

**Zařazení a název:** Lekce 8: Teoretický výzkum

**Autor (resp. autoři):** Michal Kvasnička, Miroslav Hloušek

**Datum vygenerování dokumentu:** Pá 3. listopad 2017, 14:07:23 CET

**Upozornění:** Obsahem tohoto dokumentu je část učebního textu e-learningového kurzu Akademické psaní, která byla vybrána a automaticky převedena z interaktivní osnovy z IS MU za účelem usnadnění tisku a možnosti studia v elektronických čtečkách typu Kindle, iPad apod. Přestože je naší snahou, aby se tento dokument po obsahové stránce v maximální možné míře shodoval se zdrojovou osnovou, nelze vyloučit, že při převodu mohlo dojít ke ztrátě či „zašumění“ některých publikovaných informací, nevykreslení některých obrázků či speciálních symbolů, rozhození formátování a podobným neduhům v důsledku automatického převodu. V případě nejasností je nutné správnost zobrazovaných informací ověřit přímo v příslušné interaktivní osnově v IS MU. V podobném duchu je žádoucí nahlédnout do osnovy v IS MU v případě citovaných zdrojů – úplný seznam literatury není součástí tohoto dokumentu. Tento dokument byl vytvořen **výhradně** pro studenty kurzu Akademické psaní a bez souhlasu autora **není povoleno jej šířit** třetím osobám.

# 1 Teoretický výzkum

*Autorem této části je Michal Kvasnička*

Synonymem pro slovo teorie je v moderní ekonomii model. **Model** je zjednodušená reprezentace reality. Je to metafora nebo analogie toho, jak skutečný svět funguje. V modelu se snažíme zaměřit na podstatné rysy zkoumaného systému a zanedbat vše, co podstatné není. Svět je totiž složitý a probíhá v něm příliš mnoho jevů současně. Můžeme mít problém rozeznat, které jevy probíhají pravidelně a které jsou náhodné, a co je příčina a co následek. Jednou z možností, jak se ve světě vyznat, tedy je nezkoumat skutečný svět, nýbrž umělý zjednodušený svět, který vidíme z boží perspektivy, ve kterém vše známe a který můžeme dokonale kontrolovat. Model je právě takovým umělým světem. Jsou to Petriho misky ekonomie, ve kterých můžeme experimentovat s jevy, které v realitě nemůžeme ovládat a často ani přímo pozorovat.

Lidé pracují s modely ve všech oblastech své činnosti. Při cestování používáme mapu, tj. grafický model krajiny. Architekti vytvářejí modely budov, které navrhují, aby mohli lépe posoudit jejich vzhled. Letečtí inženýři testují tvary letadel v aerodynamickém tunelu, aby si na malém modelu letadla nebo jeho části ověřili to, co by bylo příliš nákladné a nebezpečné ověřovat na skutečném letadle s lidskou posádkou. Vlastně každé obecné tvrzení o tom, jak svět funguje, je model. Pokud např. někdo řekne, že po dešti je mokro, říká tím, že má představu (tj. model) o tom, co se při dešti děje, a na základě tohoto modelu předpovídá, že po dešti budou chodníky mokré. Všichni lidé, kteří se k něčemu vyjadřují, mají nějaký model. Jedinou otázkou je, nakolik je jejich model promyšlený a nakolik odpovídá realitě.

Hlavní výhodou formálního modelování je, že svůj model vyjádříme explicitně, takže ho můžeme vědomě promýšlet do všech důsledků. Můžeme také kontrolovat, zda z našich předpokladů skutečně plynou ty závěry, o kterých se domníváme, že z nich plynou. Můžeme také relativně snadno představit model jiným lidem. Můžeme jej ověřit (nebo spíše falzifikovat) tím, že porovnáme předpovědi našeho modelu s pozorovanými fakty.

Jak ukazuje výše uvedený seznam příkladů, modely mohou mít různou podobu: mohou být čistě slovní, mohou mít podobu fyzického objektu nebo být podány jazykem matematiky. Do poslední kategorie patří nejen modely popsané pomocí soustav rovnic, ale také grafické modely a simulace. V moderní ekonomii je nejobvyklejší formou modelu matematický model ve tvaru soustavy rovnic. Výhodou takového modelu je, že je naprosto explicitní a formální. Jeho předpoklady jsou naprosto zřejmé, protože jsou řečeny výslovně a přesně. Jaké důsledky z modelu plynou, lze zjistit čistě formálními matematickými úpravami. Každý nezaujatý člověk může odvození modelu kdykoli zkontrolovat. Model má tvar, který umožňuje jeho kalibraci či odhad, tj. nastavení parametrů modelu tak, aby odpovídal skutečně pozorovaným datům. Kalibrovaný či odhadnutý model lze pak použít pro ověření hypotéz či pro získání předpovědí. Kromě testování a získávání předpovědí uvádí Epstein (2008) ještě šestnáct dalších důvodů pro tvorbu explicitních modelů, mezi jinými vysvětlení, návod na sběr dat pro empirický výzkum a objevení nových otázek.

Modely mohou být různě detailní podle účelu, jakému mají sloužit. Mohou být velmi jednoduché (ideové), pokud mají pouze ukázat, jak fungují základní vztahy mezi veličinami, které nás zajímají. Nebo mohou být velmi složité, pokud jsou určeny k tvorbě kvantitativních předpovědí. V každém případě není model cílem sám o sobě, ale je nástrojem, jak získat odpověď na zvolenou výzkumnou otázku. Stejně jako se pro různé účely hodí různé mapy, tak ani žádný model není ten „správný“ – pouze se více či méně hodí ke zkoumání dané otázky. Obecně platí, že naším cílem je vytvořit nejjednodušší model, který vystihne ty jevy, které nás zajímají a které pozorujeme v reálném světě. Složitější model není nutně výhodou. Model, který by byl stejně složitý jako realita, by nám neumožnil ničemu porozumět, protože bychom se v něm vyznali stejně málo jako ve skutečném světě. Vždy proto začínáme jednoduchými modely a další vlastnosti, proměnné a vazby přidáváme pouze tehdy, když model neodpovídá dobře pozorovaným datům.

Hlavní nevýhodou formálního modelování je to, že není jasné, jak model odpovídá skutečnému světu. Pokud se např. v modelu vyskytuje proměnná  $M$ , není jisté, že tato proměnná jakkoli odpovídá penězům ve skutečném světě. Každý model také stojí na určitém souboru předpokladů. Ekonomové většinou nepožadují, aby tyto předpoklady byly zcela realistické, protože takové modely by byly zbytečně složité (Friedman, 1997). Na druhou stranu pak však není jisté, že tyto předpoklady generují správné předpovědi. Navíc předpovědi modelu mohou být správné, ale kvantitativně nevýznamné. Z tohoto důvodu je nutné modely empiricky testovat.

Podívejme se nyní na to, jak se ekonomické modely vytvářejí. Budeme zde mluvit o mikroekonomických a makroekonomických modelech. To však neomezuje jejich použití jen na oblast čisté mikroekonomie a makroekonomie. Mikroekonomické modely se používají všude tam, kde se zajímáme o dílčí rovnováhu. Jejich použití je tedy typické v marketingu, financích, veřejné ekonomii a v mnoha dalších oblastech. Makroekonomické modely se používají ke zkoumání chování ekonomiky jako celku a jsou tedy využitelné nejen v čisté makroekonomii, ale i všude tam, kde nás zajímá, jak se bude v budoucnu vyvíjet ekonomika jako celek, tedy předně ve financích a veřejné ekonomii, ale i pro strategické plánování velkých firem, jako jsou energetické společnosti, automobilky apod.

## 1 Tvorba klasického mikroekonomického modelu

Mikroekonomické modely mají většinou velmi jednoduchou strukturu. V mikroekonomickém modelu vždy existují nějakí agenti (hráči). Ti chtějí dosáhnout nějakých cílů a mají k dispozici nějaké prostředky. Jejich možnosti jednat jsou určitým způsobem omezené jejich vybavením, stavem světa či chováním ostatních agentů. Prvním krokem analýzy je určit agenty, kteří jsou pro daný problém významní, a jejich cíle, omezení a možné strategie chování. Pak odvodíme optimální strategie chování jednotlivých agentů při daném chování ostatních agentů. Druhým krokem je výpočet rovnováhy, tj. stavu, ve kterém je jednání agentů jednak z jejich hlediska optimální, jednak vzájemně slučitelné. Třetím krokem je zkoumání vlastností modelu. Typicky se zkoumá, nakolik jsou výsledky robustní, tj. jak se mění, když změním parametry modelu, a jak se změní jedna veličina, pokud změním jinou veličinu.

Tento postup všichni znáte z kurzů mikroekonomie. Řekněme, že nás zajímá citlivost ceny zmrzliny na změnu v důchodech spotřebitelů. Nejdříve si určíme agenty. Těmi jsou zde domácnosti, které zmrzlinu kupují, firmy, které ji vyrábějí, a firmy, které vyrábějí jiné statky. Z preferencí a důchodu domácností odvodíme optimální reakci domácností, tj. jejich poptávkové křivky. Z nich spočítáme křivku tržní poptávky. Podobně odvodíme optimální reakce firem, tj. jejich nabídkové křivky, a z nich spočítáme křivku tržní nabídky. Z tržní nabídky a tržní poptávky spočítáme rovnovážný objem produkce a rovnovážnou cenu jako funkce parametrů modelu. Citlivost tržní ceny zmrzliny pak zjistíme snadno jako derivaci této ceny podle důchodu domácností.

V mikroekonomii je většinou cílem mít model co nejjednodušší – aby v něm zbyly pouze ty faktory, které jsou pro zkoumaný jev nejdůležitější. Velká část práce na modelu tedy spočívá ve zjednodušování.

Pokud vás toto téma zaujalo, přečtěte si:

- VARIAN, H. *How to Build an Economic Model in Your Spare Time*. Berkeley: University of California, 1997.

- LIPSEY, R. G. *Positive Economics*, 1992, kap. 1-4.

Pro matematické výpočty můžete použít některý CAS (computer algebra system). Přímo se zde nabízí Maple či MuPAD, který je součástí novějších verzí Matlabu. Skvělá je i Mathematica; je však velmi drahá a univerzita na ni nemá na rozdíl od Matlabu a Maple licenci. Existují i volně šiřitelné ekvivalenty, jako je Maxima a její grafický frontend wxmaxima. Pro numerické výpočty se hodí např. Matlab či jeho volně šiřitelná obdoba Octave.

## 2 Tvorba multiagentového modelu

Multiagentové (*agent-based computational*) modely jsou podobné klasickým mikroekonomickým modelům. Rozdílem je, že agenti zde mají podobu softwarových robotů. Nejsou tedy popsáni rovnicemi a výrazy, jejichž maximum či minimum se hledá, nýbrž kusem počítačového kódu. Typické využití je mikroekonomické, nicméně existují i pokusy o multiagentové makroekonomické modely.

Multiagentové modely mají několik výhod. Je velmi snadné pracovat s heterogenními agenty (agenti se mohou v modelu libovolně lišit). Je snadné do modelu vnést faktory jako je prostor, čas, lokální interakce mezi agenty, sociální sítě, omezená racionalita, učení apod. Tyto modely nevyžadují, aby modelář vnutil systému rovnováhu. Naopak umožňují zkoumat, jak a zda vůbec systém rovnováhy dosáhne. Pokud existuje více možných rovnovážných stavů, můžeme zkoumat, ve kterém skončí s jakou pravděpodobností a za jakých podmínek.

Multiagentové modely se vytvářejí ve třech krocích, které odpovídají krokům tvorby klasického mikroekonomického modelu. Nejdříve určíme, kdo jsou agenti (hráči), jaké mají cíle, omezení a možnosti. Chování těchto agentů pak popíšeme vhodnými algoritmy. Ve druhém kroku nepočítáme rovnováhu, nýbrž spustíme simulaci. Necháváme agenty interagovat spolu navzájem a s vnějším prostředím (i to je v modelu reprezentováno agentem) a sledujeme, jak se model vyvíjí v čase. Protože většina multiagentových modelů zahrnuje vliv náhody, je třeba spustit simulaci mnohokrát a výsledky modelu zkoumat pomocí statistických nástrojů.

Zkoumání robustnosti modelu a vlivu exogenních veličin na chování modelu se opět provádí simulací. Model se mnohokrát simuluje s různým nastavením parametrů, exogenních veličin a případně algoritmů agentů a získaná data se statisticky analyzují. Vlastně se tak provádí jakési softwarové experimenty. Obecně jsou tyto modely flexibilnější než klasické modely, analýza výsledků je však složitější.

Příkladem velmi jednoduchého multiagentového modelu s překvapivým výsledkem je slavný Schellingův model segregace popsáný v jeho knize *Micromotives and Macrobehavior*. V tomto modelu žijí ve městě lidé dvou ras. Jsou relativně snášenliví a nevadí jim, když žijí pohromadě s lidmi jiné rasy; mohou to dokonce preferovat. Vadí jim však, pokud jsou ve svém bezprostředním okolí ve výrazné menšině. V takovém případě se přestěhují jinam. Přestože jsou všichni lidé ve městě poměrně

snášenliví, jejich chování vede k téměř dokonalé segregaci obou ras. Pokud vám ve webovém prohlížeči funguje Java, můžete si model sami spustit na webové stránce <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Segregation>.

Pokud vás toto téma zaujalo, přečtěte si:

- GILBERT, N. *Agent-based models*. Thousand Oaks: Sage Publications, 2008.
- TEFATSION, L. *Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up* [online]. [cit. 2011-07-28]. Dostupné z: <http://www2.econ.iastate.edu/>
- EPSTEIN, J. M. – AXTELL, R. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1996.

Skvělý software na multiagentové simulace je volně šiřitelné NetLogo, které najdete na <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.

### 3 Tvorba makroekonomického modelu

*Tuto část napsal Miroslav Hloušek.*

Makroekonomické modely se vytvářejí velmi podobně jako mikroekonomické modely, protože moderní makroekonomie pracuje s modely odvozenými z mikrozákladů. Makroekonomické modely se však obvykle nevytvářejí od začátku, nýbrž se často převezme již vytvořený model a pouze se modifikuje. Prvním krokem tvorby modelu je opět určení agentů, jejich preferencí a omezení. Většinou se uvažují čtyři typy agentů: domácnosti, firmy, vlády a centrální banka. Druhým krokem je odvození rovnic charakterizujících (konkurenční) rovnováhu. To jsou většinou podmínky prvního řádu a rozpočtová omezení, případně další identity či definice. Následně se vypočítá ustálený stav modelu (*steady-state*) a nakonec se rovnice log-linearizují kolem tohoto ustáleného stavu.

V dalším kroku se model kalibruje. Kalibrace znamená určení hodnot strukturálních parametrů modelové ekonomiky. Pro kalibraci parametrů lze využít některé dlouhodobé charakteristiky v datech (určité poměry veličin), výsledky z mikroekonomických studií, případně hodnoty z předchozích prací zkoumajících podobný problém, více o kalibraci viz Cooley (1997). Jinou možností je parametry modelu odhadnout z dat. K tomu se používají metody klasické nebo bayesovské ekonometrie. (Kalibrovat je samozřejmě možné i klasické mikroekonomické a multiagentové modely. V jejich případě to však na rozdíl od makroekonomických modelů není nezbytné.)

Pro studium dynamických vlastností modelu a jeho simulaci musíte nejdřív najít rozhodovací pravidlo (decision rule), někdy nazývané řídicí funkce (*policy function*). Toto pravidlo (funkce) nám říká, jak se agenti mají rozhodnout o určitých proměnných na základě podmínek daných minulostí. Existují různé algoritmy, jak rozhodovací pravidlo najít. Můžete si je sami naprogramovat nebo opět použít vhodný software, který udělá tu nejtěžší práci za vás.

Pak již můžete analyzovat chování modelu. Dynamické vlastnosti se nejčastěji studují pomocí funkce impulzních odezev. Tato funkce nám ukazuje, jak se vyvíjejí modelové proměnné v reakci na exogenní šok. Dále nasimulujte chování modelových proměnných pro (dostatečně dlouhou) sekvenci náhodných šoků. Z těchto modelových dat vypočítejte statistické charakteristiky (např. směrodatné odchylky a autokorelace). Tyto modelové statistiky pak porovnejte se statistikami získanými z reálných dat. Součástí vaší práce by měla být i analýza citlivosti – tedy, jak se výsledky liší při jiném nastavení strukturálních parametrů.

Pokud model v některé oblasti selhává (dobře nevystihuje charakteristiky v datech), mělo by vás to vést k vylepšení modelu nebo ke zlepšení měření dat (např. data v národních účtech nemusí vždy odpovídat konceptu ve vašem modelu).

Pokud vás tato problematika zaujala, k prostudování doporučuji:

- McCANDLESS, T. G. *The ABCs of RBCs: An Introduction to Dynamic Macroeconomic Models*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2008.
- COOLEY, T. F. Calibrated models. *Oxford Review of Economic Policy* [online]. 1997, 13(3), s. 55–69. [cit. 2011-07-28]. Dostupné z <http://www.econ.ucdavis.edu/faculty/>

Dobré softwarové vybavení představuje např.

- Dynare, <http://www.dynare.org/>
- Iris-toolbox, <http://www.iris-toolbox.com/>
- Uhlig's toolkit, <http://www2.wiwi.hu-berlin.de/institute/wpol/html/toolkit.htm>