

**M A S A R Y K O V A
U N I V E R Z I T A**

EKONOMICKO-SPRÁVNÍ FAKULTA

Dopady klimatických zmien na monetárnu politiku (modelový prístup)

Diplomová práca

BC. LUCIA HOLODŇÁKOVÁ

Vedúci práce: Mgr. Jakub Chalmovianský

Katedra ekonomie
Program Matematické a statistické metody v ekonomii

Brno 2022

MUNI
ECON

DOPADY KLIMATICKÝCH ZMIEN NA MONETÁRNU POLITIKU (MODELOVÝ PRÍSTUP)

MUNI
ECON

MASARYKOVA UNIVERZITA
EKONOMICKO-SPRÁVNÍ FAKULTA
LIPOVÁ 41A, 602 00 BRNO
IČ: 00216224
DIČ: CZ00216224

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Akademický rok: 2021/2022

Studentka:	Bc. Lucia Holodňáková
Program:	Matematické a statistické metody v ekonomii
Název práce:	Dopady klimatických změn na monetární politiku (modelový přístup)
Název práce anglicky:	Climate change impact on monetary policy (model approach)
Cíl práce, postup a použité metody:	Cílem diplomové práce bude prozkoumat aktuální přístupy k modelování monetární politiky v souvislosti s klimatickými změnami, a to prostřednictvím dynamických stochastických modelů všeobecné rovnováhy. Práce se zaměří na mechanismy, kterými klimatické změny mohou ovlivňovat monetární politiku, jak může monetární politika reagovat na tyto změny, a případně, zda by reagovat měla / jaká je optimální reakce. Vybraný modelový koncept bude aplikován na reálné ekonomické podmínky v Eurozóně (a monetární politiku ECB), buď prostřednictvím kalibrace parametrů modelu, nebo identifikací zvoleného modelu na vhodných datech. Následně se předpokládá aplikace standardních nástrojů makroekonomického modelování (např. modelové simulace, funkce impulzních odezev, variační dekompozice a pod.). Rámcová struktura diplomové práce bude následující: 1. Rešerše odborné literatury věnované jednak relevantním DSGE modelům, jakož i tématu klimatických změn a monetární politiky. 2. Identifikace možných dopadů klimatických změn na monetární politiku a / nebo možností, které monetární politika má v reakci na klimatické změny. 3. Volba vhodného modelového konceptu a jeho popis. 4. Příprava dat / kalibrace parametrů modelu, modelové simulace a vyhodnocení kvality modelu. 5. Interpretace získaných výsledků, jejich shrnutí a zasazení do kontextu existující literatury.
Rozsah grafických prací:	Podle pokynů vedoucího práce
Rozsah práce bez příloh:	60 – 80 stran
Literatura:	WICKENS, Mike. <i>Macroeconomic theory : a dynamic general equilibrium approach</i>. Second edition. Princeton: Princeton University Press, 2012. xvii, 596. ISBN 9780691152868. DEJONG, David N. a Chetan DAVE. <i>Structural macroeconometrics</i>. Second edition. Princeton: Princeton University Press, 2011. xvi, 418. ISBN 9780691152875. COSTA, Celso. <i>Understanding DSGE</i>. Wilmington: Vernon Press, 2016. x, 269. ISBN 9781622730384.
Vedoucí práce:	Mgr. Jakub Chalmovianský

STRANA 1 Z 2

Pracoviště vedoucího práce: Katedra ekonomie

Datum zadání práce: 3. 2. 2021

Termín odevzdání diplomové práce a vložení do IS je uveden v platném harmonogramu akademického roku.

V Brně dne: 30. 4. 2022

Bibliografický záznam

Autor:	Bc. Lucia Holodňaková Ekonomicko-správní fakulta Masarykova univerzita Katedra ekonomie
Názov práce:	Dopady klimatických zmien na monetárnu politiku (modelový prístup)
Študijný program:	Matematické a statistické metody v ekonomii
Vedúci práce:	Mgr. Jakub Chalmovianský
Rok:	2022
Počet strán:	76
Kľúčové slová:	klimatické zmeny, monetárna politika, DSGE model, impulzné odozvy

Bibliographic record

Author: Bc. Lucia Holodňaková
Faculty of Economics and Administration
Masaryk University
Department of Economics

Title of Thesis: Climate change impact on monetary policy (model approach)

Degree Programme: Mathematical and Statistical Methods in Economics

Supervisor: Mgr. Jakub Chalmovianský

Year: 2022

Number of Pages: 76

Keywords: climate change, monetary policy, DSGE model, impulse responses

Anotácia

Cieľom diplomovej práce je preskúmať vzájomné pôsobenie monetárnej politiky a klimateckej politiky. Práca je zameraná na spojenie rôznych klimateckých režimov a monetárnej politiky s dôrazom na ovplyvnenie makroekonomických výstupov. Prostredníctvom environmentálneho DSGE modelu, kalibrovaného pre Eurozónu, dochádza k postupnému zodpovedaniu výskumných otázok, ako môže monetárna politika reagovať na klimatecké zmeny a aká je optimálna reakcia Európskej centrálnej banky. Z výsledkov vyplýva, že pri výbere environmentálnej politiky nesmie byť opomenutá efektívnosť presadzovania environmentálnej regulácie a rozvinutosť krajiny. Ak sa v ekonomike zvažuje určitý klimatecký režim, môže dôjsť k zvýšeniu blahobytu. Pri zahrnutí environmentálnych zmien do rozhodovacieho pravidla monetárnej autority, môže dôjsť k dileme monetárnej autority medzi cieľením blahobytu a environmentálnym cieľením.

Abstract

The aim of the thesis is to examine the interaction between monetary policy and climate policy. The work is focused on the connection of different climate regimes and monetary policy, with an emphasis on influencing macroeconomic outputs by the environmental DSGE model calibrated for the Eurozone. Research questions such as monetary policy can respond to climate change and what is the optimal response of the European Central Bank are gradually answered. The results show that when choosing an environmental policy, the effectiveness of environmental enforcement and development of the country must not be overlooked. If a particular climate regime is considered in the economy, it can increase welfare. When including environmental changes in the decision-making rule of the monetary authority, there may be a dilemma of the monetary authority between welfare targeting and environmental targeting.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému Dopady klimatických zmien na monetárnu politiku (modelový prístup) vypracovala samostatne pod vedením Mgr. Jakuba Chalmovianského a uviedla v nej všetky použité literárne a iné odborné zdroje v súlade s právnymi predpismi, vnútornými predpismi Masarykovej univerzity a vnútornými aktmi riadenia Masarykovej univerzity a Ekonomicko-správnú fakulty MU.

V Brne 6. mája 2022

.....
Bc. Lucia Holodňaková

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som sa rada pod'akovala Mgr. Jakubovi Chalmovian-skému za trpezlivosť, ochotu a čas strávený pri konzultáciách. Veľké pod'a-kovanie patrí aj za všetky cenné pripomienky a odborné rady, ktorými prispel k vypracovaniu tejto diplomovej práce. Rada by som sa pod'akovala aj rodine, priateľom a spolužiakom za podporu počas celého štúdia.

Obsah

Zoznam obrázkov	15
Zoznam tabuliek	16
Zoznam grafov	17
Zoznam pojmov a skratiek	18
1 Úvod	19
2 Klimatické zmeny a monetárna politika	21
2.1 Pohľad monetárnej autority na klimatickú politiku	21
2.2 Dopady klimatických zmien na ekonomiku a monetárnu politiku pohľadom odbornej literatúry	30
3 DSGE model	37
3.1 Domácnosti.....	37
3.2 Firmy a životné prostredie	39
3.3 Monetárne a environmentálne orgány	44
3.4 Čistenie trhu a agregácia	45
3.5 Kalibrácia.....	46
4 Kombinácia menovej politiky s rôznymi klimatickými politikami	49
4.1 Impulzné odozvy	49
4.2 Blahobyť	58
4.3 Optimalizácia kombinácií menovej a klimatickej politiky.....	60
Záver	66
Použité zdroje	69
Príloha A Impulzné odozvy Chen a kol. (2020)	74

Zoznam obrázkov

Obrázok č. 1: Trendy skleníkových plynov a ciele EÚ.....	23
Obrázok č. 2: Uhlíková daň v Európe za rok 2021	28
Obrázok č. 3: Vzťahy medzi emisnými premennými.....	43

Zoznam tabuliek

Tabuľka č. 1: Dopady zmeny klímy z pohľadu rizika fyzického a transmisného	26
Tabuľka č. 2: Kalibrácia hodnôt modelových parametrov	48
Tabuľka č. 3: Blahobyt pre všetky štyri režimy klimateckej politiky	59
Tabuľka č. 4: Blahobyt pre CA režim.....	60
Tabuľka č. 5: Optimálne koeficienty v Taylorovom pravidle.....	61

Zoznam grafov

Graf č. 1: Impulzné odozvy na 1 % pozitívny TFP šok v rôznych environmentálnych režimoch ($EOEER = 1$)	52
Graf č. 2: Impulzné odozvy na 1 % pozitívny TFP šok v rôznych environmentálnych režimoch ($EOEER = 0,1$).....	53
Graf č. 3: Ceny emisných povoleniek za rok 2021	55
Graf č. 4: Impulzné odozvy na 1 % pozitívny preferenčný šok v rôznych environmentálnych režimoch ($EOEER = 1$)	57
Graf č. 5: Impulzné odozvy na 1 % pozitívny preferenčný šok v rôznych environmentálnych režimoch ($EOEER = 0,1$).....	58
Graf č. 6: Optimálna emisná elasticita v CA režime.....	63
Graf č. 7: Optimálna emisná elasticita v TX režime.....	64

Zoznam pojmov a skratiek

CA	– Obchodovanie s povolenkami
CBAM	– Carbon border adjustment mechanism
CES	– Konštantná elasticita substitúcie
COP26	– United Nations Climate Change Conference
DSGE	– Dynamický stochastický model všeobecnej rovnováhy
EC	– Európska komisia
ECB	– Európska centrálna banka
EEA	– Európska environmentálna agentúra
EEX	– Európska energetická burza
EOEER	– Efektívnosť presadzovania environmentálnych nariadení
EÚ	– Európska únia
EUA	– European Union Emission Allowance
EUETS	– The European Union's Emissions Trading System
HDP	– Hrubý domáci produkt
NGFS	– Network Greening the Financial System
NO	– Žiadna klimatická politika
OECD	– Organisation for Economic Co-operation and Development
QE	– Kvantitatívne uvoľňovanie
RBC	– Reálny hospodársky cyklus
RM	– Ramsey optimálna politika
TFP	– Total factor productivity
TX	– Uhlíková daň

1 Úvod

Teploty Zeme sa neustále zvyšujú a extrémne prejavy počasia za posledné roky sú častejšie a viditeľnejšie. Vlny horúčav sa striedajú so silnými búrkami, inokedy dlhodobými obdobiami sucha. Nie je prekvapením, že globálne otepľovanie je spájané s ľudskou činnosťou a konkrétne s emisiami skleníkových plynov. Je preto prirodzené, že klimatické zmeny sa stávajú čoraz viac diskutovanou témou a častejšie sa objavujú v štúdiách v spojení s ekonomikou.

Zvyšovanie teplôt a prírodné katastrofy spôsobené zmenou klímy môžu ovplyvniť ziskovosť firiem a zhoršiť ich finančnú situáciu, v dôsledku čoho môže dôjsť k nespĺcaniu dlhov, čo zasiahne bankový sektor. Nižšia ziskovosť firiem spôsobená zmenami klímy môže ovplyvniť aj investovanie a preferencie likvidity firiem, ale aj domácností.

Cieľom práce je preskúmať vzájomné pôsobenia monetárnej politiky a klimatickej politiky, a ako ich spojenie ovplyvňuje makroekonomické výstupy, a to pomocou stanovených výskumných otázok:

- 1) Či a ako je menová politika ovplyvnená klimatickou politikou.
- 2) Či a ako možno zlepšiť menovú politiku, keď sa zohľadňuje klimatická politika. Existuje optimálna kombinácia týchto politík?
- 3) Mala by centrálna banka prijať menovú politiku rozšírenú o klimatickú politiku?

Nástrojom analýzy potrebnej pre získanie odpovedí, je vybraný dynamický stochastický model všeobecnej rovnováhy (skr. DSGE), rozšírený o environmentálnu časť. Monetárnu autoritu v práci predstavuje Európska centrálna banka (skr. ECB), ktorá si uvedomuje závažnosť problematiky klimatických zmien a neignoruje zmenu klímy, avšak v súčasnosti ECB nemá vo svojej monetárnej politike zakomponovanú klimatickú politiku.

Práca je členená do troch kapitol. Druhá kapitola sa venuje literárnej rešerši a pohľadu monetárnych autorít na klimatickú politiku. Súčasťou kapitoly je aj súhrn dopadov klimatických zmien na ekonomiku a pohľad monetárnej autority na možné riziká, spojené so zmenou klímy. V tretej kapitole je predstavený DSGE model a kalibrácia parametrov využívaných pri simulácií. Obsahom štvrtej a zároveň aj poslednej kapitoly, je prepojenie klimatickej politiky a politiky menových orgánov so zreteľom na spoločnú optimalizáciu. Postupne sú predstavované výsledky impulzných odoziev po pridaní pozitívneho technologického a preferenčného šoku. Skúmané sú štyri environmentálne režimy: žiadna klimatická politika, uhlíková daň, obchodovanie s povolenkami a Ramseyho optimálna politika. Okrem fluktuácií ekonomiky získanej z impulzných odoziev sú jednotlivé environmentálne režimy porovnávané aj z hľadiska blahobytu.

2 Klimatické zmeny a monetárna politika

2.1 Pohľad monetárnej autority na klimatickú politiku

V roku 2015 prijalo 196 strán Parížsku dohodu, čo je právne záväzná medzinárodná zmluva o zmene klímy. Cieľom dohody je obmedziť globálne otepľovanie výrazne pod 2, najlepšie na 1,5 stupňa Celzia v porovnaní s pred industriálnymi úrovňami (EC, 2020e).

Vzhľadom na naliehavosť a závažnosť klimatických zmien a environmentálnych problémov vznikol v roku 2017 Network Greening the Financial System (skr. NGFS), ktorého súčasťou je už viac ako 100 centrálnych bánk, vrátane Európskej centrálnej banky (skr. ECB). Táto globálna sieť pozostáva z členov rozvinutých, rozvíjajúcich sa, ale aj rozvojových ekonomík. Cieľom NGFS je rozšíriť a posilniť spoločné úsilie o ekologizáciu finančného systému a odolnosť systému voči klimatickým a environmentálnym rizikám (NGFS, 2021). Svoju ochotu prispieť ku globálnej reakcii potrebnej na splnenie cieľov Parížskej dohody potvrdili na United Nations Climate Change Conference (skr. COP26) konajúcej sa v Glasgowe v roku 2021.

Na už zmienenej konferencii COP26 sa k zmierneniu dôsledkov klimatických zmien a prispievaniu cieľov Parížskej dohody zaviazala aj Európska centrálna banka (COP26, 2021). Rada guvernérov (Governing Council) rozhodla o akčnom pláne s ambíciou o začlenenie ďalších úvah o zmenách klímy do rámca svojej monetárnej politiky. Akčný plán zahŕňa: rozšírenie analytickej kapacity v oblasti makroekonomického modelovania, štatistiky a menovej politiky v súvislosti so zmenami klímy; zahrnutie úvah o zmene klímy do operácií menovej politiky v oblasti zverejňovania, hodnotenia rizika, v rámci kolaterálu a nákupu aktív podnikového sektora. Súčasťou akčného plánu je aj jeho samotné implementovanie v súlade s politikou a iniciatívou Európskej únie v oblasti zverejňovania a podávania správ o environmentálnej udržateľnosti. Finančný sektor zohráva kľúčovú úlohu pri prechode k ekologickejšej spoločnosti pomocou mobilizácie finančných prostriedkov smerom

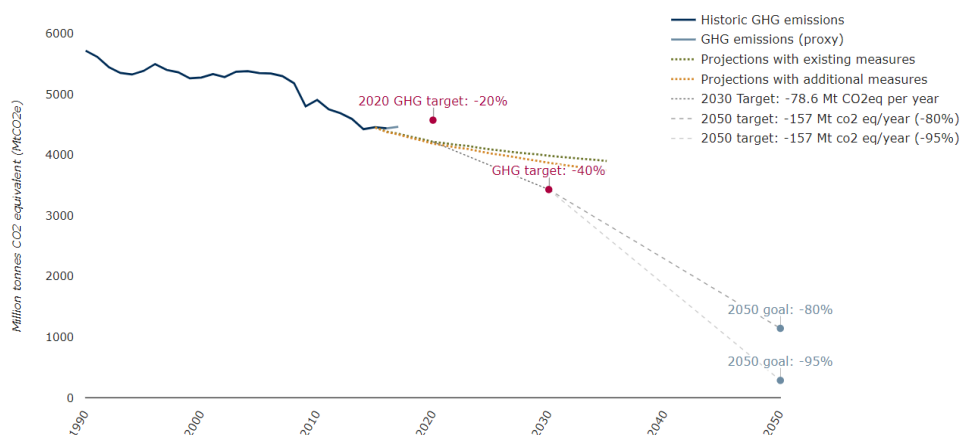
k udržateľnejšiemu hospodárstvu. Z akčného plánu vyplýva, že ECB chce v nasledujúcich rokoch pomocou makroekonomického modelovania vykonávať teoretické a empirické analýzy na sledovanie dôsledkov zmien klímy a súvisiacich politík na hospodárstvo, finančný systém a presun monetárnej politiky cez finančné sektory a bankový systém na domácnosti a firmy. Snahou bude vylepšiť existujúce makromodely ECB, aby zohľadňovali vplyv zmeny klímy na ekonomickú aktivitu, infláciu a transmisiu menovej politiky (ECB, 2021b).

Na jednej z ďalších konajúcich sa konferencií, Green Banking and Green Central Banking vo Frankfurte v roku 2021, prezidentka ECB vo svojom príhovore poukázala na úlohy centrálnej banky pri riešení klimatických zmien. „Je zrejmé, že centrálné banky nie sú hlavnými aktérmi, pokiaľ ide o predchádzanie globálnemu otepľovaniu. Centrálné banky nie sú zodpovedné za klimatickú politiku a najdôležitejšie nástroje, ktoré potrebujú, sú mimo ich mandát. Ale skutočnosť, že nie sme na sedadle vodiča, neznamená, že môžeme zmenu klímy jednoducho ignorovať alebo že nezohrávame žiadnu úlohu v boji proti nej“ (Lagarde, 2021b).

V príhovore Christine Lagarde, z už spomínanej konferencie COP26 v roku 2020, hovorí prezidentka ECB o troch kategóriách rizík súvisiacich so zmenou klímy, a to: riziká vyplývajúce z nerešpektovania, z oneskorenia a z nedostatku. Ako príklad rizika z nerešpektovania uvádza prezidentka ECB poskytovanie úverov bankami. Straty spôsobené prírodnými katastrofami, môžu potenciálne navýšiť náklady na údržbu, čoho dôsledkom môže byť nižšia produktivita práce, čo môže ovplyvniť ziskovosť a viesť k zlyhaniu. Druhý zdroj rizika pre finančný sektor vyplýva zo snahy o uhlíkovo-neutrálny svet. K dosiahnutiu uhlíkovo-neutrálnej stopy je nevyhnutný zásah verejných orgánov prostredníctvom regulácie a zdaňovania. Včasné a koordinované opatrenia môžu pomôcť k hladkému prechodu k uhlíkovo-neutrálnemu svetu. Ako posledný zdroj rizika prezidentka ECB uvádza riziko z nedostatku, ktorý spája s poskytovaním dostatočného množstva a kvality financií potrebných k zmierňovaniu a adaptácii na klimatické zmeny (Lagarde, 2020a).

Európska únia bola na čele globálneho tlaku za podstatné zníženie emisií uhlíka. V decembri 2019 Európska komisia prijala Európsku zelenú dohodu (European Green Deal), ktorá požaduje nulové emisie skleníkových plynov do roku 2050 a zníženie emisií o 55 % v porovnaní s rokom 1990 do roku 2030 (EC, 2022a). Obrázok č. 1 zobrazuje množstvo vyprodukovaných emisií od roku 1990 a taktiež aj úroveň množstva emisií v budúcnosti, ktorú si EÚ stanovila pre nasledujúce roky. Dôležitú úlohu pri plnení Európskej zelenej dohody môže mať Taxonómia EÚ, kvalifikačný systém, ktorý vytvára zoznam environmentálne udržateľných ekonomických činností. Nariadenie o Taxonómii bolo uverejnené v Official Journal of the European Union v júni 2020 a stanovuje šesť cieľov: zmierňovanie klimatických zmien; prispôbenie sa zmene klímy; trvalo udržateľné využívanie a ochrana vodných a morských zdrojov; prechod na obehové hospodárstvo; ochrana a obnova biodiverzity a ekosystémov (EC, 2022c).

Obrázok č. 1: Trendy skleníkových plynov a ciele EÚ



Zdroj: Európska environmentálna agentúra (EEA, 2022b)

V nadväznosti na klimatické zmeny vydala európska environmentálna agentúra (skr. EEA) správu o ekonomických stratách v dôsledku extrémov súvisiacich s klímou v Európe. V správe sa uvádza: „V rokoch 1980 až 2019 predstavovali extrémne súvisiace s počasím a klímou približne 81 % celkových ekonomických strát spôsobených

prírodnými katastrofami v členských krajinách EEA, čo predstavuje 446 miliárd EUR. To sa rovná 11,1 miliárdám EUR ročne a kumulované straty očistené o infláciu sa rovnajú takmer 3 % HDP analyzovaných krajín. Avšak relatívne malý počet (3 %) udalostí bol zodpovedný za veľkú časť (> 60 %) ekonomických strát“ (EEA, 2022a).

Dopadom klimatických zmien sa venuje Isabel Schnabel, členka Výkonnej rady ECB, v príspevku uverejnenom v časopise International Monetary Fund's magazine Finance and Development. Hovorí o snahe ECB kvantifikovať dôsledky klimatických zmien na firmy a domácnosti prostredníctvom celohospodárskeho záťažového testu, a to na základe klimatických scenárov, ktoré vypracovala NGFS. Zo slov Schnabel vyplýva, že zmena klímy má zásadný vplyv na cenovú stabilitu a ovplyvňuje aj iné oblasti pôsobnosti centrálnej banky, ako je finančná stabilita a bankový dohľad. V príspevku hovorí o troch kanáloch ovplyvňovania cenovej hladiny klimatickými zmenami. Po prvé, dôsledky zmeny klímy môžu zhoršiť opatrenia menovej politiky centrálnych bánk vzhľadom na podmienky financovania, ktorým čelia domácnosti a firmy, čo ovplyvní spotrebu a investície. Po druhé, zmena klímy by mohla zmenšiť priestor pre konvenčnú menovú politiku znížením rovnovážnej reálnej úrokovej miery, ktorá vyvažuje úspory a investície. Schnabel hovorí aj o možnom poklese produktivity práce, zvýšenej miery chorobnosti a úmrtnosti spôsobenej vyššími teplotami. Taktiež neistota súvisiaca s klímou môže zvýšiť preventívne úspory a znížiť motiváciu investovať. Po tretie, zmena klímy aj politiky na zmierňovanie jej účinkov môžu mať priamy vplyv na dynamiku inflácie (Schnabel, 2021).

Správa o globálnych rizikách 2021 Svetového ekonomického fóra označila zlyhanie opatrení v oblasti klímy v poslednom období za riziko s najväčšími dopadmi. V správe sa upozorňuje na zvýšené riziko poklesu budúcich ekonomických príležitostí, ktorému sú vystavené miliardy ľudí na celom svete. Medzi najpravdepodobnejšie riziká v nasledujúcich rokoch, ktoré správa uvádza, sa zaraďuje extrémne počasie, klimatické zlyhanie a človekom spôsobené škody na životnom prostredí. V 5–10 ročnom horizonte dominujú environmentálne riziká, ako je strata biodiverzity,

kríza prírodných zdrojov a zlyhanie opatrení v oblasti klímy (The Global Risks Report, 2021).

O priamych dôsledkoch na cenovú stabilitu spôsobenú zmenou klímy hovorí aj Volz (2017). Existuje potenciálny vplyv na ceny potravín, energie alebo zamestnanosť v sektoroch, ako sú poľnohospodárstvo a ťažba prírodných zdrojov.

Na spojitosť medzi ekonomikou a klimatickými zmenami upozorňuje aj predseda Swiss Re Institute Thierry Léger, ktorý tvrdí, že: „Klimatické riziko ovplyvňuje spoločnosť, každú firmu a každého jednotlivca“. V správe Swiss Re Institute sa na základe analýzy záťažového testu uvádza, že svetová ekonomika stratí v dôsledku zmeny klímy až 18 % svetového HDP, ak sa neprijmú žiadne opatrenia. Európa by zaznamenala stratu približne o 11 % HDP. Podľa klíma-ekonomického indexu Swiss Re Institute tento vplyv možno zmierniť, ak sa prijmú opatrenia na splnenie cieľov stanovených v Parížskej dohode (Léger, 2021).

Správa amerického programu pre výskum globálnych zmien vo štvrtom národnom hodnotení klímy 2017/2018 sa venuje aj dopadom na ekonomiku. V správe sa uvádza, že bez výrazného a trvalého úsilia o zmiernenie, bude zmena klímy brániť tempu hospodárskeho rastu a spôsobí straty a poškodenia na infraštruktúre a majetku. Rastúce teploty, stúpanie hladín morí a extrémne udalosti budú ovplyvňovať aj produktivitu práce a vitalitu ľudí. Najzraniteľnejšie sú ekonomiky a priemyselné odvetvia, ktoré sú závislé od prírodných zdrojov a priaznivých klimatických podmienok, ako poľnohospodárstvo a cestovný ruch. Dopady pocíti aj samotný obchod vrátane dovozu a importu (U.S. Global Change Research Program, 2018).

Dikau a Volz (2019) vo svojej štúdii argumentujú, že aj centrálné banky, ktoré nemajú vo svojom mandáte žiadne explicitné alebo implicitné ciele udržateľnosti, by mali do svojich mandátov začleniť riziká súvisiace s klímou, aby zabezpečili finančnú a makroekonomickú stabilitu.

2.1.1 Teoretické dopady klimatických zmien na monetárnu politiku

Klimatické zmeny ovplyvňujú makroekonomické ukazovatele, finančné trhy a inštitúcie cez dva kanály: fyzické riziko a transmisné riziko. Fyzické riziko je spojené s vyššími teplotami, častejšími extrémami počasia, zvyšovaním hladín morí, prírodnými katastrofami, hurikánmi a podobne, pričom tieto dopady môžu narušiť finančnú stabilitu firiem, ktoré sú vystavené fyzickému riziku. Môže dôjsť k narušeniu pracoviska, nižšej produktivite zamestnancov z dôvodu extrémnych teplôt, prerušení dopravných transferov alebo aj úpadku poľnohospodárskej výroby. V závislosti od rýchlosti transformačnej politiky klimatické riziká môžu ovplyvniť prenos menovej politiky cez finančné trhy a bankový sektor. Tabuľka č. 1 zobrazuje prehľad dopadov zmeny klímy z pohľadu fyzického a transmisného rizika.

Tabuľka č. 1: Dopady zmeny klímy z pohľadu rizika fyzického a transmisného

	Fyzické riziko (extrémne počasie, oteplovanie)	Transmisné riziko (carbon pricing, emisie)
Aktíva	Poškodenie kapitálu, nehnuteľností, finančné straty.	Presúvanie dopytu naprieč sektormi, uviaznuté aktíva.
Výmenný kurz	Znehodnotenie meny, zníženie konkurencieschopnosti.	Narušenie obchodných ciest kvôli úprave uhlíkových hraníc.
Úrokové sadzby	Vyššie náklady, nižšie investície a úspory.	Neistota spojená s načasovaním politických reakcií; ovplyvnená prirodzená úroková miera.
Bankový sektor	Zníženie čistej hodnoty dlžníka, nesplácanie úverov.	Neistota obmedzuje bankové financovanie.
Očakávania	Menej predvídateľná ekonomika.	Časovo nekonzistentné politiky, zníženie dôveryhodnosti a efektívnosti menovej politiky.

Zdroj: Vlastné spracovanie (ECB, 2021a)

2.1.2 Možnosti environmentálnej politiky

V rámci plnenia Európskej zelenej dohody prišla EÚ v júli 2021 s návrhom mechanizmu úpravy uhlíkových hraníc (carbon border adjustment mechanism, skr. CBAM). Ide o navrhované clo na produkty náročné na uhlík dovážané Európskou úniou, ktoré neboli uhlíkovo zdanené pri výrobe, prípadne zdanené menej v porovnaní s reguláciami EÚ. Tento mechanizmus má rátať clo vychádzajúce z rozdielu medzi cenou Európskeho systému obchodovania s emisiami (The European Union's Emissions Trading System, skr. EU ETS) a spoplatnením uhlíka v krajine výroby. Cieľom je vytvoriť rovnaké podmienky pre výrobcov z EÚ, ktorí podliehajú spoplatneniu uhlíka (carbon pricing) v EÚ (Dumitru a kol., 2021). Analýza OECD poskytuje komplexný pohľad cien uhlíka vrátane spotrebných daní, uhlíkových daní a obchodovateľných cien emisných kvót. Skóre oceňovania uhlíka (carbon pricing score) meria, ako blízko je 44 krajín OECD spolu, ale aj jednotlivu, k cieľu oceňovať všetky emisie uhlíka na základe súčasných a výhľadových referenčných hodnôt nákladov (OECD, Effective Carbon Rates 2021).

Nárast teplôt je dôsledkom emisií skleníkových plynov zo spaľovania palív, vrátane uhlíka. Uvoľňovanie skleníkových plynov do atmosféry je jasným príkladom negatívnej externality, ktorá predstavuje značné náklady v celosvetovom meradle. Jedným zo štandardných ekonomických prostriedkov na riešenie externých nákladov je jednotková daň. V prípade klimatických zmien, môžeme hovoriť o uhlíkovej dani (carbon tax), ktorá je vyberaná z fosílnych palív v pomere k množstvu uhlíka spojeného s ich výrobou. Uhlíková daň zvýši cenu fosílnych palív založených na uhlíku, čo stimuluje spotrebiteľov k nižšej spotrebe statkov zaťažených uhlíkovou daňou a motivuje ich k presunu dopytu po alternatívnych statkoch.

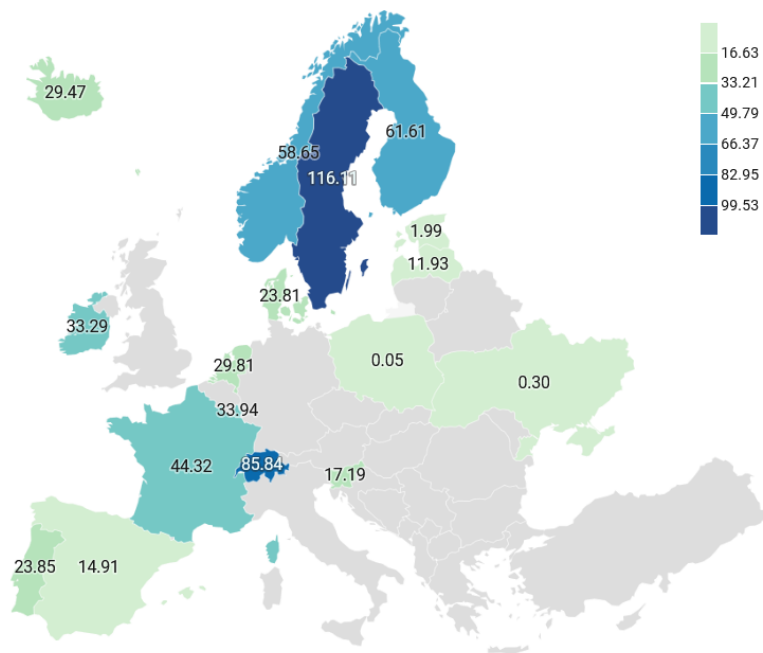
Politická analytička Asen, v článku zameranom na uhlíkovú daň v Európe uvádza, že prvou krajinou, ktorá zaviedla uhlíkovú daň v roku 1990 bolo Fínsko. Odvtedy tento príklad nasledovali ďalšie európske krajiny ako napríklad Dánsko, Estónsko, Španielsko, Portugalsko a Švédsko. Uhlíkové dane sa pohybujú v rozmedzí od menej ako 1 € za metrickú tonu emisií uhlíka do 100 € (Asen, 2021). Napriek tomu

neexistuje jednotná daň platiaca pre Európsku úniu ako celok. Zavedenie uhlíkovej dane je na rozhodnutí jednotlivých štátov. Prehľad uhlíkových daní zavedených v Európe za rok 2021 zobrazuje obrázok č. 2.

Obrázok č. 2: Uhlíková daň v Európe za rok 2021

Uhlíková daň v Európe

Sadzby uhlíkovej dane za metrickú tonu CO₂ v € za rok 2021



Zdroj: Vlastné spracovanie (dáta z: The World Bank Group, 2022)

Autori Sen a Vollebergh (2018) skúmali efektívnosť zavedenia uhlíkovej dane v krajinách OECD. Ich odhady naznačujú, že zvýšenie energetických daní o 1€ za tonu CO₂ znižuje emisie z dlhodobého hľadiska o 0,73 %. Uhlíkovú daň považujú za efektívny nástroj pre politiku zameranú na klimatické zmeny. O implementácii hovoria najmä pre sektory, na ktoré sa nevzťahuje Európsky systém obchodovania s emisiami.

Ďalšími autormi, ktorí sa zaoberajú dopadmi zavedenej uhlíkovej dane, konkrétne v Španielsku, sú Estrada a Santabárbara (2021). Vytvárajú model a definujú

niekoľko scenárov na posúdenie environmentálnych a ekonomických vplyvov zo zavedenej uhlíkovej dane. Ich výsledky ukazujú, že uhlíková daň s mechanizmom na úpravu uhlíkových hraníc je efektívnejšia na zníženie emisií v krajine, než tá bez takejto úpravy. V prípade dane bez CBAM mechanizmu klesá vývoz v dôsledku straty konkurencieschopnosti a vnútroštátna produkcia je nahradená dovozom. Možnosť s CBAM mechanizmom znižuje emisie viac a pokles hrubého domáceho produktu je menej výrazný, ako v možnosti bez úpravy uhlíkových hraníc.

Alternatívou uhlíkovej dane je systém obchodovateľných povoleniek (cap-and-trade). Systém obchodovania môže byť zavedený v štáte, na národnej úrovni alebo môže zahŕňať viacero krajín. Obchodovanie povoleniek podporuje čo najnižšie náklady na zníženie emisií uhlíka, keďže racionálne firmy sa rozhodnú pre lacnejšiu možnosť a zavedú opatrenia na zníženie emisií, oproti vyššej cene za povolenky. Počet dostupných povoleniek určuje vláda, teda ponuka je pevne daná a cena je určovaná tržnými silami. Európska únia stanovuje hornú hranicu množstva emisií skleníkových plynov, ktoré môžu byť každoročne vypustené. Spoločnosti musia byť držiteľmi európskych emisných kvót (skr. EUA) na každú tonu CO₂, ktorú vypustia v priebehu kalendárneho roka.

Obchodovanie povoleniek je najpoužívanejšou metódou regulácie emisií skleníkových plynov. Za najkomplexnejšiu schému obchodovania s emisnými kvótami, ktorá v súčasnosti funguje, je považovaná schéma Európskej únie na obchodovanie s emisiami, ktorá bola iniciovaná s cieľom pomôcť členským štátom EÚ splniť ciele Kyoto protokolu (EPA, 2021). Európsky systém obchodovania s emisiami je základným pilierom politiky EÚ v boji proti zmene klímy a kľúčovým nástrojom na nákladovo efektívne znižovanie emisií. Celkový počet povoleniek sa od roku 2021 znižuje ročne o 2,2 %, v rokoch 2013-2020 to bolo o 1,74 % ročne. Miera zníženia povoleniek je v súlade s cieľom Európskej zelenej dohody o znížení skleníkových plynov do roku 2030. Sektory, na ktoré sa vzťahuje systém obchodovania s emisiami musia znížiť emisie aspoň o 40 % (EC, 2022b).

2.2 Dopady klimatických zmien na ekonomiku a monetárnu politiku pohľadom odbornej literatúry

Zmena klímy sa postupne dostala do popredia obáv tvorcov politík. Finančné inštitúcie a centrálni bankári sa podieľajú na globálnom úsilí o riešenie klimatických zmien. V prípade klimatických zmien je neistota spojená s ekonomickými analýzami umocnená dlhodobým a globálnym rozsahom tohto problému. Centrálné banky si uvedomujú možné dôsledky klimatických zmien a začínajú integrovať riziká súvisiace s klímou do svojich operácií menovej politiky. Výnimkou nie je ani Európska centrálna banka.

Medzi prvými, ktorí poukázali na problémy skleníkových efektov a problémy klímy, boli Houghton a kol. (1990). V publikácii, ktorá je súhrnom správy z prvého stretnutia Medzivládneho programu pre zmenu klímy. Napriek tomu, väčšina štúdií, ktoré sa zaoberali klimatickými zmenami a súčasne ich vplyvom na ekonomiku, vychádza až o pár rokov neskôr. Annicchiarico a Di Dio (2015a) boli prví, ktorí sa zamerali na vzťah medzi menovou politikou a klimatickou politikou v environmentálnom modeli DSGE. Medzi nedávne štúdie patria príspevky od autorov ako Dafermos a kol. (2018); Xiao, Fan a Guo (2018); Pan (2019); Diluiso a kol. (2020); Durani, Rosmin a Volz (2020); Bhandary a kol. (2021); Schoenmaker (2021) a mnohé ďalšie.

Annicchiarico a Di Dio (2015a) v DSGE modeli porovnávajú rôzne možnosti environmentálnej politiky v uzatvorenej ekonomike: žiadna politika, daň z emisií, obchodovanie s povolenkami a intenzívne cielenie za predpokladu troch exogénnych šokov v modelovej ekonomike, a to technologického šoku, vládneho šoku a monetárneho šoku. Neskôr Annicchiarico a Di Dio (2017b) vydali ďalšiu štúdiu, kde sa na dôsledky klimatických zmien pozerajú z iného uhla a zameriavajú sa na otázky: (1) ako sú menové a environmentálne politiky prepojené; (2) ako rôzne monetárne politiky ovplyvňujú optimálnu environmentálnu politiku; (3) aký dopad má kontrolovanie emisií na odozvu šokov optimálnej menovej politiky. Práve štúdiou

Annicchiarico a Di Dio (2017b) sa inšpirovali autori Chen a kol. (2020), ktorých práca je východiskovou štúdiou pre túto záverečnú prácu.

Pomocou stock-flow-fund ekologického makroekonomického modelu Dafermos a kol. (2018) analyzujú: i) účinky zmeny klímy na finančnú stabilitu; ii) dôsledky ekologického a globálneho otepľovania zeleného kvantitatívneho uvoľňovania (skr. QE). Model je odhadovaný a kalibrovaný pomocou globálnych údajov a simulácie sa vykonávajú za obdobie 2016-2020. Cieľom simulácií je ilustrovat' dlhodobé trendy v interakcii medzi finančným systémom a zmenou klímy. Preto nevenujú pozornosť krátkodobým výkyvom a hospodárskym cyklom. V simuláciách sa zameriavajú na dva špecifické zdroje neistoty: i) neistota o hodnotách kľúčových parametrov, ktoré zachytávajú súvislosť medzi poškodeniami a finančným systémom; ii) neistota, ktorá vyplýva zo stochastických AR (1) procesov zahrnutých do investičných a úverových funkcií. Výsledkami simulácií, ktoré autori vyhodnotili sú, že klimatické škody znižujú i) spotrebu a investičný dopyt; ii) dopyt domácností po konvenčných podnikových dlhopisoch (súčasne sa zvyšuje dopyt po vkladoch a štátnych cenových papieroch); iii) potenciálnu produkciu určenú pracovnou silou (ktorá je ovplyvnená produktivitou práce a pracovnou silou) a iv) potenciálnu produkciu určenú kapitálom (ktorá je ovplyvnená kapitálovými zásobami a produktivitou kapitálu). Klimatické škody majú tiež priamy vplyv na ziskovosť podnikov (keďže zisky sú ovplyvnené hospodárskym rastom a znehodnotením kapitálu spôsobeným zmenou klímy). Obe premenné ovplyvňujú požadovanú investíciu firiem. Okrem toho zmena klímy ovplyvňuje mieru zamestnanosti, pretože miera rastu produkcie nie je nevyhnutne rovnaká ako pri potenciálnej produkcii určenej pracovnou silou.

Hodnotením rôznych environmentálnych politík sa zaoberajú autori Xiao, Fan a Guo (2018). Za dôležité kritérium pri hodnotení považujú ekonomickú fluktuáciu. Napriek tomu spôsob výberu najvhodnejšej environmentálnej politiky označujú za kontroverzný, vzhľadom na neisté účinky na hospodársky rast a ekonomické výkyvy spôsobené práve environmentálnou politikou. Pomocou environmentálneho DSGE, so štandardným Novokeynesiánskym prístupom a nominálnou cenovou

nepružnosťou porovnávajú vplyv rôznych environmentálnych politík. Model aplikujú na ekonomiku Číny. Využívajú Bayesovský odhad na štvrťročných dátach Číny, zvyšné parametre určujú pomocou kalibrácie založenej na existujúcich publikáciách. Skúmané sú štyri druhy environmentálnych politík: žiadna politika, daňová politika, emisne intenzívna politika a politika emisných povoleniek. Významný rozdiel medzi jednotlivými politikami, po pridaní technologického šoku, sa týka cien emisií znečistenia a samotných znečisťujúcich emisií. V prípade environmentálnej dane sa cena emisií a aj množstvo emisií zvyšuje viac a menej v prípade politiky emisných povoleniek. Emisne intenzívna politika sa nachádza výsledkovo niekde medzi nimi. Zaoberajú sa aj situáciou, čo by nastalo, ak by vláda uvoľnila environmentálne normy. Výsledkom by bolo zníženie cien znečisťujúcich emisií, na čo by všetky makroekonomické premenné reagovali pozitívne, čo by následne viedlo k zvyšovaniu znečisťujúcich emisií.

Pan (2019) vo svojej štúdii skúma potenciálne ekonomické a environmentálne účinky novo zavedenej „green financial policies“ v Číne. Využíva model založený na základnom rámci reálneho hospodárskeho cyklu (skr. RBC) a zavádza tri nové, nezvyčajné aspekty: (1) bankový sektor ponúka zelené pôžičky; (2) firemný sektor vedie zelenú a nezelenú výrobu; (3) centrálna banka a fiškálny sektor vykonáva zelenú finančnú politiku. Pan v štúdii zistil, že všetky tri posudzované zelené finančné politiky, menovite prepožičiavanie, dotácia úrokov a zámerné redukovanie miery rezerv, sú účinnými nástrojmi na stimuláciu zelených úverov a majú pozitívny vplyv na zelenú hospodársku transformáciu a životné prostredie. Zelenú finančnú politiku v Číne uvádza Pan ako „vládne a regulačné opatrenia zamerané na to, aby finančné služby podporovali zlepšovanie životného prostredia“. Odkazuje najmä na nástroje finančnej politiky vrátane dotácií úrokov, prepožičiavania centrálnou bankou, vládnej záruky, zníženia váhy rizika a kapitálových požiadaviek. Tento druh nástrojov je v Číne aplikovaný od roku 2015. V závere štúdie hovorí o uvedených nástrojoch ako účinných na stimuláciu zelených úverov a pozitívnych účinkov na zelenú ekonomiku a životné prostredie. Čínske orgány a inštitúcie patria medzi priekopníkov v presadzovaní „green finance“. Zavedením „zelenej finančnej politiky“ chceli

dosiahnuť zmenu spôsobov investovania a zmobilizovať tak viac financií smerom k zeleným aktívam. Environmentálny problém v Číne odhalili po desaťročiach výrazného hospodárskeho rastu. Problém globálnej zmeny klímy vyvinul tlak na Čínu, ktorá je najväčším producentom CO₂.

Použitím DSGE modelu Diluiso a kol. (2020) skúmajú riziká, ktoré nízko-uhlíkový prechod predstavuje pre finančnú stabilitu. Taktiež skúmajú aj rôzne nástroje, ktoré by centrálna banka mohla použiť na riadenie týchto rizík, ako uhlíkovú daň a finančné regulácie, kde zavádzajú systém daní a dotácií. Tento systém núti banky, aby upravili štruktúru svojich záväzkov z tzv. „brown“ aktív (aktív zo znečisťujúcich sektorov), aby sa znížilo riziko, ktorému banky môžu byť vystavené kvôli klimatickým zmenám, a aby sa uprednostnilo poskytovanie úverov energetickým sektorom.

Ferrari a Landi (2020) spájajú štandardný ekonomický rámec DSGE modelu s environmentálnym modelom. Skúmajú makroekonomické a sociálne dôsledky tzv. „zeleného QE“ (zeleného kvantitatívneho uvoľňovania), t. j. programu nákupu aktív zameraného na zelené (ekologické) sektory. „Zelené QE“ majú definované ako nákup dlhopisov centrálnej banky emitovaných firmami v neznečisťujúcich odvetviach. V modeli majú dva sektory, a to zelený, ktorý neznečisťuje, teda nevytvára žiadnu externalitu a hnedý, ktorého produkcia zvyšuje emisie CO₂. Zelené a hnedé aktíva sú nedokonalé substitúty. V ich ponímaní škodlivé emisie zvyšujú celkové znečistenie, čo sa odzrkadľuje na znížení produktivity a v konečnom dôsledku na znížení spotreby. Model kalibrujú využívaním štandardných parametrov z makroekonomickej literatúry, uvažujúc štvrtročnú frekvenciu dát. K problematike pristupujú dvoma spôsobmi. Skúmajú transmisný mechanizmus dočasného „zeleného QE“, ktorý nezvyšuje celkové aktíva centrálnej banky, nákup zelených dlhopisov financuje centrálna banka predajom hnedých dlhopisov. Taktiež analyzujú transmisný mechanizmus dočasného „zeleného QE“, ktorý zvyšuje celkové aktíva centrálnej banky, centrálna banka financuje nákup zelených dlhopisov vydávaním obligácií. Pozerajú sa aj na blahobytné účinky zavedenia „zeleného QE“ počas hospodárskej expanzie. Poukazujú, že blahobyt „zeleného QE“ je podstatne vyšší, ak tok škodlivých emisií

negatívne ovplyvňuje úžitkovú funkciu domácností. S modelom vhodným na štúdium „zelenej QE“ vykonali štyri experimenty. Simulovali dočasný „zelený QE“ šok (dočasné zvýšenie podielu zelených dlhopisov, pri zachovaní konštantnosti celkových aktív); nárast celkových aktív centrálnej banky (QE šok); navrhli Taylorovo pravidlo pre „zelené QE“ (simulovanie pozitívneho TFP šoku) a pozreli sa na problém aj z normatívnej stránky a troma rôznymi spôsobmi pristúpili k výpočtu konštantnej dane zo znečisťujúcej produkcie. Podľa hypotézy nedokonalých substitútov výsledky poukazujú na to, že „zelené QE“ je schopné znížiť tok škodlivých emisií, aj keď účinok nie je veľký. Vzhľadom na to, že modelujú dočasné „zelené QE“, emisie sa po niekoľkých obdobiach vrátia do ustáleného stavu. Napriek tomu, že táto politika má len krátkodobé účinky, mohla by pomôcť dosiahnuť uhlíkovú neutralitu, o ktorú sa EÚ bude v najbližších rokoch snažiť.

Autori Durrani, Rosmin a Volz (2020) uskutočnili prieskum medzi 18 centrálnymi bankami a menovými orgánmi v ázijsko-tichomorskom regióne, aby zistili viac o postojoch k zmene klímy a udržateľnému financovaniu. Ako kľúčové zistenie uvádzajú, že viaceré ázijsko-pacifické banky a regulačné orgány už explicitne alebo implicitne podporujú udržateľné financovanie. Až 89 % bánk z prieskumu súhlasí, že nízko-uhlíkové financovanie sa stalo dôležitou oblasťou záujmu, a to najmä po uzavretí Parížskej dohody.

Štúdia od Bhandary a kol. (2021) konkrétne skúma, ktoré politiky na podporu klímy fungujú, ktoré nie a za akých podmienok fungujú niektoré politiky lepšie a to prostredníctvom prípadových štúdií a prehľadu literatúry. Podľa ich záveru má každý typ politiky výhody a nevýhody. Daňové úľavy majú výhodu v prehľadnosti, avšak ich implementácia môže byť nákladná. Integrita „zelených dlhopisov“ bráni nedostatočnou medzinárodnou štandardizáciou, napriek ich rýchlemu rastu. Autori poukazujú aj na možný potenciál politiky cieleného požičiavania a uverejňovania, napriek nedostatočným dôkazom o ich účinnosti v súčasnosti.

Schoenmaker (2021) odpovedá na výskumnú otázku, ako môže ECB dekarbonizovať svoje operácie menovej politiky, čo vplýva na rozhodovanie alokácii pri nákupe aktív a prijímaní kolaterálu. Pozornosť autora je upriamená na zhromažďovanie aktív smerom k spoločnostiam s nízkymi emisiami uhlíka, čo znižuje kapitálové náklady nízko uhlíkových spoločností. Záver štúdie hovorí o znížení emisií uhlíka v portfóliu ECB o 55 % v prípade uplatnenia uvedenej metódy.

Nesmieme opomenúť článok, ktorý je východiskom pre túto prácu, od Chen a kol. (2020). Metódou výskumu autorov je rozšírený model E-DSGE. Základné nastavenie DSGE je v súlade so štandardným Novokeynesiánskym rámcom. Základné „environmentálne“ vlastnosti Chen a kol. preberajú od Annicchiarico a Di Dio (2017b): začlenenie emisií skleníkových plynov z výroby; ich negatívne externality na produktivitu; začlenenie politiky v oblasti klímy, ktorá riadi emisie, t. j. cap-and-trade alebo daň z uhlíka. Aby modul pre životné prostredie zvažili komplexnejším spôsobom, zavádzajú do modelu aj niektoré nové environmentálne prvky: skryté emisie, potenciálne pokuty a účinnosť ich vymáhania. Podľa autorov sú tieto skryté vlastnosti súvisiace s emisiami v tradičných E-DSGE často vynechávané, ale v skutočnosti sú bežné a v modelovej ekonomike netriviálne. Chen a kol. (2020) porovnávali kombinácie menovej politiky založenej na Taylorových pravidlách s rôznymi klimatickými politikami, aby zistili, či a ako klimatická politika ovplyvní menovú politiku; v štúdií optimalizovali koeficienty v pravidle menovej politiky v rámci určitých klimatických politík; navrhli menovú politiku rozšírenú o „klímu“. Vo výsledkoch štúdie uvádzajú, že pri procese tvorby menovej politiky by sa mala zvažovať už existujúca politika v oblasti klímy, a taktiež už existujúce environmentálne regulácie. Ďalej uvádzajú, že ak je daná klimatická politika, môže dôjsť k zlepšeniu blahobytu a koeficienty v tradičnom Taylorovom pravidle môžu byť lepšie nastavené, s čím súvisí možná optimalizácia politík. V závere však uvádzajú aj dilemu medzi blahobytom a environmentálnymi cieľmi, ktorá môže vzniknúť pri rozšírení Taylorovho pravidla o klimatickú politiku.

Ako už bolo zmienené, model využívaný v tejto diplomovej práci je prevzatý práve zo štúdie od autorov Chen a kol. (2020). Ich obohatenie o skryté emisie a potenciálne pokuty, predstavuje realistickejší pohľad na klimatickú politiku, ktorú ECB v súčasnosti ešte nemá jasne stanovenú. Napriek tomu, sa však ECB ku klimatickej politike vyjadruje, neignoruje klimatické zmeny a dokonca za najkomplexnejšiu schému obchodovania s emisnými kvótami je považovaná práve schéma Európskej únie.

3 DSGE model

Dynamické stochastické modelovanie všeobecnej rovnováhy je metóda, ktorú často používajú menové a fiškálne orgány na analýzu politiky. Modely DSGE vychádzajú zo všeobecnej teórie rovnováhy a mikroekonomických princípov. Táto metóda však bola spočiatku kritizovaná a označovaná za obmedzujúcu na analýzu len jedného typu šoku (produktívny šok) a na jeden typ ekonomickej štruktúry (dokonalá konkurencia), bez akejkoľvek úlohy menovej politiky. Z pohľadu centrálnych bánk bolo náročné pochopiť, ako by tieto modely mohli prispieť k diskusiám o menovej politike. Neskôr boli tieto názory vyvrátené, a to vďaka technologickému vylepšeniu RBC modelov, ktoré sú považované za predchodcov DSGE modelov. Zavedenie frikcií do RBC modelov umožnilo začlenenie Keynesiánskych princípov a nových šokov, čo umožnilo inštitúciám zaoberajúcich sa menovou politikou vyvinúť vlastné DSGE modely (Costa Junior, 2016).

Cieľom DSGE modelov je vybudovať relatívne malé teoretické modely s využitím reprezentatívnych agentov. V modeli sú zahrnuté domácnosti, firmy, vláda a finančný sektor. Domácnosti nakupujú statky od firiem na trhu statkov, zároveň domácnosti ponúkajú firmám pracovnú silu na trhu práce. Rozlišujeme dva typy firiem a to, výrobcov medziproduktov pôsobiacich na monopolisticky konkurenčnom trhu a výrobcov, ktorý nakupujú medziprodukty na zhotovovanie finálnych statkov. Centrálna banka, ako orgán menovej politiky rozhoduje o nominálnej úrokovej miere. Vláda stanovuje environmentálne regulácie a kontroly pre emisie, menový orgán kontroluje nominálnu úrokovú mieru.

3.1 Domácnosti

Reprezentatívna domácnosť sa snaží maximalizovať svoj očakávaný úžitok, ktorý je determinovaný spotrebou C_t a prácou L_t . Domácnosť čelí úžitkovej funkcii

$$\mathbb{E}_0 = \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t S_t \left(\ln C_t - \mu_L \frac{L_t^{1+\eta}}{1+\eta} \right) \right\}, \quad (1)$$

kde $0 < \beta < 1$ je diskontný faktor, $\eta \geq 0$ je inverzná hodnota elasticity ponuky práce a $\mu_L > 0$ je koeficient disúžitku z práce. S_t predstavuje stochastické šoky časovej preferencie (v intertemporálnych preferenciách). Tieto šoky spĺňajú nasledujúcu rovnicu $\ln S_t = \rho_S \ln S_{t-1} + (1 - \rho_S) \ln S + e_{S,t}$, kde $0 < \rho_S < 1$ a $e_{S,t}$ je iid proces s rozptylom σ_S^2 .

Každá domácnosť maximalizuje svoj očakávaný úžitok vzhľadom k svojej úžitkovej funkcii a rozpočtovému obmedzeniu v tvare

$$P_t C_t + R_t^{-1} B_{t+1} = B_t + W_t L_t + D_t + P_t T_t, \quad (2)$$

kde P_t je cena finálneho statku, C_t označuje množstvo spotrebovaného statku, B_t a B_{t+1} značia množstvo bezrizikových obligácií zakúpených v období t a zhodnotených v období $t + 1$. R_t je bezriziková úroková sadzba obligácií, ktorú určuje centrálna banka, W_t je nominálna mzda, L_t sú odpracované hodiny, D_t označuje nominálne dividendy z podnikov a T_t je jednorazový transfer od vlády.

Pre získanie podmienok optimality je zostavená Lagrangeova funkcia s Lagrangeovým multiplikátorom

$$L = \max_{C_t, L_t, B_t} E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t S_t \left(\left(\ln C_t - \mu_L \frac{L_t^{1+\eta}}{1+\eta} \right) - \lambda_t (P_t C_t + R_t^{-1} B_{t+1} - B_t - W_t L_t - D_t - P_t T_t) \right).$$

Následne získame derivácie Lagrangianu $\frac{\delta L}{\delta C_t}$, $\frac{\delta L}{\delta L_t}$, $\frac{\delta L}{\delta B_t}$ a $\frac{\delta L}{\delta \lambda_t}$.

$$\frac{\delta L}{\delta C_t} : \beta^t S_t \left(\frac{1}{C_t} - \lambda_t P_t \right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\delta L}{\delta L_t} : \beta^t S_t (\mu_L L_t^\eta + \lambda_t W_t) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\delta L}{\delta B_t} : -\beta^t S_t \lambda_t R_t^{-1} + \beta^{t+1} S_{t+1} \lambda_{t+1} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \lambda_t} : P_t C_t + R_t^{-1} B_{t+1} - B_t - W_t L_t - D_t - P_t T_t = 0 \quad (6)$$

Z rovníc (3) a (4) získavame prvú podmienku optimality, intertemporálnu podmienku danú ako

$$\beta R_t \mathbb{E}_t \left[\frac{S_{t+1}}{S_t} \frac{C_t}{C_{t+1}} \frac{1}{\Pi_{t+1}} \right] = 1, \quad (7)$$

kde $\Pi_{t+1} = \frac{P_{t+1}}{P_t}$ je inflácia v čase $t + 1$. Rovnica (1) je Eulerova rovnica pre spotrebu. Z rovníc (3) a (5) získavame druhú podmienku optimality, intratemporálnu podmienku, danú ako

$$L_t^\eta = \frac{W_t}{\mu_t P_t C_t}, \quad (8)$$

ktorá je rovnicou ponuky práce.

3.2 Firmy a životné prostredie

Sektor firiem je v súlade so štandardným Novokeynesiánskym prístupom. Tvorený je výrobcami finálnych statkov a medziproduktov. Finálny produkt Y_t je vyrábaný konkurenčnými firmami pomocou konštantnej elasticity substitúcie (skr. CES)

$$Y_t = \left[\int_0^1 Y_{j,t}^{\frac{\theta_t-1}{\theta_t}} dj \right]^{\frac{\theta_t}{\theta_t-1}}, \quad (9)$$

kde $Y_{j,t}$ je označenie pre medziprodukty vyrábané monopolisticky konkurenčnými firmami a dolný index $j \in [0,1]$ označuje medziprodukty firiem kontinua. $\theta_t > 1$ je elasticita substitúcie, stochastický proces, ktorý popisuje nákladový šok „cost-push shock“ (Smets a Wouters, 2002). Tento šok spĺňa nasledujúcu rovnicu $\ln \theta_t = \rho_\theta \ln \theta_{t-1} + (1 - \rho_\theta) \ln \theta + e_{\theta,t}$, kde $0 < \rho_\theta < 1$ a $e_{\theta,t}$ je *iid* proces s rozptylom σ_θ^2 .

Výrobcovia finálneho produktu maximalizujú svoj zisk, ktorý je určený

$$P_t Y_t - \int_0^1 Y_{j,t}^{\frac{\theta_t-1}{\theta_t}} dj. \quad (10)$$

Prvá podmienka optimality je daná ako funkcia dopytu po medziproduktoch

$$Y_{j,t} = \left(\frac{P_{j,t}}{P_t} \right)^{-\theta_t} Y_t, \quad (11)$$

z čoho vyplýva, že cena finálneho produktu P_t je zároveň aj cenovou hladinou

$$P_t = \left[\int_0^1 P_{j,t}^{1-\theta_t} dj \right]^{\frac{1}{1-\theta_t}}. \quad (12)$$

Typická firma vyrábajúca medziprodukty má produkčnú funkciu

$$Y_{j,t} = \Lambda_t A_t L_{j,t}, \quad (13)$$

kde A_t reprezentuje úroveň technológie („total factor productivity“, skr. TFP), ktorá sa riadi stochastickým procesom $\ln A_t = \rho_A \ln A_{t-1} + (1 - \rho_A) \ln A + e_{A,t}$, kde $0 < \rho_A < 1$ a $e_{\theta,t}$ je *iid* proces s rozptylom σ_A^2 . Koeficient Λ_t prebrali Chen a spoluautori od Golosov a kol. (2014), ide o koeficient poškodenia, ktorý popisuje negatívnu

externalitu emisií skleníkových plynov na produktivitu. Spája ekonomiku a životné prostredie, determinovaný je množstvom emisií

$$\Lambda_t = e^{-\chi(M_t - \bar{M})}, \quad (14)$$

kde M_t je množstvo uvoľnených emisií v čase t , $\bar{M}$ je úroveň emisií z pred industriálnej revolúcie a $\chi > 0$ meria intenzitu negatívnej externality.

Emisie skleníkových plynov sú mnohokrát chápané ako vedľajší produkt procesu výroby. Pôvodné celkové emisie z výroby $Z_{j,t}^{ori}$ (označené ako φ), sú priamoúmerné objemu produkcie firiem vyrábajúcich medziprodukty

$$Z_{j,t}^{ori} = \varphi Y_{j,t}. \quad (15)$$

Pri vypúšťaní emisií má firma tri možnosti: obmedziť emisie pomocou vylepšenia technológií; vypúšťať emisie legálne, teda platiť dane; zatajovať vypúšťanie emisií. Firma si môže vybrať percento zníženia emisií $U_{t,j}$ ($0 \leq U_{t,j} \leq 1$) z pôvodných celkových emisií, čo vytvorí marginálne rastúce náklady $\phi_1 U_{t,j}^{\phi_2} Y_{j,t}$, kde $\phi_1 = \phi_1' \varphi > 0$ a $\phi_1 > 1$ sú nákladové koeficienty. Firma sa tiež môže rozhodnúť vypúšťať emisie legálne, a to buď zaplatením uhlíkovej dane alebo zakúpením emisnej povolenky za cenu $p_{Z,t}$ za každú jednotku emisií skleníkových plynov. Rozhodnutie o vypúšťaní emisii legálne závisí od nastavenia režimu klimateckej politiky. Chen a kol. sa od iných autorov odlišujú pridaním skrytých emisií a s nimi súvisiacich environmentálnych regulácií. Vláda a orgány zaoberajúce sa ochranou životného prostredia nie sú vždy schopné odhaliť každý zdroj znečistenia, čo vytvára firmám priestor na to, aby tajne vypúšťali emisie a umelo vykazovali nízke hodnoty legálneho vypúšťania. Skutočné množstvo emisií týchto firiem je vďaka vypúšťaniu skrytých emisií vyššie ako ich legálne, ktoré si zaplatili formou uhlíkovej dane, alebo zakúpením povolenky. Skryté emisie firmám ušetrí náklady na znižovanie emisií, alebo na zaplatenie legálneho vypúšťania. Autori uvádzajú na skryté emisie aj konkrétny

príklad z roku 2015, kedy firma Volkswagen zatajovala nadmerné emisie a čelila obrovskej kritike a pokute od vlád.

Vláda odhaľuje skryté emisie s určitou pravdepodobnosťou, čím je nižšia, tým menej účinná je environmentálna regulácia emisií. V prípade odhalenia, vláda udelí firme pokutu, čím nižšia pokuta, tým nižšia je efektívnosť. V modeli predpokladáme, že firma čelí očakávanému objemu emisií, ktorý sa rovná $\frac{\psi}{2} V_{j,t}^2 \phi Y_{j,t}$, kde $\phi Y_{j,t} = Z_{j,t}^{ori}$ sú pôvodné emisie, $0 \leq V_{t,j} \leq 1$ je podiel skrytých emisií z pôvodných a $\psi > 0$ je definované ako efektívnosť presadzovania environmentálnych nariadení „Effectiveness of Enforcement of Environmental Regulation“, skr. EOEER. Výraz je úmerný pravdepodobnosti, že vláda odhalí skryté emisie a výške pokuty za každú jednotku skrytých emisií. Z uvedeného vyplýva, že výraz $\frac{\psi}{2} V_{j,t}^2 \phi Y_{j,t}$ definuje výšku pokuty. Čím viac skrytých emisií je vypustených a zistených, tým vyššia je pokuta. Rovnako je pokuta vyššia, čím účinnejšie je presadzovanie environmentálnych regulácií.

Vo väčšine predchádzajúcich E-DSGE modelov bola predpokladaná dokonalá účinnosť regulácie životného prostredia, zavedenie skrytých emisií a EOEER robí Chenov model komplexnejším a bližším k realite. Popri tradičnej klimateknej politike (uhlíková daň a obchod s povolenkami), môžeme potenciálny postih za skryté emisie považovať za ďalšiu environmentálnu reguláciu.

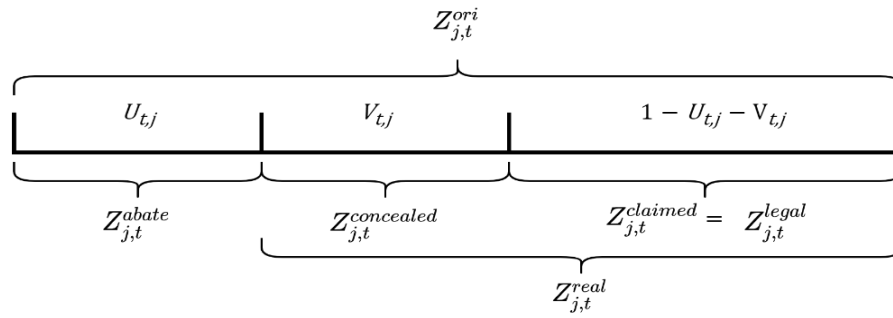
Množstvo skleníkových plynov, ktoré je skutočne emitované do ovzdušia je označované ako $Z_{j,t}^{real}$, zodpovedá pôvodným emisiám $Z_{j,t}^{ori}$ mínus emisie, ktoré sú znížené a obmedzené $Z_{j,t}^{abate} = U_{t,j} \phi Y_{j,t}$. Ohlásené emisie $Z_{j,t}^{claimed}$ sú emisie skleníkových plynov, ktoré firma nahlási vláde. Inak označované aj ako legálne emisie $Z_{j,t}^{legal}$, pri cene $p_{Z,t} Z_{j,t}^{legal}$ za daň alebo povolenky, ktoré firma musí zakúpiť. Ohlásené emisie $Z_{j,t}^{claimed}$ sú skutočné emisie mínus ilegálne emisie. Množstvo emisií, ktorého vypúšťanie je zatajované pred vládou je $Z_{j,t}^{concealed}$. Z uvedeného dostávame rovnice

$$Z_{j,t}^{real} = Z_{j,t}^{ori} - Z_{j,t}^{abate} = (1 - U_{t,j})\phi Y_{j,t} = Z_{j,t}^{legal} + Z_{j,t}^{illegal} \quad (16)$$

$$Z_{j,t}^{claimed} = Z_{j,t}^{real} - Z_{j,t}^{illegal} = (1 - U_{t,j} - V_{t,j})\phi Y_{j,t} = Z_{j,t}^{legal}. \quad (17)$$

Vyššie popísané vzťahy sú znázornené na obrázku č. 3.

Obrázok č. 3: Vzťahy medzi emisnými premennými



Zdroj: Chen a kol. (2020)

Cieľom reprezentatívnej firmy je maximalizovať očakávaný zisk

$$V_t = \max \mathbb{E}_0 \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \Omega_{0,t} \left[\frac{P_{j,t}}{P_t} Y_{j,t} - TC_{j,t} - \frac{\gamma}{2} \left(\frac{P_{j,t}}{P_{j,t-1}} - 1 \right)^2 Y_t \right] \right\}, \quad (18)$$

ktorý podlieha celkovým nákladom

$$TC_{j,t} = \frac{W_t}{P_t} L_{j,t} + \phi_1 U_{j,t}^{\phi_2} Y_{j,t} + p_{Z,t} (1 - U_{t,j} - V_{t,j}) \phi Y_{j,t} + \frac{\psi}{2} V_{j,t}^2 \phi Y_{j,t}, \quad (19)$$

kde $\Omega_{0,t} = \beta^t \frac{C_0}{C_t}$ je stochastický diskontný faktor.

Využitím Bellmanovej rovnice je maximalizácia firmy j daná ako

$$V_t = \max \left\{ \frac{P_{j,t}}{P_t} Y_{j,t} - TC_{j,t} - \frac{\gamma}{2} \left(\frac{P_{j,t}}{P_{j,t-1}} - 1 \right)^2 Y_t + \mathbb{E}_t \Omega_{t,t+1} V_{t+1} \right\}. \quad (20)$$

Langrangeova funkcia má nasledujúcu podobu

$$L = \frac{P_{j,t}}{P_t} Y_{j,t} - \left[\frac{W_t}{P_t \Lambda_t A_t} + \phi_1 U_{j,t}^{\phi_2} Y_{j,t} + p_{z,t} (1 - U_{j,t} - V_{j,t}) \varphi Y_{j,t} + \frac{\psi}{2} V_{j,t}^2 \varphi Y_{j,t} \right] - \frac{\gamma}{2} \left(\frac{P_{j,t}}{P_{j,t-1}} - 1 \right)^2 Y_t + \mathbb{E}_t [\Omega_{t,t+1} V_{t+1}] + \lambda_{j,t} \left[\left(\frac{P_{j,t}}{P_t} \right)^{-\theta_t} Y_t - Y_{j,t} \right].$$

Z vyššie uvedených nastavení a predpokladov získavame podmienky prvého radu pre $U_{j,t}$ a $V_{j,t}$, ktoré zobrazujú rovnice (21) a (22).

$$p_{z,t} = \frac{1}{\varphi} \phi_1 \phi_2 U_{j,t}^{\phi_2-1}, \quad (21)$$

$$V_{j,t} = \frac{1}{\psi \varphi} \phi_1 \phi_2 U_{j,t}^{\phi_2-1} = \frac{p_{z,t}}{\psi}. \quad (22)$$

Taktiež získame odvodenie marginálnych nákladov $MC_{j,t}$ danej firmy a rovnicu Novo Keynesiánskej Phillipsovej krivky (24)

$$MC_t = \frac{W_t}{\Lambda_t A_t P_t} + \phi_1 U_{j,t}^{\phi_2} + p_{z,t} (1 - U_{j,t} - V_{j,t}) \varphi + \frac{\psi}{2} V_{j,t}^2 \varphi, \quad (23)$$

$$(1 - \theta_t) - \gamma (\Pi_t - 1) \Pi_t + \beta \gamma \mathbb{E}_t \left[\frac{c_t}{c_{t+1}} (\Pi_{t+1} - 1) \Pi_{t+1} \frac{Y_{t+1}}{Y_t} \right] + \theta_t MC_t = 0, \quad (24)$$

kde $\gamma > 0$ je koeficient nákladov na úpravu ceny a $\Pi_t = \frac{P_t}{P_{t-1}}$ označuje infláciu.

3.3 Monetárne a environmentálne orgány

Orgán menovej politiky (centrálna banka) rozhoduje o nominálnej úrokovej miere podľa tradičného Taylorovho pravidla

$$\frac{R_t}{R} = \left(\frac{\Pi_t}{\Pi}\right)^{\rho_\Pi} \left(\frac{Y_t}{Y_t^{na}}\right)^{\rho_Y}, \quad (25)$$

kde Y_t^{na} je prirodzený výstup bez strnulosti cien, R a Π sú ustálené stavy nominálnej úrokovkej miery a inflácie, ρ_Π a ρ_Y sú koeficienty intenzity pre cielenie inflácie a medzery výstupu.

Klimatickej politike sa venujú orgány zaoberajúce sa životným prostredím. Obdobne ako vo východiskovej štúdií od Chen a kol. (2020) sú v práci analyzované dva hlavné režimy klimatickej politiky, a to cap-and-trade (skr. CA režim) a uhlíková daň (skr. TX režim). V rámci režimu CA je stanovený strop emisných povoleniek Z_t^{cap} , pričom emisné povolenky sa predávajú na trhu za cenu, ktorá je určená trhovou konkurenciou. Celkové legálne emisie Z_t^{legal} sa v rovnováhe rovnajú Z_t^{cap} . V režime TX príslušný orgán stanoví výšku uhlíkovej dane pre každú jednotku legálnych emisií. Zahrnutý je aj režim bez akejkoľvek kontroly emisií (skr. NO režim) a Ramsey optimálna kontrola (skr. RM režim), za účelom porovnania režimov. Environmentálne orgány, okrem výberu vhodného režimu klimatickej politiky, môžu v prípade zistenia vypúšťania skrytých emisií udeľovať firmám pokuty.

3.4 Čistenie trhu a agregácia

V rovnováhe je podmienka čistenia trhu daná ako

$$Y_t = C_t + \phi_1 U_t^{\phi_2} Y_t + \frac{\gamma}{2} (\Pi_t - 1)^2 Y_t. \quad (26)$$

Predpoklad, že všetky firmy sú symetrické, autori modelu preberajú od Rotemberga (1982). Celková produkčná funkcia je

$$Y_t = A_t A_t L_t. \quad (27)$$

Celkové množstvo emisií je

$$Z_t^{legal} = \int_0^1 Z_{j,t}^{legal} dj = (1 - U_t - V_t) \varphi Y_t, \quad (28)$$

$$Z_t^{real} = \int_0^1 Z_{j,t}^{real} dj = (1 - U_t) \varphi Y_t. \quad (29)$$

Celkové transfery sú

$$T_t = p_{Z,t} Z_t^{legal} + \frac{\psi}{2} v_t^2 \varphi Y_t. \quad (30)$$

Celkové množstvo uvoľnených emisií v atmosfére je

$$M_t = (1 - \delta_M) M_{t-1} + Z_t^{real} + \tilde{Z}, \quad (31)$$

kde $\tilde{Z}$ sú emisie z prírody bez ľudského vplyvu a $0 < \delta_M < 1$ je prirodzená miera rozloženia skleníkových plynov.

3.5 Kalibrácia

Kalibrované hodnoty jednotlivých parametrov, ktoré sú súčasťou zvoleného modelu, vychádzajú z podkladového článku a z dostupnej literatúry. Súhrnný prehľad zobrazuje tabuľka č. 2.

Diskontný faktor β je nastavený na hodnotu 0,99 podľa Galí (2015), elasticita substitúcie diferencovaných statkov v ustálenom stave θ na hodnotu 6. Inverzná Frischova elasticita, parameter η , je kalibrovaná na hodnotu 1. Koeficient prispôsobovania nákladov γ , ktorý meria nominálnu rigiditu, inak označovanú aj ako cenovú strnulosť, je nastavený na hodnotu 58,25. Strnulosť cien má v prípade Calvovho mechanizmu trvanie tri štvrtiny roka. Disúžitok z práce, značený ako parameter μ_L je nastavený na hodnotu 24,9983. Bez existencie monopolu je ustálený stav práce 0,2. Perzistentné koeficienty šokov vrátane TFP šoku, preferenčného šoku a nákladového šoku sú nastavené na hodnotu 0,9. Koeficienty elasticít podľa Taylorovho

pravidla ρ_{Π} a ρ_Y sú nastavené na 1,5 a 0,5. Tak ako aj v prípade východiskového článku, koeficient nákladov na zníženie emisií ϕ_1 je nastavený podľa Annicchiarico and Di Dio (2017) na hodnotu 0,185 a elasticita ϕ_2 na hodnotu 2,8. Parameter χ stanovujúci škody na výstupe spôsobené emisiami je nastavený na 0,000457. Miera rozloženia emisií δ_M je kalibrovaná podľa Heutel (2012) na hodnotu 0,0021, ktorá vychádza z Heutelovej rovnice rozpadu atmosférického CO₂. Koeficient merajúci pôvodné emisie na jednotku výstupu, parameter φ , je stanovený ako 0,601 podľa Chen a kol. (2020), ktorí ho prevzali od Xu a kol. (2016). Efektívnosť presadzovania environmentálnych nariadení (skr. EOEER), značená parametrom ψ , je v rozsahu od 0,1 (málo účinné regulácie) do 1 (účinné regulácie). Pre porovnanie efektívnosti je parameter ψ kalibrovaný na spodnú hranicu a následne aj na hornú hranicu.

Tabuľka č. 2: Kalibrácia hodnôt modelových parametrov

Parameter		Hodnota	Literatúra
β	diskontný faktor	0,99	Galí (2015)
θ	elasticita substitúcie v ustálenom stave	6	Chen a kol. (2020); Ferrari, Landi (2020)
η	inverzná Frischova elasticita	1	Chen a kol. (2020); Ferrari, Landi (2020); Diluiso a kol. (2020)
γ	koeficient prispôsobovania nákladov	58,25	Chen a kol. (2020); Annicchiarico a Di Dio (2017b)
μ_L	disúžitok z práce	24,9983	Chen a kol. (2020)
ρ_A	perzistentný koeficient TFP šoku (technologického šoku)	0,9	Chen a kol. (2020)
ρ_S	perzistentný koeficient preferenčného šoku	0,9	Chen a kol. (2020)
ρ_θ	perzistentný koeficient nákladového šoku	0,9	Chen a kol. (2020)
ρ_Π	odozva na infláciu	0,5	Chen a kol. (2020)
ρ_Y	odozva na medzeru výstupu	1,5	Chen a kol. (2020)
ϕ_1	koeficient nákladov na zníženie emisií	0,185	Annicchiarico and Di Dio (2017b)
ϕ_2	elasticita nákladov na zníženie emisií	2,8	Annicchiarico and Di Dio (2017b)
χ	intenzita negatívnej externality	0,000457	Annicchiarico and Di Dio (2017b)
δ_M	miera rozloženia emisií	0,0021	Heutel (2012)
φ	koeficient merajúci pôvodné emisie na jednotku výstupu	0,601	Xu a kol. (2016)
ψ	Efektívnosť presadzovania environmentálnych nariadení (skr. EOEER)	0,1; 1	Chen a kol. (2020)

Zdroj: Vlastné spracovanie

4 Kombinácia menovej politiky s rôznymi klimatickými politikami

Nasledujúci text obsahuje kombinácie menovej politiky so štyrmi rôznymi typmi klimatických politik, ako už bolo zmienené v popise modelu, ide o politiky: obchodovanie s povolenkami, uhlíková daň, žiadna kontrola (bez akejkoľvek klimatickej politiky) a Ramsey optimálna politika. Jednotlivé klimatické politiky sú porovnávané z hľadiska dopadov ekonomických šokov a v blahobyte. V kapitole sa kladie dôraz na poukázanie či a ako sa menová politika mení v závislosti od vybraného typu klimatickej politiky a účinnosti environmentálnych regulácií.

V štúdií od autorov Annicchiarico a Di Dio (2017b), ktorými sa Chen a kol. (2020) inšpirovali, bola vždy aspoň jedna politika predpokladaná ako politika Ramseyho typu. Tento typ politiky je síce ideálnou optimalizáciou, ale ťažko realizovateľnou v skutočnosti. Preto sa autori východiskového článku, ktorá je základom tejto záverečnej práce, rozhodli študovať kombinácie politik, ktoré sú prakticky aplikovateľné. Štúdiu od Annicchiarico a Di Dio (2017b) ďalej obohacujú aj o myšlienku neúčinnosti regulácií, teda uvoľňovanie skrytých emisií. Režim bez klimatickej politiky a režim s Ramseyho klimatickou politikou sú v štúdiu začlenené pre porovnanie. Porovnávané sú reakcie kľúčových makroekonomických premenných na šok v produktivite. Oproti Annicchiarico a Di Dio (2017b) je model rozšírený o zahrnutie menovej politiky typu Taylorovho pravidla. Klimatické politiky obchodovanie s povolenkami, uhlíková daň, žiadna kontrola a menová politika podľa Taylorovho pravidla sú bežne implementované v reálnom svete.

4.1 Impulzné odozvy

4.1.1 Technologický šok

Fluktuácia ekonomiky v rôznych režimoch je porovnávaná prostredníctvom impulzných odoziev, ktoré ukazujú reakcie endogénnych premenných na exogénne

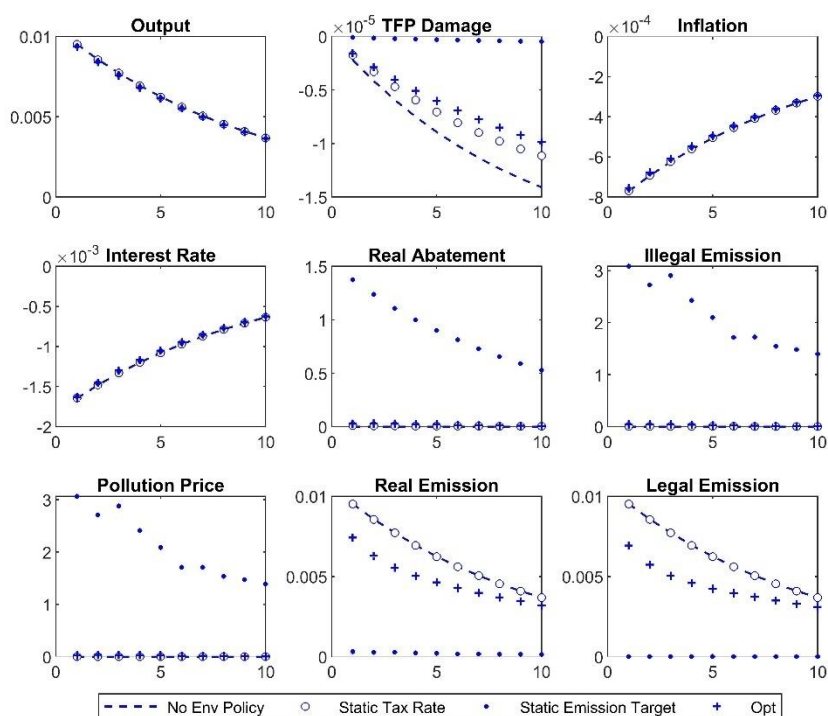
šoky, za predpokladu, že dôjde len k danému šoku a nič iné sa nezmení. Konkrétne je pridaný 1 % pozitívny TFP šok a sledovaná je dynamika vybraných premenných. Parameter EOEER ψ je nastavený ako benchmark na 1, čo predstavuje účinnosť regulácií. Existuje potenciálna pokuta za skryté emisie a vysoká účinnosť vymáhania takejto pokuty. Hodnoty týkajúce sa uhlíkovej dane a emisných povoleniek sú nastavené tak, aby všetky režimy (okrem režimu NO) mali zhodné ustálené stavy ako v prípade Ramsey. NO režim je ekvivalentný režimu TX na úrovni 0, s ustáleným stavom vopred definovaným a odlišným od zvyšných režimov. V režime NO predpokladáme, že cena emisií je nulová, nevyberajú sa žiadne dane z emisií a nie sú stanovené emisné ciele a výrobcovia medziproduktov ignorujú externé náklady z vypúšťania znečisťujúcich emisií. V prípade TX režimu je vyberaná environmentálna daň od firiem, ktoré vypúšťajú emisie, čo im vytvára dodatočné náklady. Pre CA režim Európska únia každoročne stanovuje hornú hranicu množstva emisií skleníkových plynov, ktoré môžu byť firmami vypustené do ovzdušia. Vlády si následne žiadajú o emisné povolenky a predávajú ich firmám, ktoré znečisťujúce emisie produkujú a vypúšťajú.

Hlavným rozdielom medzi režimami obchodovania s povolenkami a uhlíkovej dane je nastavenie cien emisií. V prípade režimu uhlíkovej dane (a režimu NO, čo je špeciálny prípad režimu TX) sú ceny emisií pevne stanovené na úrovni 0. Po pridaní 1 % šoku do produktivity je TX fixná cena emisií viditeľne nižšia, než v režime CA a Ramseyho optimálnom režime. Vyššia cena emisií v CA režime ovplyvní najmä: výstup, skutočné emisie, legálne emisie, ochotu znižovať vypúšťanie emisií a v neposlednom rade aj vypúšťanie skrytých emisií.

Výsledky analýzy impulzných odoziev (v absolútnych odchýlkach od ustálených stavov) jednotlivých premenných na technologický šok zobrazuje graf č. 1. Trendy kriviek impulzných odoziev sú pre ekonomické veličiny štandardné, v súlade s odbornou literatúrou a v podstate rovnaké pre všetky skúmané environmentálne režimy. V prípade skutočných emisií a legálnych emisií sú v režime CA dopady TFP šoku nižšie ako v režimoch TX, RM a NO. Zvyšné environmentálne premenné,

konkrétne ilegálne emisie, cena emisií a obmedzenie, respektíve zníženie emisií sa po pridaní TFP šoku nemenia, len v prípade CA režimu. TFP koeficient poškodenia (Λ_t), popisujúci negatívnu externalitu emisií skleníkových plynov na produktivitu, perzistentne klesá v prípade TX režimu, o niečo menej v režime RM, zatiaľ čo v CA režime klesá výrazne menej. Relatívne nižšie náklady na likvidáciu legálnych emisií v TX režime, oproti RM a CA režimom, spôsobí nárast reálnych emisií, keďže reálne emisie sa skladajú z legálnych a emisií utajovaných pred vládou. Skutočné emisie priamo znižujú TFP koeficient poškodenia, čo vysvetľuje, prečo Λ_t klesá viac v režime TX ako v režime RM. Vo všeobecnosti by malo platiť, čím viac pôvodných emisií sa zlikviduje zákonne, tým menšie množstvo emisií je vypúšťaných ako skrytých. Z analýzy taktiež môžeme konštatovať, že pri zmiešaní monetárnej politiky s environmentálnou politikou sa endogénne ekonomické premenné líšia len v reakciách na šok. Obdobne ako v štúdií Chen a kol. (2020) aj v prípade analýzy pre ECB môžeme pri režime stanovovania emisných stropov a obchodovania s povolenkami hovoriť o kompenzácií cien po pridaní šoku do ekonomiky. CA režim by mohol kompenzovať kolísanie cien po šoku a mohol by sa tak stať tlmičom menovej politiky. Napriek tomu, že Európska únia v súčasnosti nemá vo svojej monetárnej politike zakomponovanú klimatickú politiku, obchodovanie s emisiami Európskej únie sa považuje za najkomplexnejšiu schému obchodovania s emisnými kvótami, ktorá v súčasnosti funguje. Z vyššie uvedenej analýzy môžeme odhadovať, že režim obchodovania s povolenkami by mohol byť vhodným tlmičom menovej politiky Eurozóny.

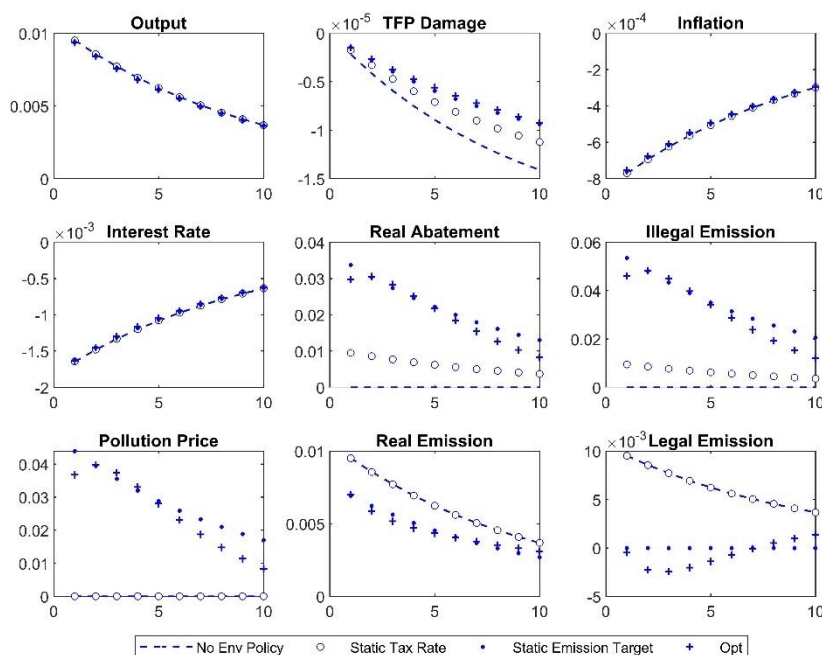
Graf č. 1: Impulzné odozvy na 1 % pozitívny TFP šok v rôznych environmentálnych režimoch (EOEER = 1)



Zdroj: Vlastné spracovanie

Efektívnosť presadzovania environmentálnych regulácií je v grafe č. 1 kalibrovaná na hodnotu 1, čo značí účinnosť regulácií. Analýze, či EOEER okrem výberu režimu klimatickej politiky ovplyvní aj menovú politiku, je venovaná nasledujúca časť. Výsledky impulzných odoziev s kalibráciou EOEER na 0,1 zobrazuje graf č. 2. Nízka hodnota parametra ψ značí environmentálnu reguláciu menej účinnú ako v prípade $\psi = 1$. Je vhodné poznamenať, že jednotky sa na niektorých vertikálnych osiach v grafoch č. 1 a č. 2 líšia, a to najmä pri environmentálnych premenných. Porovnávanie výsledkov grafov impulzných odoziev slúži pre identifikovanie možných rozdielov vyplývajúcich z účinnosti environmentálnych regulácií.

Graf č. 2: Impulzné odozvy na 1 % pozitívny TFP šok v rôznych environmentálnych režimoch (EOEER = 0,1)

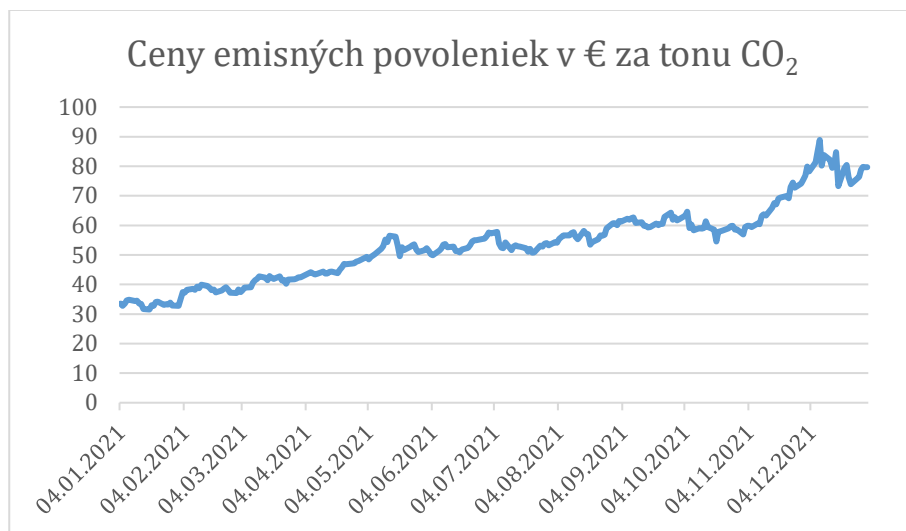


Zdroj: Vlastné spracovanie

Trendy kriviek impulzných odoziev sú pre ekonomické veličiny aj v prípade nastavenia EOEER na 0,1 rovnaké pre všetky režimy environmentálnej politiky. V režimoch TX a CA sa skutočné emisie a ilegálne emisie po pridaní TFP šoku menia výraznejšie, keď je environmentálna regulácia málo účinná. Rozdiel medzi grafmi č. 1 a č. 2 je aj vo fluktuácii legálnych emisií v režime RM. Pri porovnávaní grafov impulzných odoziev je taktiež viditeľný menší rozdiel medzi jednotlivými režimami. Zmenšovanie rozdielov medzi režimami pri menej efektívnych environmentálnych reguláciách môžeme vysvetliť, ako umožnenie väčšieho priestoru firmám na emitovanie emisií prostredníctvom skrytých, ilegálnych emisných kanálov. Čím nižší parameter ψ bude, tým nižšie budú jednotkové náklady skrytých emisií, a taktiež aj celkové náklady na likvidáciu emisií, čo vyplýva zo samotnej definície skrytých emisií a rovnice (22). Neúčinnosť environmentálnych regulácií spôsobí, že klimatická politika bude menej efektívna. Z uvedenej analýzy môžeme konštatovať, že pri

navrhovaní menovej politiky v kombinácii s klimatickou politikou netreba opomenúť efektívnosť environmentálnych regulácií. Inak môže dôjsť k odlišnému vplyvu nastavenej politiky, než aký je predpokladaný. Chen a kol. (2020) upozorňujú aj na rozvinutosť krajiny pri tvorbe menovej a klimatickej politiky. Rozvinuté krajiny by mali režim klimatickej politiky vyberať starostlivejšie ako rozvojové krajiny, pretože účinnosť ich regulácií by mala byť lepšia a rozdiely medzi jednotlivými klimatickými režimami výraznejšie.

Cena emisií produkovaných firmami je kalibrovaná podľa priemeru cien povoleniek za rok 2021. Vývoj cien povoleniek zobrazuje graf č. 3. Cena emisných povoleniek na základe dát získaných z Európskej energetickej burzy za posledné roky neustále rastie. V roku 2015 bola priemerná ročná cena povoleniek 7,68 € za tonu CO₂, čo predstavuje 1/7 ceny v porovnaní s priemernou cenou z roku 2021. Údaje o cenách povoleniek sú prevzaté z portálu Európskej energetickej burzy (skr. EEX). EEX je vedúcou energetickou burzou, ktorá zoskupuje spoločnosti pôsobiace na medzinárodných komoditných trhoch, ponúkajúce zmluvy o elektrine, zemnom plyne a emisných povolenkách. Cena povoleniek je kalibrovaná rovnako pre graf č. 1 a graf č. 2 na hodnotu 53,54 € za tonu CO₂. Rozdiel medzi jednotlivými grafmi impulzných odoziev je v nastavení parametra ψ , čím je prevedená citlivostná analýza tohto parametra, teda vplyvu efektívnosti environmentálnych regulácií. Výsledky impulzných odoziev kvalitatívne nie sú ovplyvnené cenou, cena povoleniek bola kalibrovaná priemerom cien za rôzne časové obdobia, pričom výsledky boli vždy podobné. Dôvodom výberu kalibrácie cien povoleniek ako priemeru z roku 2021, je odzrkadľovanie aktuálnej situácie a väčší dôraz EÚ kladený na environmentálnu politiku a samotné plnenie stanovených environmentálnych cieľov, ku ktorým sa ECB zaviazala. Keďže Európska zelená dohoda, ktorú prijala Európska komisia požaduje nulové emisie skleníkových plynov do roku 2050 a zníženie emisií o 55 % v porovnaní s rokom 1990 do roku 2030 (EC, 2022a).

Graf č. 3: Ceny emisných povoleniek za rok 2021

Zdroj: Vlastné spracovanie

4.1.2 Porovnanie výsledkov zo štúdie Chen a kol. (2020)

V porovnaní s výsledkami impulzných odoziev od autorov východiskového článku, môžeme pozorovať niekoľko rozdielov. Výsledné impulzné odozvy Chen a kol. (2020) sú uvedené v prílohe A. Pri makroekonomických veličinách nedochádza k žiadnym odlišnostiam. Trendy makroekonomických veličín sú štandardné a v súlade s odbornou literatúrou. V skúmanom modeli environmentálna politika neovplyvňuje makroekonomické veličiny. Výrazné rozdiely sú pozorované v prípade environmentálnych veličín. Pri účinných reguláciách, vo výsledkoch Chen a kol. (2020), ilegálne emisie, cena emisií a zníženie emisií po pridaní TFP šoku vzrastú v režime Ramseyho optimálnej politiky a v režime uhlíkovej dane. Pričom v nami zostavenom grafe impulzných odoziev č. 2, sa tieto premenné nemenia. V režime obchodovateľných povoleniek je tento nárast najvýznamnejší, o niečo menší nárast je v režime Ramsey optimálnej politiky a najmenej výrazný je v režime uhlíkovej dane.

Po pridaní pozitívneho šoku do produktivity, má každá jednotka výstupu nižšie náklady, čo znižuje cenovú hladinu a zvyšuje dopyt. Reakciou na zvyšujúci sa dopyt je zvyšovanie produkcie, čím sa zvýši aj množstvo skutočných emisií z výroby.

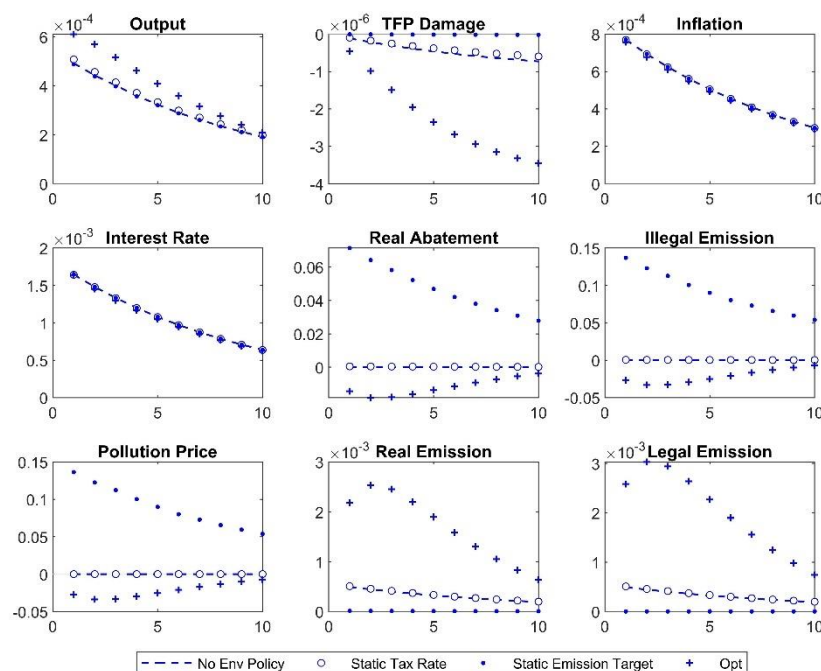
Podľa Chen a kol. (2020) to môže spôsobiť väčšie marginálne TFP poškodenie, takže Ramseyho optimalizácia vyžaduje vyššiu mieru znižovania, respektíve obmedzovania emisií. Súčasne musí byť aj cena emisií v režime RM vyššia podľa rovnice (21). Režim žiadnej klimateckej politiky je aj vo výsledkoch Chen a kol. (2020) po pridaní TFP šoku bezo zmeny. Pri málo účinných reguláciách, teda nastavení EO-EER na 0,1 sú trendy dopadov po pridaní TFP šoku takmer zhodné.

4.1.3 Preferenčný šok

Okrem technologických šokov v ekonomike môžu nastať aj dopytové šoky, ktoré ovplyvňujú dopyt po statkoch a službách. Preferenčný šok ovplyvňuje rozhodnutia domácností o spotrebe, ktoré vedú k zmenám v produkcii a investíciách. Jednotlivec sa rozhoduje medzi spotrebou a voľným časom; o počte jednotiek spotreby, ktorých je ochotný vzdať sa pre dané zvýšenie voľného času a podobne. Spotreba domácností sa mení v závislosti od úrokových sadzieb. Úrokové sadzby sú jedným z niekoľkých nástrojov monetárnej politiky dopomáhajúcim k cieleniu inflácie. Hlavným cieľom menovej politiky ECB je udržiavať cenovú stabilitu pomocou nástrojov monetárnej politiky, teda zabezpečiť, aby inflácia zostala nízka, stabilná a predvídateľná. Z vyššie uvedeného má význam, brať do úvahy aj vplyv preferenčného šoku.

Výsledky impulzných odoziev jednotlivých premenných na pridanie 1 % pozitívneho preferenčného šoku zobrazujú grafy č. 4 a č. 5. Aj v tomto prípade grafy odlišuje kalibrácia parametra ψ , teda efektívnosť environmentálnych regulácií. V grafe č. 4 je parameter ψ nastavený na hodnotu 1, čiže účinnosť regulácií je vysoká. V grafe č. 5 sú regulácie málo účinné a parameter ψ je kalibrovaný na hodnotu 0,1. Trendy kriviek makroekonomických veličín sú v oboch grafoch zhodné s očakávaniami a odbornou literatúrou. Pozitívny preferenčný šok spôsobí zvýšenú preferenciu spotrebiteľov po statkoch, čo vedie k zvýšeniu dopytu a následne k zvýšeniu cenovej hladiny. Dodávané a spotrebovávané množstvo sa zvyšuje, keďže s rastom cien sú firmy ochotné vyrábať viac.

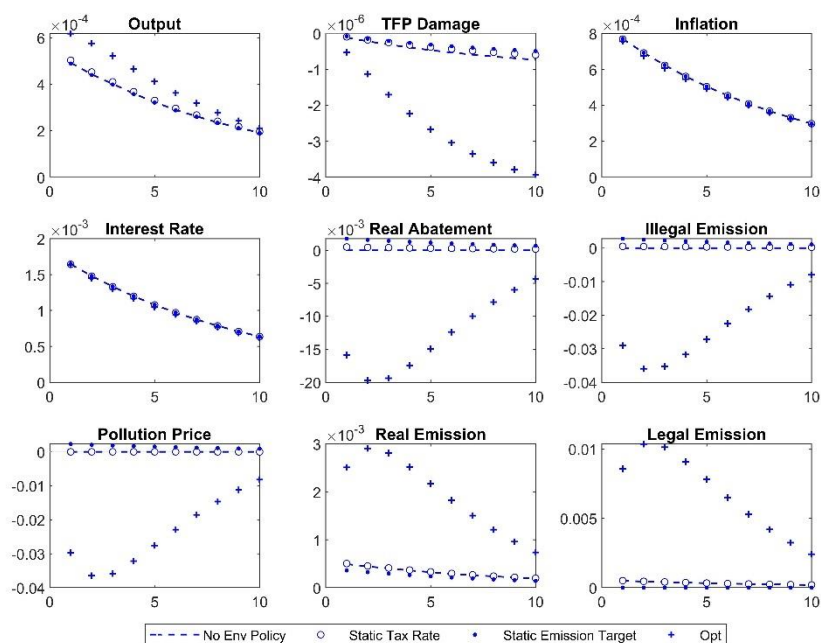
Graf č. 4: Impulzné odozvy na 1 % pozitívny preferenčný šok v rôznych environmentálnych režimoch (EOEER = 1)



Zdroj: Vlastné spracovanie

Z grafu č. 4 môžeme vyčítať o niečo vyšší nárast výstupu v prípade Ramsyeho optimálnej klimatickej politiky, taktiež v tomto režime dochádza k výraznému poklesu TFP koeficientu poškodenia. V porovnaní s pridaním 1 % technologického šoku v RM režime bolo klesanie TFP koeficientu poškodenia výrazne menšie. Menej výrazný je aj nárast environmentálnych veličín, a to najmä ceny emisií, ilegálnych emisií a obmedzenia, respektíve zníženia emisií. V prípade RM režimu je dokonca viditeľný pokles pri zmienených veličinách. Naopak skutočné emisie a legálne emisie v RM režime vzrástli, čo súvisí s poklesom ilegálnych a obmedzených emisií, čo je trendovo zhodné s grafom po technologickom šoku. Z pohľadu realizovateľných klimatických režimov sa v prípade uhlíkovej dane environmentálne veličiny po pridaní preferenčného šoku takmer vôbec nemenia. V prípade obchodovateľných povolení sú trendy v porovnaní s grafom po TFP šoku zhodné, ale menej rastúce.

Graf č. 5: Impulzné odozvy na 1 % pozitívny preferenčný šok v rôznych environmentálnych režimoch (EOEER = 0,1)



Zdroj: Vlastné spracovanie

Pri pohľade na graf č. 5 je viditeľný výrazný pokles ilegálnych emisií, ceny emisií a znižovania emisií v režime RM. Naopak pri zvyšných režimoch tieto premenné ostávajú takmer nemenné, respektíve grafom nezachytené, čo súvisí s veľmi výrazným rozdielom oproti RM režimu. Opäť však rovnako ako aj v grafe s účinnými reguláciami po pridaní preferenčného šoku, je viditeľný nárast skutočných a legálnych emisií.

4.2 Blahobyt

Okrem fluktuácií ekonomiky získanej z impulzných odoziev sú jednotlivé environmentálne režimy porovnávané aj z hľadiska blahobytu. Porovnávané sú blahobyty štyroch environmentálnych režimov. Rovnovážne stavy režimov CA a TX sú nastavené ako v režime RM a koeficient EOEER je zafixovaný. Ustálený stav NO režimu, ako už z jeho zadefinovania vyplýva, vychádza z prípadu TX režimu s $p_{Z,t} = 0$,

takže rozdiely v blahobyte medzi režimami CA, TX a RM sú spôsobené iba rozdielom v režime. Autori východiskového článku sa riadia kritériom blahobytu podľa Mendicino a Pescatori (2004) a vypočítavajú podmienený blahobyt jednotlivcov. Výraz je daný ako

$$W_j = \mathbb{E}_t \sum_{m=0}^{\infty} \beta^m \left(\ln C_{j,t+m} - \mu_L \frac{L_{j,t+m}^{1+\eta}}{1+\eta} \right), \quad (32)$$

kde W_j je podmienený blahobyt a $j = \{NO, TX, CA, RM\}$ predstavuje jednotlivé režimy klimateckej politiky. Blahobyty všetkých štyroch režimov sú uvedené v tabuľke č. 3. Hodnoty v tabuľke č. 3 sú rátané pre EOEER fixne nastavenom na $\psi = 1$ a cene povoleniek 53,54 €.

Tabuľka č. 3: Blahobyt pre všetky štyri režimy klimateckej politiky

Režim	NO	TX	CA	RM
Blahobyt	-59,469	-59,386	-57,696	-58,566

Zdroj: Vlastné spracovanie

Z tabuľky blahobytu pre všetky režimy môžeme vyčítať, že

$$W_{CA} > W_{RM} > W_{TX} > W_{NO}, \quad (33)$$

čo nie je úplne v súlade s očakávaniami. Predpoklad bol, že režim RM bude predstavovať najnižšiu stratu na blahobyte, keďže ide o optimálnu klimateckú politiku. Režimy NO a RM sú chápané ako dva kontrastné prístupy ku klimateckej politike a režimy CA a TX by mali stáť uprostred nich. Napriek tomu, analýza o strate blahobytu poukazuje na najnižšie straty v režime CA. Najvyššie straty blahobytu sú v režime NO, čiže akýkoľvek režim klimateckej politiky má menšie straty blahobytu ako režim NO. Z tabuľky č. 3 taktiež vyplýva, že režim CA je lepší ako režim TX z pohľadu strát na blahobyte. Dôvodom je, že spotreba sa v CA režime zvyšuje viac ako v režime TX, keďže v TX režime je cena emisií fixná a cenová hladina sa znižuje menej ako v prípade CA. Spomedzi implementovateľných režimov (CA, TX a

NO) sa CA režim javí ako najlepší možný v prípade pozitívneho TFP šoku. Zo samotnej definície, nastavenia modelu a jednotlivých režimov klimateckej politiky kalibrácia ceny povoleniek vstupuje len do režimu CA. Pričom cena povoleniek pre zvyšné režimy je dopočítavaná podľa rovnice (21). Pre zistenie vplyvu ceny povoleniek na blahobyt v CA režime je aplikovaná citlivostná analýza, ktorej výsledky sú zobrazené v tabuľke č. 4.

Tabuľka č. 4: Blahobyt pre CA režim

	Cena povoleniek	Blahobyt
Priemer za 2020-2021	39,15 €	-57,908
Priemer za 2020	24,76 €	-58,200
Priemer za 2021	53,54 €	-57,696
Maximum za 2020-2021	88,88 €	-57,376
Minimum za 2020-2021	15,23 €	-58,467

Zdroj: Vlastné spracovanie

Z hodnôt v tabuľke č. 4 môžeme usudzovať, že kalibrácia cien povoleniek nepriamo úmerne súvisí so stratou blahobytu v CA režime po pridaní TFP šoku. Najnižšia cena povoleniek za obdobie 2020 až 2021 bola 15,23 € za tonu CO₂ v marci v roku 2020 a najvyššia cena 88,88 € za tonu CO₂ bola v decembri v roku 2021. Pri kalibrácii podľa najnižšej ceny povoleniek je strata blahobytu najvyššia. S rastúcimi cenami povoleniek v CA režime strata blahobytu postupne klesá.

4.3 Optimalizácia kombinácií menovej a klimateckej politiky

Nasledujúca časť sa zaoberá optimalizáciou implementovateľných klimateckých režimov (CA, TX a NO). Obdobne ako Chen a kol. (2020), výsledky získavame dvoma spôsobmi. Ako prvé sú optimalizované koeficienty v tradičnom Taylorovom pravidle menovej politiky. Druhým spôsobom je zavedenie radikálnej „klimatecky rozšírenej“ menovej politiky, a to obohatením Taylorovho pravidla. Výsledky by mohli

viest' k zodpovedaniu otázky, či je vhodné, aby sa menová autorita zaoberala klimatickými zmenami a starala o minimalizovanie dopadov klimatických zmien.

4.3.1 Optimalizácia Taylorovho pravidla

Chen a kol. (2020) označujú Ramseyho optimálnu menovú politiku predstavenú autormi Annicchiarico a Di Dio (2017b) ako ideálny optimálny mix politik. Avšak tento druh politiky predpokladá, že všetky endogénne premenné v ekonomike môže kontrolovať a upravovať menová autorita, čo je v skutočnosti pre tvorcov politik ťažko realizovateľné. Preto je nasledujúca časť práce venovaná reálne implementovateľným režimom a nie RM režimu. Chen a kol. (2020) k nájdeniu optimálnej politickej kombinácie pristupujú optimalizovaním koeficientov v Taylorovom pravidle menovej politiky (ρ_{π} a ρ_Y), keďže výskum je uvádzaný z pohľadu centrálnej banky. Optimálne koeficienty v Taylorovom pravidle pri rôznych EOEER hodnotách a rozdielnych klimatických politikách zobrazuje tabuľka č. 5.

Tabuľka č. 5: Optimálne koeficienty v Taylorovom pravidle

EOEER ψ	Obchodovanie s povolenkami		Uhlíková daň	
	ρ_{π}	ρ_Y	ρ_{π}	ρ_Y
0,1	3,24	0,455	3,501	0,455
0,5	2,81	0,455	3,501	0,455
1	2,69	0,455	3,501	0,455
10	2,56	0,455	3,501	0,455
100	2,55	0,455	3,501	0,455

Zdroj: Vlastné spracovanie

Z tabuľky č. 5 je viditeľné, že koeficient citlivosti centrálnej banky na zmeny vo výstupe ρ_Y sa nelíši medzi režimami klimateckej politiky. Koeficient pre cielenie inflácie ρ_{π} má v režime uhlíkovej dane jednotnú hodnotu naprieč rôznymi hodnotami EOEER. Napriek tomu je táto hodnota ρ_{π} v TX režime väčšia ako v režime CA. V režime obchodovania s povolenkami sa koeficient ρ_{π} výrazne znižuje naprieč rôznymi hodnotami EOEER. Vysvetlením je, že vyššia účinnosť EOEER zvyšuje náklady na skryté emisie a zvyšuje dopyt po legálnych emisiách. Taktiež v režime

CA sa cena povoleniek zvyšuje výraznejšie, čo viac kompenzuje pokles cenovej hladiny po TFP šoku, čo vyplýva aj zo samotných grafov impulzných odoziev.

V celej práci uvažujeme nastavenie EOEER koeficienta na hodnoty 0,1 a 1. Výsledky tabuľky č. 5 poukazujú na správnosť škálovania ψ koeficienta na tieto hodnoty. Vidíme, že pri vyšších nastaveniach ako 10 a 100 hodnoty ρ_{Π} už výrazne neklesajú.

4.3.2 Rozšírenie Taylorovho pravidla

Druhým spôsobom optimalizácie klimateckej a menovej politiky je rozšírenie Taylorovho pravidla o klimateckú politiku. Taylorovo pravidlo je rozšírené o emisnú medzeru. Emisná medzera je relatívna odchýlka súčasných skutočných emisií od ideálnych skutočných emisií (ustálený stav skutočných emisií vypočítaný podľa Ramseyho optimálnej klimateckej politiky). Nová podoba Taylorovho pravidla je

$$\frac{R_t}{R} = \left(\frac{\Pi_t}{\Pi}\right)^{\rho_{\Pi}} \left(\frac{Y_t}{Y_t^{na}}\right)^{\rho_Y} \left(\frac{Z_{t-1}}{Z}\right)^{\rho_Z}, \quad (34)$$

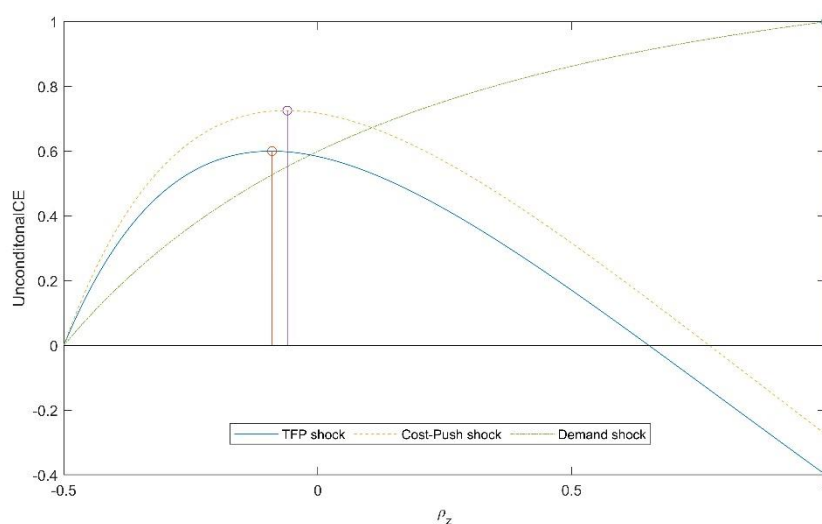
kde Y_t^{na} je prirodzený výstup bez nominálnej cenovej strnulosti a R , Π a Z sú ustálené stavy nominálnej úrokovej miery, miery inflácie a skutočných emisií. Predpokladáme, že monetárna autorita používa skutočné aktuálne emisie Z_{t-1} a nie Z_t , keďže skutočné emisie zahŕňajú aj skryté emisie, ktoré sa často pri tvorbe politiky (v čase t) nedajú zistiť. Koeficient ρ_Z je koeficient intenzity pre cielenie emisnej medzery. Nová podoba Taylorovho pravidla hovorí o proaktívnom záujme menovej autority o klímu. Koeficient pre cielenie inflácie ρ_{Π} je kalibrovaný na hodnotu 1,5 a koeficient pre cielenie výstupu ρ_Y na hodnotu 0,5. Kalibrované hodnoty koeficientov sú rovnaké, ako v prípade tradičného Taylorovho pravidla (25).

Z uvedeného vyplýva, že v rámci klimateckých faktorov možno za zlepšenie menovej politiky považovať minimálne tri aspekty: režim klimateckej politiky,

efektívnosť presadzovania environmentálnych regulácií a koeficienty cielenia inflácie a produkčnej medzery v Taylorovom pravidle menovej politiky.

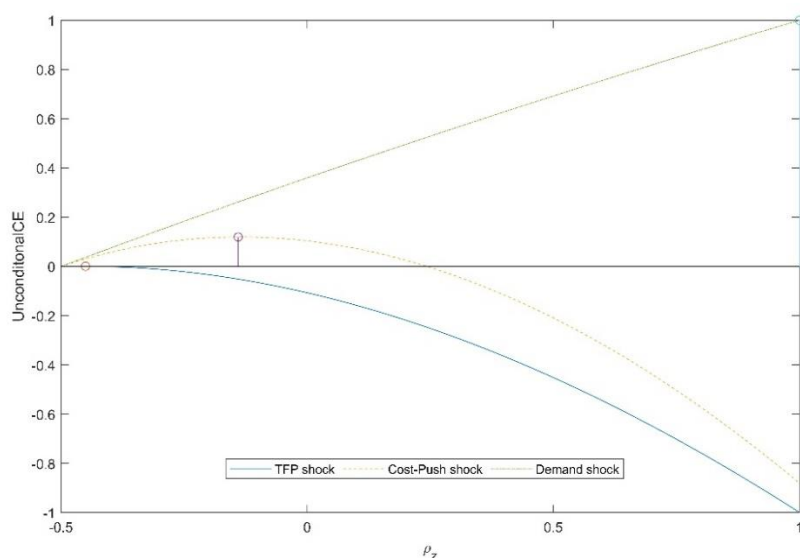
Zmenu v spotrebe vzhľadom na rôzne hodnoty koeficientu cielenia emisnej medzery v kombinácii s rôznymi šokmi, ktoré pokrývajú šoky na strane ponuky a dopytu, zobrazujú grafy č. 6 a č. 7. Zavedené sú bežné šoky, ako TFP šok, nákladový šok a preferenčný šok. Simulácie zobrazené v grafe sú založené na nelineárnej podobe. Na ose x sú zobrazené hodnoty koeficientu intenzity pre cielenie emisnej medzery a na ose y nepodmienené ekvivalenty spotreby. Cieľom je nájsť hodnoty ρ_Z , ktoré môžu zlepšiť blahobyt v skúmaných režimoch a v rôznych šokoch.

Graf č. 6: Optimálna emisná elasticita v CA režime



Zdroj: Vlastné spracovanie

Na grafe č. 6 je zobrazený vzťah medzi spotrebou a koeficientom intenzity pre cielenie emisnej medzery v režime obchodovania s povolenkami. Koeficienty ρ_π a ρ_Y sú fixné a zmeny v koeficiente ρ_Z predstavujú novú možnosť optimalizácie. Vo všeobecnosti by malo platiť, ak je blahobyt s ρ_Z vyšší ako s $\rho_Z = 0$, ρ_Z môže zlepšiť kombináciu politik. V prípade, že je dominantný TFP šok alebo nákladový šok, najlepšia hodnota ρ_Z je v režime obchodovania s povolenkami negatívna. Optimálna hodnota ρ_Z je negatívna aj v režime uhlíkovej dane, čo vyplýva z grafu č. 7.

Graf č. 7: Optimálna emisná elasticita v TX režime

Zdroj: Vlastné spracovanie

Graf č. 7 zobrazuje vzťah medzi spotrebou a koeficientom intenzity pre cielenie emisnej medzery v režime uhlíkovej dane. Ak je dominantný preferenčný šok, vyššia hodnota ρ_Z predstavuje vyšší blahobyt v oboch režimoch. Z negatívnych optimálnych hodnôt koeficientu ρ_Z pri TFP a nákladovom šoku v režime TX a CA môžeme hovoriť o dileme monetárnej autority medzi cílením blahobytu a environmentálnym cílením. Pri zápornej hodnote ρ_Z bude nižšia úroková sadzba, čím sa podporí dopyt a výroba, čo naplní cieľ blahobytu. Na druhej strane s vyššou výrobou pribudne množstvo produkovaných emisií, čo je nepriaznivé pre environmentálny cieľ. Diskutovaná dilema môže nastať práve pri rozšírení tradičného monetárneho pravidla o cílenie medzery emisií.

Cieľom analýzy tejto kapitoly je snaha o zodpovedanie výskumnej otázky: Či by centrálna banka mala prijať menovú politiku rozšírenú o klimatickú politiku. Najlepšia hodnota koeficientu pre emisné cílenie je hľadaná v rôznych režimoch a rôznych šokoch, avšak pre fixne stanovené koeficienty z tradičného Taylorovho pravidla. Hodnoty koeficientu ρ_Z sú vyobrazené na osi x. Na základe dosiahnutých

výsledkov, môžeme súhlasiť s myšlienkami Chen a kol. (2020): ak interval nového cieľa koeficientu ρ_Z sa nachádza v kladnej časti osi x, je vhodné pridať cielenie emisnej medzery do Taylorovho pravidla menovej politiky. Naopak, ak sa interval koeficientu ρ_Z skladá len zo záporných hodnôt, rozšírenie Taylorovho pravidla o pridať cieľa emisnej medzery nie je vhodné.

Výsledky analýzy poukazujú, že rozšírenie menovej politiky o klimatickú politiku je uskutočniteľné. Napriek tomu, pre nami zvolenú kalibráciu pridanie cielenia emisnej medzery sa nejaví ako vhodné pre Európsku centrálnu banku.

Záver

Diplomová práca je venovaná skúmaniu vzájomného pôsobenia monetárnej politiky a klimateckej politiky so zreteľom na ovplyvňovanie makroekonomických veličín. Porovnávaná bola menová politika v kombinácii so štyrmi rôznymi klimateckými politikami: žiadna klimatecká politika, zavedenie uhlíkovej dane, obchodovanie s povolenkami a Ramseyho optimálna politika. K naplneniu cieľa bol vybraný environmentálny DSGE model od autorov Chen a kol. (2020), ktorý bol kalibrovaný pre Eurozónu.

Výskumné otázky definované na začiatku práce mali za úlohu pomôcť naplniť hlavný cieľ práce. Cieľom práce bolo preskúmať vzájomné pôsobenia monetárnej politiky a klimateckej politiky, a ako ich spojenie ovplyvňuje makroekonomické výstupy.

Prvou výskumnou otázkou bolo, či a ako je menová politika ovplyvnená klimateckou politikou. K zodpovedaniu otázky boli simulované impulzné odozvy na pozitívny technologický a preferenčný šok do ekonomiky. Sledovaný bol ich vplyv na makroekonomické a environmentálne veličiny. Z výsledkov impulzných odoziev vyplýva, že vo vybranom DSGE modeli environmentálna politika neovplyvňuje makroekonomické veličiny ani v jednom zo skúmaných environmentálnych režimov. Avšak pri výbere environmentálnej politiky nesmie byť opomenutá efektívnosť presadzovania environmentálnej regulácie a rozvinutosť krajiny. Skúmané klimatecké politiky boli porovnávané aj z hľadiska blahobytu, kde sa ako najvýhodnejší režim javil režim obchodovania s povolenkami.

Druhá výskumná otázka bola zameraná na možné zlepšenie menovej politiky, v prípade že sa zohľadňuje politika v oblasti klímy. Pre získanie odpovede na otázku bola prevedená optimalizácia Taylorovho pravidla. Zo zistenia vyplýva, že koeficienty tradičného Taylorovho pravidla môžu byť lepšie nastavené a môže dôjsť k zvýšeniu blahobytu, keď sa v ekonomike zvažuje určitý klimatecký režim.

Tretia a zároveň posledná výskumná otázka stanovená v práci bola zameraná na proaktívne staranie centrálnej banky o životné prostredie použitím menovej politiky. S cieľom zodpovedania otázky dochádza k rozšíreniu tradičného monetárneho pravidla o klimatickú politiku a koeficientu pre cielenie emisnej medzery. Zodpovedaním výskumnej otázky, či a kedy môže byť obohatené pravidlo vhodnou voľbou pre centrálnu banku sa vyskytla možná dilema monetárnej autority medzi cielením blahobytu a environmentálnym cielením.

Celkový prínos práce spočíva najmä v aplikácii špecifického modelu na ECB, ktorá reflektuje klimatické zmeny. Prevzatý model od Chen a kol. (2020) je oproti súčasnej literatúre realistickejší, čo autori dosiahli vďaka obohateniu o skryté emisie a potencionálne pokuty. Aj keď klimatická politika momentálne nie je súčasťou monetárnej politiky Eurozóny, je ECB jedným z lídrov v prístupe ku klíme. Dôkazom je fungujúce obchodovanie s emisiami Európskej únie, ktoré je považované za najkomplexnejšiu schému obchodovania s emisnými kvótami.

Problematiku klimatických zmien v spojitosti s ekonomikou môžeme považovať za stále novú a postupne sa vyvíjajúcu. Napriek tomu, že práca bola zameraná na monetárnu politiku, majú centrálné banky aj iné nástroje, ktoré môžu použiť na zmiernenie klimatických dopadov a zabezpečiť tak prechod k tzv. zelenej ekonomike. Ako uvádza Pan (2019), bankový sektor môže ponúkať zelené pôžičky a stimulovať tak zelené úvery. Autori Ferrari a Landi (2020) zase hovoria o zelenom kvantitatívnom uvoľňovaní, teda o programe nákupu aktív zameraného na zelené, ekologické sektory. Začlenenie klimatickej politiky priamo do monetárnej politiky nie je ani zďaleka jediným prístupom ku klimatickým zmenám, avšak zapojenie centrálnych bánk do opatrení v oblasti klímy musí byť v súlade s ich mandátom.

Použité zdroje

ANNICCHIARICO, A., DI DIO F. (2015a). Environmental policy and macroeconomic dynamics in a new Keynesian model. *Journal of Environmental Economics and Management*. Volume 69, Pages 1-21, ISSN 0095-0696. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2014.10.002>.

ANNICCHIARICO, B., DI DIO, F. (2017b). GHG emissions control and monetary policy. *Environmental and Resource Economics*. 67(4), 823-851. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10640-016-0007-5>.

ASEN, E. (2021). Carbon Taxes in Europe. Tax Foundation. Dostupné z: [European Countries with a Carbon Tax, 2021 | Tax Foundation](https://www.taxfoundation.org/european-countries-with-a-carbon-tax-2021/).

BHANDARY, R. R., GALLAGHER, K. S., ZHANG, F. (2021). Climate finance policy in practice: a review of the evidence. *Climate Policy*. 21:4, 529-545. Dostupné z: [10.1080/14693062.2020.1871313](https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1871313).

COP26. (2021). The Glasgow Climate pact. Un Climate Change Conference UK 2021. Dostupné z: [COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf \(uk-cop26.org\)](https://www.cop26.org/~/media/2021/07/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf).

COSTA, C. J. (2016). Understanding DSGE. *Vernon Press*. ISBN 978-1-62273-038-4.

DAFERMOS, Y., NIKOLAIDI, M., GALANIS, G. (2018). Climate Change, Financial Stability and Monetary Policy. *Ecological Economics*. Volume 152, 2018, Pages 219-234, ISSN 0921-8009. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.011>.

DIKAU, S., VOLZ, U. (2019). Central Bank Mandates, Sustainability Objectives and the Promotion of Green Finance. *SOAS Economics Working Paper No. 222*. London: SOAS University of London. Dostupné z: <https://ideas.repec.org/p/ecb/ecbops/2021271.html>.

DILUIISO, F., ANNICCHIARICO, B., KALKUHL, M., MINX, J. CH. (2020). Climate Actions and Stranded Assets: The Role of Financial Regulation and Monetary Policy. *CEIS Working Paper No. 501*. Dostupné z: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3658126.

POUŽITÉ ZDROJE

DUMITRU, A., KOLBL, B., WIJFFELAARS, M. (2021). The Carbon Border Adjustment Mechanism explained. Rabobank: Economics. Dostupné z: [The Carbon Border Adjustment Mechanism explained - RaboResearch \(rabobank.com\)](https://www.rabobank.com/en/economics/2021/09/the-carbon-border-adjustment-mechanism-explained).

DURRANI, A., ROSMIN, M., VOLZ, U. (2020). The role of central banks in scaling up sustainable finance – what do monetary authorities in the Asia-Pacific region think? *Journal of Sustainable Finance & Investment*. 10:2, 92-112. Dostupné z: [10.1080/20430795.2020.1715095](https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1715095).

EC. (2022a). A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent. European Commission. Dostupné z: [A European Green Deal | European Commission \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/economy_finance/a-european-green-deal-striving-to-be-the-first-climate-neutral-continent_en).

EC. (2022b). Climate Action: Market Stability Reserve. European Commission. Dostupné z: [Market Stability Reserve \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/economy_finance/climate-action-market-stability-reserve_en).

EC. (2022c). EU taxonomy for sustainable activities: What the EU is doing to create an EU-wide classification system for sustainable activities. European Commission. Dostupné z: [EU taxonomy for sustainable activities | European Commission \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/economy_finance/eu-taxonomy-for-sustainable-activities_en).

EC. (2022d). Paris Agreement. European Commission. Dostupné z: [Paris Agreement \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/economy_finance/paris-agreement_en).

ECB. (2021a). Climate change and monetary policy in the euro area. European Commission. Dostupné z: [Climate change and monetary policy in the euro area \(europa.eu\)](https://www.ecb.europa.eu/press/pr/2021/09/210901climatechangeandmonetarypolicyintheeuroarea/html.en).

ECB. (2021b). ECB presents action plan to include climate change considerations in its monetary policy strategy. European Central Bank. Dostupné z: [ECB presents action plan to include climate change considerations in its monetary policy strategy \(europa.eu\)](https://www.ecb.europa.eu/press/pr/2021/09/210901climatechangeandmonetarypolicyintheeuroarea/html.en).

EEA. (2022a). Economic losses from climate-related extremes in Europe. European Environment Agency. Dostupné z: [Economic losses from climate-related extremes in Europe \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/press/2022/09/220901economiclossesfromclimate-relatedextremesinEurope).

EEA. (2022b). Total greenhouse gas emission trends and projections in Europe. European Environment Agency. Dostupné z: [Total greenhouse gas emission trends and projections in Europe — European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/press/2022/09/220901totalgreenhousegasemissiontrendsandprojectionsinEurope).

EPA. (2021). Economics of Climate Change. United States Environmental Protection Agency. Dostupné z: [Economics of Climate Change | US EPA](https://www.epa.gov/economics/economics-climate-change).

ESTRADA, A., SANTABÁRBARA, D. (2021). Recycling carbon tax revenues in Spain. Environmental and economic assessment of selected green reforms. *Working Paper No 2119*. Banco de España. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3846013>.

FERRARI, A., LANDI, V. N. (2020). Whatever it takes to save the planet? Central banks and unconventional green policy. *Working Paper Series 2500*. ISSN 1725-2806. Dostupné z: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecb.wp2500~f7a50c6f69.en.pdf>.

GALI, J. (2015). Monetary policy, inflation, and the business cycle: an introduction to the new Keynesian framework and its applications. *Princeton University Press*.
GOLOSOV, M., HASSLER, J., KRUSELL, P., TSYVINSKI, A. (2014). Optimal taxes on fossil fuel in general equilibrium. *Econometrica*. 82(1), 41-88.

HEUTEL, G. (2012). How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks. *Review of Economic Dynamics*. 15(2), 244-264. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.red.2011.05.002>.

HOUGHTON, J. T., JENKINS, G. J., EPHRAUMS, J. J. (1990). Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. *Cambridge University Press*. Cambridge. Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia, 410 pp. Dostupné z: [IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change](#).

CHEN, CH., PAN, D., BLEISCHWITZ, R., HUANG, Z. (2020). Engaging Central Banks in Climate Change? The Mix of Monetary and Climate Policy. Central University of Finance and Economics, University College London. Dostupné z: [Engaging Central Banks in Climate Change? The Mix of Monetary and Climate Policy Munich Personal RePEc Archive \(uni-muenchen.de\)](#).

LAGARDE, CH. (2020a). Climate change and the financial sector: Speech by Christine Lagarde, President of the ECB, at the launch of the COP26 Private Finance Agenda. European Central Bank. Dostupné z: [Climate change and the financial sector \(europa.eu\)](#).

LAGARDE, CH. (2021b). Keynote speech by Christine Lagarde, President of the ECB, at the ILF conference on Green Banking and Green Central Banking. European Central Bank. Dostupné z: [Climate change and central banking \(europa.eu\)](#).

POUŽITÉ ZDROJE

LEGER, T. (2021). World economy set to lose up to 18% GDP from climate change if no action taken, revealed Swiss Re Institute's stress-test analysis. Swiss Re Institute. Dostupné z: [World economy set to lose up to 18% GDP from climate change if no action taken, reveals Swiss Re Institute's stress-test analysis | Swiss Re](#).

MENDICINO, C., PESCATORI, A. (2004). Credit frictions, housing prices and optimal monetary policy rules. *Working Paper n.42/2004*. Università Roma Tre.

NCA. (2018). Fourth National Climate Assessment: Volume II: Impacts, Risks, and Adaptation in the United States. The National Climate Assessment. Dostupné z: [Fourth National Climate Assessment \(globalchange.gov\)](#).

NGFS. (2021). NGFS Glasgow Declaration Committed to Action. Network for Greening the Financial System. Dostupné z: [ngfsglasgowdeclaration.pdf](#).

OECD. (2022). Effective Carbon Rates 2021: Pricing Carbon Emissions through Taxes and Emissions trading. Organisation for Economic Co-operation and Development. Dostupné z: [Executive Summary | Effective Carbon Rates 2021 : Pricing Carbon Emissions through Taxes and Emissions Trading | OECD iLibrary \(oecd-ilibrary.org\)](#).

PAN, D., (2019). The Economic and Environmental Effects of Green Financial Policy in China: A DSGE Approach. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3486211>.

ROTEMBERG, J. J. (1982). Sticky prices in the United States. *Journal of Political Economy*. 90(6), 1187-1211.

SEN, S., VOLLEBERGH, H. (2018). The effectiveness of taxing the carbon content of energy consumption. *Journal of Environmental Economics and Management*. 74-99. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.08.017>.

SCHNABEL, I. (2021). Climate change and monetary policy: Contribution by Isabel Schnabel, Member of the Executive Board of the ECB, to the International Monetary Fund's magazine Finance and Development. European Central Bank. Dostupné z: [Climate change and monetary policy \(europa.eu\)](#).

SCHOENMAKER, D. (2021). Greening monetary policy, *Climate Policy*. 21:4, 581-592. Dostupné z: [10.1080/14693062.2020.1868392](https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1868392).

SMETS, F., WOUTERS, R. (2002). An estimated stochastic dynamic general equilibrium model of the euro area: International Seminar on Macroeconomics. *European Central Bank Working Paper No. 171*.

THE WORLD BANK. (2021). Carbon Pricing Dashboard. The World Bank Group. Dostupné z: https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data.

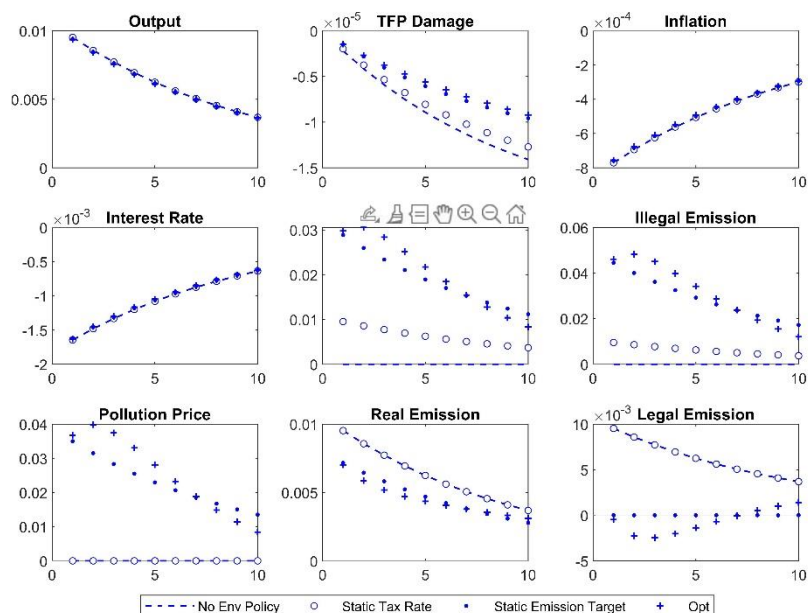
VOLZ, U. (2017). On the Role of Central Banks in Enhancing Green Finance. *Inquiry Working Paper No. 17/01*. Geneva: UNEP Inquiry into the Design of a Sustainable Financial System. Dostupné z: [On the Role of Central Banks in Enhancing Green Finance \(soas.ac.uk\)](https://soas.ac.uk/On-the-Role-of-Central-Banks-in-Enhancing-Green-Finance).

WEF. (2021). The Global Risks Report 2021. World Economic Forum. 16th Edition. Dostupné z: [WEF The Global Risks Report 2021.pdf \(weforum.org\)](https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2021).

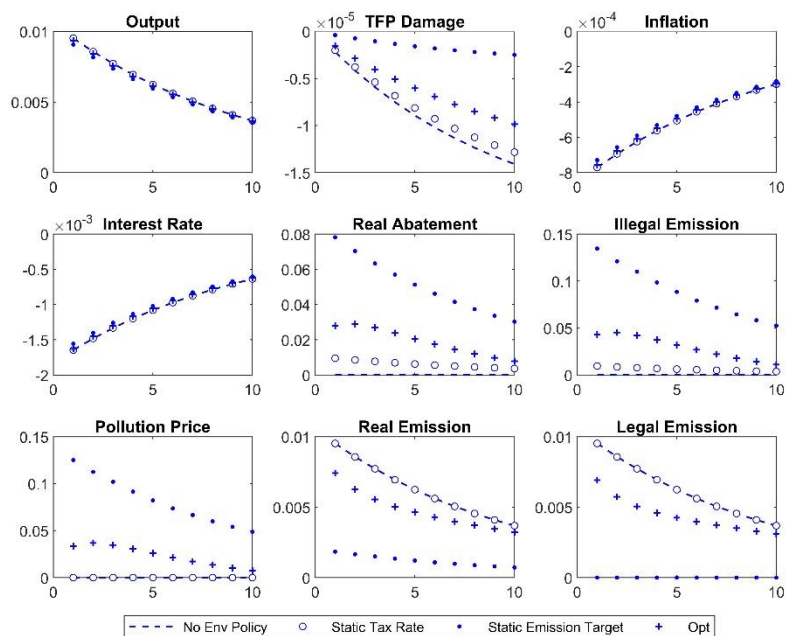
XIAO, B., FAN, Y., GUO, X. (2018). Exploring the macroeconomic fluctuations under different environmental policies in China: A DSGE approach. *Energy Economics*. Volume 76, Pages 439-456, ISSN 0140-9883. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.10.028>.

XU, W., XU, K., LU, H. (2016). Environmental policy and China's macroeconomic dynamics under uncertainty – based on the NK model with distortionary taxation. *MPRA Working Paper No. 7131*.

Príloha A Impulzné odozvy Chen a kol. (2020)



Zdroj: Vlastné spracovanie



Zdroj: Vlastné spracovanie