

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra ekonomie

**Solow-Swanův model dlouhodobého
ekonomického růstu**

Bakalářská práce

Autor: Marek Petr

Studijní obor: Informační management

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Režný, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 14.08.2020

Marek Petr

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lukášovi Režnému, Ph.D. za odbornou pomoc, přátelský přístup, ochotné jednání a trpělivost při vedení. Také děkuji své rodinně za poskytnutí pohodového zázemí a maximální podpory během psaní mé práce.

Anotace

Tato práce se zabývá neoklasickým modelem ekonomického růstu, který byl představený Robertem Solowem a Trevorem Swanem. Práce z úvodu stručně prezentuje historický a aktuální ekonomický stav ve světě, a to především ekonomický růst a úroveň významných států světové ekonomiky. Následně přibližuje počátky hospodářského růstu v historii a nastiňuje jakým vývojem si toto odvětví ekonomie prošlo. Podstatnou částí teoretické části je seznámení čtenáře s neoklasickým modelem růstu a objasněním jeho fungování. Praktická část má za cíl převedení neoklasického modelu do systémové dynamiky, ověření jeho funkčnosti a příklad použití daného modelu jako nástroje managementu aplikovaného na problém hospodářského rozvoje.

Klíčová slova:

ekonomický růst, neoklasický model růstu, systémová dynamika, ekonomika státu, čtyři zdroje růstu, konvergence

Annotation

This Bachelor Thesis deals with the neoclassical model of economic growth which was introduced by Robert Solow and Trevor Swan. The Bachelor Thesis briefly presents historical and current economic situation in the world, especially the economic level and growth of important countries in the world economy. It then approaches the beginnings of economic growth in history and elucidates the development of this economic field. An essential part of the theoretical part is to acquaint the reader with the neoclassical model of economic growth and explain its functioning. The practical part of the Bachelor Thesis focuses on converting the neoclassical model into system dynamics, verifies its functioning, and is an example of using the model as a management tool for developing appropriate strategies to deal with economical development.

Key words:

economic growth, the neoclassical model of growth, system dynamics, state economy, four sources of growth, convergence

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Ekonomický růst.....	3
2.1. Ekonomická síla a ekonomická úroveň	3
2.2. Důležitost ekonomického růstu z dlouhodobého hlediska.....	4
3. Teorie ekonomického růstu	6
3.1. Důležité faktory růstu.....	6
3.1.1. Lidské zdroje	8
3.1.2. Přírodní zdroje.....	8
3.1.3. Kapitál.....	9
3.1.4. Technologický pokrok a inovace	9
3.2. Teorie ekonomického růstu v historii.....	10
3.2.1. Klasická ekonomie Adama Smitha a T. R. Malthuse	10
3.2.2. Solow-Swanův neoklasický model ekonomického růstu.....	11
3.3. Základní předpoklady modelu	12
3.3.1. Dlouhodobý ustálený stav	14
3.4. Teorie o konvergenci	14
4. Systémová dynamika	16
4.1. Blokové schéma	18
4.1.1. Exogenní proměnné modelu	19
4.1.2. Hladiny.....	21
4.2. Testování funkčnosti modelu	24
4.2.1. Funkčnost modelu při absenci míry růstu populace n a technologického pokroku g	24
4.2.2. Funkčnost modelu při absenci technologického pokroku g	25
4.2.3. Funkčnost modelu při zapojení všech proměnných	26
4.3. Simulace růstu konkurenceschopné ekonomiky	27

4.3.1.	Parametrizace počátečního stavu	30
4.3.2.	Výsledek po prvním spuštění modelu	32
4.3.3.	Parametrizace po optimalizaci modelu.....	33
4.3.4.	Výsledky modelů po optimalizaci	35
5.	Shrnutí výsledků.....	36
6.	Závěry a doporučení	37
7.	Seznam použité literatury.....	39
8.	Přílohy	40
8.1.	Rovnice a proměnné modelu	40
9.	Zadání práce	43

Seznam obrázků

Obrázek 1 Vývoj HDP Číny a Indie. Zdroj dat: https://data.worldbank.org/	7
Obrázek 2 Ekonomický růst skrz prohlubování kapitálu. Zdroj grafu: Samuelson, 2010.	13
Obrázek 3 Jednoduchý model obsahující všechny komponenty systémové struktury. Zdroj: vlastní práce.	18
Obrázek 4 Blokové schéma modelu. Zdroj: vlastní práce.	18
Obrázek 5 Struktura populačního sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.....	21
Obrázek 6 Graf růstu hladiny populace. Zdroj: vlastní práce.	21
Obrázek 7 Struktura kapitálového sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.....	22
Obrázek 8 Graf růstu hladiny kapitálu. Zdroj: vlastní práce.	22
Obrázek 9 Struktura technologického sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.	23
Obrázek 10 Graf růstu hladiny technologické úrovně. Zdroj: vlastní práce.	23
Obrázek 11 Fungování modelu při absenci n a g . Zdroj: vlastní práce	24
Obrázek 12 Fungování modelu při absenci g . Zdroj: vlastní práce	25
Obrázek 13 Fungování modelu při zapojení všech proměnných. Zdroj: vlastní práce	26
Obrázek 14 Blokové schéma ekonomik A a B. Zdroj: vlastní práce.	29
Obrázek 15 Výsledné grafy obou modelů při počátečních hodnotách. Zdroj: vlastní práce.	32
Obrázek 16 Optimizer log. Zdroj: Stella Professional.	34
Obrázek 17 Výsledné grafy obou modelů po optimalizaci s[alt]. Zdroj: vlastní práce.	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 Ekonomická síla vybraných zemí v roce 2018. Zdroj dat: https://data.worldbank.org	4
Tabulka 2 Ekonomický růst v rozvinutých zemí. Zdroj: Angus Maddison, Phases of Capitalist Development (Oxford University Press, Oxford, 1982).....	6
Tabulka 3 Parametry populačního sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.	21
Tabulka 4 kapitálového sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.....	22

Tabulka 5 Parametry technologického sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.....	23
Tabulka 6 Parametry modelu při absenci n a g . Zdroj: vlastní práce.	25
Tabulka 7 Parametry modelu při absenci g . Zdroj: vlastní práce.	26
Tabulka 8 Parametry modelu při zapojení všech proměnných. Zdroj: vlastní práce. .	27
Tabulka 9 Parametry modelu ekonomiky A. Zdroj: vlastní práce.	31
Tabulka 10 Parametry modelu ekonomiky B. Zdroj: vlastní práce.....	31
Tabulka 13 Parametrizace ekonomiky B po optimalizaci. Zdroj: vlastní práce.	34

1. Úvod

Ekonomie se v průběhu historie snažila pochopit a vysvětlit hospodářský růst zemí různými způsoby. Za tuto dobu mnoho odborníků představilo svůj model ekonomického růstu, který by mohl být odpovědí na to, proč a jakým způsobem ekonomika zemí může fungovat. Tyto modely byly a jsou formovány podle toho, v jakém období vznikaly, a které ekonomické teorie byly v dané době v popředí. Tato práce se zabývá modelem moderní neoklasické ekonomie, který nezávisle představili v roce 1956 Robert Solow a Trevor Swan. Od představení modelu již sice uplynulo přes šedesát let, bývá však využíván dodnes jako nástroj pro zkoumání růstu ekonomicky rozvinutých zemích, a i s jeho pomocí odborníci zkoumají podstatu hospodářského růstu.

Ekonomie je věda jako každá jiná. A jako věda je její působení nesmírně rozsáhlé. Ekonomové se tak často ve své kariéře soustředí pouze na jednu určitou oblast ekonomie, které se věnují celý svůj život. Jednou z těchto oblastí je i hospodářský růst. Věřím, že věnování se této problematice a její studium je velice důležité, jelikož oborem jejího zájmu je mimo jiné i ekonomika světových zemí. Zkoumá, jak a proč určité země prosperují či strádají, jaký je jejich historický vývoj, a které proměnné hrají v jejich pokroku důležitou roli. Pokud bychom byli schopni pochopit a vysvětlit proč se tak děje, mohli bychom předcházet i takovým světovým problémům jako je hladomor či válečné spory, protože bychom mohli na základě našich vědomostí povzbudit stagnující ekonomiky méně rozvinutých zemí, které se s těmito problémy potýkají. Tato práce se ovšem nezabývá řešením světových ekonomických problémů či se nesoustředí na historický vývoj hospodářských lídrů. Jejím bodem zájmu je pochopení fungování neoklasického modelu, který je jedním z nástrojů, jež může posloužit pro pochopení mnohem větších problémů. Po teoretické části, která slouží pro vysvětlení potřebných principů, vlastností a souvislostí, se práce soustředí na transformaci tohoto modelu do prostředí systémové dynamiky, díky které fungování modelu mnohem lépe pochopíme.

Smyslem této práce je tak uvedení čtenáře do zkoumané problematiky hospodářského růstu, vysvětlení teoretického základu a principů fungování Solow-Swanova modelu a následné ověření fungování těchto principů na modelu systémové

dynamiky, který poslouží jako vhodná pomůckou pro vizualizaci procesů a výstupů modelu při různém zapojení proměnných. Výsledný model může také dobře posloužit jako učební pomůcka při výuce makroekonomie, díky které studenti lépe pochopí principy a fungování neoklasického modelu.

2. Ekonomický růst

Pří pohledu na fotografie z dřívějších dob zjistíme, jak významně se za poslední desetiletí až století proměnily životní standardy průměrných domácností. Domácnosti jsou dnes plně vybavení a zboží, které by několik desítek let nazpátek bylo nemyslitelné. Můžeme zmínit vybavení jako například moderní LED televize, inteligentní pečicí trouby či chytré domácí asistenty. Stejně tak internet nám otevřel dveře možností, o kterých se dříve lidem mohlo pouze zdát, zamyslíme-li se pouze nad přístupností vědomostí, kvůli kterým dříve musel člověk vážít cestu do knihovny, kde i tak mohl najít pouze velmi omezenou zásobu veškerých dostupných znalostí na dané téma. Není to však pouze hmotné zboží, které prodělalo razantní proměnu. Pokrok zaznamenaly také služby, jako například zdravotnictví. V dřívějších dobách bylo naprosto běžné, že lidé umírali na taková onemocnění jako je zápal plic či chřipka, na onemocnění, která jsou dnes velice obvyklá a k jejich léčbě si stačí zajít za svým obvodním lékařem, který vám předepíše antibiotika či antivirotika.

Tyto změny v kvalitě, kvantitě a technologickém pokroku zboží a služeb, které jsou dnešním domácnostem dostupné, jsou následkem ekonomického růstu. V makroekonomii je ekonomický růst proces, při kterém jednotlivé ekonomiky akumulují vyšší a vyšší množství kapitálových statků, dělají pokroky v technologickém pokroku, navyšují množství vědomostí, a postupně se stávají více produktivní. Životní úroveň, která se obecně měří pomocí HDP na osobu či spotřebou na domácnost, je pak stanovena agregátní nabídkou a úrovní produktivity země (Samuelson, 2010).

2.1. Ekonomická síla a ekonomická úroveň

Je známo, že hrubý domácí produkt (HDP) měří celkový objem zboží a služeb, jenž bylo vyprodukováno na území určitého státu. Pokud se tedy podíváme na HDP jednotlivých států, převedeme je pomocí měnového kurzu na identické měnové jednotky, porovnáme je a seřadíme je sestupně za sebou, projeví se nám **ekonomická síla** (či ekonomická aktivita) porovnávaných zemí. Z tohoto porovnání jsme pak schopni vyzorovat, jaké množství výrobků a služeb je daná ekonomika schopna vyprodukovat za stejné období, jak si daná země stojí v porovnání s ostatními, a které ekonomiky světa jsou nejsilnější.

Země	HDP (mln. USD)	Pořadí	HDP na 1 obyvatele (USD)	Pořadí
USA	20 544	1	62 640	8
Čína	13 608	2	9 771	64
Japonsko	4 971	3	39 287	24
Německo	3 947	4	48 196	15
Spojené království	2 855	5	42 491	19
Francie	2 777	6	41 464	23
Indie	2 718	7	2 101	139
Polsko	585	21	15 424	52
Česká republika	245	45	22 973	36
Katar	191	53	69 027	6
Maďarsko	157	56	15 939	49
Slovenská republika	105	61	19 547	40
Lucembursko	70	72	114 341	1
Macao	55	82	86 365	2
Středoafriická rep.	2	171	510	175

Tabulka 1 Ekonomická síla vybraných zemí v roce 2018. Zdroj dat: <https://data.worldbank.org>

Následným výpočtem hrubého domácího produktu na jednoho obyvatele (opět ve stejné měnové jednotce) získáváme ukazatel, podle kterého zjistíme, jak efektivně využívá daná země své disponibilní výrobní zdroje. Hrubý domácí produkt na jednoho obyvatele nám tedy ukazuje **ekonomickou úroveň** země, a také bývá jedním z hlavních ukazatelů toho, jaká panuje v daném státě životní úroveň (viz. Tabulka 1).

Z daných vysvětlení je tedy zjevné, že ekonomická síla a ekonomická úroveň se od sebe liší. Můžeme tak vidět, že Macao je se svým celkovým HDP až na 82. příčce světových zemí, ale jeho HDP na obyvatele jej řadí na 2. místo. Dá se tak předpokládat, že Macao má malé množství výrobních zdrojů, které však využívá velice efektivně a můžeme odhadovat vysokou životní úroveň (Soukup, 2018).

2.2. Důležitost ekonomického růstu z dlouhodobého hlediska

Podrobná analýza historie Spojených států amerických ukázala, že skutečné HDP se od roku 1900 navýšilo 35x, a od roku 1800 až 1000x. Pokračující ekonomický růst

umožňuje moderním ekonomicky rozvinutým zemím poskytovat svým obyvatelům více kvalitního jídla, větší domy, lepší zdravotní péči, kvalitnější vzdělání pro své potomky či vyšší důchody pro seniory.

Díky své důležitosti a významnosti pro životní úroveň je ekonomický růst ústředním bodem politiky. Země, jejichž ekonomický růst se vyznačoval rychlejším tempem, jako například Spojené království v devatenáctém století a Spojené státy americké ve dvacátém století, se tak stávají vzorovými příklady pro ostatní země, které také cílí ke konstantnímu a pozitivnímu ekonomickému růstu. Opačným extrémem jsou země, které se se potýkají s ekonomickým úpadkem. Tyto země pak zažívají ekonomické a sociální nepokoje. Příkladem mohou být země Sovětského svazu v letech 1989-1991, které vlivem centrálně plánované ekonomiky nebyly schopné ekonomicky konkurovat západním zemím a s neutuchajícími protesty musela vláda rezignovat. Je tak zjevné, že ekonomický růst je pro úspěch země z dlouhodobého hlediska nesmírně důležitý (Samuelson, 2010).

3. Teorie ekonomického růstu

Ekonomický růst představuje růst potencionálního HDP země. Jinými slovy, ekonomický růst země nastává tehdy, když se hranice produkčních možností posouvá doprava nahoru. Podobným konceptem je tempo růstu produkce na osobu. Toto tempo určuje rychlost, jakou roste životní úroveň země. Státy se však nejvíce soustředí na růst produktu na osobu, jelikož to následně vede k růstu průměrných mezd.

Období	Průměrné roční tempo růstu (v procentech za rok)			
	HDP	HDP na odpracovanou hodinu	Celkový počet hodin	Pracovní síla
1870-1913	2,5	1,6	0,9	1,2
1913-1950	1,9	1,8	0,1	0,8
1950-1973	4,8	4,5	0,3	1,0
1973-2006	2,6	2,2	0,4	1,0
Za celé období	2,8	2,3	0,5	1,0

Tabulka 2 Ekonomický růst v rozvinutých zemích. Zdroj: Angus Maddison, *Phases of Capitalist Development* (Oxford University Press, Oxford, 1982)

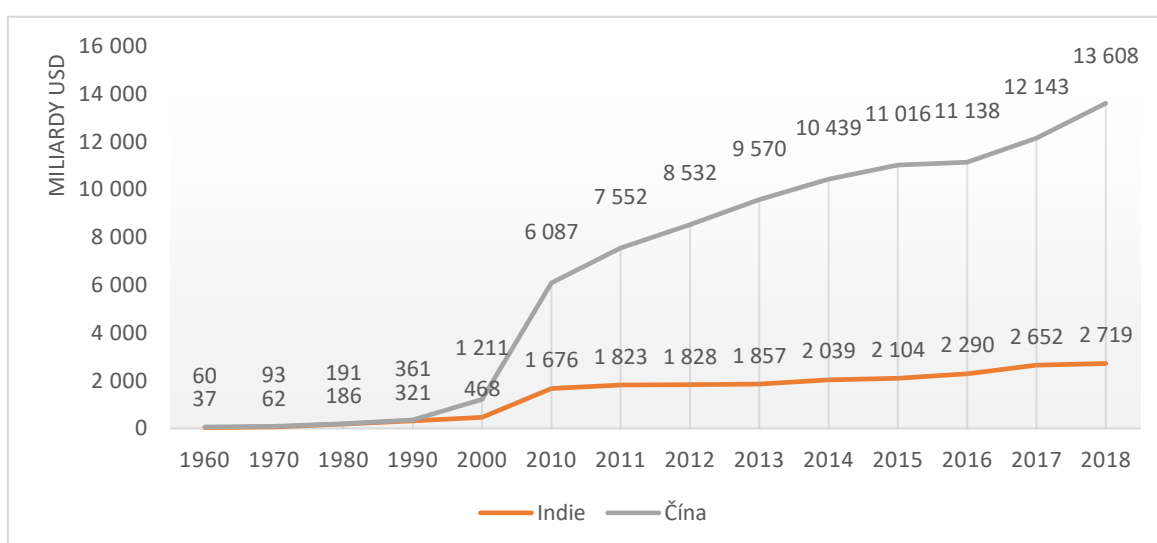
V tabulce 2 můžeme vidět ekonomický růst až 31 pokročilých zemí (16 v počátcích měření v roce 1870, 31 zemí v pokročilejším stádiu měření), zahrnujíc přední země Severní Ameriky, Západní Evropy, Japonsko a Austrálii. Je patrný stabilní růst produktu za celé období. Pro životní úroveň je však důležitější produkt na odpracovanou hodinu, který věrněji koresponduje se skutečnou životní úrovní. Průměrný roční růst HDP na odpracovanou hodinu za celé období čítal 2,3 %, pokud ovšem provedeme potřebné výpočty, zjistíme, že hrubý domácí produkt na odpracovanou hodinu byl na konci sledovaného období 22x vyšší, než na jeho začátku (Samuelson, 2010).

3.1. Důležité faktory růstu

Nyní nastává otázka: Co je tím motorem, který pomáhá ekonomikám růst a rozvíjet se? Existují různé strategie k úspěšnému růstu. Například Velká Británie využila první průmyslové revoluce, kdy se v 18. století stala ekonomickým leaderem, protože efektivně využila její potenciál, vynalezla parní stroje a železnice, a kladla důraz na volný obchod. Jiným příkladem může být Japonsko, které až o několik desetiletí

později zažilo rozkvět díky napodobování zahraničních technologií, ochranou domácího průmyslu před importem a následným zdokonalením výrobních procesů a elektroniky.

I když se cesty, jakými si různé ekonomiky zajišťují růst, mohou lišit, **všechny rychle rostoucí země se vyznačují stejnými určitými atributy**. Stejně základní procesy ekonomického růstu, které pomohly Velké Británii a Japonsku vypracovat se mezi ekonomické lídry, teď umožňují růst rozvíjejícím se zemím, jakými jsou Čína a Indie. Jak můžeme vidět v obrázku 1 níže, obě zmiňované země začaly razantně expandovat až okolo roku 2000, a za přibližně 20 let se vypracovaly mezi ekonomicky nejsilnější země světa (viz. Tabulka 1).



Obrázek 1 Vývoj HDP Číny a Indie. Zdroj dat: <https://data.worldbank.org/>.

Ekonomové studující ekonomický růst se shodují na tom, že nehledě na bohatství země, všechny státy, které aspirují k pozitivnímu růstu, musí disponovat čtyřmi atributy. Těmito atributy jsou:

- Lidské zdroje (dostatečná nabídka práce, vzdělání, dovednosti, disciplína, motivace)
- Přírodní zdroje (půda, minerály, palivo)
- Kapitál (továrny, stroje, silnice, duševní vlastnictví)
- Technologický pokrok a inovace (věda, inženýrství, soukromý i veřejný výzkum)

Ekonomové často tyto vztahy přepisují v rámci agregátní produkční funkce, která uvádí do souvislosti celkový národní výstup do vstupů a technologie. Tato funkce se dá zapsat jako:

$$Q = f(A, K, L, R) \quad (1)$$

Kde Q = celkový agregátní produkt vytvořený ekonomikou, K = celková kapitálová hladina, L = zásoba práce v dané ekonomice, R = vstup přírodních zdrojů, A = technologická úroveň v dané zemi a F je produkční funkce. Na následujících řádcích se podíváme, jak jednotlivé prvky v modelu fungují (Samuelson, 2010).

3.1.1. Lidské zdroje

Vstup práce se skládá z množství zaměstnanců, zkušeností a vzdělání pracovní síly. Mnoho ekonomů věří, že kvalitní vstup lidských zdrojů (jejich zkušenosti, disciplína, znalosti) je jediný nejvíce důležitý element ekonomického růstu. Stát totiž může nakoupit výkonné počítače, nejnovější stroje do továren, moderní telekomunikační zařízení či drahé automobily do pracovního provozu, pokud ale stát nebude mít k jejich obsluze vzdělané a vyškolené zaměstnance, potenciál tohoto vybavení přijde vniveč. Vzdělaná a vyškolená pracovní síla je tak pro co nejvyšší výstup důležitá.

3.1.2. Přírodní zdroje

Důležitými přírodními zdroji se zde má na mysli velké množství orné půdy, ropy, zemních plynů, rozlehlých lesů, rozsáhlé vodní plochy či zásoby minerálů. Existují země, které prosperují převážně na ohromných zásobách přírodních zdrojů. Těmito zeměmi jsou například Kanada či Norsko, které těží z prodeje ropy, zemního plynu, využívají rozsáhlého zemědělství, lesnictví a rybářského průmyslu. Podobně jsou na tom Spojené státy americké, které jsou největším pěstitelem a vývozcem obilovin.

Je důležité sdělit, že rozsáhlé zásoby přírodních zdrojů nejsou pro ekonomický úspěch nutností. Například město New York prosperuje především na svém širokém odvětví služeb. Stejně tak Japonsko, které má velice omezené množství přírodních zdrojů, se dokáže rozvíjet díky soustředění se na odvětví, které více využívají lidských zdrojů a kapitálu.

3.1.3. Kapitál

Kapitál zahrnuje hmotné statky, jakými jsou komunikace, elektrárny, továrny, výrobní stroje, nákladní vozy, počítače, ale také nehmotné statky jako počítačový software, patenty a ochranné známky. Ty nejvýznamnější události ekonomické historie často představovaly situace, ve kterých se hromadil kapitál ve velkém množství. Dvacáté století se tak neslo v duchu vln investic do automobilů, pozemních komunikací a elektráren, což mělo za následek zvýšení produktivity a poskytnutí infrastruktury, která dovolila vznik spoustě novým odvětvím. Mnoho lidí předpokládá, že to, co pro 20. století bylo budování komunikací a elektráren, bude pro 21. století vývoj a rozšíření informačních technologií.

Mluvíme-li o kapitálu, nemáme na mysli pouze počítače, výrobní stroje, nákladní vozy a továrny. Spousta investic, které jsou nezbytné pro správné fungování soukromého sektoru, musí tedy být učiněno vládním sektorem. Tyto investice zahrnují velkorozpočtové projekty, které mají přednost před obchodem a komercí. Příkladem mohou být dálnice, rozsáhlé zavlažovací systémy, městské kanalizace či investice do veřejného zdravotnictví. Toto jsou kapitálové investice, které nemohou být provedené nikým jiným než státem.

3.1.4. Technologický pokrok a inovace

Ekonomický růst historicky nikdy nebyl pouhý proces replikace, kde by se pouze přidávaly řady oceláren či továren vedle sebe, ale spíše se jedná o nikdy nekončící děj nových vynálezů a technologických vylepšení, které přispívají k výraznému zlepšení produkčních možností. Technologické inovace znamenají změnu v produkčních procesech či vynalezení nějakého nového zařízení nebo postupu, který by lidem pomohl navýšit produktivitu. Mezi procesní inovaci můžeme zařadit parní stroj, zavedení elektrického proudu, vyvinutí antibiotik, zkonstruování širokotrupého letounu či vynález mikroprocesoru. Stěžejním produktovým vynálezem je pak telefon, rádio, letadlo, fonograf, televize či počítač.

Nejvíce pozoruhodné inovace moderní doby se vyskytují v odvětví informačních technologií, kde novodobý kompaktní notebook je mnohonásobně výkonnější, než velké a nemotorné počítače z šedesátých let dvacátého století nebo optická vlákna, která dnes zvládají přenášet 200 000 konverzací najednou, pro které

byste dříve potřebovali 200 000 kabelů kroucené dvojlinky. Toto jsou jedny z mnoha výjimečných inovací, které jsme ve světě informačních technologií mohli zažít. Je třeba zmínit, že technologický pokrok je spíše proces zavádění nových menších vylepšení a inovací než razantních skoků ve vývoji. Je patrné, jak velice důležitý je technologický pokrok pro ekonomický růst, a mnoho ekonomů se problémem povzbuzení inovací zabývalo. Tento proces inovací je však velice komplexní, a zatím nebyl vymyšlen žádný recept na úspěch.

3.2. Teorie ekonomického růstu v historii

Prakticky všichni ekonomové jsou zastánci zdravého a nepřerušovaného ekonomického růstu, ale existují mezi nimi neshody o tom, jak nejlépe toho dosáhnout. Někteří jsou zastánci zvýšeného investování do kapitálu, jiní by volili cestu stimulace technologického vývoje a výzkumu, další pak vyzdvihují důležitost vzdělané pracovní síly. V následující části si představíme vybrané přístupy, jež se v minulosti objevily.

3.2.1. Klasická ekonomie Adama Smitha a T. R. Malthuse

Otec klasické ekonomie Adam Smith je znám díky vydání knihy *Bohatství národů*, ve které představuje utopickou myšlenku harmonického věku, ve které původní stav věcí předchází přivlastňování půdy a akumulaci kapitálových statků. Je třeba vyzdvihnout, že toto byla doba, kdy půda byla volně dostupná a bezplatná všem, kteří o ní stáli, a kdy akumulace kapitálu nehrála tak významnou roli jako dnes. Pokud tedy máme volně dostupné pozemky, je přirozené, že s rostoucí populací se lidé budou rozpínat a zabírat novou neobydlenou půdu. Jelikož zde kapitál nehraje roli, národní produkce by se zdvojnásobovala stejně tak, jako se zdvojnásobuje populace. Veškerý národní příjem by musel směřovat do mezd, z důvodu neexistence odečtů z pronajímaných pozemků či úroků z kapitálu. Produkt by rostl stejným tempem jako populace, a mzdová sazba na pracovníka by zůstávala konstantní. Tento konstantní růst populace ale není udržitelný, jelikož s postupem času se všechny pozemky obsadí, a populace se nebude mít kam rozpínat. Jakmile se tak stane, tento vyvážený růst populace, půdy a produktu již nebude možný. Nově příchozí pracovníci se budou muset začít vměstňávat na již obsazené pozemky, a půda se stane nedostatkovou. Populace stále roste a s ní i národní

produkt, který ale začíná růst pomaleji než populace. Důvodem je to, že jakmile přibývají další pracovníci na nyní již obsazenou půdu, každý z nich má menší část pozemku, na které může pracovat. V tento okamžik přichází na scénu zákon klesajících výnosů, kdy s klesajícím poměrem mezi půdou a pracovníkem klesá i mezní produkt práce, a tedy dochází i ke snižujícím se mzdovým sazbám.

Dalším osobností ekonomické školy byl T. R. Malthus, který přišel s teorií, že zvyšující se tlak populace dožene ekonomiku do bodu, kdy se pracovníci dostanou na nejnižší úroveň možného živobytí. Malthus usuzoval, že pokud se mzdové sazby nacházejí nad úrovní, která je dostatečná pro živobytí, populace poroste. Jakmile se ale sazby dostanou pod danou úroveň, populace se začne zmenšovat následkem vysoké úmrtnosti. Tvrdil tedy, že pouze dostačující mzdová úroveň zajistí stabilní a vyváženou populaci a věřil, že pracující třída je odsouzena k životu, který je tvrdý, nepříjemný a krátký (Samuelson, 2010).

3.2.2. Solow-Swanův neoklasický model ekonomického růstu

Dnes již víme, že úsudky Malthuse nebyly správné, jelikož si neuvědomil, že technologické inovace a investice kapitálu může překonat zákon snižujících se výnosů. První průmyslová revoluce přišla s motorem poháněnými stroji, které značně pomohli s produkcí, železnice a parníky pomáhaly překonávat velké vzdálenosti, a vysoká produkce železa a oceli umožňovala výrobu silnějších strojů a lokomotiv. Následná druhá průmyslová revoluce nám představila telefon, automobil a elektrickou energii. Nové technologie a akumulace kapitálu se staly hlavním atributem ovlivňujícím ekonomický rozvoj.

Abychom pochopili, jak akumulace kapitálu a technologický pokrok ovlivňuje ekonomiku, musíme si představit **neoklasický model ekonomického růstu**. Toto schéma nám bylo představeno nezávisle dvěma ekonomy, kdy v únoru 1956 publikoval svůj model pod názvem *A Contribution to the Theory of Economic Growth* americký ekonom Robert Solow v periodiku *Quarterly Journal of Economics*, a následně v prosinci téhož roku australský ekonom Trevor Swan publikoval svou práci *Economic Growth and Capital Accumulation* v časopise *Economic Record*. I když tento model oba představili nezávisle, Trevor Swan byl svým konkurentem historicky

zastíněn, a tak se dnes můžeme setkat s tvrzeními, že otcem modelu je pouze Robert Solow.

Neoklasický model ekonomického růstu slouží jako základní nástroj pro pochopení ekonomického růstu v rozvinutých zemích, a je využíván v empiricky založených studiích, jež zkoumají zdroje ekonomického růstu (Samuelson, 2010).

3.3. Základní předpoklady modelu

Neoklasický model popisuje růst ekonomiky, ve kterém je produkován jeden homogenní výstup dvěma typy vstupů, a to kapitálem a pracovní silou (rozumíme populaci). Na rozdíl od modelu Malthuse, přirozený růst populace je zde očekáván. Dále předpokládáme konkurenceschopný trh, který využívá plné zaměstnanosti.

Co ovšem tento neoklasický modelu přidává je kapitál a technologický pokrok. Předpokládejme, že úroveň technologie je stálá a nijak se nevyvíjí. Kapitál představuje zboží dlouhodobé spotřeby, které slouží k výrobě dalšího zboží a produktů. Těmito produkty a zbožím chápeme stavby jako továrny a domy, stroje typu počítač, automobil či lednice, a další seznam různých druhů produktů a výrobků.

Pro usnadnění budeme předpokládat, že existuje pouze jediný druh kapitálového zboží K . Následně počítáme s tím, že celková zásoba kapitálu je rovná hodnotě celkové zásoby zboží, a ve výpočtech počítáme s hodnotou tohoto zboží v universální měnové jednotce USD. Pokud L je množství pracovníků, pak K/L se rovná množství kapitálu na pracovníka neboli poměr kapitál/práce.

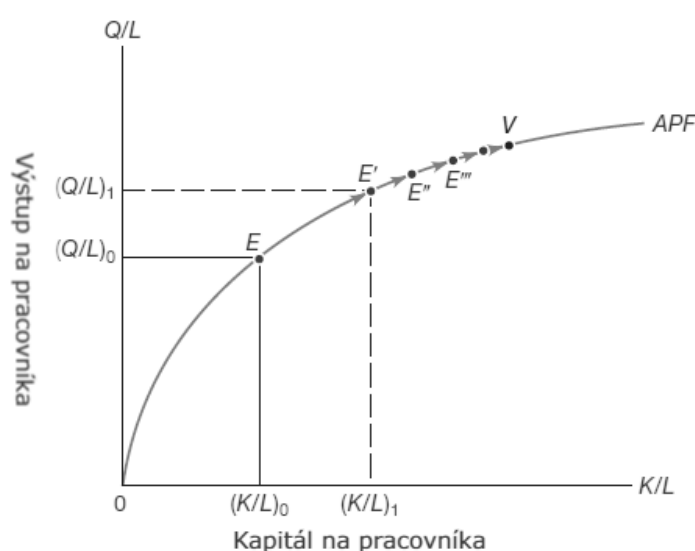
Můžeme tedy zapsat naši agregátní funkci neoklasického modelu bez technologického pokroku jako:

$$Q = F(K, L) \quad (2)$$

Zaměříme-li se opět na proces ekonomického růstu, ekonomové zdůrazňují důležitost takzvané kapitálové intenzity, což je proces, díky kterému se s postupem času zvyšuje množství kapitálu na pracovníka. Příkladem kapitálové intenzity může být farmář, který na sázení sazenic zainvestuje do mechanického stroje, namísto využívání lidského zaměstnance; stavbyvedoucí, který namísto dělníka s lopatou využije rypadlo; banka, která namísto bankéře zavede bankomat. Těmito způsoby ekonomika navyšuje objem kapitálu na pracovníka.

Následný návrat z investice do strojů a zařízení má, pro daný stav technologie, tendenci snižovat míru návratnosti kapitálu. K tomuto jevu dochází, protože ty nejdůležitější a nejhodnotnější investiční projekty jsou vyřizovány přednostně, a pozdější investice následně ztrácejí na hodnotě. Příkladem mohou být prvotní výstavby železnic či telefonních linek v hustě zabydlených oblastech. Jakmile byly tyto komunikační cesty vybudovány a zprovozněny, další investice směřovaly do rozšíření těchto sítí do řídkce obydlených oblastí. Tyto pozdější investice pak tedy mají tendenci mít menší návratnost než investice úvodní, protože investice úvodní byly více průlomové a poskytovaly větší navýšení produktu. S nastupující kapitálovou intenzitou následně rostou i mzdy pracovníků, jelikož s rostoucím kapitálem má každý pracovník více kapitálu, s kterým může zacházet, a tudíž roste i jeho mezní produkt. Výsledkem toho všeho je rostoucí konkurenceschopná mzdová sazba pro pracovníky, a s tím i rostoucí mezní produkt práce.

Kapitálová intenzita se tedy objevuje tehdy, když kapitál roste rychleji než pracovní síla. Absence technologického pokroku a inovací má za následek růst produktu na pracovníka, růst mezního produktu práce a růst reálné mzdy. Toto vše následně vede ke snižujícím se výnosům z kapitálu, a tedy ke snižující se míře návratnosti kapitálu.



Obrázek 2 Ekonomický růst skrz prohlubování kapitálu. Zdroj grafu: Samuelson, 2010.

Výše přiložený graf ukazuje, jak s rostoucím kapitálem na pracovníka (osa X) roste i výstup na pracovníka (osa Y). Mějme na paměti, že všechny ostatní proměnné

probírané dříve, jimiž jsou kvalita lidských zdrojů, technologie a přírodní zdroje, jsou nyní „zmrazeny“, a jsou konstantní.

S rostoucím kapitálem, jenž ekonomika akumuluje, má každý pracovník k dispozici větší množství kapitálu pro vlastní využití – křivka agregátní produkční funkce se posouvá nahoru a doprava. Poměr kapitál/práce $(K/L)_0$ se posouvá do $(K/L)_1$, a posouvá se i množství výstupu na pracovníka z $(Q/L)_0$ do $(Q/L)_1$. S rostoucím kapitálem se snižují výnosy z kapitálu, a tedy i míra návratnosti kapitálu se zpomaluje. Grafu ukazuje, že s rostoucím kapitálem na pracovníka se sklon křivky, jež představuje mezní produkt kapitálu, zmenšuje a zpomaluje.

Zajímavé je, že pokud by měl z nějakého důvodu kapitál z ekonomiky ubývat, bude se zvyšovat i jeho návratnost. Příkladem může být válka, která snižuje množství pracovní síly a zásobu kapitálu. Po válkách můžeme být svědky nedostatku kapitálu, a tedy i jeho vysoké návratnosti (Samuelson, 2010).

3.3.1. Dlouhodobý ustálený stav

Co by se tedy stalo s modelem, ve kterém chybí technologické inovace a pokrok? Model by s postupem času začal stagnovat, poměr kapitál/práce přestane růst, kapitálová intenzita ustane, mzdové sazby přestanou růst, a výnosy z kapitálu a skutečné úrokové sazby se stanou neměnnými. Příklad ustáleného stavu můžeme vidět na obrázku 2, kde se s akumulací kapitálu posouváme po křivce doprava, až se nakonec dostaneme do bodu V, kde poměr kapitál/práce a reálné mzdy přestávají růst. Výstup na pracovníka je zde již konstantní.

Bez technologického vývoje, výstup na pracovníka a mzdy stagnují. Neoklasický model nám tedy ukazuje, že pokud ekonomika postrádá inovaci technologií, a vsází pouze na hromadění kapitálu skrz reprodukci statků bez jakéhokoliv zdokonalení, její **životní úroveň eventuálně přestane růst** (Samuelson, 2010).

3.4. Teorie o konvergenci

Tato teorie říká, že dvě rozdílné ekonomiky se postupem času budou k sobě přibližovat, budou k sobě konvergovat. Hypotéza o absolutní konvergenci říká, že dvě rozdílné ekonomiky, které se od sebe liší pouze velikostí kapitálu a ničím jiným, se postupem času dostanou na stejnou ekonomickou úroveň (viz. kapitola 2.1.

Ekonomická síla a ekonomická úroveň). Ekonomiky budou konvergovat v kapitálu na pracovníka K/L , produktu na pracovníka Q/L a spotřebě na pracovníka. Předpoklady pro fungování konvergence je otevřenost ekonomik, mezi kterými může probíhat transfer zahraničních investic a technologií. Technologická úroveň je tak u obou ekonomik stejná. Nadále je třeba, aby obě země měly stejnou agregátní produkční funkci, stejně tak shodnou míru úspor, míru opotřebení kapitálu a stejný populační růst. Jediným rozdílem je tedy rozdílná počáteční zásoba kapitálu na pracovníka. Z toho vyplývá, že během procesu konvergence bude mít slabší ekonomika rychlejší růst jak HDP, tak i HDP per capita. Jak Samuelson zmiňuje (SAMUELSON, NORDHAUS, 2010), země, které čerpají technologie ekonomicky vyspělejších zemí, začínají konvergovat směrem právě k těmto zemím. Konvergence se tedy začíná projevovat tehdy, kdy země s nižšími příjmy začínají růst mnohem rychlejším tempem než země s příjmy vyššími.

Pokud tedy platí všechny předpoklady hypotézy, ekonomiky dospějí do stejného stabilního stavu, vyrovnají se spotřeby na obyvatele, kapitál na obyvatele i produkt na obyvatele. Nastolí se tedy stejná ekonomická úroveň u obou ekonomik.

4. Systémová dynamika

Systémová dynamika je metodologie počítačového simulování a modelování za účelem analýzy složitých nelineárních dynamických systému se zpětnými vazbami. Poskytují nám pohled na fungování komplexních systému a odhalují cenné informace, které můžeme využít pro optimalizování výkonnosti systému. Její počátky sahají do 60. let 20. století, kdy Jay W. Forrester z MIT představil první prototyp, jenž měl sloužit pro simulování problémového chování v korporátních společnostech. Model měl sloužit k navrhování a testování nových firemních pravidel a opatření, jež by vedly ke zlepšení chování ve firmách. V dnešní době se však systémová dynamika využívá nejen pro firemní účely, ale zasahuje do mnoha odvětví včetně ekonomiky.

Jak Režný a Bureš uvádí (Režný, 2018), systémová dynamika není typickým nástrojem pro modelování systémů enviromentální ekonomiky. Bylo ale již mnohokrát poukázáno na to, že využití principů systémové dynamiky může být velice výhodné, jelikož poskytuje pozorovateli cenné informace o modelovaném systému a umožňuje se na danou problematiku podívat z jiné perspektivy.

Tyto modely systémové dynamiky se tvoří identifikováním a spojováním podstatných částí struktury systému, a následným simulování chování této struktury. Opakovaným zkoumáním, testováním, upravováním a vylepšováním struktury modelu systému získáváme model, který nám může pomoci odhalit jeho problémové prvky, které můžeme následně využít pro úpravu systému reálného.

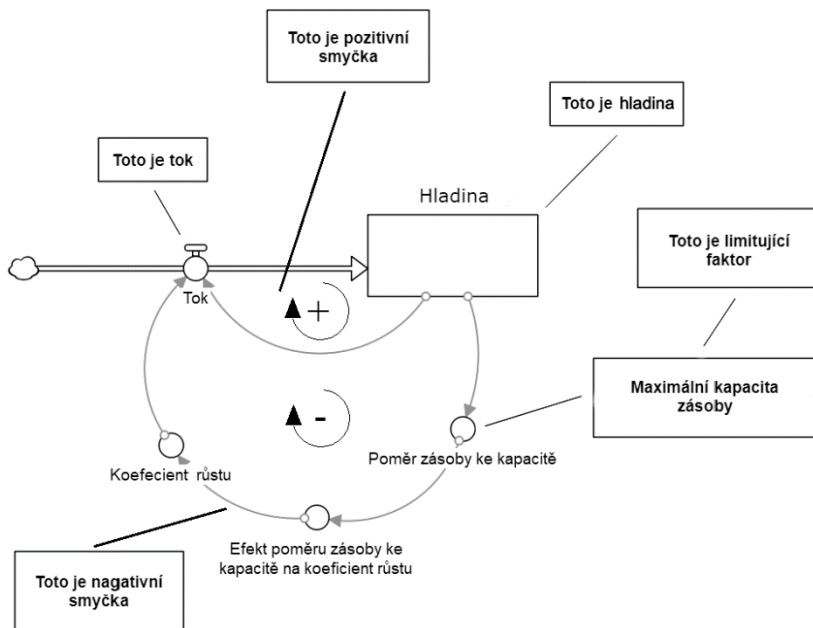
Struktura systému se z pohledu systémové dynamiky skládá z hladiny nějaké proměnné (populace, peníze, automobily), toků, zpětnovazebních smyček a omezujících činitelů. Hladiny si můžeme představit jako vany, do kterých se přičerpávají a odčerpávají proměnné skrz toky, které si naopak můžeme představit jako potrubí, skrz kterým proměnné proudí. Proces akumulace a distribuce hladin se matematicky nazývá integrace. Tento proces integrace vytváří veškeré dynamické chování ve světě, ať už se jedná o modely biologické, fyzické či socioekonomické. Příkladem pro ekonomický model může být hladina pracovní síly, kde přitékají nově zaměstnaní, a odtékají pracovníci do penze.

Zpětná vazba představuje přenos a návrat informací o objemu proměnné, která se nahromadila v hladině. Informace cestují z hladin skrz toky buďto přímo nebo nepřímo. Tento pohyb informací pak ovlivňuje rychlejší či pomalejší přítok/odtok

informací či materiálu z hladin, případně jej může úplně zastavit či jej nechat neměnným. Každá zpětnovazebná smyčka musí zahrnovat alespoň jednu hladinu, aby se předešlo případu soustav rovnic. V modelu mohou existovat dva typy zpětnovazebných smyček: pozitivní a negativní. Pozitivní smyčky způsobují sebe-posilující chování, a jsou zodpovědné za stabilní růst či úpadek systému. Negativní zpětnovazebné smyčky naopak produkují cílevědomé chování a jsou zodpovědné za stabilizování systému i jeho oscilaci. Pokud tedy negativní smyčka objeví mezeru mezi cílem hladiny a hladinou samotnou, pokusí se o nápravné chování, jenž má za cíl tuto mezeru dorovnat. Pokud se jí to podaří v určitém minoritním časovém horizontu, systém se plynule srovná a dotáhne na svoji cílovou hladinu. Pokud ovšem při nápravě dojde k výraznějším časovým zpožděním, model může přestřelit či zvolenou akci podhodnotit, a uvést model do oscilačního stavu.

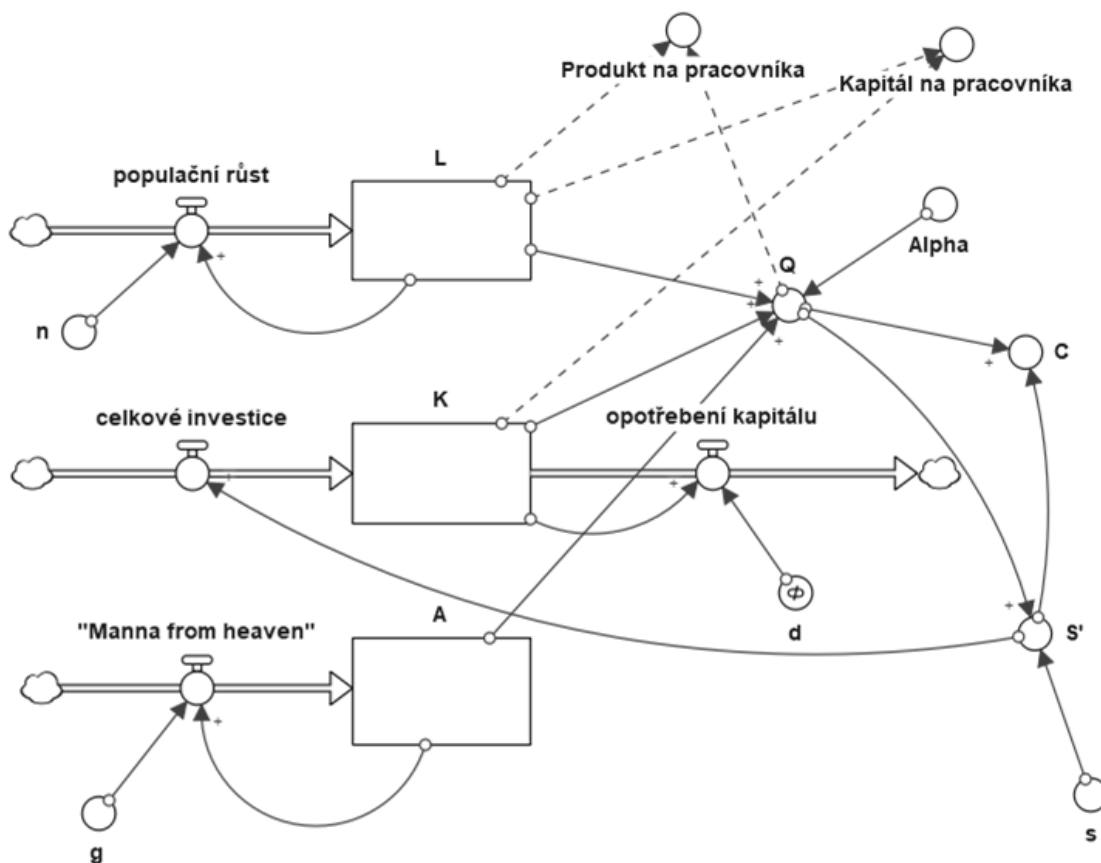
Pozitivní a negativní smyčky, z pohledu systémové dynamiky, neustále soupeří o kontrolu nad modelem. Smyčky, jež jsou v daný moment v převaze, určují, jakým směrem se bude model ubírat. Pokud je systém nelineární, dominance těchto dvou typů smyček se bude s postupem času měnit, stejně jako se hladiny přičerpávají a odčerpávají. Z tohoto pohledu může být dynamické chování ekonomiky, jako například opakující se ekonomické cykly, vysvětleno neustálým soubojem pozitivních a negativních zpětnovazebných smyček o nadvládu.

Systémová dynamika předpokládá, že hladiny jsou omezené. Nemohou tak tedy překročit nebo spadnout pod určitý limit. Při modelování systémů to však mají experti na paměti a snaží se hledat faktory, jenž omezují potencionální růst objemu informací či zboží, které mohou hladiny pojmout. Pokud se tedy při modelování systému využívá limitujících faktorů, musí být přístup systému k těmto faktorům popsán (Radzicki, 2010).



Obrázek 3 Jednoduchý model obsahující všechny komponenty systémové struktury. Zdroj: vlastní práce.

4.1. Blokové schéma



Obrázek 4 Blokové schéma modelu. Zdroj: vlastní práce.

Model využívá vlastností Cobb-Douglasovi produkční funkce, která v ekonomice zajišťuje produkci homogenního produktu. Využívá k tomu dvou výrobních faktorů, a to práce L a kapitálu K . V našem modelu nalezneme tuto metodu ve znění:

$$Q_t = A_t * K_t^\alpha * L_t^{(1-\alpha)} \quad (3)$$

Rovnice obsahuje prvek Q – celkový agregátní produkt vyprodukovaný ekonomikou, prvek K – celková kapitálová zásoba, prvek L – zásoba práce dané ekonomiky a prvek A – technologický pokrok. Pro Cobb-Douglasovu produkční funkci platí konstantní výnosy z rozsahu. Předpokládá se existence dvou ekonomických sektorů, a to firem a domácností, a dále volná substituce obou výrobních faktorů. Důležitou podmínkou je uzavřená ekonomika, díky které funguje rovnost investic a úspor.

4.1.1. Exogenní proměnné modelu

V modelu se nachází několik exogenních proměnných, které ovlivňují fungování a průběh daného systému. Těmito proměnnými jsou:

n – míra růstu populace v %

Rostoucí míra růstu populace spolu s mírou opotřebením kapitálu snižuje množství kapitálu na pracovníka. Můžeme si představit situaci, kdy dojde ke skokovému zvýšení míry růstu populace z n na n' . Při tomto skoku klesá produkt na pracovníka a také množství kapitálu, které má pracovník k dispozici. Stabilní míra růstu populace zde slouží pouze k vysvětlení celkového ekonomického produktu, jelikož navyšuje množství pracovní síly v modelu.

d – míra opotřebením kapitálu

Jelikož fungování hospodářství nemá vliv na opotřebením kapitálu, jedná se o další exogenní proměnou v modelu. Hlavním projevem míry opotřebením je snižování zásoby kapitálu. Předpokládá se, že v modelu se vyskytuje konstantní roční míra opotřebením kapitálu a opotřebením je tak úměrné zásobě kapitálu (Soukup, 2018).

s – sklon k úsporám

Model pracuje s existencí jediného druhu kapitálové statku. Můžeme tak celkovou zásobu kapitálu vyjádřit jako kvantitu statků v ekonomice. Sklon k úsporám má společně s mírou opotřebením kapitálu vliv na akumulaci kapitálu. Pokud má tedy

docházet k prohlubování kapitálu, je třeba, aby výše úspor byla vyšší než celkové opotřebení statků kapitálu.

g – míra růstu technologické úrovně

Díky růstu technologické úrovně může produkt na pracovníka růst, což zajistí neustalující se růst ekonomiky. Růst technologické inovace není v modelu vysvětlena, jelikož její vyjádření je v dnešní době stále poněkud nejasné. Z tohoto důvodu je často pojmenován i tok, který zajišťuje růst technologického pokroku a inovací, „manna from heaven“ – neboli „mana z nebes“, neboť se jeho původ těžko vysvětluje. Předpokládá se ale její konstantní růst. Zrovna tato proměnná je klíčovým činitelem, který zajišťuje dlouhodobý ekonomický růst a růst životní úrovně pro obyvatele.

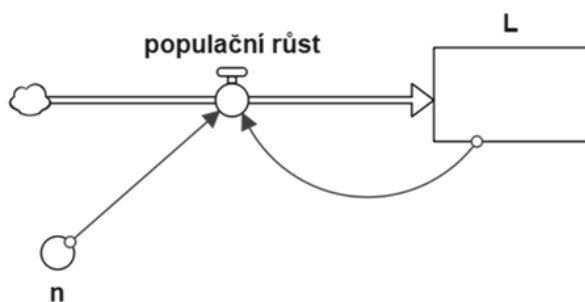
4.1.2. Hladiny

Populace

Populace roste konstantním tempem n . Populace L v čase $t+1$ se tedy rovná populaci L v čase t , vynásobené mírou růstu populace (uváděná v %) plus 1. Pokud je tedy aktuální populace 1000 osob a míra růstu populace je 0,02 (2 %), budoucí populace bude 1020.

L je hladina pracovní síly v čase t , n je míra růstu populace.

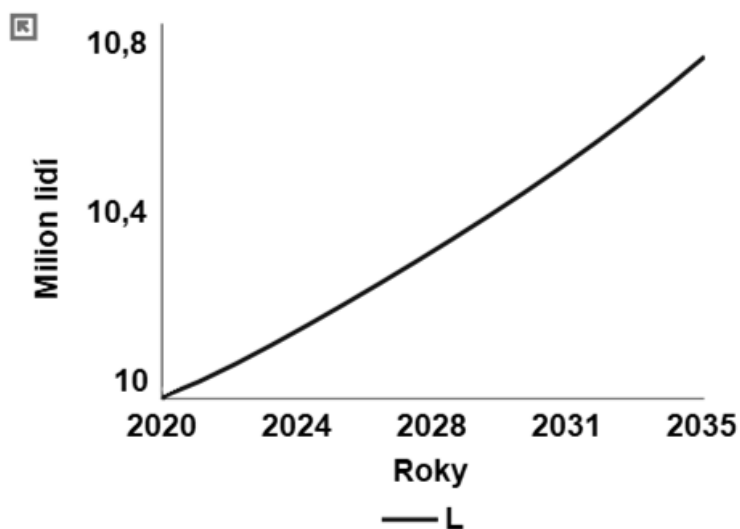
$$L_{(t)} = L_{(t-1)} * (1 + n) \quad (4)$$



Obrázek 5 Struktura populačního sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.

Parametr	Hodnota	Jednotky
Počáteční hodnota hladiny L	10	miliony lidí
Míra růstu populace n	0,005	

Tabulka 3 Parametry populačního sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.

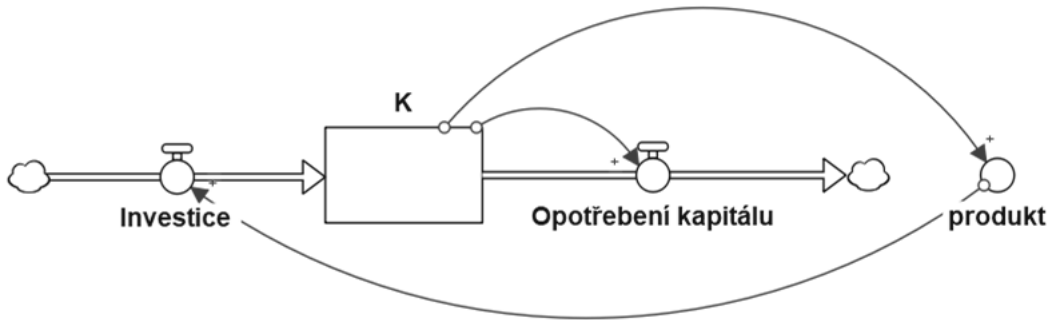


Obrázek 6 Graf růstu hladiny populace. Zdroj: vlastní práce.

Kapitál

K je hladina kapitálu v čase t , δ zastupuje opotřebení kapitálu, a I představuje investice.

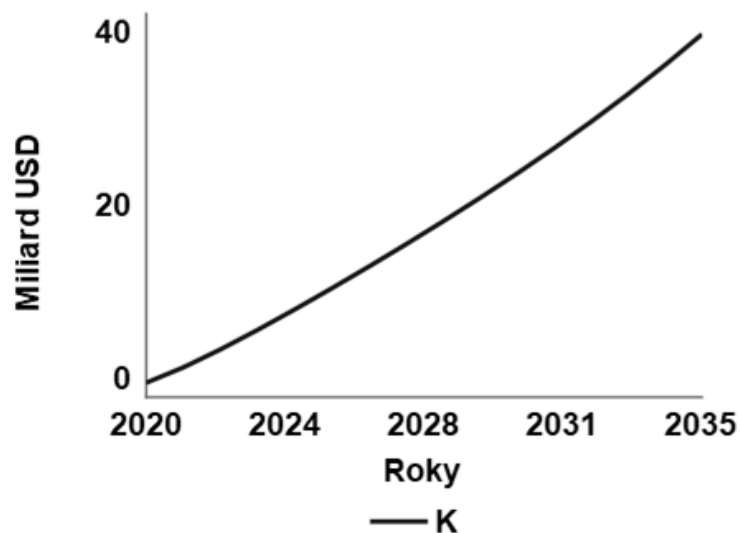
$$K_t = K_{t-1} * (1 - \delta) + I_{t-1} \quad (5)$$



Obrázek 7 Struktura kapitálového sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.

Parametr	Hodnota	Jednotky
Počáteční hodnota hladiny K	1,5	miliard USD
Míra opotřebení kapitálu d	0,02	

Tabulka 4 Parametry kapitálového sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.

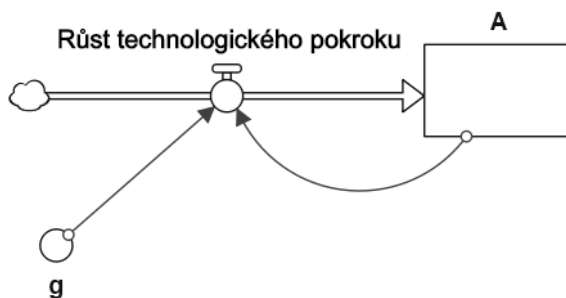


Obrázek 8 Graf růstu hladiny kapitálu. Zdroj: vlastní práce.

Technologický pokrok

A je hladina technologické úrovně v čase t , g je míra růstu technologické úrovně.

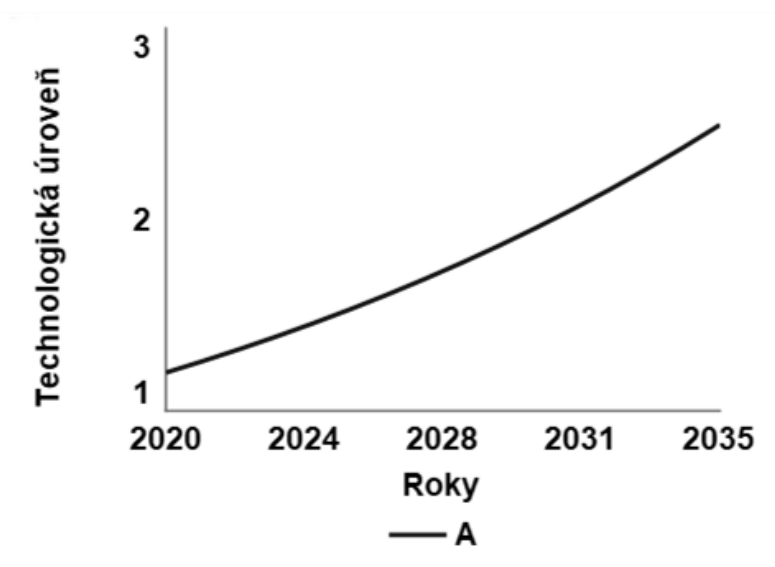
$$A_t = A_{t-1} * (1 + g) \quad (6)$$



Obrázek 9 Struktura technologického sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.

Parametr	Hodnota	Jednotky
Počáteční hodnota hladiny A	1,2	
Míra technologického růstu g	0,005	

Tabulka 5 Parametry technologického sektoru modelu. Zdroj: vlastní práce.

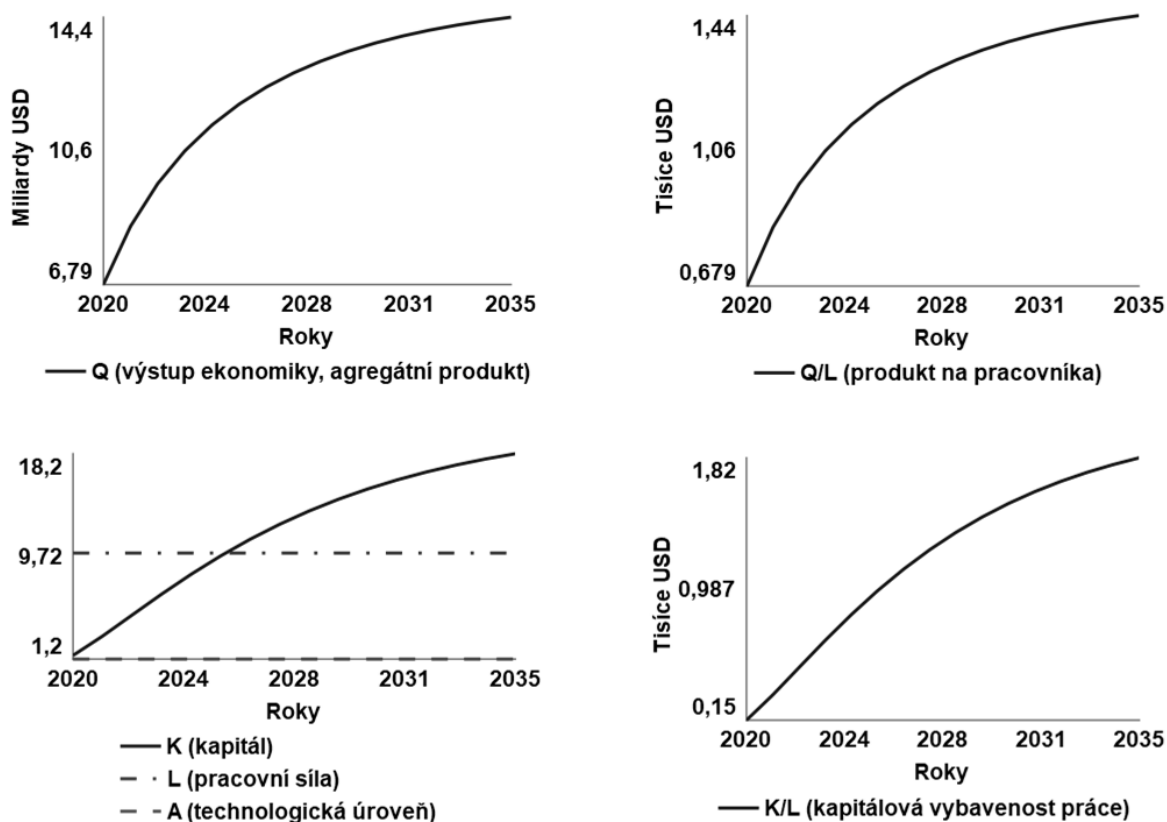


Obrázek 10 Graf růstu hladiny technologické úrovně. Zdroj: vlastní práce.

4.2. Testování funkčnosti modelu

Model byl podroben třem testům, kdy při každém průběhu mu byly nastaveny jiné hodnoty proměnných, a to konkrétně proměnných n (míra populačního růstu), která umožňuje růst populace, a g (míra růstu technologické úrovně), která umožňuje růst technologické úrovně. Bylo sledováno, jakým způsobem se v čase vyvíjel agregátní produkt Q ; hladiny kapitálu K , pracovní síly L a technologické úrovně A ; produkt na pracovníka Q/L a kapitálová vybavenost práce K/L . Je vhodné dodat, že hodnoty parametrů, které jsme použili, nereflktují žádná skutečná data a nesnaží se napodobit fungování žádné konkrétní ekonomiky. Hodnoty proměnných se nacházejí v intervalu reálně možných hodnot. Jde nám spíše o prezentaci činnosti modelu a vysvětlení jeho funkčnosti.

4.2.1. Funkčnost modelu při absenci míry růstu populace n a technologického pokroku g



Obrázek 11 Fungování modelu při absenci n a g . Zdroj: vlastní práce

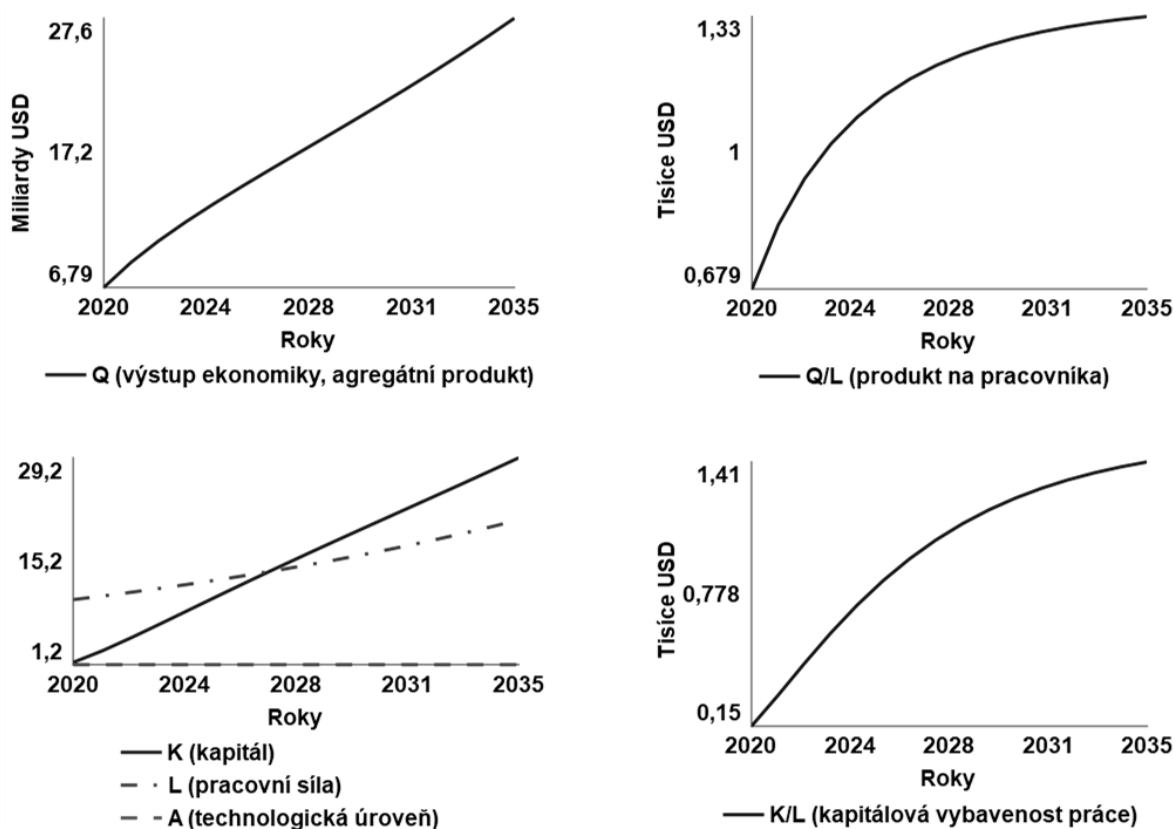
Při pohledu na grafy průběhu modelu vidíme, že při absenci růstu populace a kapitálu dochází k velice brzkému ustálení růstu agregátního produktu z důvodu

absence růstu pracovní síly, která by byla schopna dlouhodobě generovat kapitál. Díky nerostoucímu kapitálu a pracovní síle se ustálí i produkt na pracovníka a kapitálová vybavenost práce.

Parametry modelu při absenci n a g	
Parametr	Hodnota
s – sklon k úsporám	0,28
d – míra opotřebení kapitálu	0,2
n – míra růstu populace	0
g – míra růstu technologické úrovně	0

Tabulka 6 Parametry modelu při absenci n a g . Zdroj: vlastní práce.

4.2.2. Funkčnost modelu při absenci technologického pokroku g



Obrázek 12 Fungování modelu při absenci g . Zdroj: vlastní práce

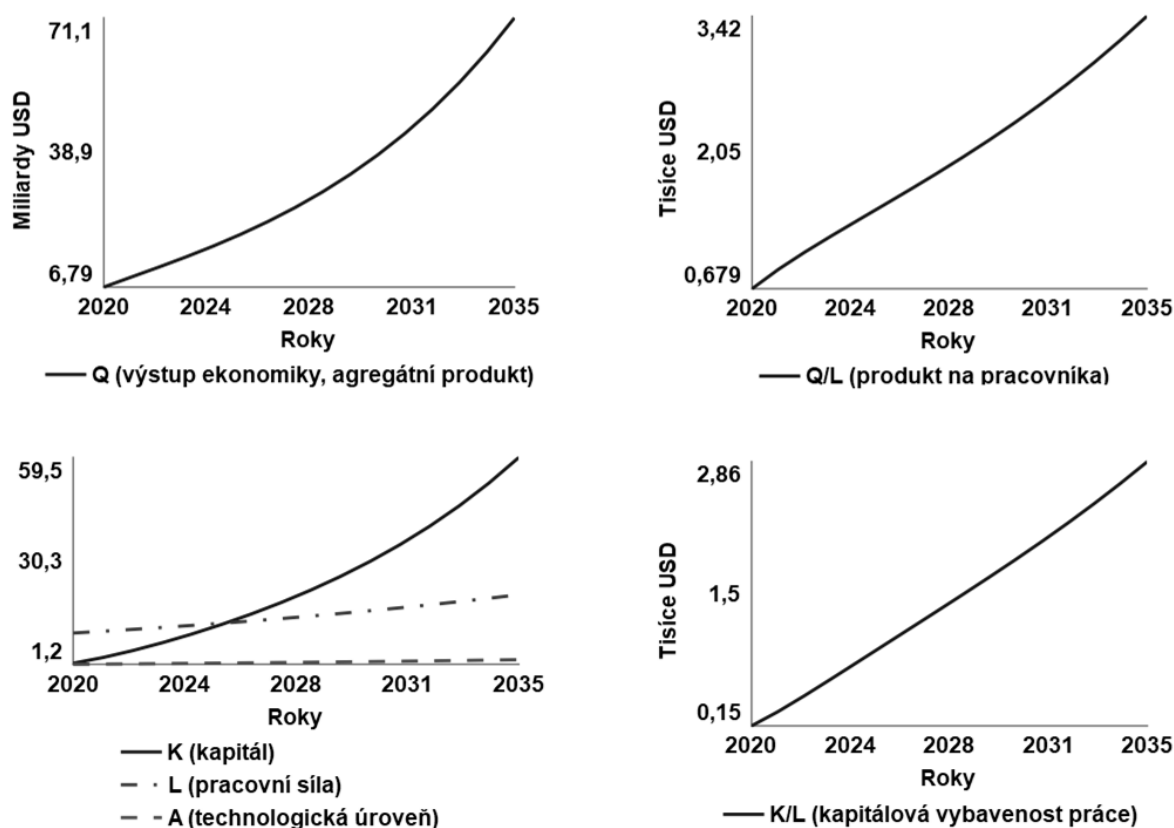
Při zapojení proměnné n , která umožňuje růst populace, můžeme spatřit růst agregátního produktu a kapitálu, ale opět ustálený stav produktu na pracovníka a kapitálové vybavenosti práce. Důvodem je růst populace, bez technologického pokroku

se však kapitál na pracovníka ustálí na hodnotě 1, tzn. že každý nový pracovník přináší pouze jednu jednotku kapitálu.

Parametry modelu při absenci n a g	
Parametr	Hodnota
s – sklon k úsporám	0,28
d – míra opotřebení kapitálu	0,2
n – míra růstu populace	0,005
g – míra růstu technologické úrovně	0

Tabulka 7 Parametry modelu při absenci g. Zdroj: vlastní práce.

4.2.3. Funkčnost modelu při zapojení všech proměnných



Obrázek 13 Fungování modelu při zapojení všech proměnných. Zdroj: vlastní práce

Při zapojení všech proměnných vidíme, že exponenciálně roste jak agregátní produkt a kapitál, tak i produkt na pracovníka a kapitálová vybavenost práce. Důvodem je zapojení míry růstu technologické úrovně, která umožňuje rozmach technologického pokroku a výzkumu, jenž jsou důvodem nezpomalujícího růstu produktu na

pracovníka. Nové technologie a inovace dovolují efektivnější využívání zdrojů a pracovní síly, což znamená že každý nový pracovník v čase $t + 1$ nám přináší vyšší kapitál než pracovník v čase t .

Parametry modelu při absenci n a g	
Parametr	Hodnota
s – sklon k úsporám	0,28
d – míra opotřebení kapitálu	0,2
n – míra růstu populace	0,005
g – míra růstu technologické úrovně	0,05

Tabulka 8 Parametry modelu při zapojení všech proměnných. Zdroj: vlastní práce.

4.3. Simulace růstu konkurenceschopné ekonomiky

V této části práce bude nasimulována situace, kdy budeme mít dva modely dvou různých ekonomik A a B, z nichž jedna bude ekonomicky silnější než ta druhá a našim cílem bude, aby slabší ekonomika dostihla ekonomiku silnější. Budeme se tedy snažit o jakousi konvergenci ekonomik, i když se nebude jednat o absolutní konvergenci, která byla popsána v teoretické části (viz. kapitola 3.4. Teorie o konvergenci). V absolutní konvergenci dochází k ustálení obou ekonomik v jednom ustáleném stavu ekonomické úrovně, kdy se vyrovná produkt na pracovníka. V tomto případě se bude model snažit o vyrovnání produktu na pracovníka, ale bude usilovat i o jeho stálý růst a vzdalování se jedné ekonomiky od druhé.

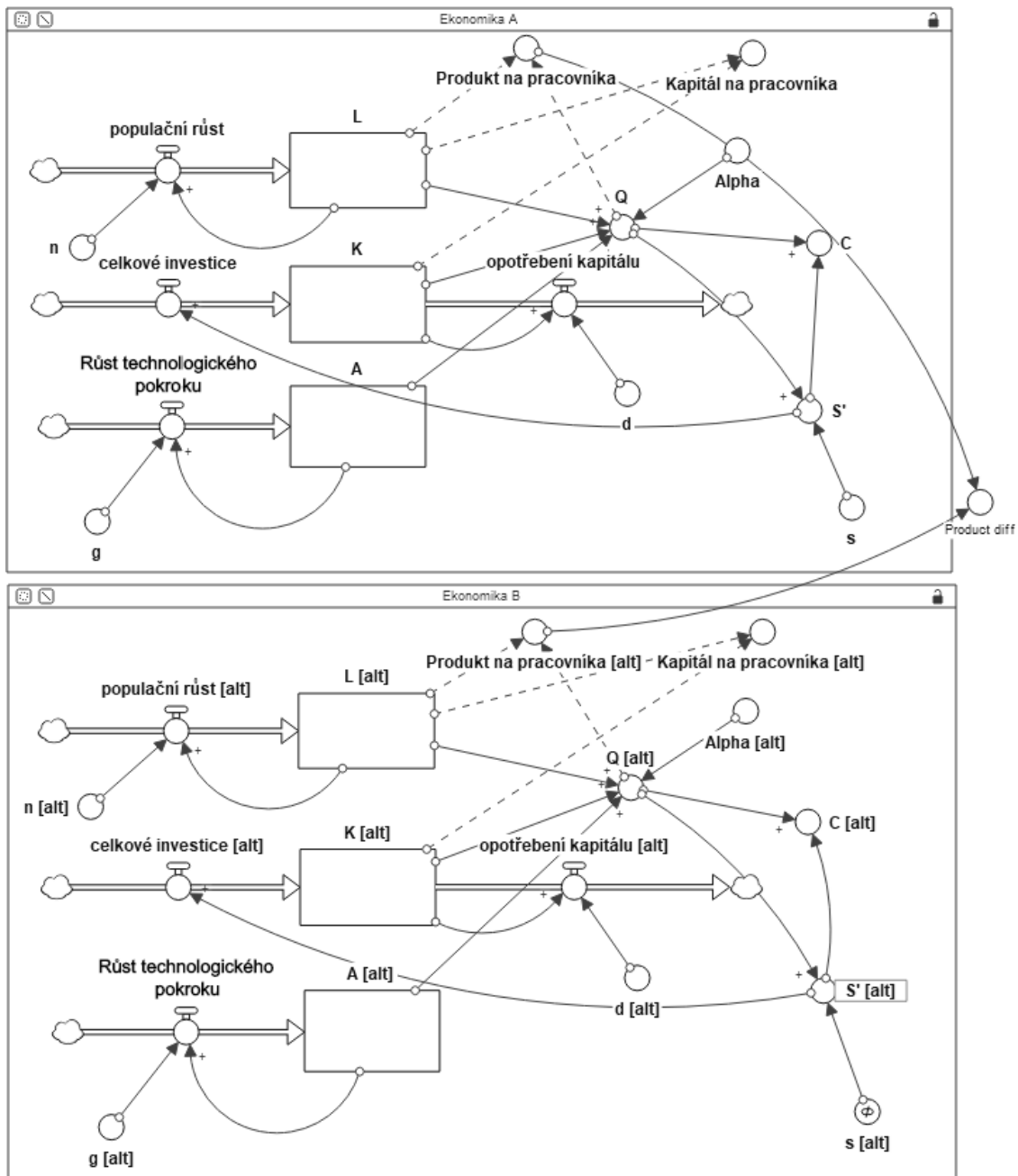
Z pohledu chudšího státu je tedy třeba se rozhodnout, která makro opatření zavést, aby se mu podařilo dosáhnout cíle dostižení silnějšího státu v produktu na pracovníka. V tomto případě se o to bude slabší stát snažit pomocí zvyšování sklonu k úsporám s .

Simulace bude probíhat v několika krocích. Prvním krokem bude vhodně zvolená parametrizace, která by mohla teoreticky odpovídat reálným modelům zemí. Je nutno poznamenat, že se nesnažíme napodobit žádný konkrétní stát. Jedná se o fiktivní země, jejichž hodnoty proměnných jsou smyšlené. Budeme se pouze snažit, aby vybrané hodnoty ležely v rozumných mezích, které by mohly odpovídat realitě. Příkladem může být míra úspor domácností, která se pohybuje přibližně v rozmezí od 5 % do 20 %.

Například v České republice míra úspor ve 4. čtvrtletí 2019 činila 13,2 % (zdroj: czso.cz).

Druhým krokem bude spuštění modelu za nastavených parametrů, kdy předpokladem je stav, ve kterém se bude silnější ekonomika té slabší stabilně vzdalovat.

Třetím krokem bude spuštění funkce optimalizace výstupu, který se v programu Stella Professional nachází. Tato optimalizační funkce spustí několik chodů modelu, snažíce se maximalizovat námi zvolenou proměnnou. Proměnnou může maximalizovat pouze pomocí upravování těch manipulačních proměnných, ke kterým umožníme přístup. Tímto způsobem to však funguje u jednoho modelu.



Obrázek 14 Blokové schéma ekonomik A a B. Zdroj: vlastní práce.

Naše simulace obsahuje dva modely ekonomik, je tedy třeba si zavést pomocnou proměnnou, jejíž fungování bude obstarávat lomená funkce.

$$1/(Q/L - Q/L [alt]) \quad (7)$$

Čím více se bude v průběhu běhu modelu rozdíl proměnných zmenšovat, tím vyšších hodnot bude lineární funkce nabývat. Tehdy optimalizační funkce pozná, že dosáhla maxima, a že právě v tomto časovém bodě se nachází doporučená hodnota modifikovatelné proměnné.

4.3.1. Parametrizace počátečního stavu

Hlavním obsahem této části bude vhodné nastavení počátečních hodnot hlavních exogenních proměnných a hladin. Při simulaci tak budeme pracovat s proměnnou s – sklon k úsporám, d – míra opotřebení kapitálu, n – míra růstu populace a g – míra růstu technologické úrovně. Také budeme upravovat hodnoty hladin L – pracovní síla/obyvatelstvo, K – kapitál a A – míra technologické úrovně. Tyto hodnoty budeme nastavovat tak, aby přibližně odpovídaly aktuálním ekonomickým trendům. To znamená, že naše dominantnější ekonomika A bude mít například nízkou hodnotu míry růstu populace, ale bude disponovat větším kapitálem. Slabší ekonomika B bude mít naopak vyšší míru růstu populace, ale nižší kapitál.

Model má nastavený časový horizont v rozmezí 2020-2035. Naším cílem je scénář, ve kterém ekonomika B dostihne ekonomiku A v roce 2030, a to konkrétně v produktu na pracovníka Q/L , který představuje životní úroveň státu.

Ekonomika A

Parametry modelu ekonomiky A	
Parametr	Hodnota
s – sklon k úsporám	0,28
d – míra opotřebení kapitálu	0,2
n – míra růstu populace	0,005
g – míra růstu technologické úrovně	0,05
L – hladina pracovní síly/obyvatelstva	10
K – hladina kapitálu	1,5
A – hladina technologické úrovně	1,2

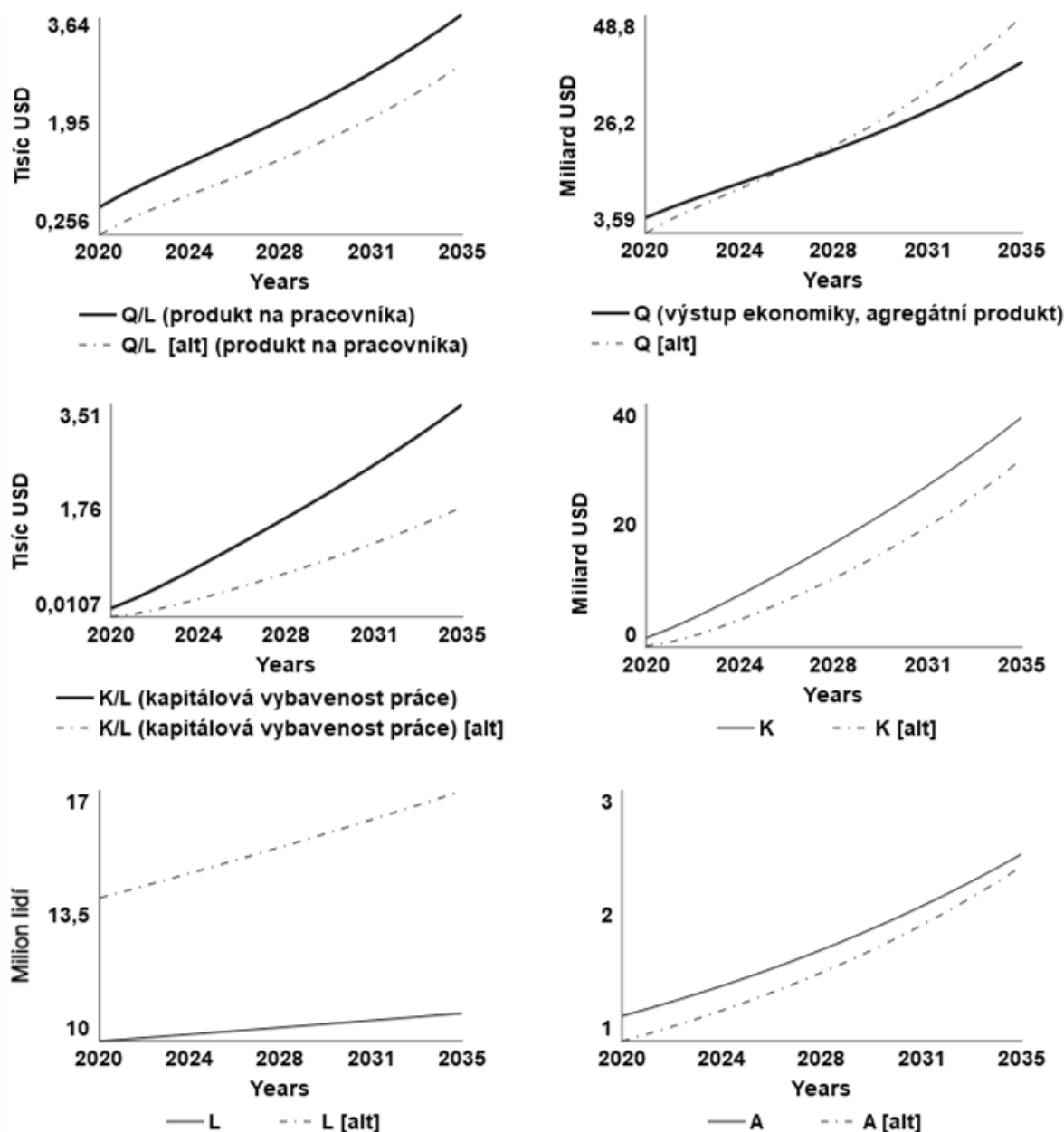
Tabulka 9 Parametry modelu ekonomiky A. Zdroj: vlastní práce.

Ekonomika B

Parametry modelu ekonomiky B	
Parametr	Hodnota
s – sklon k úsporám	0,2
d – míra opotřebení kapitálu	0,2
n – míra růstu populace	0,013
g – míra růstu technologické úrovně	0,06
L – hladina pracovní síly/obyvatelstva	14
K – hladina kapitálu	0,15
A – hladina technologické úrovně	1

Tabulka 10 Parametry modelu ekonomiky B. Zdroj: vlastní práce.

4.3.2. Výsledek po prvním spuštění modelu



Obrázek 15 Výsledné grafy obou modelů při počátečních hodnotách. Zdroj: vlastní práce.

Z výsledných grafů můžeme vidět, jakých výsledků obě ekonomiky nabývají. Je zjevné, že ekonomika A (značená plnou čarou) si počíná lépe ve většině aspektech modelu. Pouze agregátní produkt Q má ekonomika B (značena čerchovanou čarou) vyšší, což je zapříčiněno podstatně vyšší hladinou populace L , která má v agregátní funkci vysokou váhu – tedy má na agregátní produkt veliký vliv. Jinak z výsledků vidíme, že ekonomika A se ve většině aspektech ekonomice B vzdaluje. Hladina L je u ekonomiky B vyšší, a i rychleji roste, z důvodu vyšší míry růstu populace, která je pro ekonomicky slabší ekonomiky příznačná. Hladina technologické úrovně je sice u silnější ekonomiky A

vyšší, z důvodu vyšší míry růstu technologické úrovně ekonomiky B se dá podle grafu předpokládat, že hladina A u ekonomiky B bude v budoucích letech nadále růst, až ekonomiku A předstihne.

4.3.3. Parametrizace po optimalizaci modelu

Po spuštění obou modelů ekonomik jsme zjistili, že v produktu na pracovníka se bude ekonomika A ekonomice B nadále vzdalovat. Vytyčili jsme si tedy cíl, ve kterém ekonomika B předstihne ekonomiku A v produktu na pracovníka Q/L . Také jsme se rozhodli, že chceme, aby toho ekonomika B dosáhla v roce 2030.

Zadali jsme tedy potřebné údaje do optimalizačního nástroje, který program Stella Professional obsahuje. Pro fungování optimalizace bylo zapotřebí zavést lomenou funkci (7), která propojovala Q/L a $Q/L [alt]$ (značení pro alternativní model). Tato funkce slouží jako nástroj, skrz který je optimalizace proveditelná. Optimalizační nástroj je totiž nastavený tak, aby maximalizoval proměnnou, která mu je zadána. V našem případě je to právě tato funkce, respektive proměnná obsahující tuto funkci. Aby mohla optimalizace proběhnout, je třeba zadat proměnnou, se kterou může optimalizační nástroj hýbat, aby maximalizoval naši lomenou funkci. My jsme zvolili exogenní proměnnou $s [alt]$ – sklon k úsporám. Pokud by tedy ekonomika B chtěla předstihnout ekonomiku A v produktu na pracovníka v roce 2030, musela by upravit svou míru úspor tak, jak jí radí optimalizace.

Optimalizační nástroj provede námi nastavený požadovaný počet běhů modelu, a při každém pohybuje s proměnnou $s [alt]$, dokud nenajde tu správnou hodnotu, při které nabývá lomená funkce té nejvyšší hodnoty v roce 2030. Tehdy totiž ekonomika B předstihne ekonomiku A v produktu na pracovníka Q/L .

1/1 2020-Apr-19 15:21:08 "Optimization" Show All [Copy to Clipboard](#) [Remove](#)

Starting optimization "Optimization" at 2020-Apr-19 15:21:08

Method	maxiter	init_step	tolerance
Powell	5000	0,01	0,00001

Payoff:	Payoff
Action	maximize
Kind	Outcome Optimization
Element	Product diff
Weight	1
Time Range	Time 2030

Parameter:	s [alt]
min_value	0,1
max_value	0,7
scaling	0,01

	s [alt]	Payoff
Starting at	0,2	
After 19 runs	0,417783255155	1438,90919996

Finishing optimization at 2020-Apr-19 15:21:08

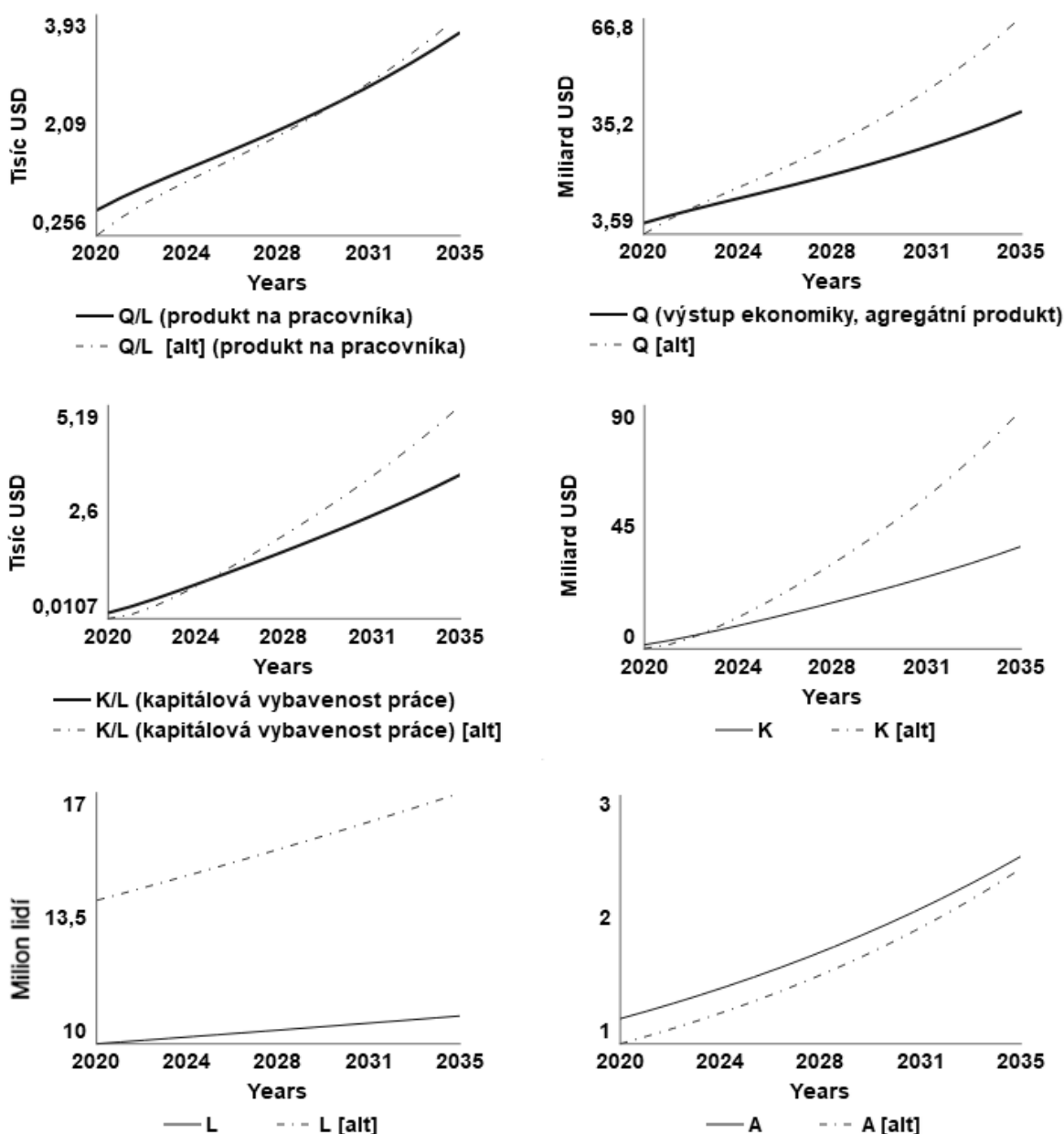
Obrázek 16 Optimizer log. Zdroj: Stella Professional.

Z optimalizačního záznamu můžeme vidět, že Stella Professional spustila náš model 19x, a jako optimální hodnotu $s [alt]$ určila 0,41 %, při kterém nabývá lomená funkce nejvyšší hodnoty 1438.

Parametry modelu ekonomiky B	
Parametr	Hodnota
s – sklon k úsporám	0,4177
d – míra opotřebení kapitálu	0,2
n – míra růstu populace	0,013
g – míra růstu technologické úrovně	0,06
L – hladina pracovní síly/obyvatelstva	14
K – hladina kapitálu	0,15
A – hladina technologické úrovně	1

Tabulka 11 Parametrizace ekonomiky B po optimalizaci. Zdroj: vlastní práce.

4.3.4. Výsledky modelů po optimalizaci



Obrázek 17 Výsledné grafy obou modelů po optimalizaci s[alt]. Zdroj: vlastní práce.

Vidíme, že po optimalizaci ekonomika B (čerchovaná čára) skutečně předstihla ekonomiku A v produktu na pracovníka v roce 2030, jak jsme optimalizačnímu nástroji zadali. Dosáhla toho díky zvýšení míry úspor z 0,2 na 0,4177. Čím vyšší je totiž míra úspor, tím více kapitálu dokáže ekonomika vyprodukovat. Současně s produktem na pracovníka vzrostl kapitál, kapitálová vybavenost práce i agregátní produkt.

Pokud by se tedy jednalo o dvě skutečné ekonomiky a ekonomika B by si vytyčila za cíl dostihnout ekonomiku A v produktu na pracovníka v roce 2030, stačilo by jí při stejných parametrech, které jsme uvedly na počátku simulace, takto zvýšit míru úspor.

5. Shrnutí výsledků

V teoretické části práce byl představen teoretický základ, o který se opírala část praktická, která převáděla tyto znalosti do systémové dynamiky. Byl představen Solow-Swanův neoklasický model ekonomického růstu s předpoklady pro jeho fungování. Po představení modelu v rámci systémové dynamiky bylo provedeno několik simulací, vždy při různém zapojení podstatných proměnných. Při vynechání míry růstu populace a míry růstu technologické úrovně (respektive jejich nastavení na hodnotu 0), bylo potvrzeno, že se zastaví růst jak celkového agregátního produktu, tak i produktu na pracovníka a kapitálu na pracovníka. Pokud následně vynecháme pouze míru technologického růstu a zapojíme populační růst, kapitál a produkt díky rostoucí pracovní síle poroste také, produkt na pracovníka a kapitál na pracovníka bude ještě nějakou chvíli růst, ale bude zpomalovat, až se nakonec zastaví na konstantní hladině. Díky absenci technologického pokroku bude kapitálová intenzita stagnovat, mzdové sazby přestanou růst a výnosy z kapitálu a skutečné úrokové sazby se stanou neměnnými. Ekonomika se dostane do ustáleného stavu (viz. kapitola 3.3.1. Dlouhodobý ustálený stav). Těmito simulacemi byla tedy funkčnost modelu potvrzena.

Cílem simulace konvergence ekonomik bylo namodelování situace, kdy slabší ekonomika poroste takovým způsobem, že v řádu deseti let dostihne a předežene ekonomiku silnější v produktu na pracovníka, tudíž se sama stane silnější ekonomikou. Simulace tohoto scénáře byla úspěšná, z důvodu použití sklonu k úsporám s . Optimalizace sice navrhla zvýšení míry úspor na hodnotu 0,4177 (41,7 %), což je značně vysoká hodnota, stále se však nachází v rozmezí, které je reálné a za určitých okolností proveditelné. Takto vysoká míra úspor by byla také velice přívětivá pro okolní ekonomiky a mohla by tak přilákat zahraniční investory. Díky této hodnotě byla ekonomika B schopna dohnat svého konkurenta, jelikož s jejím využitím byla schopna naakumulovat potřebné množství kapitálu, který společně s hladinou lidských zdrojů a technologické úrovně umožnil navýšit hodnotu produktu na pracovníka na úroveň, která byla vyšší než úroveň ekonomiky vzorové.

6. Závěry a doporučení

Práce pokryla teoretické základy ekonomického růstu a neoklasického modelu, který byl následně převeden do systémové dynamiky, otestován, a ověřen, že se chová podobným způsobem, jako to je popsáno v učebnicích. Nejdříve byla testována funkčnost modelu samotného při zapojení různých proměnných, kdy model vykazoval různé chování a výsledky. Zde byla potvrzena důležitost růstu technologické úrovně, bez které by ekonomika začala postupně zpomalovat, až by se nakonec zastavil růst produktu na pracovníka či kapitál na pracovníka.

V teoretické části byla také představena ekonomická úroveň a ekonomická síla, která současně s hypotézou o konvergenci nastínila cestu, kterou se ubíral další úsek praktické části, kde jsme usilovali o simulaci konvergence dvou ekonomik. Cílem bylo ukázat využití modelu jako nástroje pro makroekonomickou politiku, kdy díky vhodné úpravě míry úspor lze dosáhnout žádaného cíle, o který se politická reprezentace daného státu snaží. Vypracování modelu ekonomického růstu v aplikačním softwaru Stella tak představovalo inženýrské zaměření mého oboru. Složkou managementu bylo navrhnutí dvou různě vyspělých ekonomik a vytyčení si cíle, při kterém slabší ekonomika dosáhne stejné úrovně produktu na pracovníka za pomoci změny míry úspor. K tomuto účelu je zde mnou vypracovaný model, který nastiňuje možné využití neoklasického modelu jako nástroje managementu, a díky jehož doporučením je možné vytyčených cílů dosáhnout.

I když byl cíl naplněn, je třeba připomenout, že v našem případě se jedná pouze o simulaci neoklasického modelu, který sice poměrně dobře mapuje průběh simulace, model ale nemá přesnou kalibraci na reálná data. Skutečnost je jiná a obsahuje mnohem více proměnných, které se v našem modelu nenacházejí. Jedná se pouze pomůcku, která nám pomáhá se v daném problému zorientovat a ujasnit si, jak by se ekonomiky mohly chovat, aby dosáhly podobných výsledků. Tohoto by tak mohlo být v budoucnu využito například v mé magisterské práci, která by měla za cíl tento model zdokonalit, rozšířit ho o další opomenuté proměnné a zkalibrovat ho na reálná data.

Tento model by mohl také nalézt využití jako edukační pomůcka při výuce předmětu MAEK II, ve kterém se tato problematika probírá. Naše univerzita však má zakoupenou pouze Stellu Professional, která umožňuje pouze systémové modelování a jeho simulaci. Pro výuku by byla mnohem vhodnější Stella Architect, která nabízí nejenom uživatelské rozhraní, díky kterému by byla úprava parametrů mnohem intuitivnější. Věřím, že její přínos by ocenily jak studenti, tak i vyučující.

7. Seznam použité literatury

- 1) MADDISON, Angus. *Phases of capitalist development*. New York: Oxford University Press, 1982. ISBN 0198284519.
- 2) RADZICKI, Michael. (2010). System Dynamics and Its Contribution to Economics and Economic Modeling. 10.1007/978-1-4419-7701-4_39.
- 3) REŽNÝ, Lukáš a Vladimír BUREŠ. Adding Feedbacks and Non-Linearity to the Neoclassical Growth Model: A New Realm for System Dynamics Applications. *Systems*. 2018, 6(2), 4. DOI: 10.3390/systems6020008. ISSN 2079-8954. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2079-8954/6/2/8>
- 4) SAMUELSON, Paul A. a William D. NORDHAUS. *Economics*. 19th ed. Boston: McGraw-Hill Irwin, c2010. ISBN 978-0-07-351129-0.
- 5) SOUKUP, Jindřich, Vít POŠTA, Pavel NESET a Tomáš PAVELKA. *Makroekonomie*. 3. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-7261-537-7.

8. Přílohy

8.1. Rovnice a proměnné modelu

Příloha č. 1

```
Product_diff = 1/( IF("Produkt_na_pracovníka_[alt]"-Produkt_na_pracovníka=0)THEN  
1 ELSE("Produkt_na_pracovníka_[alt]"-Produkt_na_pracovníka) )
```

Alternativní ekonomika:

```
"A_[alt]"(t) = "A_[alt]"(t - dt) + ("růst_techologického_pokroku_[alt]") * dt {NON-  
NEGATIVE}
```

```
INIT "A_[alt]" = 1
```

```
UNITS: Technologická úroveň
```

```
INFLOWS:
```

```
"růst_techologického_pokroku_[alt]" = "g_[alt]"*"A_[alt]" {UNIFLOW}
```

```
UNITS: Technologická úroveň/Roky
```

```
"Alpha_[alt]" = 0,3
```

```
"C_[alt]" = "Q_[alt]" - "S'_[alt]"
```

```
"d_[alt]" = 0,2
```

```
UNITS: procent
```

```
"g_[alt]" = 0,06
```

```
UNITS: procent
```

```
"K_[alt]"(t) = "K_[alt]"(t - dt) + ("celkové_investice_[alt]" - "opotřebením_kapitálu_[alt]" )  
* dt {NON-NEGATIVE}
```

```
INIT "K_[alt]" = 0,15
```

```
UNITS: Miliard USD
```

```
INFLOWS:
```

```
"celkové_investice_[alt]" = "S'_[alt]" {UNIFLOW}
```

```
UNITS: Miliard USD/Roky
```

```
OUTFLOWS:
```

```
"opotřebením_kapitálu_[alt]" = "d_[alt]"*"K_[alt]" {UNIFLOW}
```

```
UNITS: Miliard USD/Roky
```

```
"Kapitál_na_pracovníka_[alt]" = "K_[alt]" / "L_[alt]"
```

```
"L_[alt]"(t) = "L_[alt]"(t - dt) + ("populační_růst_[alt]") * dt {NON-NEGATIVE}
```

```
INIT "L_[alt]" = 14
```

```
UNITS: Milion lidí
```

```
INFLOWS:
```

```
"populační_růst_[alt]" = "n_[alt]"*"L_[alt]" {UNIFLOW}
```

```
UNITS: Milion lidí/Roky
```

```
"n_[alt]" = 0,013
```


UNITS: procent

$$\text{"Produkt_na_pracovníka_["alt]} = \text{"Q_["alt]} / \text{"L_["alt]}$$

$$\text{"Q_["alt]} = \text{"A_["alt]} * (\text{"K_["alt]}^{\text{"Alpha_["alt]}}) * (\text{"L_["alt]}^{(1-\text{"Alpha_["alt])})}$$

$$\text{"s_["alt]} = 0,417783255154541$$

UNITS: procent

$$\text{"S'_["alt]} = \text{"s_["alt]} * \text{"Q_["alt]}$$

Zkoumaná ekonomika:

$$A(t) = A(t - dt) + (\text{růst_technologického_pokroku}) * dt \text{ {NON-NEGATIVE}}$$

$$\text{INIT } A = 1,2$$

UNITS: Technologická úroveň

INFLOWS:

$$\text{růst_technologického_pokroku} = g * A \text{ {UNIFLOW}}$$

UNITS: Technologická úroveň/Roky

$$\text{Alpha} = 0,3$$

$$C = Q - S'$$

$$d = 0,2$$

UNITS: procent

$$g = 0,05$$

$$\text{INIT } g = 0,01$$

UNITS: procent

$$K(t) = K(t - dt) + (\text{celkové_investice} - \text{opotřeben_{i}kapitálu}) * dt \text{ {NON-NEGATIVE}}$$

$$\text{INIT } K = 1,5$$

UNITS: Miliard USD

INFLOWS:

$$\text{celkové_investice} = S' \text{ {UNIFLOW}}$$

UNITS: Miliard USD/Roky

OUTFLOWS:

$$\text{opotřeben_{i}kapitálu} = d * K \text{ {UNIFLOW}}$$

UNITS: Miliard USD/Roky

$$\text{Kapitál_na_pracovníka} = K/L$$

$$L(t) = L(t - dt) + (\text{populační_růst}) * dt \text{ {NON-NEGATIVE}}$$

$$\text{INIT } L = 10$$

UNITS: Milion lidí

INFLOWS:

$$\text{populační_růst} = n * L \text{ {UNIFLOW}}$$

UNITS: Milion lidí/Roky

$$n = 0,005$$

UNITS: procent

$$\text{Produkt_na_pracovníka} = Q/L$$

$$Q = A * (K^{\text{Alpha}}) * (L^{(1-\text{Alpha})})$$

$$s = 0,28$$

UNITS: procent

$$S' = s*Q$$

{ The model has 35 (35) variables (array expansion in parens).

In root model and 0 additional modules with 2 sectors.

Stocks: 6 (6) Flows: 8 (8) Converters: 21 (21)

Constants: 10 (10) Equations: 19 (19) Graphicals: 0 (0)

}

9. Zadání práce



Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu

Zadání bakalářské práce

Autor: Marek Petr

Studium: I1700562

Studijní program: B6209 Systémové inženýrství a informatika

Studijní obor: Informační management

Název bakalářské práce: Solow-Swanův model dlouhodobého ekonomického růstu

Název bakalářské práce Solow-Swan growth model

AJ:

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Cíl Představit neoklasický model ekonomického růstu, vypracovat jej jako dynamický systém v softwaru Stella Professional a ukázat jeho využití jako nástroje managementu aplikovaného na problém hospodářského rozvoje. Osnova: 1) Úvod, Ekonomický růst, Teorie ekonomického růstu 2) Systémová dynamika, Vysvětlení její funkčnosti, Zpracování modelu jako dynamického systému v SW Stella 3) Analýza dynamiky modelu pomocí simulačních scénářů, hypotéza o konvergenci 4) Shrnutí výsledků, závěr, Závěry a doporučení, hodnota práce pro pochopení funkce modelu ve výuce Makroekonomie

1) MADDISON, Angus. Phases of capitalist development. New York: Oxford University Press, 1982. ISBN 0198284519. 2) RADZICKI, Michael. (2010). System Dynamics and Its Contribution to Economics and Economic Modeling. 10.1007/978-1-4419-7701-4_39. 3) REŽNÝ, Lukáš a Vladimír BUREŠ. Adding Feedbacks and Non-Linearity to the Neoclassical Growth Model: A New Realm for System Dynamics Applications. Systems. 2018, 6(2), 4. DOI: 10.3390/systems6020008. ISSN 2079-8954. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2079-8954/6/2/8> 4) SAMUELSON, Paul A. a William D. NORDHAUS. Economics. 19th ed. Boston: McGraw-Hill Irwin, c2010. ISBN 978-0-07-351129-0. 5) SOUKUP, Jindřich, Vít POŠTA, Pavel NESET a Tomáš PAVELKA. Makroekonomie. 3. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-7261-537-7.

Garantující pracoviště: Katedra ekonomie,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Režný, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 15.10.2018