \hat{p}_{Z,t-1})] \\ & + \kappa(1 - \delta)[\hat{z}_t - \hat{z}_{t-1} - \theta(\hat{p}_{F,t} - \hat{p}_{F,t-1}) + \theta(\hat{p}_{Z,t} - \hat{p}_{Z,t-1})] \\ & + \delta[\hat{c}_t - \hat{c}_{t-1} - \eta(\hat{p}_{O,t} - \hat{p}_{O,t-1}) + \eta(\hat{p}_{C,t} - \hat{p}_{C,t-1})]; \end{aligned} \quad (187)$$

- ❖ izvoz:

$$\Delta \ln X_t = -\theta(\hat{p}_{H,t} - \hat{p}_{H,t-1}) + \theta(\hat{p}_t^* - \hat{p}_{t-1}^*) + \hat{y}_t^* - \hat{y}_{t-1}^*; \quad (188)$$

- ❖ uvoz:

$$\Delta \ln M_t = \frac{C_F}{M}(\hat{c}_{F,t} - \hat{c}_{F,t-1}) + \frac{O_C}{M}(\hat{o}_{C,t} - \hat{o}_{C,t-1}) + \frac{O_Y}{M}(\hat{o}_{Y,t} - \hat{o}_{Y,t-1}); \quad (189)$$

- ❖ bruto domači proizvod evroobmočja:

$$\Delta \ln BDPEA = \hat{y}_t^* - \hat{y}_{t-1}^*; \quad (190)$$

- ❖ BDP deflator evroobmočja:

$$\Delta \ln BDPdefEA = \hat{\pi}_t^* - \hat{\pi}_{t-1}^*; \quad (191)$$

- ❖ in obrestna mera evroobmočja:

$$EAR = 400\hat{r}_t^*. \quad (192)$$

5.5 Rezultati ocenjevanja

V Tabeli (8) prikazujem rezultate ocenjevanja, kjer podajam vrednost posteriornega modusa in standardnega odklona, vrednost posteriorne sredine ter 90 % interval zaupanja.

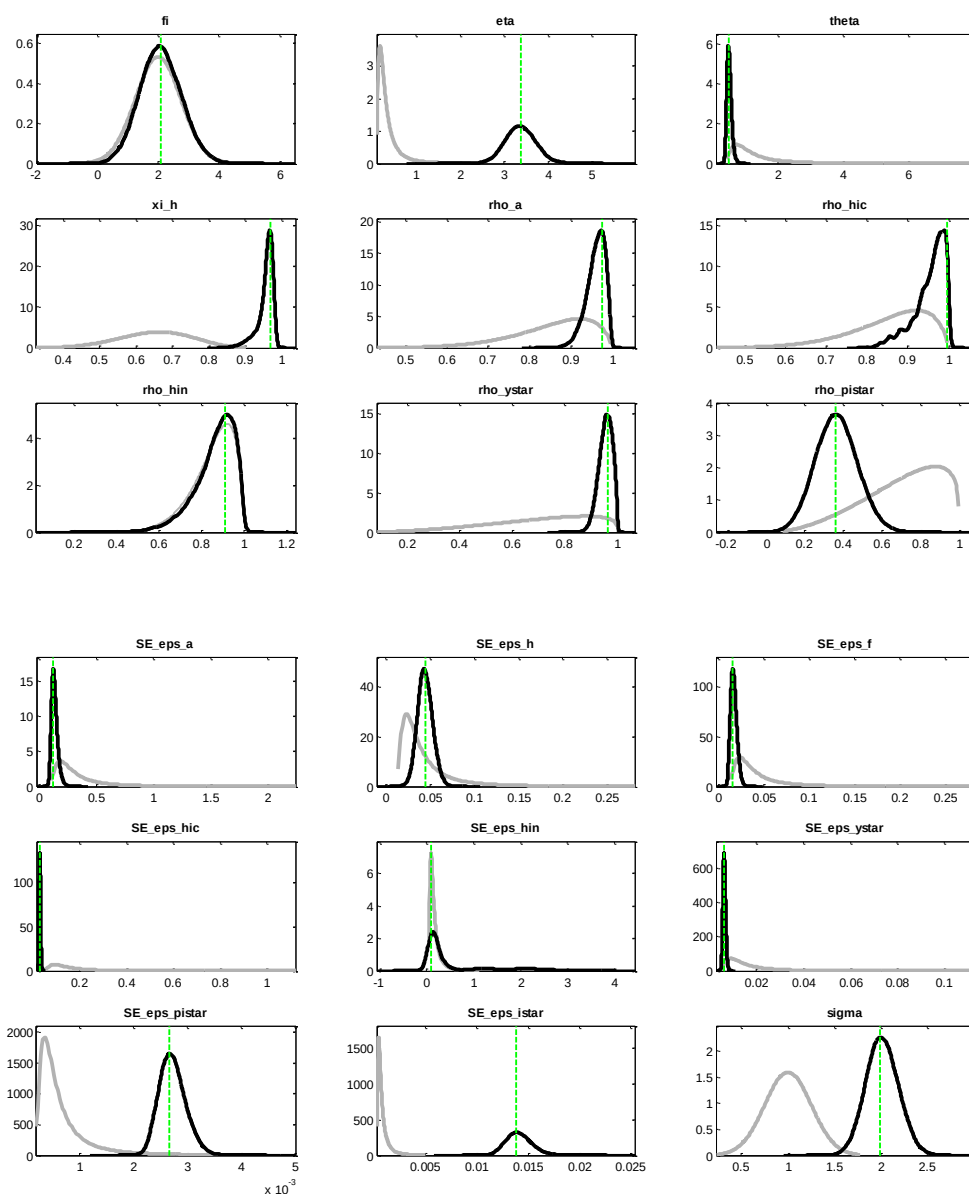
Ocena za inverzno vrednost elastičnosti substitucije med potrošnjami v različnih časovnih obdobjih je 2,0059 (elastičnost substitucije med potrošnjami je približno 0,5), kar je povsem običajna vrednost, ki se uporablja pri kalibraciji modelov majhnih odprtih gospodarstev. Parameter, ki predstavlja inverzno vrednost elastičnosti ponudbe dela, je ocenjen na 2,0616, kar pomeni, da je medčasovna stopnja substitucije dela enaka 0,49. Smets in Wouters (2003, str. 1143) za evroobmočje ocenita inverzno vrednost elastičnosti substitucije med potrošnjami na 1,391, inverzno vrednost elastičnosti ponudbe dela pa na 2,503. Ocena za elastičnost substitucije med osnovnimi dobrinami in naftnimi derivati je 3,3688. Medina in Soto (2005, str. 34) za Čile ocenita vrednost tega parametra na 0,656, kar je bolj primerna vrednost, saj je nafta težko nadomestljiva z drugimi proizvodi. Parameter, ki meri elastičnost substitucije med domačimi in uvoženimi dobrinami je v mojem primeru ocenjen na 0,4952. Ocenjena vrednost je precej nizka, saj se običajno pri kalibracijah modela upošteva vrednost približno 1,5. Ocena za Calvov parameter rigidnosti cen je 0,9596, kar nakazuje na precejšnjo rigidnost cen. Smets in Wouters (2003, str. 1143) za evroobmočje ocenita vrednost tega parametra na 0,905, Adolfson, Laseén, Lindé in Villani, (2005, str. 57) pa poročajo vrednost 0,891.

Tabela 8: Rezultati ocenjevanja

Parameter	Opis parametra	Priorna porazdelitev			Posteriorna porazdelitev				
		Vrsta porazdelitve	Sredina	SD/df	Modus	SD	Sredina	5 %	95 %
σ	Inverzna vrednost elastičnosti substitucije med potrošnjami	Normalna	1	0,25	1,9859	0,1745	2,0059	1,7148	2,2885
φ	Inverzna vrednost elastičnosti ponudbe dela	Normalna	2	0,75	2,0998	0,6676	2,0616	0,9618	3,1425
η	Elastičnost substitucije med potrošnjo osnovnih dobrin in potrošnjo naftnih derivatov	InvGama	0,4	4	3,3786	0,3222	3,3688	2,7994	3,9113
θ	Elastičnost substitucije med potrošnjo domačih in uvoženih dobrin	InvGama	1,5	4	0,4799	0,0651	0,4952	0,3769	0,6041
ξ_H	Calvov parameter rigidnosti cen za domača podjetja	Beta	0,65	0,1	0,9686	0,0102	0,9596	0,9375	0,9854
ρ_A	Avtoregresijski parameter za produktivnost	Beta	0,85	0,1	0,9752	0,0201	0,9597	0,9263	0,9946
ρ_{χ^C}	Avtoregresijski parameter za potrošni šok	Beta	0,85	0,1	0,9973	0,0022	0,9582	0,9139	0,9999
ρ_{χ^N}	Avtoregresijski parameter za šok v ponudbo dela	Beta	0,85	0,1	0,9144	0,0899	0,8603	0,7215	0,9952
ρ_{y^*}	Avtoregresijski parameter tujega proizvoda	Beta	0,70	0,2	0,9629	0,0291	0,9534	0,9165	0,9976
ρ_{π^*}	Avtoregresijski parameter tuje inflacije	Beta	0,70	0,2	0,3571	0,1077	0,3655	0,1796	0,5385
Stderr ε_t^A	Produktivnostni šok	InvGama	0,4	4	0,1240	0,0225	0,1364	0,0930	0,1768
Stderr $\varepsilon_{\chi^C,t}$	Potrošni šok	InvGama	0,2	2	0,0299	0,0029	0,0307	0,0256	0,0354
Stderr $\varepsilon_{\chi^N,t}$	Šok v ponudbo dela	InvGama	0,2	2	0,0925	0,0378	0,3229	0,0420	0,8796
Stderr ε_t^H	Cenovni šok za domača podjetja	InvGama	0,05	∞	0,0450	0,0074	0,0453	0,0320	0,0586
Stderr ε_t^F	Cenovni šok za uvozna podjetja	InvGama	0,05	∞	0,0151	0,0032	0,0166	0,0111	0,0223
Stderr $\varepsilon_{y^*,t}$	Šok v tujem proizvodu	InvGama	0,02	∞	0,0062	0,0005	0,0064	0,0055	0,0074
Stderr $\varepsilon_{\pi^*,t}$	Šok v tuji inflaciji	InvGama	0,00076	∞	0,0027	0,0002	0,0027	0,0023	0,0031
Stderr $\varepsilon_{i^*,t}$	Šok v tuji obrestni meri	InvGama	0,00088	∞	0,0138	0,0012	0,0141	0,0120	0,0161
Število ponovitev M-H algoritma: 150000									
Število Markovskih verig: 4									
Povprečna stopnja sprejetja na posamezno verigo: 0,2824 0,2908 0,2875 0,2758									
Mejna funkcija verjetja (Laplace aproksimacija): 1216,26									
Mejna funkcija verjetja (Modificirana harmonična sredina): 1219,12									

Na Sliki (8) prikazujem še priorno in posteriorno porazdelitev skupaj z modusom za vsak ocenjevani parameter posebej, pri tem je priorna porazdelitev sive barve, posteriorna porazdelitev je črne barve, modus pa je na sliki označen z zeleno črtkano črto.

Slika 8: Priorna in posteriorna porazdelitev ocenjevanih parametrov



Pri testiranju ocenjenega modela je potrebno biti pozoren na nekatere stvari, na podlagi katerih je mogoče sklepati o pravilnosti oziroma neustreznosti dobljenih rezultatov ocenjevanja. Dynare takoj po izračunu modusa preveri uspešnost optimizacije posteriorne gostote. Za vsak ocenjevani parameter prikaže logaritem funkcije verjetja, logaritem posteriorne gostote in izračunan modus. Če je logaritem funkcije verjetja pri določenem parametru prikazan kot ravna črta, potem podatki ne vsebujejo dovolj informacij za oceno tega parametra. Pomembno je tudi, da maksimum logaritma posteriorne gostote sovpa z izračunanim modusom (glej Prilogo 10).

Dynare omogoča tudi konstrukcijo različnega števila Markovskih verig in izvedbo različnega števila vzorčenj (ponovitev) znotraj posamezne Markovske verige. Rezultati med različnim

številom ponovitev M-H algoritma znotraj Markovske verige si morajo biti podobni, prav tako med rezultati iz različnih Markovskih verig ne sme biti prevelikih odstopanj. Dynare doseganje konvergence preveri tako, da za model kot celoto izvede agregatni, za vsak ocenjevani parameter pa univariatni MCMC konvergenčni diagnostični test, in prikaže tri grafe, kjer prvi prikazuje diagnostični test za srednjo vrednost (oznaka grafa je *interval*), drugi za varianco (oznaka je *m2*), zadnji pa za tretji moment (oznaka je *m3*). Na vsakem grafu sta dve krivulji, pri čemer ena prikazuje diagnostični test znotraj posamezne Markovske verige, druga pa med Markovskimi verigami. Rezultati so smiselni, če sta obe krivulji pri vsaki od treh diagnostičnih mer relativno konstantni in konvergirata ena k drugi. V kolikor so prikazani momenti nestabilni in ne konvergirajo, je lahko do tega prišlo zaradi napačno izbranih priornih vrednosti. V tem primeru je potrebno določiti nove priorne vrednosti ali pa izvesti večje število ponovitev M-H algoritma (Mancini Griffoli, 2011, str. 56). Primer omenjenih konvergenčnih testov prikazujem v Prilogi 11 in 12.

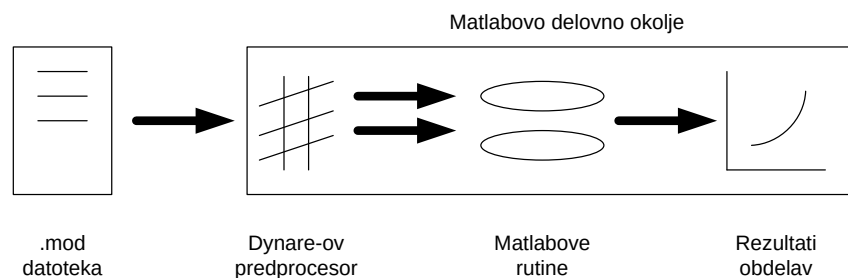
Priorna in posteriorna porazdelitev parametrov tudi ne smeta biti preveč skupaj, niti preveč narazen. Če sta omenjeni porazdelitvi preveč narazen, lahko to nakazuje, da so bile priorne vrednosti parametrov izbrane napačno glede na uporabljene podatke. V kolikor pa sta porazdelitvi preveč podobni, so pri ocenjevanju prevladale izbrane priorne vrednosti, v manjši meri pa informacije, vsebovane v podatkih. Posteriorna porazdelitev mora imeti obliko približno normalno porazdeljene funkcije, medtem ko vsaka druga porazdelitev (na primer bimodalna) nakazuje na težave pri ocenjevanju. Vrednost modusa, ki je bila izračunana pri maksimizaciji logaritma posteriorne gostote, se tudi ne sme bistveno razlikovati od modusa posteriorne porazdelitve (Mancini Griffoli, 2011, str. 57).

6 REŠITEV IN SIMULACIJA MODELA

6.1 Predstavitev programskega paketa Dynare

Za analizo modela uporabljam brezplačni programski paket Dynare, ki je namenjen reševanju, simulaciji in ocenjevanju DSGE modelov. Dynare se kot nekakšen vmesnik (predprocesor) uporablja v programih Matlab in GNU Octave, pri čemer je prvi namenjen predvsem tehničnemu računanju, drugi pa se uporablja za splošne matematične izračune. Uporabnik najprej izpeljani model zapiše v urejevalniku besedil (najlažje kar v beležnici) z vsemi zelenimi ukazi, ki so dostopni v Adjemin et al. (2011), in datoteko shrani v obliki končnice .mod (na primer DSGE_model.mod). Posameznik nato v Matlabovem delovnem oknu shranjeno datoteko zažene z ukazom dynare, čemur sledi presledek in nato ime shranjene datoteke (DSGE_model) brez končnice .mod. Po pritisku na tipko Enter Dynare zahtevane ukaze pretvori v Matlabov programski jezik in izvede vse zelene ukaze (Mancini Griffoli, 2011, str. 2-3).

Slika 9: Shematski prikaz delovanja programskega paketa Dynare



Vir: T. Mancini Griffoli, *DYNARE User Guide: An Introduction to the Solution & Estimation of DSGE Models*, 2011, str. 3.

Programski paket Dynare omogoča analizo DSGE modelov na naslednjih področjih (Mancini Griffoli, 2011, str. 4):

- ❖ izračun ustaljenega stanja modela;
- ❖ reševanje determinističnih modelov;
- ❖ reševanje stohastičnih modelov aproksimacij prvega in drugega reda;
- ❖ ocenjevanje parametrov z metodo največjega verjetja in z Bayesijsko metodo;
- ❖ izračun optimalnih politik v linearno-kvadratnih modelih.

6.2 Osnovne reševanja DSGE modelov

Dinamični nelinearni model racionalnih pričakovanj je sestavljen iz večjega števila spremenljivk in enačb. Villemot (2011, str. 2-3) navaja različne vrste endogenih spremenljivk (spremenljivk, določenih znotraj modela), in jih razlikuje glede na to, v katerem obdobju so določene:

- ❖ Statične endogene spremenljivke (angl. *static endogenous variables*): pojavljajo se samo v tekočem obdobju;
- ❖ Endogene spremenljivke, ki so popolnoma zazrte v prihodnost (angl. *purely forward looking endogenous variables*): pojavljajo se samo v prihodnjem obdobju ali tudi v tekočem obdobju;
- ❖ Endogene spremenljivke, ki so popolnoma zazrte v preteklost (angl. *purely backward looking endogenous variables*): pojavljajo se samo v preteklem obdobju ali v tekočem obdobju;
- ❖ Mešane endogene spremenljivke (angl. *mixed endogenous variables*): pojavljajo se v prihodnjem, tekočem in v preteklem obdobju;

- ❖ Endogene spremenljivke, zazrte v prihodnost (angl. *forward endogenous variables*): unija med mešanimi spremenljivkami in spremenljivkami ki so popolnoma zazrte v prihodnost;
- ❖ Endogene spremenljivke zazrte v preteklost (angl. *backward endogenous variables*): unija med mešanimi spremenljivkami in spremenljivkami, ki so popolnoma zazrte v preteklost;
- ❖ Dinamične endogene spremenljivke (angl. *dynamic endogenous variables*): vse zgoraj našteje spremenljivke, z izjemo statičnih endogenih spremenljivk.

Sistem enačb modela lahko v osnovni obliki zapišem na naslednji način (Villemot, 2011, str. 2):

$$E_t f(y_{t+1}^+, y_t, y_{t-1}^-, u_t) = 0, \quad (193)$$

kjer je y_t vektor endogenih spremenljivk, y_{t+1}^+ in y_{t-1}^- sta podskupini spremenljivk vektorja y_t , ki se pojavljajo z vodilnim členom oziroma z odlogom, u_t pa je vektor eksogenih spremenljivk modela. Zaradi identifikacijskih razlogov mora model vsebovati enako število enačb kot je endogenih spremenljivk.

Za eksogene spremenljivke predpostavljam, da sledijo Markovskemu procesu naslednje oblike:

$$u_t = P(u_{t-1}, \varepsilon_t), \quad (194)$$

pri čemer je ε_t neodvisno in enako porazdeljen šok z ničelno sredino in vriančno-kovariančno matriko Σ (Villemot, 2011, str. 2).

Rešitev modela lahko nato zapišem kot (Villemot, 2011, str. 4-5):

$$y_t = g(y_{t-1}^-, u_t), \quad (195)$$

katere bistvo je, da so tekoče vrednosti endogenih spremenljivk izražene kot funkcija lastnih odlogov (predeterminirane spremenljivke) in tekočih vrednosti eksogenih spremenljivk.

Enačbe modela, ki so predstavljene v glavnem tekstu magistrskega dela, so nelinearne v parametrih in spremenljivkah. Tak model je načeloma mogoče rešiti z numeričnimi metodami, vendar je predvsem pri modelih večjega obsega njihova uspešnost vprašljiva. Namesto tega lahko na tem mestu uporabim metodo log-linearizacije, kar pomeni, da posamezno enačbo najprej logaritmiram in nato dinamiko modela razvijem okrog ustaljenega

stanja v Taylorjevo vrsto do členov prvega reda, tako da posamezno spremenljivko zapišem kot odstotno odstopanje od ustaljenega stanja. Opozoriti moram, da log-linearizirane enačbe predstavljajo le približek dejanske nelinearne dinamike modela, zato je tovrstna analiza primerna le za majhna odstopanja od ustaljenega stanja.

Spremenljivke, ki so zapisane z malimi tiskanimi črkami in strešico, pomenijo odstotno odstopanje od ustaljenega stanja na naslednji način:

$$\hat{x}_t = \log X_t - \log X = \log\left(\frac{X_t}{X}\right) = \log\left(1 + \frac{X_t - X}{X}\right) \cong \frac{X_t - X}{X}, \quad (196)$$

kjer je X vrednost spremenljivke v ustaljenem stanju in X_t vrednost spremenljivke izven ustaljenega stanja.

Postopek log-linearizacije lahko prikažem na naslednji funkciji:

$$F(X_t) = \frac{G(X_t)}{H(X_t)}. \quad (197)$$

Funkcijo, zapisano z enačbo (197), najprej logaritmiram (ob upoštevanju pravila za logaritem kvocienta):

$$\ln[F(X_t)] = \ln[G(X_t)] - \ln[H(X_t)] \quad (198)$$

in jo nato razvijem v Taylorjevo vrsto do členov prve stopnje:

$$\begin{aligned} & \ln(F(X)) + \frac{F'(X)}{F(X)} X \frac{(X_t - X)}{X} \\ \cong & \ln(G(X)) + \frac{G'(X)}{G(X)} X \frac{(X_t - X)}{X} - \ln(H(X)) + \frac{H'(X)}{H(X)} X \frac{(X_t - X)}{X}. \end{aligned} \quad (199)$$

Ker v ustaljenem stanju velja:

$$\ln[F(X)] = \ln[G(X)] - \ln[H(X)], \quad (200)$$

lahko enačbo (199) ob dodatnem upoštevanju enačbe (196) zapišem kot:

$$\frac{F'(X)}{F(X)} X \hat{x}_t \cong \frac{G'(X)}{G(X)} X \hat{x}_t - \frac{H'(X)}{H(X)} X \hat{x}_t. \quad (201)$$

Uhlig (1999, str. 4-5) predlaga nekoliko drugačno metodo log-linearizacije. Posamezno spremenljivko izven ustaljenega stanja najprej pomnoži in deli z njeno vrednostjo v ustaljenem stanju ter nato uporabi naslednje matematično pravilo $e^{\ln x_t} = x_t$. Opisan postopek lahko v matematični obliki zapišem na naslednji način:

$$X_t = X \left(\frac{X_t}{X} \right) = X e^{\ln\left(\frac{X_t}{X}\right)} = X e^{\hat{x}_t}. \quad (202)$$

Če zgornji izraz razvijem v Taylorjevo vrsto prvega reda in upoštevam, da v ustaljenem stanju velja $\hat{x} = 0$, dobim:

$$X e^{\hat{x}_t} \cong X e^0 + X e^0 (\hat{x}_t - \hat{x}) \cong X(1 + \hat{x}_t). \quad (203)$$

Za reševanje DSGE modelov obstaja več različnih metod, med katerimi lahko omenim algoritme naslednjih avtorjev: Blanchard in Kahn (1980), Anderson in Moore (1985), Uhlig (1999), Sims (2002) in Christiano (2002). Anderson (2006, str. 2) je primerjal različne metode reševanja tovrstnih modelov in ugotovil, da vse metode reševanja, v kolikor so izpolnjeni Blanchard-Kahn pogoji, ki jih bom predstavil v nadaljevanju magistrskega dela, pripeljejo do enakovrednih rezultatov. Anderson (2006, str. 2) še ugotavlja, da se pri modelih večjega obsega kot najučinkovitejša metoda reševanja izkaže algoritem, ki sta ga razvila Anderson in Moore (1985), predvsem zaradi tega, ker lahko spremenljivke modela vsebujejo odloge oziroma vodilne člene višjega reda.

V nadaljevanju prikazujem reševanje modela za primer, kjer je matrika A_0 v matričnem zapisu (204) obrnljiva, postopek pa povzemam po Blanchard in Kahn (1980) ter Ellison (2005).

Sistem enačb modela lahko v splošnem zapišem v naslednji matrični obliki:

$$A_0 \begin{bmatrix} X_{t+1} \\ E_t Y_{t+1} \end{bmatrix} = A_1 \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + B_0 \varepsilon_{t+1}, \quad (204)$$

kjer je X_t ($n \times 1$) vektor predeterminiranih spremenljivk, Y_t je vektor nepredeterminiranih spremenljivk dimenzije ($m \times 1$), ε_{t+1} ($k \times 1$) pa je vektor eksogenih spremenljivk. Matrike A_0 , A_1 in B_0 so matrike strukturnih parametrov modela. Značilnost zgornjega matričnega zapisa je delitev spremenljivk na predeterminirane in nepredeterminirane.

Najprej na levo stran matričnega zapisa (204) prenesem A_0 in upoštevam, da velja $A_0^{-1} A_1 \equiv A$ in $A_0^{-1} B_0 \equiv B$:

$$\begin{bmatrix} X_{t+1} \\ E_t Y_{t+1} \end{bmatrix} = \underbrace{A_0^{-1} A_1}_A \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + \underbrace{A_0^{-1} B_0}_B \varepsilon_{t+1}. \quad (205)$$

Matriko A se dá diagonalizirati, če obstajata taka diagonalna matrika Λ in obrnljiva matrika P , da zanjo velja:

$$A = P\Lambda P^{-1}. \quad (206)$$

Matrika Λ vsebuje lastne vrednosti matrike A , matrika P pa pripadajoče lastne vektorje.

Če namesto A v matričnem zapisu (205) uporabim povezavo (206), dobim:

$$\begin{bmatrix} X_{t+1} \\ E_t Y_{t+1} \end{bmatrix} = P\Lambda P^{-1} \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + B\varepsilon_{t+1}. \quad (207)$$

Zgornji matrični zapis nato pomnožim s P^{-1} , tako da dobim:

$$P^{-1} \begin{bmatrix} X_{t+1} \\ E_t Y_{t+1} \end{bmatrix} = \Lambda P^{-1} \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + \underbrace{P^{-1}B}_R \varepsilon_{t+1}, \quad (208)$$

kjer dodatno upoštevam poenostavitev, da velja $P^{-1}B = R$.

Diagonalni elementi matrike Λ predstavljajo lastne vrednosti matrike koeficientov A . Obenem tudi velja, da se vse lastne vrednosti Λ_1 nahajajo na enotnem krogu ali znotraj njega, vse lastne vrednosti Λ_2 pa so zunaj enotnega kroga:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \underbrace{\Lambda_1}_{(\bar{n} \times \bar{n})} & 0 \\ 0 & \underbrace{\Lambda_2}_{(\bar{m} \times \bar{m})} \end{bmatrix}. \quad (209)$$

Blanchard in Kahn (1980, str. 1308) opredelita pogoje, ki morajo biti izpolnjeni, da ima model samo eno in stabilno rešitev. To je takrat, ko je število nestabilnih lastnih vrednosti sistema enačb enako številu nepredeterminiranih (kontrolnih) spremenljivk, ali povedano drugače, ko je število lastnih vrednosti matrike koeficientov A zunaj enotnega kroga enako številu nepredeterminiranih spremenljivk ($\bar{m} = m$). Če ima sistem enačb več lastnih vrednosti zunaj enotnega kroga kot je nepredeterminiranih spremenljivk ($\bar{m} > m$), potem model nima stabilne rešitve, v kolikor pa je število lastnih vrednosti zunaj enotnega kroga manjše od števila nepredeterminiranih spremenljivk ($\bar{m} < m$), ima model neskončno mnogo rešitev.

Matrični zapis (208) lahko preoblikujem tako, da namesto P^{-1} in R uporabim:

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} P_{11}^* & P_{12}^* \\ P_{21}^* & P_{22}^* \end{bmatrix} \quad (210)$$

in

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix}, \quad (211)$$

in dobim:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} P_{11}^* & P_{12}^* \\ P_{21}^* & P_{22}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{t+1} \\ E_t Y_{t+1} \end{bmatrix}}_{E_t \begin{bmatrix} \tilde{X}_{t+1} \\ \tilde{Y}_{t+1} \end{bmatrix}} = \begin{bmatrix} \Lambda_1 & 0 \\ 0 & \Lambda_2 \end{bmatrix} \underbrace{\begin{bmatrix} P_{11}^* & P_{12}^* \\ P_{21}^* & P_{22}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix}}_{\begin{bmatrix} \tilde{X}_t \\ \tilde{Y}_t \end{bmatrix}} + \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} w_{t+1}. \quad (212)$$

Če upoštevam, da velja naslednje:

$$P_{11}^* X_t + P_{12}^* Y_t = \tilde{X}_t \quad (213)$$

in

$$P_{21}^* X_t + P_{22}^* Y_t = \tilde{Y}_t, \quad (214)$$

lahko matrični zapis (212) zapišem kot:

$$E_t \begin{bmatrix} \tilde{X}_{t+1} \\ \tilde{Y}_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda_1 & 0 \\ 0 & \Lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{X}_t \\ \tilde{Y}_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} \varepsilon_{t+1}. \quad (215)$$

Zgornji matrični zapis lahko zapišem tudi s sistemom dveh enačb:

$$\tilde{X}_{t+1} = \Lambda_1 \tilde{X}_t + R_1 \varepsilon_{t+1} \quad (216)$$

in

$$E_t \tilde{Y}_{t+1} = \Lambda_2 \tilde{Y}_t + R_2 \varepsilon_{t+1}, \quad (217)$$

kjer enačba (216) predstavlja stabilni del sistema, enačba (217) pa nestabilni del sistema.

Najprej moram poiskati rešitev za nestabilni del sistema. Če enačbo (217) zapišem za k obdobj naprej, dobim:

$$E_t \tilde{Y}_{t+k} = (\Lambda_2)^k \tilde{Y}_t. \quad (218)$$

Ko je $|\Lambda_2| > 1$, obstaja samo ena stabilna rešitev tega problema, in sicer $\tilde{Y}_t = 0$, kar pomeni, da velja:

$$\tilde{Y}_t = P_{21}^* X_t + P_{22}^* Y_t = 0. \quad (219)$$

Na podlagi zgornje enačbe lahko zapišem rešitev za nepredeterminirane spremenljivke kot:

$$Y_t = -(P_{22}^*)^{-1} P_{21}^* X_t, \quad (220)$$

kjer so spremenljivke, ki so zazrte v prihodnost, odvisne od predeterminiranih spremenljivk.

Na koncu moram poiskati še rešitev za stabilni del sistema. Podobno kot prej tudi enačbo (216) zapišem za k obdobj naprej:

$$E_t \tilde{X}_{t+k} = (\Lambda_1)^k \tilde{X}_t, \quad (221)$$

kjer je ob upoštevanju $|\Lambda_1| < 1$ zagotovljena stabilnost sistema.

Ob uporabi enačbe (220) v enačbi (213) dobim:

$$\tilde{X}_t = [P_{11}^* - P_{12}^* (P_{22}^*)^{-1} P_{21}^*] X_t, \quad (222)$$

ki velja tudi za eno obdobje naprej:

$$\tilde{X}_{t+1} = [P_{11}^* - P_{12}^* (P_{22}^*)^{-1} P_{21}^*] X_{t+1}. \quad (223)$$

Nazadnje v enačbo (216) vstavim enačbi (222) in (223) ter dobim:

$$\begin{aligned} X_{t+1} = & [P_{11}^* - P_{12}^* (P_{22}^*)^{-1} P_{21}^*]^{-1} \Lambda_1 [P_{11}^* - P_{12}^* (P_{22}^*)^{-1} P_{21}^*] X_t \\ & + [P_{11}^* - P_{12}^* (P_{22}^*)^{-1} P_{21}^*]^{-1} R_1 \varepsilon_{t+1}. \end{aligned} \quad (224)$$

Za reševanje modela, kjer je matrika koeficientov A_0 v matričnem zapisu (204) singularna (neobrnljiva), kar pomeni, da je njena determinanta enaka 0, lahko uporabim posplošeno Schurovo dekompozicijo (angl. *generalized Schur decomposition*), ki je poznana tudi kot *QZ* dekompozicija. Posplošena Schurova dekompozicija je v ozadju algoritma reševanja DSGE modelov, ki je integriran v programskem paketu Dynare, zato jo v nadaljevanju tudi podrobneje predstavljam (Villemot, 2011, str. 1). Predstavitev posplošene Schurove dekompozicije povzemam po McCandless (2008, str. 134-141).

Začetni matrični zapis sistema enačb lahko tokrat podam v nekoliko drugačni obliki:

$$A \begin{bmatrix} X_{t+1} \\ E_t Y_{t+1} \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + G \begin{bmatrix} \varepsilon_{t+1} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (225)$$

S posplošeno Schurovo dekompozicijo lahko kvadratni matriki A in B v matričnem zapisu (225) razčlenim tako, da velja:

$$A = QSZ' \quad (226)$$

$$B = QTZ'.$$

kjer sta T in S zgornje trikotni matriki, Q in Z pa enotski matriki, tako da velja:

$$QQ' = Q'Q = I = ZZ' = Z'Z. \quad (227)$$

Lastne vrednosti matrik A in B lahko določim z rešitvijo naslednje enačbe:

$$\lambda AX = BX, \quad (228)$$

kjer so λ lastne vrednosti, stolpci X pa lastni vektorji.

i -to lastno vrednost lahko izračunam na sledeč način:

$$\lambda_i = \frac{S_{ii}}{T_{ii}}, \quad (229)$$

kjer so S_{ii} in T_{ii} diagonalni elementi matrik S in T .

Če v matričnem zapisu (225) namesto matrik A in B uporabim njuni dekompoziciji, dobim:

$$QTZ' \begin{bmatrix} X_{t+1} \\ E_t Y_{t+1} \end{bmatrix} = QSZ' \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + G \begin{bmatrix} \varepsilon_{t+1} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (230)$$

Nadalje matrični zapis (230) pomnožim s Q' , kjer ob upoštevanju, da velja $Q'Q = I$, dobim:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} T'_{11} & T'_{12} \\ 0'_{21} & T'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z'_{11} & Z'_{12} \\ Z'_{21} & Z'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{t+1} \\ E_t Y_{t+1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} S'_{11} & S'_{12} \\ 0'_{21} & S'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z'_{11} & Z'_{12} \\ Z'_{21} & Z'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q'_{11} & Q'_{12} \\ Q'_{21} & Q'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{t+1} \\ 0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (231)$$

Iz spodnjega dela matričnega zapisa (231) lahko zapišem pogoj, ki je potreben za rešitev nestabilnega dela sistema:

$$S_{22}Z'_{21}X_t + S_{22}Z'_{22}Y_t + [Q'_{21}G_1 + Q'_{22}G_2]\varepsilon_{t+1} = 0. \quad (232)$$

iz enačbe (232) izrazim Y_t in dobim:

$$\begin{aligned} Y_t &= -(S_{22}Z'_{22})^{-1}S_{22}Z'_{21}X_t - (S_{22}Z'_{22})^{-1}[Q'_{21}G_1 + Q'_{22}G_2]\varepsilon_{t+1} \\ &= -(Z'_{22})^{-1}Z'_{21}X_t - S_{22}^{-1}(Z'_{22})^{-1}[Q'_{21}G_1 + Q'_{22}G_2]\varepsilon_{t+1}. \end{aligned} \quad (233)$$

Rešitev za nepredeterminirane spremenljivke v enotah predeterminiranih spremenljivk lahko zapišem kot:

$$Y_t = -NX_t - L\varepsilon_{t+1}, \quad (234)$$

kjer sta N in L podana z naslednjima izrazoma:

$$\begin{aligned} N &= (Z'_{22})^{-1}Z'_{21} \\ L &= S_{22}^{-1}(Z'_{22})^{-1}[Q'_{21}G_1 + Q'_{22}G_2]. \end{aligned} \quad (235)$$

Ker predpostavljam, da je pričakovana vrednost šokov enaka 0, lahko enačbo (234) zapišem kot:

$$E_t Y_{t+1} = -NX_{t+1}. \quad (236)$$

Ob upoštevanju enačbe (236) v začetnem matričnem zapisu modela (225) dobim:

$$\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ -N \end{bmatrix} X_{t+1} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{t+1} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (237)$$

Če na desno stran matričnega zapisa (237) vstavim (234), dobim:

$$\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ -N \end{bmatrix} X_{t+1} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ -N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_1 - A_{12}L \\ G_2 - A_{22}L \end{bmatrix} \varepsilon_{t+1}. \quad (238)$$

Iz zgornjega dela matričnega zapisa (238) lahko poiščem rešitev za stabilni del sistema:

$$[B_{11} - B_{12}N]X_{t+1} = [A_{11} - A_{12}N]X_t + [G_1 - A_{12}L]\varepsilon_{t+1}, \quad (239)$$

od koder izrazim X_{t+1} in dobim:

$$X_{t+1} = [B_{11} - B_{12}N]^{-1}[A_{11} - A_{12}N]X_t + [B_{11} - B_{12}N]^{-1}[G_1 - A_{12}L]\varepsilon_{t+1}, \quad (240)$$

oziroma v poenostavljeni obliki:

$$X_{t+1} = MX_t + K\varepsilon_{t+1}, \quad (241)$$

kjer sta

$$\begin{aligned} M &= [B_{11} - B_{12}N]^{-1}[A_{11} - A_{12}N] \\ K &= [B_{11} - B_{12}N]^{-1}[G_1 - A_{12}L]. \end{aligned} \quad (242)$$

Rešitev modela se lahko nato uporabi za izračun impulznih odzivov endogenih spremenljivk X_t in Y_t na posamezni šok, ki vpliva na gospodarstvo.

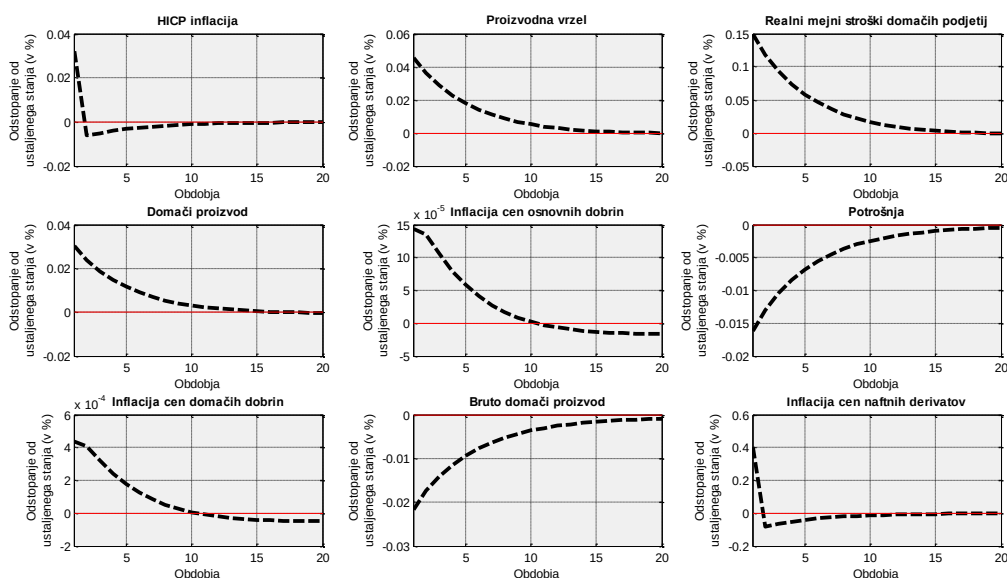
6.3 Impulzno odzivne funkcije na naftni šok

V tem podpoglavju prikazujem impulzne odzive nekaterih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok. Impulzni odzivi prikazujejo, kako se posamezni šoki (v mojem primeru naftni šok), ki vplivajo na gospodarstvo, odrazijo na gibanju endogenih spremenljivk modela v naslednjih obdobjih. Najprej predstavljam odziv gospodarstva na naftni šok z upoštevanjem ocenjenih vrednosti parametrov, nato pa izvedem še senzitivnostno analizo, kjer uporabim različne vrednosti določenih parametrov.

V okviru začetne simulacije na Sliki (10) predstavljam, kaj se zgodi z makroekonomskimi spremenljivkami, če gospodarstvo prizadene naftni šok, pri čemer uporabim ocenjene vrednosti parametrov. Iz simulacije je razvidno, da naftni šok vpliva na povišanje realnih mejnih stroškov domačih podjetij in inflacije cen različnih košaric dobrin. Impulzni odzivi tudi pokažejo, da naftni šok povzroči znižanje BDP-ja in celotne potrošnje gospodinjstev. Na drugi strani pride ob naftnem šoku do povečanja domačega proizvoda, kar lahko pripišem precejšnji rigidnosti domačih cen ($\xi_H = 0,9597$) in visoki elastičnosti substitucije med naftnimi proizvodi in osnovnimi dobrinami ($\eta = 3,3688$). Večja rigidnost domačih cen bolj blaži prenose višjih cen nafte v cene domačih dobrin, zato potrošniki kupujejo več teh dobrin, saj se njihova cena poviša manj kot cena naftnih proizvodov. K večjemu povpraševanju po domačih dobrinah pa pripomore tudi precejšnja možnost zamenjave naftnih proizvodov z osnovnimi dobrinami, saj za dražje naftne proizvode v tem primeru obstaja več nadomestkov med domačimi in uvoženimi dobrinami. Bistvena ugotovitev simulacije pa je, da naftni šok povečuje proizvodno vrzel, kar je posledica dejstva, da naftni šok negativno vpliva na naravni

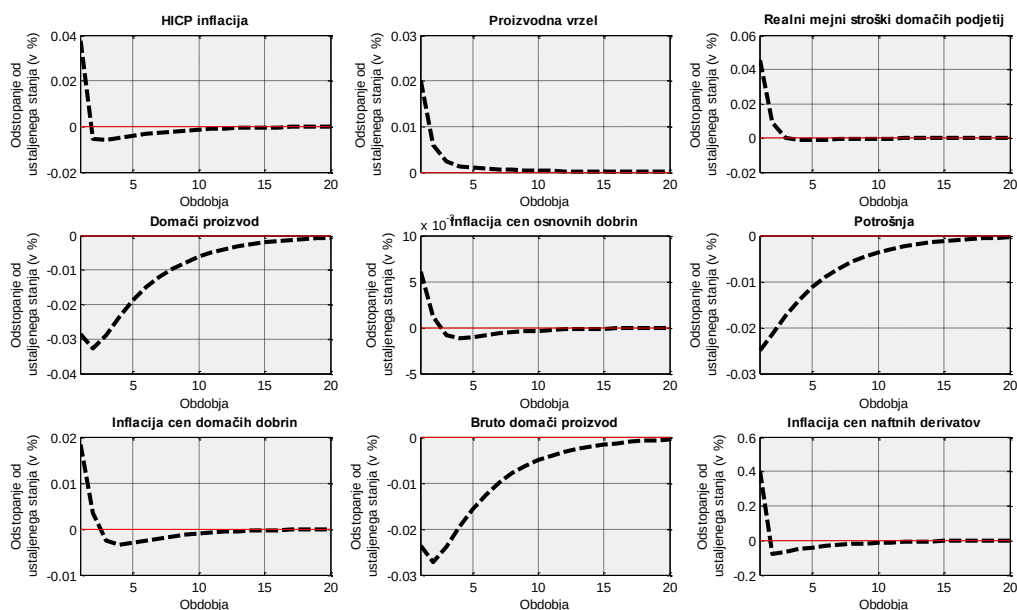
proizvod in s tem povečuje proizvodno vrzel. Pozitivna proizvodna vrzel nato vodi do višje inflacije in obratno.

Slika 10: Impulzni odzivi nekaterih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok na intervalu 20-ih obdobj (uporaba ocenjenih vrednosti parametrov)



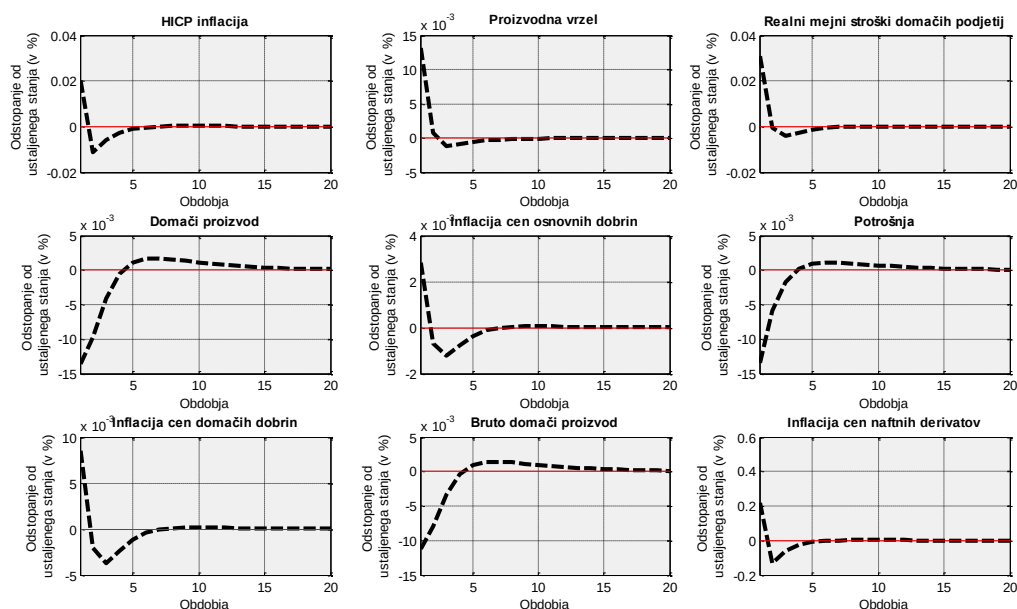
V naslednji simulaciji, ki bo v nadaljevanju služila kot osnova za senzitivnostno analizo, nekaterim parametrom določim nekoliko sprejemljivejšo vrednost. Gre za parameter elastičnosti substitucije med naftnimi derivati in osnovnimi dobrinami, za katerega predpostavljam vrednost 0,4, parameter elastičnost substitucije med domačimi in uvoženimi dobrinami, za katerega uporabim vrednost 1,5 in Calvov parameter rigidnosti domačih cen, ki mu pripišem vrednost 0,5. Iz slike je razvidno, da naftni šok negativno vpliva na gospodarstvo. Zaradi naftnega šoka se zmanjša agregatna proizvodnja, upade zasebna potrošnja, obenem pa pride do povečanja domače inflacije. Tudi v tem primeru pride do povečanja proizvodne vrzeli, ki je v ozadju inflacijskih gibanj.

Slika 11: Impulzni odzivi nekaterih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok na intervalu 20-ih obdobj (osnovna simulacija)



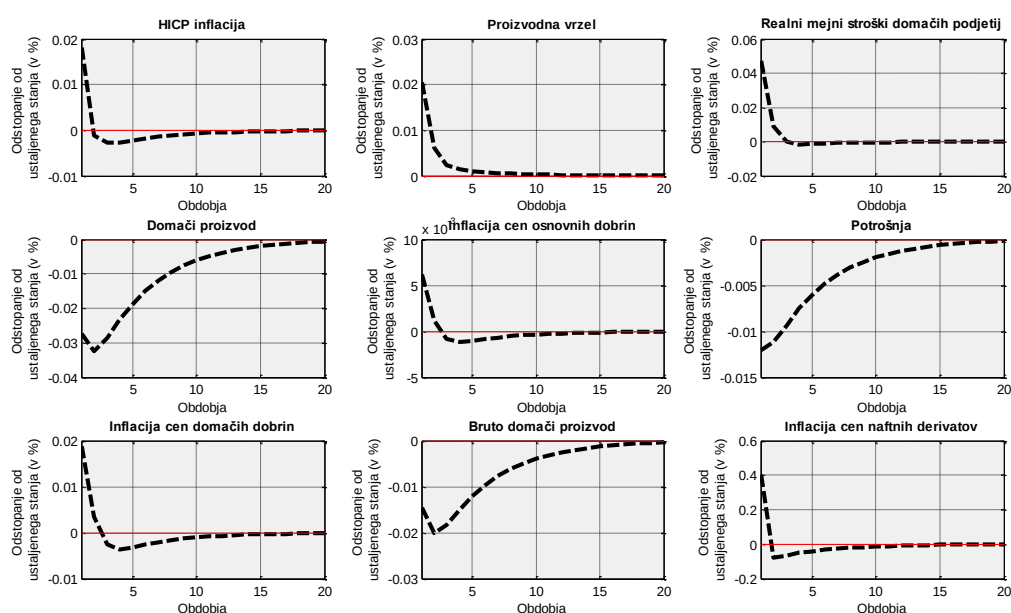
V naslednji simulaciji predpostavljam, da država odgovori na naftni šok s trošarinami, s katerimi lahko nekoliko zmanjša negativne posledice, ki jih ima povišanje cen nafte na gospodarstvo.

Slika 12: Impulzni odzivi nekaterih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok na intervalu 20-ih obdobj ob uporabi trošarinskega pravila



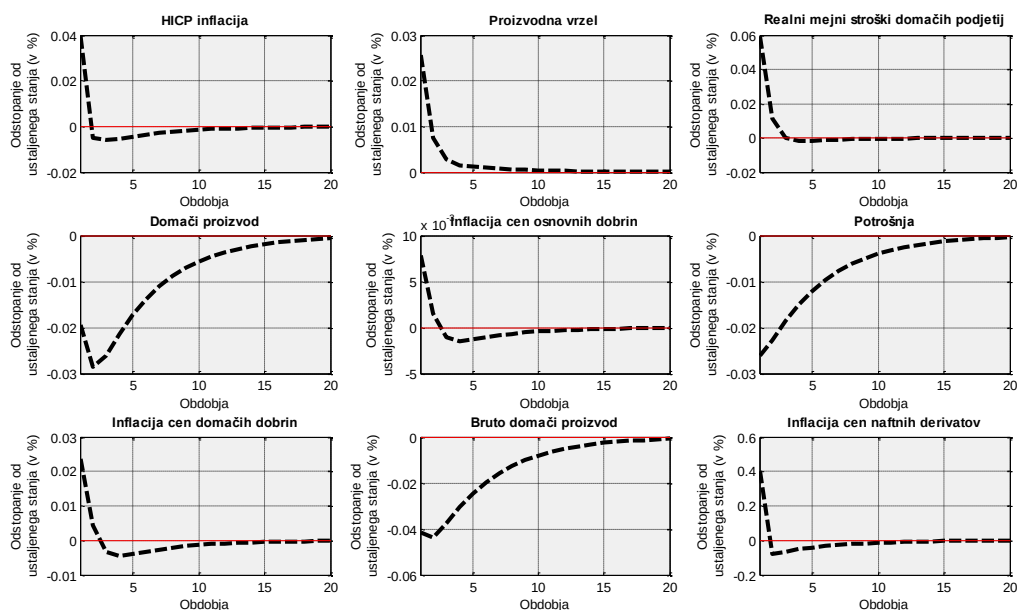
Na Sliki (13) prikazujem odziv ekonomije na naftni šok ob predpostavki, da delež naftnih derivatov v potrošni košarici zavzema vrednost 0,03 (namesto 0,08). Ob povišanju naftnih cen med drugim pride do dohodkovnega učinka, ki pomeni povečanje izdatkov gospodinjstev za naftne proizvode in posledično, zaradi manjšega razpoložljivega dohodka, zmanjšanje povpraševanja po drugih proizvodih. Zaradi manjšega deleža naftnih derivatov v potrošni košarici, naftni šok ne bo imel tolikšnega vpliva na zmanjšanje potrošnikovega razpoložljivega dohodka in s tem povpraševanja, kar pomeni, da bodo posledice za realne makroekonomske spremenljivke manj negativne, hkrati pa manjši delež naftnih derivatov v potrošnji povzroči tudi manjši dvig HICP inflacije.

Slika 13: Impulzni odzivi nekaterih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok na intervalu 20-ih obdobj (manjši delež naftnih derivatov v potrošni košarici)



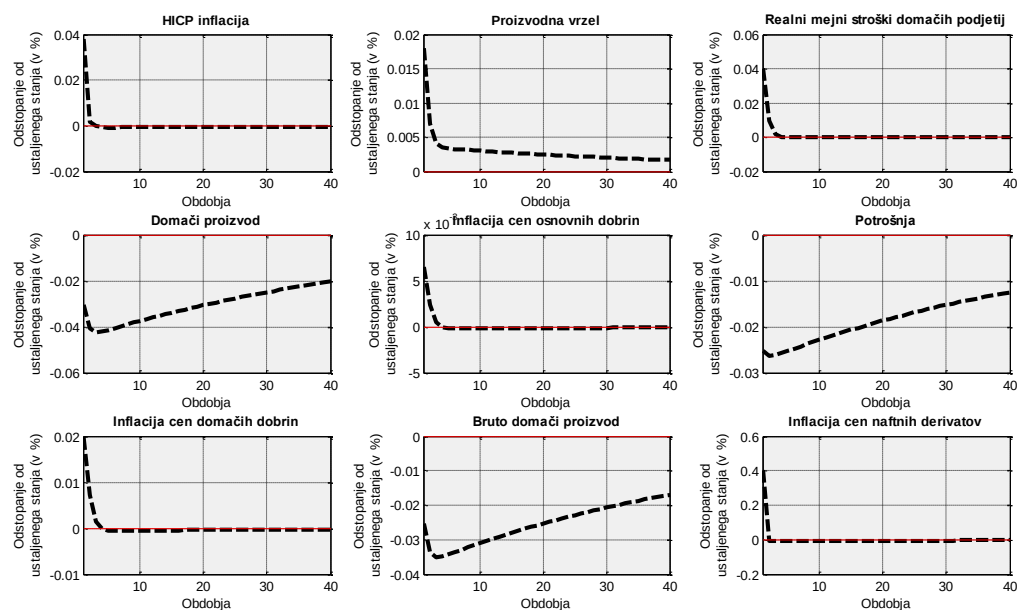
Višje cene nafte vodijo tudi do substitucijskega učinka, saj želijo potrošniki naftne proizvode zamenjati z drugimi proizvodi in storitvami. Pri višji elastičnosti substitucije med naftnimi derivati in ostalimi dobrinami bodo potrošniki ob visokih cenah nafte lažje nadomestili dražje naftne proizvode z drugimi proizvodi. Impulzne odzive na naftni šok ob upoštevanju, da je elastičnost substitucije med naftnimi derivati in osnovnimi dobrinami enaka 2 (namesto 0,4), prikazujem na Sliki (14). Glede na osnovno simulacijo v tem primeru ni bistvene razlike glede odziva cen, omembe vredni so le manjši upad agregatne proizvodnje, večje povišanje realnih mejnih stroškov podjetij in nekoliko večji odziv proizvodne vrzeli.

Slika 14: Impulzni odzivi nekaterih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok na intervalu 20-ih obdobj (višja elastičnost substitucije med naftnimi derivati in osnovnimi dobrinami)



Pri zadnji simulaciji prikazujem odziv makroekonomskih spremenljivk na naftni šok, če se persistentnost naftnega šoka ρ_o poveča iz 0,8 na 0,98. Večja persistentnost naftnega šoka povzroči nekoliko večji upad domačega proizvoda in bruto domačega proizvoda. Iz slike najbolj opazna značilnost tovrstnega naftnega šoka pa je, da vpliva na precejšnje vztrajnost realnih spremenljivk, saj potrebujejo veliko časa, da se povrnejo nazaj v ustaljeno stanje.

Slika 15: Impulzni odzivi nekaterih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok na intervalu 40-ih obdobj (višja persistentnost naftnega šoka)



SKLEP

Začetek magistrskega dela sem namenil kratki predstavitvi svetovnega naftnega trga in najpomembnejših dejavnikov, od katerih je odvisno gibanje svetovnih cen nafte. V nadaljevanju sem se osredotočil na vprašanje, skozi katere kanale spremembe v cenah nafte vplivajo na ekonomsko dogajanje v posameznem gospodarstvu.

Najpomembnejše je četrto poglavje, kjer sem izpeljal lasten DSGE model majhnega odprtega gospodarstva, ki je v strukturi podoben modelu iz člankov Galí in Monacelli (2005) ter Monacelli (2005), izvirni prispevek magistrskega dela pa predstavlja njegova dopolnitev z naftnimi šoki. Model sestavljajo gospodinjstva, ki optimizirajo svojo življenjsko funkcijo koristnosti in domača ter uvozna podjetja, ki zasledujejo cilj maksimizacije dobička. Naftne šoke sem v model vključil v obliki cen naftnih derivatov, kjer sem predpostavil, da je njihova cena sestavljena iz svetovne naftne cene in trošarin. Svetovno ceno nafte sem modeliral v obliki stacionarnega AR(1) procesa, za trošarine pa sem oblikoval pravilo, iz katerega izhaja, da država določa trošarine proticiklično, in sicer v nasprotni smeri kot se gibljeta svetovna cena nafte in agregatni cenovni indeks. Ker je Slovenija članica denarne unije, slovenska centralna banka nima pristojnosti za neodvisno vodenje denarne politike, zato denarno politiko v modelu puščam v pasivni vlogi. Domača obrestna mera je zato v celoti odvisna od eksogeno določene tuje obrestne mere na popolnoma integriranih mednarodnih finančnih trgih. V sklopu tujega gospodarstva (evroobmočja) sem gibanje tujega proizvoda in tuje inflacije predstavil s stacionarnima AR(1) procesoma, tujo obrestno mero pa sem določil na podlagi Taylorjevega pravila.

V sklopu ocenjevanja modela sem predstavil osnovne značilnosti Bayesijske metode in njene temeljne gradnike. V okviru tega sem izvedel ocenjevanje modela na podlagi podatkov za Slovenijo za obdobje 1995Q1-2010Q4. Dobljene rezultate ocenjevanja je potrebno obravnavati z določeno mero previdnosti, saj se je potrebno zavedati, da je precej poenostavljena struktura modela zmožna le delno pojasniti dejanska ekonomska gibanja, ki so vsebovana v podatkih. Nadaljnja dopolnitev modela v smislu bogatejše strukture in uporaba večjega števila opazljivih spremenljivk bosta omogočila oceno večjega števila parametrov, hkrati pa bosta dala zanesljivejše rezultate in boljše prileganje modela podatkom. V nadaljevanju sem podal nekaj osnovnih informacij o reševanju DSGE modelov, kjer sem poseben poudarek namenil opisu Blanchard-Kahn pogojev, ki predstavljajo potreben pogoj za obstoj rešitve vsakega modela, in posplošene Schurove dekompozicije, ki je v ozadju algoritma, s katerim Dynare rešuje DSGE modele. Na koncu sem prikazal še impulzne odzive ključnih makroekonomskih spremenljivk na naftni šok in izvedel senzitivnostno analizo z uporabo različnih vrednosti parametrov.

LITERATURA IN VIRI

1. Abel, A. (1990). Asset Prices under Habit Formation and Catching Up with the Joneses. *The American Economic Review*, 80(2), 38-42.
2. Adjemin, S., Bastani, H., Juillard, M., Mihoubi, F., Perendia, G., Ratto, M., & Villemot, S. (2011). Dynare: Reference Manual Version 4. *Working Paper No. 1*. Najdeno 2. julija 2011 na spletnem naslovu <http://www.dynare.org/wp-repo/dynarewp001.pdf>
3. Adolfson, M., Laseén, S., Lindé, J., & Villani, M. (2005). Bayesian Estimation of an Open Economy DSGE Model with Incomplete Pass-Through. *Sveriges Riksbank Working Paper Series*, 179.
4. Anderson, G., & Moore, G. (1985). A Linear Algebraic Procedure for Solving Linear Perfect Foresight Models. *Economic Letters*, 17(3), 247-252.
5. Anderson, G. (2006). Solving Linear Rational Expectations Models: A Horse Race. Finance and Economics Discussion Series, 26. Najdeno 29. avgusta 2010 na spletnem naslovu <http://www.federalreserve.gov/pubs/feds/2006/200626/200626pap.pdf>
6. Barsky, R. B., & Kilian, L. (2004). Oil and the Macroeconomy Since the 1970s. *Journal of Economic Perspectives*, 18(4), 115-134.
7. Banka Slovenije. (2005). *Bilten*. (Št. 9, spetember 2005). Ljubljana: Banka Slovenije.
8. Benigno, G., & Benigno, P. (2003). Price Stability in Open Economies. *Review of Economic Studies*, 70(4), 743-764.
9. Bernanke, B. S., Gertler, M., & Watson, M. W. (1997). Systematic Monetary Policy and the Effects of Oil Price Shocks. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 91-157.
10. Bernanke, B. S., Gertler, M., & Watson, M. W. (2004). Oil Shocks and Aggregate Macroeconomic Behaviour: The Role of Monetary Policy, A Reply. *Journal of Money, Credit and Banking*, 36(2), 287-291.
11. Blanchard, O. J., & Kahn, C. M. (1980). The Solution of Linear Difference Models under Rational Expectations. *Econometrica*, 48(5), 1305-1311.

12. Blanchard, O. J., & Galí, J. (2007). The Macroeconomic Effects of Oil Price Shocks: Why are the 2000s so Different from the 1970s? *NBER Working Paper 13368*. Najdeno 22. septembra 2010 na spletnem naslovu http://www.nber.org/papers/w13368.pdf?new_window=1
13. *BP Statistical Review of World Energy June 2011*. Najdeno 7. julija 2011 na spletnem naslovu http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf
14. *Brief History*. Najdeno 12. januarja 2011 na spletnem naslovu http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/24.htm
15. Calvo, G. (1983). Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework. *Journal of Monetary Economics*, 12(3), 383-398.
16. Canova, F. (2007). *Methods for Applied Macroeconomic Research*. Oxford: Princeton University Press.
17. Christiano, L. J. (2002). Solving Dynamic Equilibrium Models by a Method Undetermined Coefficients. *Computational Economics*, 20(1), 21-55.
18. Damijan, J. P., Masten, I., & Polanec, S. (2004). *Priporočila ekonomski politiki Slovenije glede politike oblikovanja cen tekočih goriv pri vstopanju v ERM 2. Končno poročilo*. Ljubljana: Inštitut za ekonomska raziskovanja.
19. Davis, S. J., & Haltiwanger, J. (2001). Sectoral Job Creation and Destruction Responses to Oil Price Changes. *Journal of Monetary Economics*, 48(3), 465-512.
20. Dixit, A. K., & Stiglitz, J. E. (1977). Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity. *American Economic Review*, 67(3), 297-308.
21. European Central Bank (2010). *Monthly Bulletin August 2010*. Frankfurt am Main: European Central Bank.
22. Ellison, M. (2005). Solution Techniques. Najdeno 5. marca 2011 na spletnem naslovu <http://www2.warwick.ac.uk/fac/soc/economics/staff/academic/ellison/boe/>

23. Erceg, C. J., Henderson, D. W., & Levin, A. W. (2000). Optimal Monetary Policy with Staggered Wage and Price Contracts. *Journal of Monetary Economics*, 46(2), 281-313.
24. *Europe's Energy Portal*. Najdeno 3. oktobra 2011 na spletnem naslovu <http://www.energy.eu/#fueltaxes>
25. Eurostat. (b. l.). Gross inland energy consumption, by fuel. Najdeno 3. septembra 2011 na spletnem naslovu <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdcc320&plugin=1>
26. Eurostat. (b. l.). Harmonized Indices of Consumer Prices – Item Weights. Najdeno 23. maja 2011 na spletnem naslovu <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do>
27. Eurostat. (b. l.) V *Search Database*. Najdeno 31. maja 2011 na spletnem naslovu http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database
28. Federal Reserve Bank of St. Louis. (b. l.). Effective Federal Funds Rate. Najdeno 10. avgusta 2011 na spletnem naslovu <http://research.stlouisfed.org/fred2/series/FEDFUNDS/downloadaddata?cid=118>
29. Fernández-Villaverde, J. (2010). The Econometrics of DSGE Models. *Journal of the Spanish Economic Association*, 1, 3-49.
30. Forni, L., Gerali, A., & Pisani, M. (2011). Global Oil Shocks and the Euro Area. An Empirical Model-Based Analysis. Najdeno 25. avgusta 2011 na spletnem naslovu http://www.dynare.org/DynareConference2011/paper_oil_FOGEPi_20110506.pdf
31. Galí, J., & Gertler, M. (1999). Inflation Dynamics: A Structural Econometric Analysis. *Journal of Monetary Economics* 44(2), 195-222.
32. Galí, J., & Monacelli, T. (2005). Monetary Policy and Exchange Rate Volatility in a Small Open Economy. *Review of Economic Studies*, 72, 707-734.
33. Galí, J. (2008). *Monetary Policy, Inflation and the Business Cycle: An Introduction to the New Keynesian Framework*. Oxford: Princeton University Press.
34. Hafner, M. (2005). Vpliv cene nafte na inflacijo. *Delovni zvezek*, 4. Ljubljana: Urad RS za makroekonomske analize in razvoj.

35. Hamilton, J. D. (1983). Oil and the Macroeconomy since World War II. *Journal of Political Economy*, 91(2), 228-248.
36. Hamilton, J. D. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton: Princeton University Press.
37. Hamilton, J. D. (2003). What Is an Oil Shock? *Journal of Econometrics*, 113(2), 363-398.
38. Kilian, L. (2008). The Economic Effects of Energy Price Shocks. *Journal of Economic Literature*, 46(4), 871-909.
39. Kilian, L. (2009). Not All Oil Price Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude Oil Market. *American Economic Review*, 99(3), 1053-1069.
40. Koop, G. (2003). *Bayesian Econometrics*. Chichester: J. Wiley.
41. Kydland, F. E., & Prescott, E. C. (1982). Time to Build and Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, 50(6), 1345-1370.
42. Lombardi, M. J., & Van Robays, I. (2011). Do Financial Investors Destabilize the Oil Market?. *ECB Working Paper No. 1346*. Najdeno 5. junija 2011 na spletnem naslovu <http://www.ecb.int/pub/pdf/scpwps/ecbwp1346.pdf>
43. Lušina, U., & Brezigar Masten, A. (2011). Fleksibilnost trga dela v Sloveniji. *Delovni zvezek*, XX(3). Ljubljana: Urad RS za makroekonomske analize in razvoj.
44. Mancini Griffoli, T. (2011). DYNARE User Guide: An Introduction to the Solution & Estimation of DSGE Models. Najdeno 22. septembra 2011 na spletnem naslovu <http://www.dynare.org/documentation-and-support/user-guide/Dynare-UserGuide-WebBeta.pdf/view>
45. Mankiw, N. G. (1989). Real Business Cycles: A New Keynesian Perspective. *Journal of Economic Perspectives*, 3(3), 79-90.
46. Mankiw, N. G. (1990). A Quick Refresher Course in Macroeconomics. *Journal of Economic Literature*, 28(4), 1645-1660.
47. Masten, I. (2008). Optimal Monetary Policy with Balassa-Samuelson-Type Productivity Shocks. *Journal of Comparative Economics*, 36(1), 120-141.

48. Masten, I. (2010). Dinamični stohastični model splošnega ravnovesja Slovenije. SLODSGE 1.0. Najdeno 23. maja 2011 na spletnem naslovu: <http://www.dlib.si/preview/URN:NBN:SI:DOC-FVPZR20C/>
49. McCandless, G. (2008). *The ABCs of RBCs: An Introduction to Dynamic Macroeconomic Models*. Cambridge: Harvard University Press.
50. Medina, J. P., & Soto, C. (2005). Oil Shocks and Monetary Policy in an Estimated DSGE Model for a Small Open Economy. Najdeno 20. avgusta 2010 na spletnem naslovu <http://www.bcentral.cl/estudios/documentos-trabajo/pdf/dtbc353.pdf>
51. Monacelli, T. (2005). Monetary Policy in a Low Pass-Through Environment. *Journal of Money, Credit and Banking*, 37(6), 1047-1066.
52. Obstfeld, M., & Rogoff, K. (1996). *Foundations of International Macroeconomics*. Cambridge: The MIT Press.
53. *OPEC Share of World Crude Oil Reserves 2010*. Najdeno 23. maja 2011 na spletnem naslovu http://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/330.htm
54. Peersman, G., & Van Robays, I. (2009). Oil and the Euro Area Economy. *Economic Policy*, 24(60), 603-651.
55. Perše, M. (2004). *Sledenje športnikov na osnovi Kalmanovega filtra* (diplomsko delo). Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko.
56. Prašnikar, J., & Domadenik, P. (2005). *Mikroekonomija*. Ljubljana: GV Založba.
57. Roubini, N., & Setser, B. (2004). The Effects of the Recent Oil Price Shocks on the US and Global Economy. Najdeno 22. marca 2011 na spletnem naslovu <http://people.stern.nyu.edu/nroubini/papers/OilShockRoubiniSetser.pdf>
58. Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2002). *Ekonomija*. Ljubljana: GV Založba.
59. Senjur, M. (2001). *Makroekonomija* (3. izd.). Maribor: Založba MER-MER Evrocenter.
60. Sill, K. (2007). The Macroeconomics of Oil Shocks. V *Business Review Q1* (str. 21-31). Philadelphia: Federal Reserve Bank of Philadelphia.

61. Sims, C. A. (2002). Solving Linear Rational Expectations Models. *Computational Economics*, 20(1), 1-20.
62. Sjekloča, M. (2008). Tretja naftna kriza. Najdeno 22. maja 2011 na spletnem naslovu http://www.markosj.net/tretja_naftna_kriza.htm
63. Smets, F., & Wouters, R. (2003). An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area. *Journal of the European Economic Association*, 1(5), 1123-1175.
64. Sušjan, A. (2006). *Zgodovina ekonomske misli*. Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
65. Sveriges Riksbank. (2003). *Inflation Report*. (Št. 3, 16. oktober 2003). Sweden: Sveriges Riksbank.
66. Sveriges Riksbank. (2004). *Inflation Report*. (Št. 3, 14. oktober 2004). Sweden: Sveriges Riksbank.
67. Taylor, J. B. (1993). Discretion versus Policy Rules in Practice. *Carnegie-Rochester Conferences Series on Public Policy*, 39, 195-214.
68. Tovar, E. C. (2009). DSGE Models and Central Banks. *Economics: The Open Access, Open-Assessment E-Journal*, 3(16). Najdeno 13. Maja 2011 na spletnem naslovu <http://www.economics-ejournal.org/economics/journalarticles/2009-16>
69. Uhlig, H. (1999). A Toolkit for Analysing Nonlinear Dynamic Stochastic Models Easily. Najdeno 25. maja 2011 na spletnem naslovu <http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=3206>
70. Urad RS za makroekonomske analize in razvoj. (2005). *Slovenija: Jesensko poročilo 2005*. Ljubljana: Urad RS za makroekonomske analize in razvoj.
71. Urad Vlade RS za komuniciranje. (b. l.). Obnovljivi viri energije. Najdeno 23. maja 2011 na spletnem naslovu <http://www.evropa.gov.si/si/energetika/obnovljivi-viri-energije/>
72. *US Business Cycle Expansions and Contractions*. Najdeno 10. avgusta 2011 na spletnem naslovu <http://www.nber.org/cycles.html>
73. U. S. Energy Information Administration. (b. l.). Countries. Najdeno 23. maja 2011 na spletnem naslovu <http://www.eia.gov/countries/>

74. U. S. Energy Information Administration. (2011). Real Prices Viewer. *Short-Term Energy Outlook*. (8. november 2011). Najdeno 12. novembra 2011 na spletnem naslovu <http://205.254.135.7/forecasts/steo/realprices/>
75. Villemot, S. (2011). Solving Rational Expectations Models at First Order: What Dynare Does. *Working Paper 2*. Najdeno 14. aprila 2011 na spletnem naslovu <http://www.dynare.org/wp-repo/dynarewp002.pdf>
76. Whelan, K. (2007). Topic 6: The New-Keynesian Phillips Curve. Najdeno 22. maja 2011 na spletnem naslovu <http://www.karlwhelan.com/Teaching/TCD/handout6.pdf>
77. Woodford, M. (2003). *Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*. Oxford: Princeton University Press.

PRILOGE

KAZALO PRILOG

PRILOGA 1: IZPELJAVA FUNKCIJ POVPRASEVANJA PO POSAMEZNIH DOBRINAH	1
PRILOGA 2: IZPELJAVA AGREGATNIH INDEKSOV CEN.....	8
PRILOGA 3: OPTIMIZACIJSKI PROBLEM GOSPODINJSTEV	9
PRILOGA 4: IZPELJAVA EULERJEVIH ENACB ZA POTROŠNJO RAZLIČNIH DOBRIN.....	11
PRILOGA 5: OPTIMIZACIJSKI PROBLEM DOMAČIH/UVOZNIH PODJETIJ IN IZPELJAVA HIBRIDNE NOVO KEYNESIANSKE PHILLIPSOVE KRIVULJE.....	14
PRILOGA 6: IZPELJAVA IS KRIVULJE.....	19
PRILOGA 7: IZPELJAVA REALNIH MEJNIH STROŠKOV DOMAČIH PODJETIJ IN NARAVNEGA PROIZVODA.....	20
PRILOGA 8: PRIMER LOG-LINEARIZACIJE NEKATERIH ENACB MODELA	22
PRILOGA 9: ZAPIS HIBRIDNE NOVO KEYNESIANSKE PHILLIPSOVE KRIVULJE ZA k OBDOBIJ NAPREJ.....	25
PRILOGA 10: PRIMER DIAGNOSTIČNEGA TESTA ZA MAKSIMIZACIJO POSTERIORNE GOSTOTE.....	28
PRILOGA 11: AGREGATNI MCMC KONVERGENČNI DIAGNOSTIČNI TEST	28
PRILOGA 12: PRIMER UNIVARIATNEGA MCMC KONVERGENČNEGA DIAGNOSTIČNEGA TESTA	29

Priloga 1: Izpeljava funkcij povpraševanja po posameznih dobrinah

❖ Funkcija povpraševanja po osnovnih dobrinah

Gospodinjstva maksimizirajo celotno potrošnjo:

$$C_t = \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}} \rightarrow \max. \quad (1)$$

pri čemer se soočajo z naslednjo proračunsko omejitvijo:

$$P_{O,t} O_{C,t} + P_{Z,t} Z_t = \bar{B}, \quad (2)$$

kjer $\bar{B}$ predstavlja dohodek, ki je namenjen nakupu vseh dobrin v agregatni potrošni košarici.

Lagrangeva funkcija za zgornji optimizacijski problem je:

$$\mathcal{L} = \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}} - \lambda_t (P_{O,t} O_{C,t} + P_{Z,t} Z_t - \bar{B}). \quad (3)$$

Pogoj prvega reda glede na Z_t je:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Z_t} = \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{1}{\eta-1}} (1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{-\frac{1}{\eta}} = \lambda_t P_{Z,t}. \quad (4)$$

Iz enačbe (4) sledi:

$$Z_t = (1 - \delta) P_{Z,t}^{-\eta} \lambda_t^{-\eta} C_t. \quad (5)$$

Pogoj prvega reda glede na $O_{C,t}$ je:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial O_{C,t}} = \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{1}{\eta-1}} \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{-\frac{1}{\eta}} = \lambda_t P_{O,t}, \quad (6)$$

ki ga lahko zapišem tudi kot:

$$O_{C,t} = \delta P_{O,t}^{-\eta} \lambda_t^{-\eta} C_t. \quad (7)$$

Če enačbi (5) in (7) združim, dobim:

$$O_{c,t} = Z_t \frac{\delta}{1-\delta} \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{O,t}} \right)^\eta. \quad (8)$$

Enačbo (8) lahko nadalje uporabim v proračunski omejitvi (2), tako da dobim:

$$P_{Z,t}Z_t + P_{O,t}Z_t \frac{\delta}{1-\delta} \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{O,t}} \right)^\eta = \bar{B}. \quad (9)$$

V zgornji enačbi na levi strani najprej izpostavim $P_{Z,t}Z_t$:

$$P_{Z,t}Z_t \left[1 + \frac{\delta}{1-\delta} \left(\frac{P_{O,t}}{P_{Z,t}} \right)^{1-\eta} \right] = \bar{B} \quad (10)$$

in nato vse člene, razen Z_t , prenesem na desno stran enačbe:

$$Z_t = \frac{\bar{B}}{P_{Z,t}} \left[1 + \frac{\delta}{1-\delta} \left(\frac{P_{O,t}}{P_{Z,t}} \right)^{1-\eta} \right]^{-1}. \quad (11)$$

Če iz HICP indeksa izrazim ceno naftnih derivatov in izraz uporabim v enačbi (10), pridem do naslednjega izraza:

$$P_{Z,t}Z_t \left\{ 1 + \frac{1}{1-\delta} P_{Z,t}^{\eta-1} [P_{C,t}^{1-\eta} - (1-\delta)P_{Z,t}^{1-\eta}] \right\} = \bar{B}. \quad (12)$$

Če enačbo (12) nekoliko poenostavim, dobim:

$$P_{Z,t}Z_t \left[1 + \frac{1}{1-\delta} \left(\frac{P_{C,t}}{P_{Z,t}} \right)^{1-\eta} - 1 \right] = \bar{B} \quad (13)$$

oziroma:

$$P_{Z,t}Z_t \frac{1}{1-\delta} \left(\frac{P_{C,t}}{P_{Z,t}} \right)^{1-\eta} = \bar{B}. \quad (14)$$

Nato na levi strani enačbe (14) ohranim Z_t , vse ostale člene pa prenesem na desno stran:

$$Z_t = (1 - \delta) \frac{\bar{B}}{P_{Z,t}} \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{C,t}} \right)^{1-\eta}. \quad (15)$$

Na drugačen način lahko enačbo (15) zapišem tudi kot:

$$Z_t = (1 - \delta) \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} P_{C,t}^{-1} \bar{B}. \quad (16)$$

Ob upoštevanju, da velja $P_{C,t} C_t = \bar{B}$, lahko enačbo (16) zapišem kot:

$$Z_t = (1 - \delta) \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t. \quad (17)$$

❖ Funkcija povpraševanja po naftnih derivatih

Če v enačbi (8) upoštevam enačbo (17), dobim:

$$O_{C,t} = \frac{\delta}{1 - \delta} (1 - \delta) \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{O,t}} \right)^{\eta} \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t, \quad (18)$$

oziroma:

$$O_{C,t} = \delta \left(\frac{P_{O,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t. \quad (19)$$

❖ Funkcija povpraševanja po domačih dobrinah

Gospodinjstva maksimizirajo potrošnjo osnovnih dobrin:

$$Z_t = \left[(1 - \kappa)^{\frac{1}{\theta}} (C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}} (C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} \rightarrow \max \quad (20)$$

ob proračunski omejitvi:

$$P_{H,t} C_{H,t} + P_{F,t} C_{F,t} = \bar{M}, \quad (21)$$

kjer je $\bar{M}$ oznaka za dohodek, ki ga gospodinjstva namenijo nakupu osnovnih dobrin.

Lagrangeva funkcija za zgornji optimizacijski problem ima obliko:

$$\mathcal{L} = \left[(1 - \kappa)^{\frac{1}{\theta}} (C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}} (C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} - \lambda_t (P_{H,t} C_{H,t} + P_{F,t} C_{F,t} - \overline{M}). \quad (22)$$

Pogoj prvega reda glede na $C_{H,t}$ je:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_{H,t}} = \left[(1 - \kappa)^{\frac{1}{\theta}} (C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}} (C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{1}{\theta-1}} (1 - \kappa)^{\frac{1}{\theta}} (C_{H,t})^{-\frac{1}{\theta}} = \lambda_t P_{H,t}. \quad (23)$$

Če izraz (23) nekoliko preuredim, dobim:

$$C_{H,t} = (1 - \kappa) P_{H,t}^{-\theta} \lambda_t^{-\theta} Z_t. \quad (24)$$

Pogoj prvega reda glede na $C_{F,t}$ je:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_{F,t}} = \left[(1 - \kappa)^{\frac{1}{\theta}} (C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}} (C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{1}{\theta-1}} \kappa^{\frac{1}{\theta}} (C_{F,t})^{-\frac{1}{\theta}} = \lambda_t P_{F,t}, \quad (25)$$

od koder sledi:

$$C_{F,t} = \kappa P_{F,t}^{-\theta} \lambda_t^{-\theta} Z_t. \quad (26)$$

Če iz enačbe (26) izrazim Lagrangev multiplikator in ga uporabim v enačbi (24), dobim:

$$C_{F,t} = C_{H,t} \frac{\kappa}{1 - \kappa} \left(\frac{P_{H,t}}{P_{F,t}} \right)^{\theta}. \quad (27)$$

Enačbo (27) nadalje uporabim v proračunski omejitvi (21), tako da pridem do naslednjega izraza:

$$P_{H,t} C_{H,t} + P_{F,t} C_{H,t} \frac{\kappa}{1 - \kappa} \left(\frac{P_{H,t}}{P_{F,t}} \right)^{\theta} = \overline{M}. \quad (28)$$

Na levi strani enačbe (28) nato izpostavim $P_{H,t} C_{H,t}$:

$$P_{H,t} C_{H,t} \left[1 + \frac{\kappa}{1 - \kappa} \left(\frac{P_{F,t}}{P_{H,t}} \right)^{1-\theta} \right] = \overline{M}, \quad (29)$$

hkrati pa iz zgornje enačbe izrazim $C_{H,t}$:

$$C_{H,t} = \frac{\bar{M}}{P_{H,t}} \left[1 + \frac{\kappa}{1-\kappa} \left(\frac{P_{F,t}}{P_{H,t}} \right)^{1-\theta} \right]^{-1}. \quad (30)$$

Če iz enačbe za agregatni indeks cen osnovnih dobrin izrazim indeks cen uvoženih dobrin in ga upoštevam v enačbi (29), dobim:

$$P_{H,t} C_{H,t} \left\{ 1 + \frac{1}{1-\kappa} P_{H,t}^{\theta-1} [P_{Z,t}^{1-\theta} - (1-\kappa) P_{H,t}^{1-\theta}] \right\} = \bar{M}. \quad (31)$$

Poenostavljena oblika enačbe (31) je sledeča:

$$P_{H,t} C_{H,t} \left[1 + \frac{1}{1-\kappa} \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{H,t}} \right)^{1-\theta} - 1 \right] = \bar{M} \quad (32)$$

oziroma po dodatnem krajšanju:

$$P_{H,t} C_{H,t} \frac{1}{1-\kappa} \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{H,t}} \right)^{1-\theta} = \bar{M}. \quad (33)$$

Če iz enačbe (33) izrazim $C_{H,t}$, dobim:

$$C_{H,t} = (1-\kappa) \frac{\bar{M}}{P_{H,t}} \left(\frac{P_{H,t}}{P_{Z,t}} \right)^{1-\theta}. \quad (34)$$

Enačbo (34) lahko zapišem tudi takole:

$$C_{H,t} = (1-\kappa) \left(\frac{P_{H,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} P_{Z,t}^{-1} \bar{M}. \quad (35)$$

V enačbi (35) upoštevam $P_{Z,t} Z_t = \bar{M}$ in dobim funkcijo povpraševanja po domačih dobrinah:

$$C_{H,t} = (1-\kappa) \left(\frac{P_{H,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} Z_t. \quad (36)$$

❖ **Funkcija povpraševanja po uvoženih dobrinah**

Za izpeljavo funkcije povpraševanja po uvoženih dobrinah v enačbi (27) uporabim enačbo (36):

$$C_{F,t} = \frac{\kappa}{1-\kappa} (1-\kappa) \left(\frac{P_{H,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} \left(\frac{P_{H,t}}{P_{F,t}} \right)^{\theta} Z_t, \quad (37)$$

kar lahko preuredim v:

$$C_{F,t} = \kappa \left(\frac{P_{F,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} Z_t \quad (38)$$

❖ **Funkcija povpraševanja po j -ti različici domače/uvožene dobrine**

Gospodinjstvo minimizira celotne izdatke za domače oziroma uvožene dobrine, pri čemer je $i = \{H, F\}$. S črko H označujem domače dobrine, s črko F pa uvožene dobrine.

$$\int_0^1 P_{i,t}(j) C_{i,t}(j) dj \rightarrow \min \quad (39)$$

ob upoštevanju naslednje omejitve:

$$C_{i,t} = \left[\int_0^1 C_{i,t}(j)^{\frac{\varepsilon_i-1}{\varepsilon_i}} dj \right]^{\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i-1}}. \quad (40)$$

Zgornji optimizacijski problem lahko predstavim z zapisom naslednje Lagrangeve funkcije:

$$\mathcal{L} = \int_0^1 P_{i,t}(j) C_{i,t}(j) dj - \lambda_t \left[\int_0^1 C_{i,t}(j)^{\frac{\varepsilon_i-1}{\varepsilon_i}} dj \right]^{\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i-1}}. \quad (41)$$

Pogoj prvega reda glede na $C_{i,t}(j)$ je naslednji:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_{i,t}(j)} = P_{i,t}(j) - \lambda_t \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i - 1} \left[\int_0^1 C_{i,t}(j)^{\frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i}} dj \right]^{\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i - 1} - 1} \frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i} C_{i,t}(j)^{-\frac{1}{\varepsilon_i}} = 0. \quad (42)$$

Če enačbo (42) pomnožim s $C_{i,t}(j)$, dobim:

$$P_{i,t}(j)C_{i,t}(j) = \lambda_t \left[\int_0^1 C_{i,t}(j)^{\frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i}} dj \right]^{\frac{1}{\varepsilon_i - 1}} C_{i,t}(j)^{\frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i}}. \quad (43)$$

Ob integraciji obeh strani izraza (43) dobim:

$$\int_0^1 P_{i,t}(j)C_{i,t}(j) dj = \lambda_t C_{i,t} \Leftrightarrow \lambda_t = P_{i,t}. \quad (44)$$

Izraz (44) lahko uporabim v enačbi (43):

$$P_{i,t}(j)C_{i,t}(j) = P_{i,t}(j)C_{i,t}(j)^{\frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i}} \left[\int_0^1 C_{i,t}(j)^{\frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i}} dj \right]^{\frac{1}{\varepsilon_i - 1}}. \quad (45)$$

Enačbo (45) lahko nekoliko preoblikujem v:

$$P_{i,t}(j) = P_{i,t}(j)C_{i,t}(j)^{-\frac{1}{\varepsilon_i} \frac{1}{C_{i,t}^{\varepsilon_i}}} \quad (46)$$

oziroma:

$$P_{i,t}(j)^{-\varepsilon_i} = P_{i,t}^{-\varepsilon_i} C_{i,t}(j) C_{i,t}^{-1}. \quad (47)$$

Nazadnje lahko iz enačbe (47) dobim funkcijo povpraševanja po j -ti različici domače/uvožene dobrine:

$$C_{i,t}(j) = \left(\frac{P_{i,t}(j)}{P_{i,t}} \right)^{-\varepsilon_i} C_{i,t}. \quad (48)$$

Priloga 2: Izpeljava agregatnih indeksov cen

❖ HICP indeks

Lagrangeva funkcija za problem minimizacije stroškov dane košarice dobrin je:

$$\mathcal{L} = P_{Z,t}Z_t + P_{O,t}O_{C,t} - \lambda_t \left\{ \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}} - 1 \right\}. \quad (49)$$

Pogoj prvega reda glede na Z_t :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Z_t} = P_{Z,t} - \lambda_t \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{1}{\eta-1}} (1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{-\frac{1}{\eta}} = 0. \quad (50)$$

Pogoj prvega reda glede na $O_{C,t}$:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial O_{C,t}} = P_{O,t} - \lambda_t \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{1}{\eta-1}} \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{-\frac{1}{\eta}} = 0. \quad (51)$$

Če zgornja pogoja prvega reda potenciram na λ_t , dobim naslednji dve enačbi:

$$P_{Z,t}^{\eta} = \lambda_t^{\eta} (1 - \delta) Z_t^{-1} \quad (52)$$

$$P_{O,t}^{\eta} = \lambda_t^{\eta} \delta O_{C,t}^{-1},$$

iz katerih lahko izrazim Lagrangev multiplikator λ_t , ki je obenem tudi indeks cen te košarice,

pri tem pa upoštevam, da je $C_t = \left[(1 - \delta)^{\frac{1}{\eta}} (Z_t)^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \delta^{\frac{1}{\eta}} (O_{C,t})^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}} = 1$:

$$P_{C,t} = \lambda_t = \left[(1 - \delta) P_{Z,t}^{1-\eta} + \delta P_{O,t}^{1-\eta} \right]^{\frac{1}{1-\eta}}. \quad (53)$$

❖ Agregatni indeks cen osnovnih dobrin

Podobno postopam tudi v primeru minimizacije stroškov košarice osnovnih dobrin, kjer lahko Lagrangevo funkcijo zapišem na sledeč način:

$$\mathcal{L} = P_{H,t}C_{H,t} + P_{F,t}C_{F,t} - \lambda_t \left\{ \left[(1-\kappa)^{\frac{1}{\theta}}(C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}}(C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} - 1 \right\}. \quad (54)$$

Pogoj prvega reda glede na $C_{H,t}$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_{H,t}} &= P_{H,t} - \lambda_t \frac{\theta}{\theta-1} \left[(1-\kappa)^{\frac{1}{\theta}}(C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}}(C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} \\ &\quad (1-\kappa)^{\frac{1}{\theta}}(C_{H,t})^{-\frac{1}{\theta}} = 0. \end{aligned} \quad (55)$$

Pogoj prvega reda glede na $C_{F,t}$:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_{F,t}} = P_{F,t} - \lambda_t \frac{\theta}{\theta-1} \left[(1-\kappa)^{\frac{1}{\theta}}(C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}}(C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} \kappa^{\frac{1}{\theta}}(C_{F,t})^{-\frac{1}{\theta}} = 0. \quad (56)$$

S potenciranjem zgornjih dveh pogojev prvega reda na λ_t dobimo naslednji dve enačbi:

$$\begin{aligned} P_{H,t}^\theta &= \lambda_t^\theta (1-\kappa) C_{H,t}^{-1} \\ P_{F,t}^\theta &= \lambda_t^\theta \kappa C_{F,t}^{-1}, \end{aligned} \quad (57)$$

iz katerih izrazim Lagrangev multiplikator λ_t , ki je indeks cen te košarice, pri tem pa upoštevam, da je $Z_t = \left[(1-\kappa)^{\frac{1}{\theta}}(C_{H,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} + \kappa^{\frac{1}{\theta}}(C_{F,t})^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} = 1$ in dobim:

$$P_{Z,t} = \lambda_t = \left[(1-\kappa)P_{H,t}^{1-\theta} + \kappa P_{F,t}^{1-\theta} \right]^{\frac{1}{1-\theta}}. \quad (58)$$

Priloga 3: Optimizacijski problem gospodinjstev

Lagrangeva funkcija za optimizacijski problem gospodinjstva je naslednja:

$$\mathcal{L} = E_t \sum_{k=0}^{\infty} \beta^k \left\{ \begin{aligned} &\left[\chi_{t+k}^C \frac{C_{t+k}^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \chi_{t+k}^N \frac{N_{t+k}^{1+\varphi}}{1+\varphi} + f\left(\frac{M_{t+k}}{P_{C,t+k}}\right) \right] \\ &- \lambda_{t+k} \left[B_{t+k} + W_{t+k}N_{t+k} + M_{t+k-1} + T_{t+k} - P_{C,t+k}C_{t+k} \right. \\ &\quad \left. - M_{t+k} - E_{t+k}(D_{t+k,t+k+1}B_{t+k+1}) \right] \end{aligned} \right\}. \quad (59)$$

Pogoj prvega reda glede na C_{t+k} :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C_{t+k}} = \beta^k \chi_{t+k}^C C_{t+k}^{-\sigma} + \beta^k \lambda_{t+k} P_{C,t+k} = 0. \quad (60)$$

Pogoj prvega reda glede na N_{t+k} :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial N_{t+k}} = -\beta^k \chi_{t+k}^N N_{t+k}^\varphi - \beta^k \lambda_{t+k} W_{t+k} = 0. \quad (61)$$

Pogoj prvega reda glede na B_{t+k+1} :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial B_{t+k+1}} = -\beta^{k+1} \lambda_{t+k+1} + \beta^k \lambda_{t+k} E_{t+k} D_{t+k,t+k+1} = 0. \quad (62)$$

Ob združitvi prvega in drugega pogoja prvega reda dobim:

$$\frac{W_t}{P_{C,t}} = \frac{1}{\chi_t^C} C_t^\sigma \chi_t^N N_t^\varphi. \quad (63)$$

Iz zadnjega pogoja prvega reda je razvidno, da je razmerje med Lagrangevima multiplikatorjema enako inverzni vrednosti stohastičnega diskontnega faktorja:

$$\frac{\lambda_t}{\lambda_{t+1}} = \frac{1}{E_t D_{t,t+1}} = (1 + i_t). \quad (64)$$

Z združitvijo enačb (60) in (62) dobim ter upoštevanjem (64) dobim:

$$\beta E_t \left[\frac{\chi_{t+1}^C}{\chi_t^C} \left(\frac{C_{t+1}}{C_t} \right)^{-\sigma} \frac{P_{C,t}}{P_{C,t+1}} \right] = E_t D_{t,t+1}. \quad (65)$$

Če upoštevam, da je inverzna vrednost stohastičnega diskontnega faktorja enaka bruto nominalni obrestni meri, dobim:

$$\beta(1 + i_t) E_t \left[\frac{\chi_{t+1}^C}{\chi_t^C} \left(\frac{C_{t+1}}{C_t} \right)^{-\sigma} \frac{P_{C,t}}{P_{C,t+1}} \right] = 1. \quad (66)$$

Priloga 4: Izpeljava Eulerjevih enačb za potrošnjo različnih dobrin

❖ Eulerjeva enačba za potrošnjo naftnih derivatov

Pri izpeljavi Eulerjevih enačb za potrošnjo različnih vrst dobrin se zgledujem po Masten (2008, str. 136). Izpeljavo Eulerjeve enačbe za potrošnjo nafte začnem z izrazom, ki določa povpraševanje po nafti:

$$O_{C,t} = \delta \left(\frac{P_{O,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t. \quad (67)$$

V log-linearizirani obliki ima enačba (67) sledečo obliko:

$$\hat{o}_{C,t} = \hat{c}_t - \eta(\hat{p}_{O,t} - \hat{p}_{C,t}). \quad (68)$$

Če v zgornji enačbi upoštevam izraz za HICP indeks, dobim:

$$\hat{o}_{C,t} = \hat{c}_t - \eta(\hat{p}_{O,t} - \hat{p}_{H,t} - \kappa(1 - \delta)\hat{s}_{F,t} - \delta\hat{s}_{O,t}), \quad (69)$$

kar lahko ob upoštevanju definicij relativnih cen zapišem kot:

$$\hat{c}_t = \hat{o}_{C,t} - (\eta\kappa - \eta\kappa\delta)\hat{s}_{F,t} - (\eta\delta - \eta)\hat{s}_{O,t}. \quad (70)$$

Za nadaljnjo izpeljavo potrebujem tudi izraz, ki povezuje HICP inflacijo z inflacijo cen naftnih derivatov:

$$\hat{\pi}_{C,t} = \hat{\pi}_{O,t} - (\kappa\delta - \kappa)\Delta\hat{s}_{F,t} - (1 - \delta)\Delta\hat{s}_{O,t}. \quad (71)$$

Če enačbi (70) in (71) uporabim v Eulerjevi enačbi za potrošnjo, dobim:

$$\begin{aligned} \hat{o}_{C,t} = E_t \hat{o}_{C,t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{O,t+1} + (\kappa\delta - \kappa)E_t \Delta\hat{s}_{F,t+1} \right. \\ \left. + (1 - \delta)E_t \Delta\hat{s}_{O,t+1} + E_t \Delta\hat{\chi}_{t+1}^C \right] \\ - (\eta\kappa - \eta\kappa\delta)E_t \Delta\hat{s}_{F,t+1} - (\eta\delta - \eta)E_t \Delta\hat{s}_{O,t+1}. \end{aligned} \quad (72)$$

Enačbo (72) lahko poenostavim do naslednje oblike:

$$\begin{aligned} \hat{o}_{C,t} = E_t \hat{o}_{C,t+1} - \frac{1}{\sigma} \left(\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{O,t+1} + E_t \Delta\hat{\chi}_{t+1}^C \right) - \kappa(1 - \delta) \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta\hat{s}_{F,t+1} \\ - (1 - \delta) \left(\frac{1}{\sigma} - \eta \right) E_t \Delta\hat{s}_{O,t+1}, \end{aligned} \quad (73)$$

❖ **Eulerjeva enačba za potrošnjo domačih dobrin**

Ob upoštevanju enačbe (17) v enačbi (36) dobim:

$$C_{H,t} = (1 - \kappa) \left(\frac{P_{H,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} (1 - \delta) \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t. \quad (74)$$

V log-linearizirani obliki ima zgornji izraz naslednjo obliko:

$$\hat{c}_{H,t} = \theta(\hat{p}_{Z,t} - \hat{p}_{H,t}) + \eta(\hat{p}_{C,t} - \hat{p}_{Z,t}) + \hat{c}_t. \quad (75)$$

Če v enačbi (75) uporabim HICP indeks in indeks cen osnovnih dobrin, dobim:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{H,t} = & \theta[(1 - \kappa)\hat{p}_{H,t} + \kappa\hat{p}_{F,t} - \hat{p}_{H,t}] \\ & + \eta[\hat{p}_{H,t} + \kappa(1 - \delta)\hat{s}_{F,t} + \delta\hat{s}_{O,t} - (1 - \kappa)\hat{p}_{H,t} - \kappa\hat{p}_{F,t}] + \hat{c}_t, \end{aligned} \quad (76)$$

kar lahko v poenostavljeni obliki zapišem kot:

$$\hat{c}_t = \hat{c}_{H,t} - (\theta\kappa - \eta\kappa\delta)\hat{s}_{F,t} - \eta\delta\hat{s}_{O,t}. \quad (77)$$

Izraz, ki povezuje HICP inflacijo z inflacijo cen domačih dobrin in relativnima cenama, ima obliko:

$$\hat{\pi}_{C,t} = \hat{\pi}_{H,t} + \kappa(1 - \delta)\Delta\hat{s}_{F,t} + \delta\Delta\hat{s}_{O,t}. \quad (78)$$

V nadaljevanju v Eulerjevi enačbi za potrošnjo upoštevam enačbi (77) in (78) in dobim:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{H,t} = & E_t \hat{c}_{H,t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{H,t+1} - \kappa(1 - \delta)E_t \Delta\hat{s}_{F,t+1} \right] \\ & - \delta E_t \Delta\hat{s}_{O,t+1} + E_t \Delta\hat{\chi}_{t+1}^C \\ & - (\theta\kappa - \eta\kappa\delta)E_t \Delta\hat{s}_{F,t+1} - \eta\delta E_t \Delta\hat{s}_{O,t+1}, \end{aligned} \quad (79)$$

oziroma v poenostavljeni obliki:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{H,t} = & E_t \hat{c}_{H,t+1} - \frac{1}{\sigma} (\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{H,t+1} + E_t \Delta\hat{\chi}_{t+1}^C) \\ & - \kappa \left[\theta - \eta\delta - \frac{1}{\sigma}(1 - \delta) \right] E_t \Delta\hat{s}_{F,t+1} - \delta \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta\hat{s}_{O,t+1} \end{aligned} \quad (80)$$

❖ **Eulerjeva enačba za potrošnjo uvoženih dobrin**

Ob združitvi enačbe (17) in (38) dobim:

$$C_{F,t} = \kappa \left(\frac{P_{F,t}}{P_{Z,t}} \right)^{-\theta} (1 - \delta) \left(\frac{P_{Z,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t \quad (81)$$

oziroma v log-linearizirani obliki:

$$\hat{c}_{F,t} = \theta(\hat{p}_{Z,t} - \hat{p}_{F,t}) + \eta(\hat{p}_{C,t} - \hat{p}_{Z,t}) + \hat{c}_t. \quad (82)$$

Tudi tokrat v zgornjo enačbo vstavim izraz za HICP indeks in indeks cen osnovnih dobrin in dobim:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{F,t} = & \theta[(1 - \kappa)\hat{p}_{H,t} + \kappa\hat{p}_{F,t} - \hat{p}_{F,t}] \\ & + \eta[\hat{p}_{H,t} + \kappa(1 - \delta)\hat{s}_{F,t} + \delta\hat{s}_{O,t} - (1 - \kappa)\hat{p}_{H,t} - \kappa\hat{p}_{F,t}] + \hat{c}_t. \end{aligned} \quad (83)$$

Če enačbo (83) poenostavim, dobim:

$$\hat{c}_t = \hat{c}_{F,t} - (\theta\kappa - \theta - \eta\kappa\delta)\hat{s}_{F,t} - \eta\hat{s}_{O,t}. \quad (84)$$

Tokrat za končno obliko Eulerjeve enačbe potrebujem izraz, ki povezuje HICP inflacijo z inflacijo cen uvoženih dobrin:

$$\hat{\pi}_{C,t} = \hat{\pi}_{F,t} - (1 - \kappa + \kappa\delta)\Delta\hat{s}_{F,t} + \delta\Delta\hat{s}_{O,t}. \quad (85)$$

Ob upoštevanju enačbe (84) in (85) v Eulerjevi enačbi za potrošnjo pridem do naslednjega izraza:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{F,t} = & E_t \hat{c}_{F,t+1} - \frac{1}{\sigma} \left[\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{F,t+1} + (1 - \kappa + \kappa\delta)E_t \Delta\hat{s}_{F,t+1} \right] \\ & - \delta E_t \Delta\hat{s}_{O,t+1} + E_t \Delta\hat{\chi}_{t+1}^C \\ & - (\theta\kappa - \theta - \eta\kappa\delta)E_t \Delta\hat{s}_{F,t+1} - \eta\delta E_t \Delta\hat{s}_{O,t+1}, \end{aligned} \quad (86)$$

ki ga lahko zapišem tudi kot:

$$\begin{aligned}
\hat{c}_{F,t} &= E_t \hat{c}_{F,t+1} - \frac{1}{\sigma} (\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{F,t+1} + E_t \Delta \chi_{t+1}^C) \\
&- \left\{ \frac{1}{\sigma} - \theta + \kappa \left[\theta - \eta \delta - \frac{1}{\sigma} (1 - \delta) \right] \right\} E_t \Delta \hat{s}_{F,t+1} \\
&- \delta \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta \hat{s}_{O,t+1}.
\end{aligned} \tag{87}$$

Priloga 5: Optimizacijski problem domačih/uvoznih podjetij in izpeljava hibridne novo keynesianske Phillipsove krivulje

Optimizacijski problem domačega/uvoznega podjetja je sledeč:

$$\max_{P_{i,t}^{nova}(j)} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} \left[X_{t+k}(j) \left(\frac{P_{i,t+k}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} - MC_{i,t+k}^r \right) \right], \tag{88}$$

kjer je $X_t = \{Y_{H,t}, C_{F,t}\}$.

Ob upoštevanju indeksacijskega pravila:

$$P_{i,t+k}^{nova}(j) = \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} P_{i,t}^{nova}(j) \tag{89}$$

in funkcije povpraševanja po proizvodu domačega/uvoznega podjetja:

$$X_t(j) = \left(\frac{P_{i,t}(j)}{P_{i,t}} \right)^{-\varepsilon_i} X_t \tag{90}$$

lahko optimizacijski problem (88) zapišem kot:

$$\begin{aligned}
\max_{P_{i,t}^{nova}(j)} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} & \left\{ \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{1-\varepsilon_i} \right. \\
& \left. - MC_{i,t+k}^r \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{-\varepsilon_i} \right\}.
\end{aligned} \tag{91}$$

Pogoj prvega reda glede na $P_{i,t}^{nova}(j)$:

$$\begin{aligned}
& E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} \left\{ \frac{(1 - \varepsilon_i) \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t+k}} \right)^{\delta_i} \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{-\varepsilon_i}}{P_{i,t+k} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i}} \right. \\
& \left. - MC_{i,t+k}^r (-\varepsilon_i) \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{-\varepsilon_i - 1} \frac{1}{P_{i,t+k} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i}} \right\} = 0.
\end{aligned} \tag{92}$$

Po preureditvi enačbe (92) dobim:

$$\begin{aligned}
& E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} \left\{ \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{1-\varepsilon_i} \right. \\
& \left. - \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i - 1} MC_{i,t+k}^r \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{-\varepsilon_i} \right\}.
\end{aligned} \tag{93}$$

Ob popolni fleksibilnosti cen, kar pomeni, da velja $\xi_i = 0$, se zgornji pogoj prvega reda poenostavi v:

$$\frac{P_{i,t}(j)}{P_{i,t}} = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i - 1} MC_{i,t+k}^r. \tag{94}$$

Nadalje v enačbi (93) upoštevam povezavo med nominalnimi in realnimi mejnimi stroški $MC_{i,t+k}^n = MC_{i,t+k}^r P_{i,t+k}$, obenem pa desno stran enačbe pomnožim z $\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t}^{nova}(j)}$ in dobim:

$$\begin{aligned}
& E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{1-\varepsilon_i} \\
& = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i - 1} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} \frac{MC_{i,t+k}^n}{P_{i,t+k}} \\
& \quad \frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t}^{nova}(j)} \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{-\varepsilon_i},
\end{aligned} \tag{95}$$

kar lahko v poenostavljeni obliki zapišem na sledeč način:

$$\begin{aligned}
& E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} \left[\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{\delta_i} \right]^{1-\varepsilon_i} \\
&= \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i - 1} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} \frac{MC_{i,t+k}^n}{P_{i,t}^{nova}(j)} \left(\frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t+k}} \right)^{1-\varepsilon_i} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{-\varepsilon_i \delta_i}. \quad (96)
\end{aligned}$$

Nato na levo stran enačbe (96) izven vsote prenesem $P_{i,t}^{nova}(j)$, dodatno pa upoštevam poenostavitev $\left(\frac{1}{P_{i,t+k}} \right)^{1-\varepsilon_i} = P_{i,t+k}^{\varepsilon_i-1}$ in dobim:

$$\begin{aligned}
& P_{i,t}^{nova}(j) E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} P_{i,t+k}^{\varepsilon_i-1} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \\
&= \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i - 1} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} MC_{i,t+k}^n P_{i,t+k}^{\varepsilon_i-1} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{-\varepsilon_i \delta_i}. \quad (97)
\end{aligned}$$

❖ Izpeljava hibridne novo keynesianske Phillipsove krivulje za domača/uvozna podjetja

Ob upoštevanju značilnosti simetričnega ravnotežja:

$$P_{i,t}^{nova}(j) = P_{i,t}^{nova}, \quad \text{za } \forall j \quad (98)$$

$$P_{i,t-1}(j) = P_{i,t-1}, \quad \text{za } \forall j,$$

lahko pokažem, da je agregatna raven cen domačih oziroma uvoženih dobrin v Calvo gospodarstvu tehtano povprečje ravni cen iz preteklega obdobja in nove optimalne cene:

$$\begin{aligned}
P_{i,t} &= \left[\int_0^{\xi_i} \left(P_{i,t-1} \left(\frac{P_{i,t-1}}{P_{i,t-2}} \right)^{\delta_i} \right)^{1-\varepsilon_i} dj + \int_{\xi_i}^1 (P_{i,t}^{nova})^{1-\varepsilon_i} dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_i}} \\
&= \left[\left(P_{i,t-1} \left(\frac{P_{i,t-1}}{P_{i,t-2}} \right)^{\delta_i} \right)^{1-\varepsilon_i} \int_0^{\xi_i} dj + (P_{i,t}^{nova})^{1-\varepsilon_i} \int_{\xi_i}^1 dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_i}} \\
&= \left[\xi_i \left(P_{i,t-1} \left(\frac{P_{i,t-1}}{P_{i,t-2}} \right)^{\delta_i} \right)^{1-\varepsilon_i} + (1 - \xi_i) (P_{i,t}^{nova})^{1-\varepsilon_i} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_i}}. \quad (99)
\end{aligned}$$

Ob log-linearizaciji zgornjega izraza dobim:

$$\hat{p}_{i,t}^{nova} = \frac{1}{1 - \xi_i} (\hat{p}_{i,t} - \xi_i \hat{p}_{i,t-1} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t-1}). \quad (100)$$

Naslednji korak pri izpeljavi Phillipsove krivulje je zapis enačbe (145) za k obdobj nazaj, kar lahko storim s pomočjo metode rekurzivne substitucije, ki jo povzemam po Whelan (2007, str. 6-7). Rekurzivna substitucija v splošnem pomeni preoblikovanje enačbe:

$$y_t = a \sum_{k=0}^{\infty} b^k E_t x_{t+k} \quad (101)$$

v obliko:

$$y_t = ax_t + by_{t+1}. \quad (102)$$

Namesto splošnih parametrov in spremenljivk v zgornjih dveh enačbah lahko uporabim konkretne vrednosti iz enačbe (145):

$$\begin{aligned} y_t &= \hat{p}_{i,t}^{nova} - \delta_i \hat{p}_{i,t-1} \\ x_t &= \widehat{mc}_{i,t+k}^n - \delta_i \hat{p}_{i,t+k-1} \\ a &= 1 - \beta \xi_i \\ b &= \beta \xi_i \end{aligned} \quad (103)$$

in dobim:

$$\hat{p}_{i,t}^{nova} - \delta_i \hat{p}_{i,t-1} = (1 - \beta \xi_i) (\widehat{mc}_{i,t}^n - \delta_i \hat{p}_{i,t-1}) + \beta \xi_i (E_t \hat{p}_{i,t+1}^{nova} - \delta_i \hat{p}_{i,t}). \quad (104)$$

Ob uporabi enačbe (100) v enačbi (104) dobim izraz:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{1 - \xi_i} (\hat{p}_{i,t} - \xi_i \hat{p}_{i,t-1} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t-1}) - \delta_i \hat{p}_{i,t-1} \\ &= (1 - \beta \xi_i) (\widehat{mc}_{i,t}^n - \delta_i \hat{p}_{i,t-1}) \\ &+ \frac{\beta \xi_i}{1 - \xi_i} (E_t \hat{p}_{i,t+1} - \xi_i \hat{p}_{i,t} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t}) - \beta \xi_i \delta_i \hat{p}_{i,t}, \end{aligned} \quad (105)$$

ki ga lahko po krajšanju člena $\delta_i \hat{p}_{i,t-1}$ na obeh straneh enačbe zapišem kot:

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{1-\xi_i}(\hat{p}_{i,t} - \xi_i \hat{p}_{i,t-1} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t-1}) \\
&= (1 - \beta \xi_i) \widehat{mc}_{i,t}^n + \frac{\beta \xi_i}{1 - \xi_i} (E_t \hat{p}_{i,t+1} - \xi_i \hat{p}_{i,t} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t}) \\
&\quad - \beta \xi_i \delta_i (\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1}).
\end{aligned} \tag{106}$$

Na levi strani enačbe (106) znotraj oklepaja odštejem in prištejem $\hat{p}_{i,t-1}$, na desni strani pa $\hat{p}_{i,t}$:

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{1-\xi_i}(\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1} + \hat{p}_{i,t-1} - \xi_i \hat{p}_{i,t-1} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t-1}) \\
&= (1 - \beta \xi_i) \widehat{mc}_{i,t}^n \\
&\quad + \frac{\beta \xi_i}{1 - \xi_i} (E_t \hat{p}_{i,t+1} - \hat{p}_{i,t} + \hat{p}_{i,t} - \xi_i \hat{p}_{i,t} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t}) \\
&\quad - \beta \xi_i \delta_i (\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1}).
\end{aligned} \tag{107}$$

Nadalje na obeh straneh enačbe (107) odštejem $\hat{p}_{i,t}$ in dobim:

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{1-\xi_i}(\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t-1}) + \hat{p}_{i,t-1} - \hat{p}_{i,t} \\
&= (1 - \beta \xi_i) \widehat{mc}_{i,t}^n + \frac{\beta \xi_i}{1 - \xi_i} (E_t \hat{p}_{i,t+1} - \hat{p}_{i,t} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t}) + \beta \xi_i \hat{p}_{i,t} \\
&\quad - \beta \xi_i \delta_i (\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1}) - \hat{p}_{i,t},
\end{aligned} \tag{108}$$

kar lahko zapišem tudi kot:

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{1-\xi_i}(\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t-1}) - (\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1}) \\
&= (1 - \beta \xi_i) \widehat{mc}_{i,t}^n + \frac{\beta \xi_i}{1 - \xi_i} (E_t \hat{p}_{i,t+1} - \hat{p}_{i,t} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t}) \\
&\quad - \beta \xi_i \delta_i (\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1}) - (1 - \beta \xi_i) \hat{p}_{i,t}.
\end{aligned} \tag{109}$$

Če zgornjo enačbo poenostavim, pridem do naslednjega izraza:

$$\begin{aligned}
& \frac{\xi_i}{1-\xi_i}(\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1} - \delta_i \hat{\pi}_{i,t-1}) \\
&= (1 - \beta \xi_i)(\widehat{mc}_{i,t}^n - \hat{p}_{i,t}) + \frac{\beta \xi_i}{1 - \xi_i} (E_t \hat{p}_{i,t+1} - \hat{p}_{i,t} - \xi_i \delta_i \hat{\pi}_{i,t}) \\
&\quad - \beta \xi_i \delta_i (\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1}).
\end{aligned} \tag{110}$$

Z množenjem obeh strani enačbe (110) z $\frac{1-\xi_i}{\xi_i}$ in upoštevanjem definicije tekoče inflacije $\hat{p}_{i,t} - \hat{p}_{i,t-1} = \hat{\pi}_{i,t}$ ter realnih mejnih stroškov $\widehat{mc}_{i,t}^n - \hat{p}_{i,t} = \widehat{mc}_{i,t}^r$ dobimo enačbo (111) oziroma hibridno novo keynesiansko Phillipsovo krivuljo za domača oziroma uvozna podjetja:

$$\hat{\pi}_{i,t} = \frac{\beta}{1 + \beta\delta_i} E_t \hat{\pi}_{i,t+1} + \frac{\delta_i}{1 + \beta\delta_i} \hat{\pi}_{i,t-1} + \frac{1}{1 + \beta\delta_i} \frac{(1 - \beta\xi_i)(1 - \xi_i)}{\xi_i} \widehat{mc}_{i,t}^r. \quad (111)$$

Priloga 6: Izpeljava IS krivulje

Izpeljavo IS krivulje povzemam po Masten (2008, str. 136-137). Pri izpeljavi IS krivulje najprej izhajam iz predhodno izpeljane enačbe (77) in jo vstavim v enačbo:

$$\hat{c}_t = c_t^* + \frac{1}{\sigma} [\hat{\chi}_t^C + \hat{\psi}_F + (1 - (1 - \delta)\kappa)\hat{s}_{F,t} - \delta\hat{s}_{O,t}], \quad (112)$$

ki predstavlja log-lineariziran izraz za potrošnjo ob popolnih finančnih trgih, in dobim izraz:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{H,t} = \hat{c}_t^* + \frac{1}{\sigma} (\hat{\psi}_F + \hat{\chi}_t^C) + \left[\frac{1}{\sigma} (1 - (1 - \delta)\kappa) + (\theta - \eta\delta)\kappa \right] \hat{s}_{F,t} \\ + \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) \delta \hat{s}_{O,t}, \end{aligned} \quad (113)$$

ki povezuje domačo potrošnjo domačih dobrin s tujo potrošnjo in relativnimi cenami.

Log-lineariziran izraz za ravnotežni pogoj na trgu dobrin, čigar izpeljavo prikazujem na strani 52 je naslednji:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{H,t} = \hat{y}_t^* + \left\{ (1 - \kappa)(\theta - \eta\delta)\kappa + (1 - \kappa)\frac{1}{\sigma} [1 - (1 - \delta)\kappa] + \kappa\theta \right\} \hat{s}_{F,t} \\ + (1 - \kappa)\delta \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) \hat{s}_{O,t} + \left[(1 - \kappa)\frac{1}{\sigma} + \kappa\theta \right] \hat{\psi}_{F,t} \\ + (1 - \kappa)\frac{1}{\sigma} \hat{\chi}_t^C, \end{aligned} \quad (114)$$

Ob uporabi enačbe (113) v zgornji enačbi dobim:

$$\begin{aligned}
\hat{y}_{H,t} = \hat{c}_{H,t} + & \left\{ (1-\kappa)(\theta - \eta\delta)\kappa + (1-\kappa)\frac{1}{\sigma}(1 - (1-\delta)\kappa) + \kappa\theta \right. \\
& \left. - \left[\frac{1}{\sigma}(1 - (1-\delta)\kappa) + (\theta - \eta\delta)\kappa \right] \right\} \hat{s}_{F,t} \\
& + \left[(1-\kappa)\eta\delta - (1-\kappa)\frac{1}{\sigma}\delta - \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) \delta \right] \hat{s}_{O,t} \\
& + \left[(1-\kappa)\frac{1}{\sigma} + \kappa\theta - \frac{1}{\sigma} \right] \hat{\psi}_{F,t} + \frac{1}{\sigma} [(1-\kappa) - 1] \hat{\chi}_t^C.
\end{aligned} \tag{115}$$

Nazadnje lahko zapišem enačbo IS krivulje majhnega odprtega gospodarstva, tako da enačbo (115) uporabim v enačbi (80), in dobim

$$\begin{aligned}
\hat{y}_{H,t} = E_t \hat{y}_{H,t+1} - \frac{1}{\sigma} (\hat{i}_t - E_t \hat{\pi}_{H,t+1}) \\
- \kappa \left\{ \begin{array}{l} 2\theta - \eta\delta - \frac{1}{\sigma}(1-\delta) \\ -(\theta - \eta\delta)\kappa - \frac{1}{\sigma}[1 - (1-\delta)\kappa] \end{array} \right\} E_t \Delta \hat{s}_{F,t+1} \\
- (1-\kappa)\delta \left(\eta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta \hat{s}_{O,t+1} - \kappa \left(\theta - \frac{1}{\sigma} \right) E_t \Delta \hat{\psi}_{F,t+1} \\
- \frac{1}{\sigma} (1-\kappa) E_t \Delta \hat{\chi}_{t+1}^C.
\end{aligned} \tag{116}$$

Priloga 7: Izpeljava realnih mejnih stroškov domačih podjetij in naravnega proizvoda

Izpeljavo realnih mejnih stroškov povzemam po Masten (2008, str. 137-138). V optimalnostni pogoj za ponudbo dela (63) vstavim izraz za povpraševanje po delu s strani podjetij:

$$N_t = \frac{1}{A_t^\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{P_{O,t}}{W_t} \right)^{1-\alpha} Y_{H,t} \tag{117}$$

in dobim:

$$\frac{W_t}{P_{C,t}} = \frac{1}{\chi_t^C} C_t^\sigma \chi_t^N \left[\frac{1}{A_t^\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{P_{O,t}}{W_t} \right)^{1-\alpha} Y_{H,t} \right]^\varphi. \tag{118}$$

V nadaljevanju lahko v prejšnji izraz vpeljem agregatni indeks cen domačih dobrin, tako da dobim:

$$\frac{W_t}{P_{H,t}^{1+\varphi(1-\alpha)}} = \frac{1}{\chi_t^C} C_t^\sigma \chi_t^N \frac{P_{C,t}}{P_{H,t}^{1+\varphi(1-\alpha)}} \left[\frac{1}{A_t^\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{P_{O,t}}{W_t} \right)^{1-\alpha} Y_{H,t} \right]^\varphi. \tag{119}$$

Ker je nominalna plača na obeh straneh enačbe, lahko zapišem da je:

$$\frac{W_t^{1+\varphi(1-\alpha)}}{P_{H,t}^{1+\varphi(1-\alpha)}} = \frac{1}{\chi_t^c} C_t^\sigma \chi_t^N \frac{P_{C,t}}{P_{H,t}^{1+\varphi(1-\alpha)}} \left[\frac{1}{A_t^\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} P_{O,t} \right)^{1-\alpha} Y_{H,t} \right]^\varphi \quad (120)$$

oziroma v naslednji obliki:

$$\begin{aligned} \frac{W_t}{P_{H,t}} &= \left(\frac{1}{\chi_t^c} \right)^{\frac{1}{1+\varphi(1-\alpha)}} C_t^{\frac{\sigma}{1+\varphi(1-\alpha)}} (\chi_t^N)^{\frac{1}{1+\varphi(1-\alpha)}} A_t^{-\frac{\alpha\varphi}{1+\varphi(1-\alpha)}} \\ &\left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{\frac{\varphi(1-\alpha)}{1+\varphi(1-\alpha)}} Y_{H,t}^{\frac{\varphi}{1+\varphi(1-\alpha)}} \left(\frac{P_{C,t}}{P_{H,t}} \right)^{\frac{1}{1+\varphi(1-\alpha)}} \left(\frac{P_{O,t}}{P_{H,t}} \right)^{\frac{\varphi(1-\alpha)}{1+\varphi(1-\alpha)}}. \end{aligned} \quad (121)$$

Razmerje med nominalno plačo in agregatnim indeksom cen domačih dobrin lahko uporabim v izrazu za realne mejne stroške:

$$\begin{aligned} MC_{H,t}^r &= \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \frac{1}{A_t^\alpha} \left(\frac{W_t}{P_{H,t}} \right)^\alpha \left(\frac{P_{O,t}}{P_{H,t}} \right)^{1-\alpha} \\ &= Y A_t^{-\alpha - \frac{\alpha^2\varphi}{1+\varphi(1-\alpha)}} \left(\frac{1}{\chi_t^c} \right)^{\frac{\alpha}{1+\varphi(1-\alpha)}} C_t^{\frac{\alpha\sigma}{1+\varphi(1-\alpha)}} (\chi_t^N)^{\frac{\alpha}{1+\varphi(1-\alpha)}} Y_{H,t}^{\frac{\alpha\varphi}{1+\varphi(1-\alpha)}} \\ &\quad \left(\frac{P_{C,t}}{P_{H,t}} \right)^{\frac{\alpha}{1+\varphi(1-\alpha)}} \left(\frac{P_{O,t}}{P_{H,t}} \right)^{\frac{(1+\varphi)(1-\alpha)}{1+\varphi(1-\alpha)}}. \end{aligned} \quad (122)$$

kjer je $Y = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{\frac{(1+\varphi)(1-\alpha)}{1+\varphi(1-\alpha)}}$.

Če zgornji izraz log-lineariziram in v njem C_t nadomestim z enačbo (112) ter $P_{C,t}$ z enačbo (41) iz glavnega teksta, dobim:

$$\widehat{mc}_{H,t}^r = -\Psi_1 \hat{a}_t + \Psi_2 \hat{y}_t^* + \Psi_3 \hat{\psi}_{F,t} + \Psi_4 \hat{y}_{H,t} + \Psi_5 \hat{s}_{F,t} + \Psi_6 \hat{s}_{O,t} + \Psi_7 \hat{\chi}_t^N, \quad (123)$$

pri čemer so vrednosti parametrov funkcije definirane kot:

$$\begin{pmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \\ \Psi_4 \\ \Psi_5 \\ \Psi_6 \\ \Psi_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\alpha(1+\varphi)}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha\sigma}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha\varphi}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{\alpha}{1+\varphi(1-\alpha)} \\ \frac{1+\varphi(1-\alpha)}{(1+\varphi)(1-\alpha)} \\ \frac{1+\varphi(1-\alpha)}{\alpha} \end{pmatrix}. \quad (124)$$

Pri izpeljavi enačbe za naravni proizvod v enačbi (123) upoštevam, da v ravnotežju s fleksibilnimi cenami velja $\widehat{m}\widehat{c}_{H,t}^r = 0$, tako da dobim:

$$\hat{y}_{H,t}^n = \frac{1+\varphi}{\varphi} \hat{a}_t - \frac{\sigma}{\varphi} \hat{y}_t^* - \frac{1}{\varphi} \hat{s}_{F,t}^n - \frac{(1+\varphi)(1-\alpha)}{\alpha\varphi} \hat{s}_{O,t}^n - \frac{1}{\varphi} \hat{\chi}_t^N. \quad (125)$$

Priloga 8: Primer log-linearizacije nekaterih enačb modela

❖ Funkcija povpraševanja po naftnih derivatih

Obe strani funkcije povpraševanja po naftnih derivatih, zapisano z enačbo (19), najprej logaritmiram:

$$\ln O_{C,t} = \ln \left[\delta \left(\frac{P_{O,t}}{P_{C,t}} \right)^{-\eta} C_t \right] \quad (126)$$

in uporabim pravili za logaritem zmnožka in kvocienta, ter dobim:

$$\ln O_{C,t} = \ln \delta - \eta \ln P_{O,t} + \eta \ln P_{C,t} + \ln C_t. \quad (127)$$

Zgornjo enačbo nato razvijem v Taylorjevo vrsto prvega reda:

$$\frac{dO_{C,t}}{O_C} \cong -\eta \frac{dP_{O,t}}{P_O} + \eta \frac{dP_{C,t}}{P_C} + \frac{dC_t}{C}. \quad (128)$$

Spremenljivke v enačbi (128) so izražene v odstotnem odstopanju od ustaljenega stanja, kar lahko zapišem z malimi tiskanimi črkami in strešico:

$$\hat{o}_{C,t} = -\eta \hat{p}_{O,t} + \eta \hat{p}_{C,t} + \hat{c}_t \quad (129)$$

oziroma:

$$\hat{o}_{C,t} = \hat{c}_t - \eta(\hat{p}_{O,t} - \hat{p}_{C,t}). \quad (130)$$

❖ Pogoji prvega reda optimizacijskega problema domačih/uvoznih podjetij

Pred začetkom log-linearizacije obe strani pogoja prvega reda optimizacijskega problema domačega/uvoznega podjetja (97) delim z $P_{i,t}$, tako da dobim:

$$\begin{aligned} & \frac{P_{i,t}^{nova}(j)}{P_{i,t}} E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} P_{i,t+k}^{\varepsilon_i-1} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \\ &= \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i - 1} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} \frac{MC_{i,t+k}^n}{P_{i,t}} P_{i,t+k}^{\varepsilon_i-1} \left(\frac{P_{i,t+k-1}}{P_{i,t-1}} \right)^{-\varepsilon_i\delta_i}. \end{aligned} \quad (131)$$

Najprej log-lineariziram levo stran enačbe (131), pri tem pa upoštevam, da v ustaljenem stanju velja $\Lambda X P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k = \Lambda X P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}$.

Logaritem leve strani enačbe (131) je naslednji:

$$\begin{aligned} & \ln P_{i,t}^{nova}(j) - \ln P_{i,t} + \ln \left(\frac{1}{P_{i,t-1}} \right)^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \\ &+ \ln \left[E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} P_{i,t+k}^{\varepsilon_i-1} P_{i,t+k-1}^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \right], \end{aligned} \quad (132)$$

ki ga nato razvijem v Taylorjevo vrsto prvega reda:

$$\begin{aligned}
& \frac{dP_{i,t}^{nova}}{P_i} - \frac{dP_{i,t}}{P_i} + \frac{(\varepsilon_i \delta_i - \delta_i) dP_{i,t-1}}{P_i} + \frac{XP_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k d\Lambda_{t,t+k}}{\Lambda X P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}} \\
& + \frac{\Lambda P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k dX_{t+k}}{\Lambda X P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}} \\
& + \frac{\Lambda X (\varepsilon_i - 1) P_i^{\varepsilon_i-2} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k dP_{i,t+k}}{\Lambda X P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}} \\
& + \frac{\Lambda X P_i^{\varepsilon_i-1} (1 - \varepsilon_i) \delta_i P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i-1} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k dP_{i,t+k-1}}{\Lambda X P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{(1-\varepsilon_i)\delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}}. \tag{133}
\end{aligned}$$

V poenostavljeni obliki lahko izraz (133) zapišem kot:

$$\begin{aligned}
& \hat{p}_{i,t}^{nova} - \hat{p}_{i,t} + (\varepsilon_i \delta_i - \delta_i) \hat{p}_{i,t-1} \\
& + (1 - \beta \xi_i) \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k [\hat{\lambda}_{t,t+k} + \hat{x}_{t+k} + (\varepsilon_i - 1) \hat{p}_{i,t+k} \\
& + (1 - \varepsilon_i) \delta_i \hat{p}_{i,t+k-1}]. \tag{134}
\end{aligned}$$

Preostane mi še log-linearizacija desne strani enačbe (131), kjer upoštevam, da v ustaljenem stanju velja naslednja povezava $\Lambda X M C_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k = \Lambda X M C_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}$.

Podobno kot prej tudi tokrat najprej logaritmiram desno stran enačbe (131) in dobim:

$$\begin{aligned}
& -\ln P_{i,t} + \ln \left(\frac{1}{P_{i,t-1}} \right)^{-\varepsilon_i \delta_i} \\
& + \ln \left[E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k \Lambda_{t,t+k} X_{t+k} M C_{i,t+k}^n P_{i,t+k}^{\varepsilon_i-1} P_{i,t+k-1}^{-\varepsilon_i \delta_i} \right], \tag{135}
\end{aligned}$$

kar nato razvijem v Taylorjevo vrsto do členov prve stopnje:

$$\begin{aligned}
& -\frac{dP_{i,t}}{P_i} + \frac{\varepsilon_i \delta_i dP_{i,t-1}}{P_i} + \frac{XMC_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k d\Lambda_{t,t+k}}{\Lambda XMC_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}} \\
& + \frac{\Lambda MC_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k dX_{t+k}}{\Lambda XMC_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}} \\
& + \frac{\Lambda X P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k dMC_{i,t+k}^n}{\Lambda XMC_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}} \\
& + \frac{\Lambda XMC_i^n (\varepsilon_i - 1) P_i^{\varepsilon_i-2} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k dP_{i,t+k}}{\Lambda XMC_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}} \\
& + \frac{\Lambda XMC_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} (-\varepsilon_i \delta_i) P_i^{-\varepsilon_i \delta_i-1} \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k dP_{i,t+k-1}}{\Lambda XMC_i^n P_i^{\varepsilon_i-1} P_i^{-\varepsilon_i \delta_i} \frac{1}{1-\beta \xi_i}}, \tag{136}
\end{aligned}$$

Izraz (136) lahko poenostavljeno zapišem kot:

$$\begin{aligned}
& -\hat{p}_{i,t} + \varepsilon_i \delta_i \hat{p}_{i,t-1} \\
& + (1 - \beta \xi_i) \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k [\hat{\lambda}_{t,t+k} + \hat{x}_t + \widehat{mc}_{i,t+k}^n + (\varepsilon_i - 1) \hat{p}_{i,t+k} \\
& + (-\varepsilon_i \delta_i) \hat{p}_{i,t+k-1}] \tag{137}
\end{aligned}$$

Ob združitvi enačb (134) in (137) dobim:

$$\hat{p}_{i,t}^{nova} = \delta_i \hat{p}_{i,t-1} + (1 - \beta \xi_i) \sum_{k=0}^{\infty} (\beta \xi_i)^k [\widehat{mc}_{i,t+k}^n - \delta_i \hat{p}_{i,t+k-1}]. \tag{138}$$

Priloga 9: Zapis hibridne novo keynesianske Phillipsove krivulje za k obdobj naprej

Hibridna Phillipsova krivulja, ki v matematičnem smislu predstavlja stohastično diferenčno enačbo drugega reda, je naslednja:

$$\hat{\pi}_{i,t} = \gamma_f E_t \hat{\pi}_{i,t+1} + \gamma_b \hat{\pi}_{i,t-1} + \lambda \widehat{mc}_{i,t}^r, \tag{139}$$

koeficienti funkcije pa so podani z naslednjimi izrazi:

$$\gamma_f = \frac{\beta}{1 + \beta\delta_i}$$

$$\gamma_b = \frac{\delta_i}{1 + \beta\delta_i} \quad (140)$$

$$\lambda = \frac{1}{1 + \beta\delta_i} \frac{(1 - \beta\xi_i)(1 - \xi_i)}{\xi_i}.$$

Če na levo stran enačbe (139) prenesem prihodnjo in odloženo stopnjo inflacije ter obe strani enačbe delim z $-\gamma_f$, dobim:

$$\frac{\gamma_b}{\gamma_f} \hat{\pi}_{i,t-1} - \frac{1}{\gamma_f} \hat{\pi}_{i,t} + E_t \hat{\pi}_{i,t+1} = -\frac{\lambda}{\gamma_f} \widehat{mc}_{i,t}^r. \quad (141)$$

Enačbo (141) lahko zapišem tudi z uporabo odloženih operatorjev (oznaka zanje je L):

$$\left(1 - \frac{1}{\gamma_f} L + \frac{\gamma_b}{\gamma_f} L^2\right) \hat{\pi}_{i,t+1} = (1 - \mu_1 L)(1 - \mu_2 L) \hat{\pi}_{i,t+1} = -\frac{\lambda}{\gamma_f} \widehat{mc}_{i,t}^r. \quad (142)$$

V matrični obliki lahko enačbo (141) zapišem kot:

$$\begin{bmatrix} \hat{\pi}_{i,t+1} \\ \hat{\pi}_{i,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\gamma_f} & -\frac{\gamma_b}{\gamma_f} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\pi}_{i,t} \\ \hat{\pi}_{i,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\lambda}{\gamma_f} \widehat{mc}_{i,t}^r \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (143)$$

Korena μ_1 in μ_2 v enačbi (142) sta rešitvi naslednje karakteristične enačbe zgornjega sistema:

$$1 - \xi \text{Tr} \begin{bmatrix} \frac{1}{\gamma_f} & -\frac{\gamma_b}{\gamma_f} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} + \xi^2 \det \begin{bmatrix} \frac{1}{\gamma_f} & -\frac{\gamma_b}{\gamma_f} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = 0 \quad (144)$$

oziroma:

$$1 - \xi \frac{1}{\gamma_f} + \xi^2 \frac{\gamma_b}{\gamma_f} = 0. \quad (145)$$

Korena imata naslednjo vrednost:

$$\mu_1 = \frac{1 - \sqrt{1 - 4\gamma_b\gamma_f}}{2\gamma_f} \quad (146)$$

in

$$\mu_2 = \frac{1 + \sqrt{1 - 4\gamma_b\gamma_f}}{2\gamma_f}, \quad (147)$$

pri čemer je prvi koren stabilen, drugi pa nestabilen.

Pri končnem zapisu Phillipsove krivulje za k obdobj naprej mi bo koristil izraz $\frac{1}{1-\mu_2L}$, ki ga lahko zapišem kot:

$$\begin{aligned} \frac{1}{1-\mu_2L} &= \frac{1}{-\mu_2L\left(\frac{1}{-\mu_2L} + 1\right)} = \frac{-(\mu_2L)^{-1}}{(-(\mu_2L)^{-1} + 1)} = \frac{-(\mu_2L)^{-1}}{1 - (\mu_2L)^{-1}} \\ &= -(\mu_2L)^{-1} \sum_{k=0}^{\infty} (\mu_2L)^{-k} = -\sum_{k=0}^{\infty} (\mu_2L)^{-k}. \end{aligned} \quad (148)$$

Izraz (148) nato uporabim v enačbi (142) in dobim:

$$\begin{aligned} (1 - \mu_1L)\hat{\pi}_{i,t+1} &= \frac{1}{1 - \mu_2L} \frac{\lambda}{-\gamma_f} \widehat{mc}_{i,t}^r = -(\mu_2L)^{-1} \sum_{k=0}^{\infty} (\mu_2L)^{-k} \frac{\lambda}{-\gamma_f} \widehat{mc}_{i,t}^r \\ &= -\frac{\lambda\mu_2^{-1}}{-\gamma_f} \sum_{k=0}^{\infty} (\mu_2L)^{-k} L^{-1} \widehat{mc}_{i,t}^r = -\frac{\lambda\mu_2^{-1}}{-\gamma_f} \sum_{k=0}^{\infty} (\mu_2L)^{-k} \widehat{mc}_{i,t+1}^r \\ &= \frac{\lambda}{\mu_2\gamma_f} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\mu_2}\right)^k \widehat{mc}_{i,t+k+1}^r. \end{aligned} \quad (149)$$

Enačba (149) mi nato omogoča zapis Phillipsove krivulje za k obdobj naprej:

$$E_t \hat{\pi}_{i,t+1} = \mu_1 \hat{\pi}_{i,t} + \frac{\lambda}{\mu_2\gamma_f} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{\mu_2}\right)^k E_t \widehat{mc}_{i,t+k+1}^r. \quad (150)$$

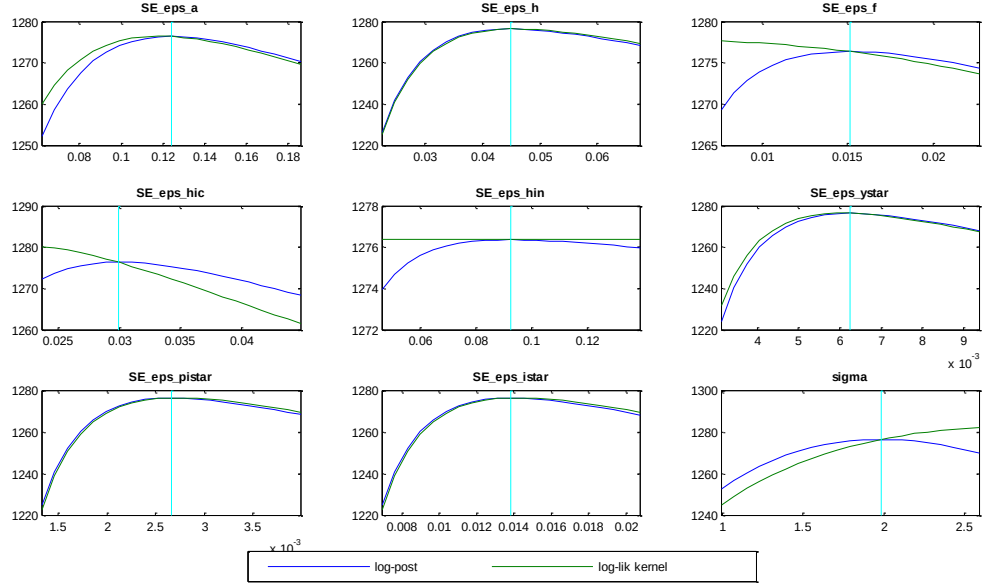
Na koncu lahko pokažem, da velja tudi naslednje:

$$\mu_1\mu_2 = \frac{1 - \sqrt{1 - 4\gamma_b\gamma_f}}{2\gamma_f} \frac{1 + \sqrt{1 - 4\gamma_b\gamma_f}}{2\gamma_f} = \frac{\gamma_b}{\gamma_f} = \det \begin{bmatrix} \frac{1}{\gamma_f} & -\frac{\gamma_b}{\gamma_f} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (151)$$

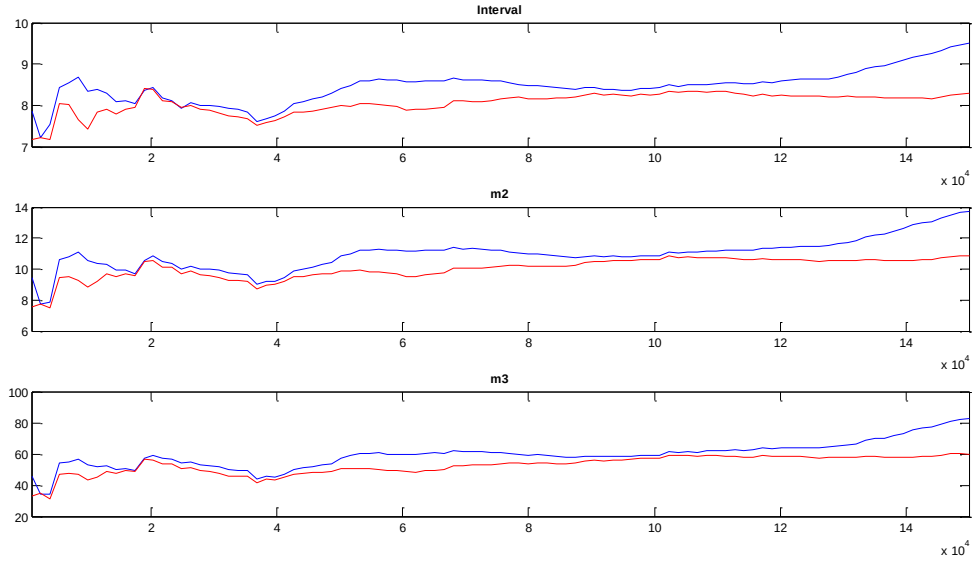
in

$$\mu_1 + \mu_2 = \frac{1 - \sqrt{1 - 4\gamma_b\gamma_f}}{2\gamma_f} + \frac{1 + \sqrt{1 - 4\gamma_b\gamma_f}}{2\gamma_f} = \frac{1}{\gamma_f} = \text{Tr} \begin{bmatrix} \frac{1}{\gamma_f} & -\frac{\gamma_b}{\gamma_f} \\ 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (152)$$

Priloga 10: Primer diagnostičnega testa za maksimizacijo posteriorne gostote



Priloga 11: Agregatni MCMC konvergenčni diagnostični test



Priloga 12: Primer univariatnega MCMC konvergenčnega diagnostičnega testa

