

VYSOKÉ UČENIE TECHNICKÉ V BRNE

FAKULTA INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ

Modelovanie a simulácia – semestrálny projekt

1. Zdroje inflácie a možné opatrenia

5.12.2021

Daniel Gavenda (xgaven08)

Samuel Valaštín (xvalas10)

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autori práce	2
1.2	Overenie validity modelu prezentovaného v štúdiu	2
1.3	Overenie modelu so základnými vstupnými parametrami	2
2	Rozbor témy a použitých metód	3
2.1	Použité technológie	3
2.2	Pôvod použitých zdrojov	3
3	Koncepcia modelu	3
3.1	Domácnosti	3
3.2	Firmy	4
3.3	Centrálna banka	5
4	Architektúra simulačného modelu	6
4.1	Vstupné parametre programu	7
5	Simulačné experimenty a ich priebeh	7
5.1	Experiment č. 1	7
5.2	Experiment č. 2	8
5.3	Experiment č. 3	8
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	9
7	Odkazy na referencie	10

1 Úvod

Cieľom tohto projektu je poukázať na negatívne vplyvy pandémie COVID-19 na ekonomiku s bližším zameraním sa na infláciu. Pre simuláciu je využívaný makroekonomický model Mark-0 [2]. Tento model sme upravili na základe štúdie, ktorá sa zaoberá ekonomickým oživením po pandémii, ktorá otriasla celosvetovou ekonomikou [7]. Ide o diskretný model, pričom jedna perióda predstavuje jeden mesiac. Postupne si predstavíme niekoľko rôznych scenárov a vplyv rôznych opatrení na vývoj inflácie ekonomiky.

1.1 Autori práce

Túto prácu vypracovali Daniel Gavenda a Samuel Valaštín. Ako zdroj znalostí vypracovanie modelu pre tento projekt boli využité štúdie [2] [7]. Ako zdroj dát, ktoré sme využili pre upravenie modelu, na stav súčasný stav firiem v Slovenskej republike sme využili stránku Finstat [3].

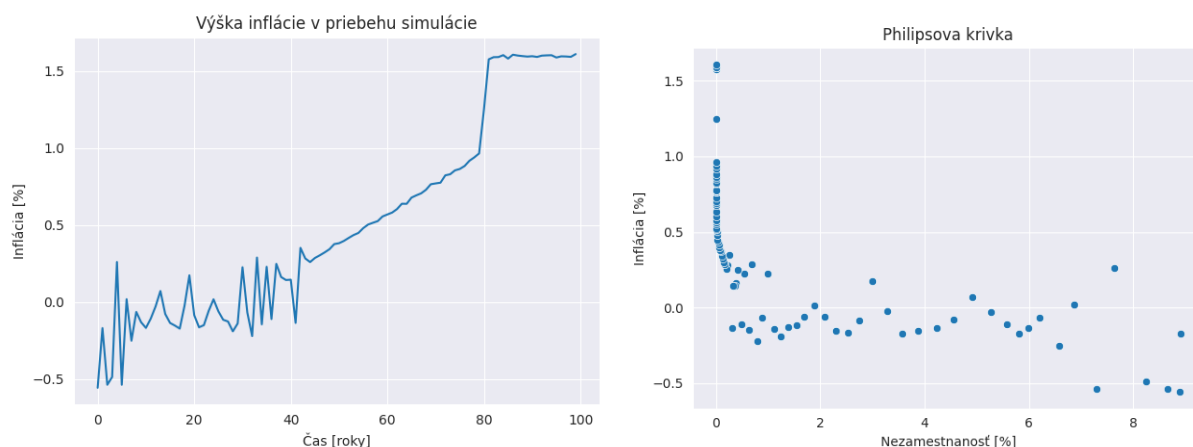
1.2 Overenie validity modelu prezentovaného v štúdiu

Autori štúdie tvrdia, že upravený model, so základným nastavením vstupných parametrov, simuluje rôzne fázy zamestnanosti ekonomiky.

- Fáza plnej zamestnanosti – význačná kladnou priemernou infláciou a miera zamestnanosti dosahuje takmer 100%.
- Fáza plnej nezamestnanosti – význačná vysokou nezamestnanosťou, pričom inflácia je v týchto momentoch záporná (deflácia).
- Fáza zvyškovej nezamestnanosti – význačná nulovou infláciou.
- Fáza krízy – význačná nízkou hladinou nezamestnanosti a priemernou mierou inflácie.

1.3 Overenie modelu so základnými vstupnými parametrami

Pre overenie validnosti modelu, sme vymodelovali Philipsovú krivku (graf vpravo), ktorá modeluje inverzný vzťah inflácie (osa y) s nezamestnanosťou (osa x) [5]. Autori štúdie [7], tvrdia, že pri maximálnom výkone ekonomiky sa ročná miera inflácie ustáli na 1.3%. Pre našu implementáciu modelu, je táto miera vyššia, približne o 0.3% (graf vľavo).



2 Rozbor témy a použitých metod

Pandémia koronavírusu a s ňou spojené opatrenia spôsobili, že v niektorých krajinách dochádza k prepadu ekonomiky pričom inflácia je jedným zo sprievodných javov tohto prepadu. Inflácia značí rast všeobecnej cenovej hladiny v ekonomike [6]. Príčiny inflácie rozlišujeme na dva základné typy. Dopytovú infláciu spôsobuje dopytový šok, ktorý zvyšuje ceny produktov. Tento šok je zvyčajne zapríčinený rastom vládnych výdajov a rovnako tak rastom výdajov domácností. Na druhej strane ponuková inflácia je spôsobená poklesom ponuky. Centrálné banky jednotlivých štátov sa snažia udržať mieru inflácie tak, aby nepresahovala inflačný cieľ pre daný štát.

Krajiny eurozóny v posledných rokoch vymedzili inflačný cieľ na 2 % [4]. Tento cieľ im narušila pandémia koronavírusu a s ňou spojené vládne opatrenia. Súčasná miera inflácie v európskych krajinách je značne nad prvotným cieľom ECB (pre október 2021 4,1 %) [1].

2.1 Použité technológie

Pre vývoj simulácie sme si zvolili implementačný jazyk C++ v štandarde C++11. Využívali sme objektovo orientovaný prístup a štandardné knižnice, ktoré nám tento programovací jazyk poskytuje.

2.2 Pôvod použitých zdrojov

Pre implementáciu **MARK-0** modelu, sme sa pre správnu implementáciu držali pseudokódu pre tento model [2]. Tento model sme upravili na základe štúdie zaoberajúcej sa na zotavenie ekonomiky po pandémii Covid-19 [7].

3 Konceptia modelu

Pre zjednodušenie modelu sú inflačné očakávania nastavené na nulovú hodnotu. Finančná nestabilita firiem neovplyvňuje mieru zamestnávania a vyhadzovania zamestnancov. Dopad týchto parametrov na ekonomiku modelu bol zanedbateľný [7]. Základné rozdelenie modelu sa skladá z:

- Domácnosti
- Firmy
- Centrálnej banky

3.1 Domácnosti

Sú prezentované pracovnou silou vo firmách (všetky domácnosti su prezentované ako jeden celok). V rámci modelu slúžia ako konzumenti produktov, ktoré firmy vyprodukujú. Model umožňuje rôznu konzumáciu produktov v čase na základe sklonu domácností k spotrebe.

$$c(t) = c_0[1 + \alpha_c * (\pi^{ema}(t) - \rho^d(t))] \quad (1)$$

- c_0 – počiatočný sklon domácností k spotrebe
- α_c – citlivosť domácností k spotrebe (závislý na inflácii)
- $\pi^{ema}(t)$ – exponenciálne spriemerovaná inflácia
- $\rho^d(t)$ – úroková sadzba vkladov

Celkový rozpočet domácností k spotrebe získame:

$$C_B(t) = c[S(t) + W(t) + \rho^d(t) \cdot S(t)] \quad (2)$$

- $S(t)$ – celkové úspory domácností
- $W(t)$ – celkové mzdy pracovnej sily

Celkové úspory sú na začiatku simulácie nastavené na 0. Pre výpočet celkových úspor využívame vzorec:

$$S(t+1) = S(t) + W(t) + \rho^d(t) \cdot S(t) - C(t) + \Delta(t) \quad (3)$$

- $C(t)$ – aktuálna spotreba domácností
- $\Delta(t)$ – vyplatené dividendy

3.2 Firmy

Model umožňuje špecifikovať počet firiem vstupným parametrom N_F . Stav firiem sa počas priebehu simulácie mení, firmám sa menia ich sledované hodnoty v čase (*cena, produkcia, dopyt, profit a vyplácané dividendy, platy zamestnancov, stav účtu firmy*).

Ak dlhy firmy prekročia hranicu bankrotu (prestane platiť vzťah v rovnici 4), firma skrachuje t.j. jej dlhy sa prirátajú k celkovým nákladom na zlyhanie $\mathcal{D}(t)$. Výroba sa pozastaví a firma sa stane neaktívnou.

$$\mathcal{E}_i(t) \leq \frac{(-\theta \cdot Y_i(t) \cdot W_i(t))}{\zeta} \quad (4)$$

- $\mathcal{E}_i(t)$ – stav účtu firmy (i) v čase (t)
- θ – hranica bankrotu
- ζ – faktor ovplyvňujúci produkciu
- $W_i(t)$ – mzdy firmy (i) v čase (t)
- $Y_i(t)$ – produkcia firmy (i) v čase (t)

Neaktívne firmy majú možnosť obnovy s pravdepodobnosťou danou parametrom ϕ .

Dopyt po výrobkoch firmy (i):

$$D_i(t) = \frac{C_B(t)}{p_i(t)} \cdot \frac{\exp(-\beta p_i(t))}{\sum_j^{N_F} \exp(-\beta p_j(t))} \quad (5)$$

- β – ostrosť výberu (vstupný parameter modelu)
- $p_i(t)$ – cena produktov firmy (i)
- $\sum_j^{N_F} \exp(-\beta p_j(t))$ – normovaný priemer ceny všetkých aktívnych firiem v modeli

Aktualizácia ostatných sledovaných hodnôt závisí od dopytu a produkcie firmy (i). V prípade, že je **dopyt väčší ako produkcia**, zvýšujeme produkciu, ceny a mzdy.

$$Y_i(t+1) = Y_i(t) + \min\{\eta_0^+ \cdot (D_i(t) - Y_i(t)), \zeta \cdot u_i^*(t)\} \quad (6)$$

- η_0^+ – miera náboru zamestnancov
- $u_i^*(t)$ – maximálny počet nezamestnaných dostupných pre firmu (i) v čase (t)

Ceny zvyšujeme len v prípade, ak sú ceny firmy vyššie ako priemerná cena. V opačnom prípade ostáva cena rovnaká ako v predchádzajúcej časovej jednotke.

$$p_i(t+1) = p_i(t) \cdot (1 + \gamma \cdot \xi) \quad (7)$$

- γ – parameter upravujúci cenu
- ξ – náhodná premenná z rovnomerného rozdelenia na intervale $< 0.0, 1.0 >$

Výpočet novej mzdy pre firmu (i) v čase (t):

$$W_i(t+1) = W_i(t) \cdot (1 + \gamma \cdot e(t) \cdot \xi) \quad (8)$$

- $e(t)$ – relatívna zamestnanosť v čase (t)

V opačnom prípade, keď **produkcia prevyšuje dopyt**, dochádza zvyčajne k znižovaniu hodnoty nasledujúcich parametrov: Pre výpočet novej produkcie využijeme vzorec:

$$Y_i(t+1) = Y_i(t) - \eta_0^- \cdot (Y_i(t) - D_i(t)) \quad (9)$$

- η_0^- – miera vyhadzovu zamestnancov

Ceny znižujeme v prípade ak sú ceny danej firmy (i) v čase (t) nižšie ako priemerné ceny $\bar{p}(t)$, v opačnom prípade ostávajú ceny danej firmy rovnaké ako v predchádzajúcej časovej jednotke.

$$p_i(t+1) = p_i(t) \cdot (1 - \gamma \cdot \xi) \quad (10)$$

$$W_i(t+1) = W_i(t) \cdot (1 - \gamma \cdot u(t) \cdot \xi) \quad (11)$$

- $u(t)$ – relatívna nezamestnanosť v čase (t)

Profity a dividendy firmy (i)

$$\mathcal{P}_i(t) = p_i(t) \cdot \min\{Y_i(t), D_i(t)\} - W_i(t) \cdot Y_i(t) - \rho^l \cdot \min\{\mathcal{E}_i(t), 0\} + \rho^d \cdot \min\{\mathcal{E}_i(t), 0\} \quad (12)$$

Ak má firma (i) profity a má kladný zostatok na účte, tak vypláca dividendy:

$$\Delta(t) = \delta \cdot \sum_i \mathcal{E}_i(t) \quad (13)$$

3.3 Centrálna banka

Úloha centrálnej banky pozostáva v určovaní úrokovej sadzby pre pôžičky a vklady. Centrálna banka sa rovnako zaoberá výpočtom realizovanej inflácie, na základe hodnoty tohto parametru sa domácnosti a firmy rozhodujú o ich budúcom správaní. Centrálna banka rovnako počíta okamžitú infláciu, ktorá je pre zmysel tohto projektu najdôležitejším parametrom.

Priemerné ceny spočítame ako podiel súčinu cien a produkcie k produkcii:

$$\bar{p}(t) = \frac{\sum_i p_i \cdot Y_i}{\sum_i Y_i} \quad (14)$$

Okamžitá inflácia je spočítaná nasledovne:

$$\pi(t) = \frac{\bar{p}(t) - \bar{p}(t-1)}{\bar{p}(t-1)} \quad (15)$$

Realizovaná inflácia na základe ktorej sa firmy a domácnosti rozhodujú o ich ďalších krokoch sa počíta:

$$\pi^{ema} = \omega \cdot \pi(t) - (1 - \omega) \cdot \pi^{ema}(t-1) \quad (16)$$

- ω – exponenciálne pohyblivý priemer (vstupný parameter)

Zostatky firiem modelu na účte sú získavané ako:

$$\mathcal{E}^+(t) = \sum_i \max\{\mathcal{E}_i(t), 0\} \quad (17)$$

Dlhy firiem modelu sú získavané ako:

$$\mathcal{E}^-(t) = - \sum_i \min\{\mathcal{E}_i(t), 0\} \quad (18)$$

Výpočet úrokovej sadzby pre pôžičky stanovuje centrálna banka na základe vzorca:

$$\rho^l = (1 - f) \cdot \frac{\mathcal{D}(t)}{\mathcal{E}^-(t)} \quad (19)$$

- f – ovplyvňuje dopad nesplatených vkladov medzi veriteľov a vkladateľov (vstupný parameter)

Výpočet úrokovej sadzby pre vklady stanovuje centrálna banka na základe vzorca:

$$\rho^d = \frac{\rho^l \cdot \mathcal{E}^-(t) - \mathcal{D}(t)}{S(t) + \mathcal{E}^+(t)} \quad (20)$$

Celkový počet peňazí v modeli sa získava nasledovne:

$$M = S(t) + \mathcal{E}^+(t) - \mathcal{E}^-(t) \quad (21)$$

4 Architektúra simulačného modelu

Architektúra nášho modelu sa skladá z hlavnej triedy inflačného modelu, z triedy domácností, z vektoru firiem a tried bankového sektoru a krízy. Vystupom simulácie sú 2 súbory (*model.data*, *bank.data*), ktoré obsahujú všetky dynamické hodnoty získané z priebehu simulácie.

- **Trieda inflačného modelu** – uchováva informácie o všetkých objektoch v danej simulácii.
- **Trieda domácností** – sklon domácností k spotrebe, celkový rozpočet domácností na spotrebu a úspory.
- **Trieda firmy** – Aktuálny stav, produkcia, cena produktu, dopyt po produkte, mzdy, profity a hotovostný zostatok.
- **Trieda bankového sektoru** – okamžitá a realizovaná inflácia, úrokové sadzby a priemerné úrokové sadzby pôžičiek a vkladov.
- **Trieda krízy** – slúži na modelovanie vlnných optarení: začiatok, trvanie, faktory ovplyvňujúce produkciu, spotrebu, navýšenie rozpočtu a pomoci firiem pri krízových podmienkach.

4.1 Vstupné parametre programu

Názov parametru	Prepínač	Predvolená hodnota
Počet firiem	n	18000
Simulačná doba	T	1200
Počiatočný sklon k spotrebe	c	0.5
Ostrosť výberu	i	2.0
Regulácia ceny	a	0.01
Miera vyhadzovu pracovníkov	fp	0.2
Miera náboru pracovníkov	hp	0.4
Miera podielu z dividend	d	0.02
Hranica bankrotu	t	3.0
Pravdepodobnosť obnovenia firmy	fr	0.1
Faktor produktivity	p	1
Exponenciálne pohyblivý priemer	e	0.2
Citlivosť inflácie vzhľadom na spotrebu	ac	4.0
Rozdelenie nesplatených vkladov medzi veriteľov a vkladateľov	f	0.5
Typ krízy	cs	0

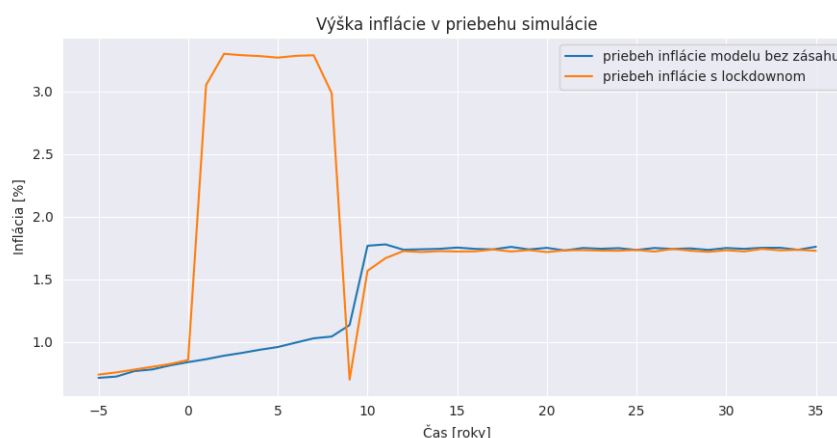
5 Simulačné experimenty a ich priebeh

Zásahy do ekonomiky sme simulovali formou lockdownov. Lockdown predstavuje negatívne ovplyvnenie ekonomiky v modeli na určitú dobu.

Os x v grafoch je zarovnaná na začiatok lockdownu(780. mesiac simulačného času).

5.1 Experiment č. 1

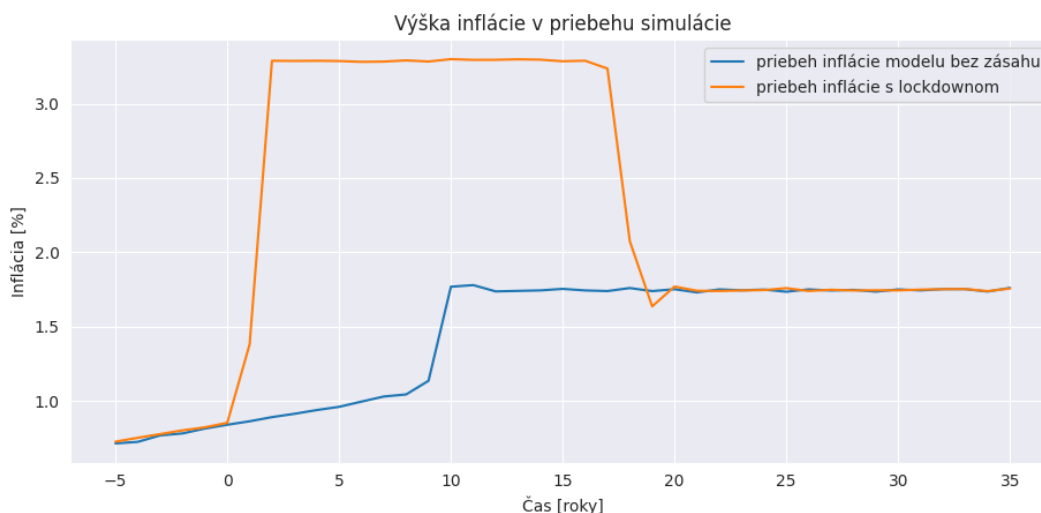
V prvom experimente sme simulovali jednoduchý lockdown s dĺžkou trvania 3 mesiace. Bola znížená iba produkcia, a to na 60% reálneho výkonu. Lockdown spôsobil zvýšenie inflácie na celkom krátku dobu, ale na dlhý firiem nebol braný ohľad a pri začiatku lockdownu skrachovalo 10% firiem.



Obr. 1: Porovnanie priebehov inflácie s lockdownom a bez lockdownu

5.2 Experiment č. 2

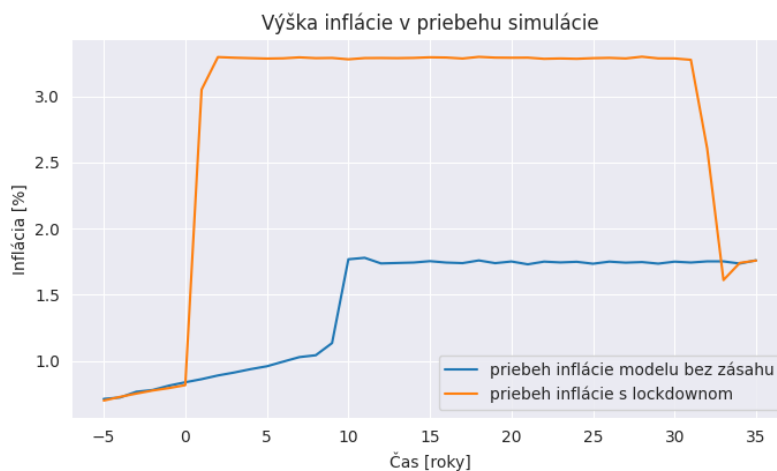
V tomto experimente sme do simulácie pridali lockdown vo forme zníženia produktivity na 55%, náhleho (jednorazového) zvýšenia spotreby, dĺžke 6 mesiacov a firmám sme povolili 10-násobné zadĺženie (*10-násobne zvýšená hranica bankrotu θ*) po dobu trvania lockdownu. Na grafe [Obr.2], je vidieť, že bez ďalších zásadných opatrení sa ekonomika modelu po dobu približne 20 rokov drží vo vysokej hladine inflácie. Čo je približne 2-násobok ako v predošlom experimente, ale počet firiem, ktoré zbankrotovali bol zanedbateľný a zamestnanosť vyššia.



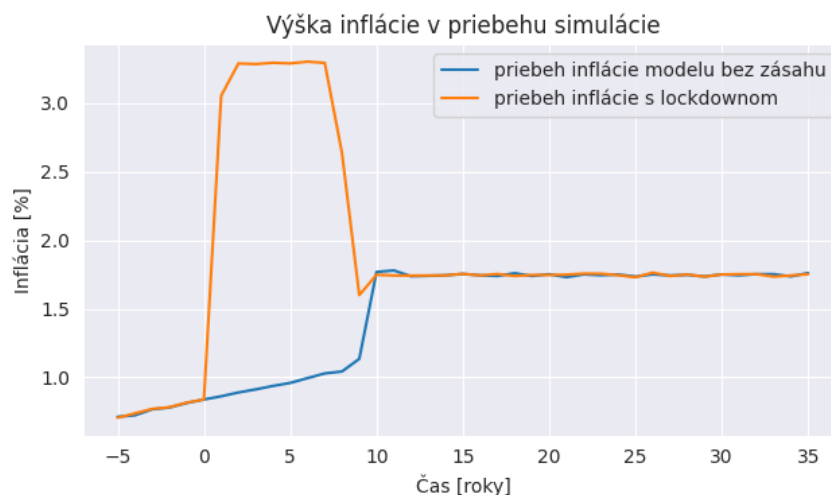
Obr. 2: Porovnanie priebehov inflácie s lockdownom a bez lockdownu

5.3 Experiment č. 3

V tomto experimente sme sa zamerali na fenomén zvyšovania úspor domácností a firiem. Začiatkom krízy sme zvýšili peniaze v obehu o 45%. [Obr. 3] Tým sme simulovali poskytnutie dotácie na prekrytie finančných ťažkostí. Výsledkom týchto dotácií bolo predĺženie vysokej miery inflácie na približne dvojnásobnú dobu. Ďalej sme simulovali namiesto pridania peňazí do obehu ich odobratie o rovnakú hodnotu t.j. 45%. Odčerpanie týchto úspor malo za následok skrátenie doby vysokej miery inflácie [Obr. 4].



Obr. 3: Porovnanie priebehov inflácie s lockdownom a bez lockdownu



Obr. 4: Porovnanie priebehov inflácie s lockdownom a bez lockdownu

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Implementovanie modelu a simulácie vyplýva, že nami implementovaný model *MARK-0*, zostavený primárne podľa štúdie [7], reaguje na ekonomické šoky v podobe lockdownov zvýšením inflácie podobne ako ekonomika vo väčšine európskych krajín v aktuálnej situácii[1]. Ukazuje sa, že problém inflácie veľmi komplikovaný na modelovanie a simuláciu, je závislý od veľa faktorov. Úprava úrokových sadzieb v našom modeli nemá vplyv na výšku inflácie, tak sme sa rozhodli nezahrnúť ich úpravy do experimentov spomenutých v tejto správe. Ďalšie obmedzenie tohto modelu spočíva v obmedzenej možnosti zvyšovania inflácie. V krízových časoch sa nám podarilo nasimulovať zvýšenie inflácie na max. 4%p.a. .

7 Odkazy na referencie

Literatúra

- [1] Európska centrálna banka (ECB) a národné centrálné banky Eurosystemu: Miera inflácie - Index spotrebiteľských cien. [online], Dostupné z: <https://www.euro-area-statistics.org/inflation-rates?cr=eur&lg=sk>, navštívené 2021-12-03.
- [2] Gualdi, S.; Tarzia, M.; Zamponi, F.; aj.: Monetary Policy and Dark Corners in a Stylized Agent-Based Model. *SSRN Electronic Journal*, 01 2015: s. 507–537, doi:10.2139/ssrn.2553136.
- [3] Info@finstat.sk: Finančné a právne dáta o firmách na jednom mieste. Dostupné z: <https://finstat.sk/>
- [4] Jančura, M.; Prozbík, J.: Bencont weekly report. *Bencontgroup*, 2015: s. 1–13, ISSN 2533-4158.
- [5] Kevin Hoover: Phillips Curve. [online], 2020, Dostupné z: <https://www.econlib.org/library/Enc/PhillipsCurve.html>, navštívené 2021-12-04.
- [6] Krček, T.; Smetánková, D.: Inflace. *Kancelář Poslanecké sněmovny, Sněmovní 4, 118 26 Praha 1*, 2019: s. 1–9, ISSN 2533-4158.
- [7] Sharma, D.; Bouchaud, J.-P.; Gualdi, S.; aj.: V-, U-, L-, or W-shaped economic recovery after COVID: Insights from an Agent Based Model. Papers 2006.08469, PLoS ONE 16(3): e0247823., 2021. Dostupné z: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0247823>