
Skeptikův průvodce počítačovým modelováním

John D. Sterman

© John Sterman
J. Spencer Standish Professor of Management
Director, MIT System Dynamics Group
MIT Sloan School of Management
E53-351
30 Wadsworth Street
Cambridge, MA 02142
617/253-1951 (voice); 617/258-7579 (fax), jsterman@mit.edu
<http://web.mit.edu/jsterman/>
© Translation Marek Šusta, Proverbs, a.s.

OBSAH

Skeptikův průvodce počítačovými modely	3
Nezbytnost použití počítačových modelů	3
Mentální a počítačové modely	4
Důležitost účelu.....	5
Dva druhy modelů: Optimalizační versus simulační a ekonometrické	6
Optimalizace	6
Optimalizace a její omezení	6
Určení cílové funkce:	6
Linearita	7
Absence dynamiky	8
Kdy použít optimalizaci	10
Simulace.....	10
Omezení simulace	12
Soft proměnné	13
Hranice modelu	13
Ekonometrie	15
Odhad.....	16
Předpovídání	17
Omezení ekonometrického modelování.....	17
Co by měl uživatel modelu znát.....	21
Závěr	22

Skeptikův průvodce počítačovými modely

But Mousie, thou art no they lane
In proving foresight may be vain;
The best-laid schemes o' mice an' men
Gang aft a-gley,
An lea'e us nought but grief an' pain,
For promis'd joy

Robert Burns, „To a Mouse“

Nezbytnost použití počítačových modelů

Počítačovému modelování sociálních a ekonomických systémů je jen něco kolem 30 let. Ale za tu dobu byly počítačové modely použity k analyzování všeho od řízení zásob ve firmách, až k výkonnosti národních ekonomik, od optimálního rozložení požárních stanic v New Yorku k modelům světové populace, zdrojů, potravin a znečištění. Určité počítačové modely, např. *Meze růstu* (Meadows a kol., 1972) obsadily první stránky novin. Ve Spojených státech se některé modely staly tématem mnoha konferencí a určují vývoj legislativy. Počítačové modelování je dnes významným oborem, přinášejícím ročně stamilionové úspory i zisky.

Když se počítače staly rychlejšími, levnějšími a dostupnějšími, začaly počítačové modely hrát významnou roli v prognostice, analýze politiky, zvláště v ekonomice, energetice, demografii a ostatních problémových oblastech. Jak se počítačové modely rozšiřují, jsou stále častěji vyžadovány při veřejných diskusích. Ačkoli ne každý bude modelář, každý se stane uživatelem (ať už se nám to líbí, nebo ne). Schopnost porozumět a využívat počítačové modely se stává pro

zákonodárce, strategy, lobbyisty a občany nezbytností.

Během našeho života se každý setká s výsledky simulace modelů a bude muset určit jejich platnost a úplnost. Většina lidí toho není schopna, modely jsou pro ně černými skříňkami, zařízeními, fungujícími zcela nepochopitelným způsobem. Protože lidé modelům tak málo rozumí, jsou často znevažovány – ať už nešťastnou náhodou nebo záměrně. Je známo mnoho případů, kdy byly příslušně upravené modely zneužívány k umělému vytváření argumentů nebo jako alibi pro špatná rozhodnutí (vždyť to tak vyšlo!).

Aby se modely staly veřejně přístupnými a nebyly doménou „společenství vyvolených“, je nutné rozšířit o nich povědomost. Tato přednáška je jedním z kroků na této cestě – snad pomůže uživateli nahlédnout do černé skříňky. Popíšeme zejména modely používané k tvorbě a analýze strategií (spíše než modely, používané NASA pro testování kosmických lodí). Prozkoumáme možnosti modelů, jejich výhody a nevýhody, užití a zneužití. Dále se seznámíme s hlavními modelovacími technikami a jejich vhodností pro určování a posuzování strategií. Nakonec bude zmíněna oblast otázek, které by uživatel měl modelu pokládat při testování jeho platnosti.

Mentální a počítačové modely

Naštěstí, i když si to neuvědomujeme, už každý modely zná. Každý denně používá **mentální** modely. Naše rozhodování a činy nejsou založeny přímo na reálném světě, ale na našich mentálních obrazech okolního světa, vztahů mezi jednotlivými prvky a představách o důsledcích našich činů. Mentální modely mají některé velké výhody. Jsou flexibilní, dokáží pojmout značně více informací než pouhá číselná data, jsou adaptovatelné na nové situace, okamžitě modifikovatelné s příchodem nové informace. Mentální modely jsou filtry, kterými interpretujeme své zkušenosti, měníme plány a vybíráme z několika možností. Velké filozofické, politické a literární systémy jsou vlastně mentálními modely.

Modely mají ale i nedostatky. Ostatní lidé naše mentální modely často chápou špatně, jejich interpretace našeho, pro nás tak jasného mentálního modelu se liší. Předpoklady, na nichž jsou založeny je těžké zkoumat, z toho dále plyne možnost výskytu rozporů. To, že máme problémy s chápáním mentálních modelů jiných lidí je celkem pochopitelné. Horší je, že ani my sami nejsme příliš dobře vybaveni pro konstrukci a chápání vlastních mentálních modelů či pro jejich používání při tvorbě rozhodnutí.

Psychologové prokázali, že jedinec je schopen zpracovat maximálně 7 různorodých proměnných najednou (Hogart, 1980; Kalneman, Slovic a Tversty, 1982). Jinými slovy, mentální modely, které používáme k tvorbě rozhodnutí jsou velmi jednoduché až primitivní. Často nejsou správné, vždyť při rozhodování často chybně odhadneme důsledky našich činů.

Naše selhávání při používání mentálních modelů bylo prokázáno i výzkumem chování lidí v různých skupinách (tj. rodině, firmě, vládě apod.). Výzkum ukazuje, že rozhodnutí nejsou vytvářena na základě racionálního posouzení cílů, možností a důsledků. Ale

hlavní roli hraje osobní představa funkce v organizaci, jsou používány tradiční postupy a stereotypy chování, přizpůsobující se jen velmi pomalu měnícím se podmínkám (Simon, 1947, 1979). Rozhodnutí jsou omezována schopností jednotlivce komplexně posoudit důsledky svých rozhodnutí v omezeném čase a při špatné dostupnosti informací.

Osobní motivy těchto osob mohou být podivné, čas, který na rozhodnutí mají nedostatečný a informace jsou často zastaralé či neúplné. Jejich rozhodnutí mohou navíc ovlivňovat různé autority, organizační struktura, kulturní a osobní motivy. Výsledkem je mnoho nesprávných rozhodnutí, hledání nejvhodnějšího je zkrátka příliš komplikované a přesahuje schopnosti jednotlivce.

Jak říká (snad ironicky) Hamlet: „Co je to člověk za stvoření, jak vznešený, nekonečný ve svých schopnostech“. Vypadá to ale, že ani my, ani sám Hamlet nejsme schopni činit pouze bezchybná rozhodnutí, založená na racionálních modelech a nepoznamenaná společenskými a emocionálními tlaky.

Vstupme do světa modelů. Čistě teoreticky nabízejí počítačové modely víc než mentální modely a to z těchto důvodů: Jsou explicitní, jejich předpoklady jsou uvedeny v psané dokumentaci a přístupné uživatelům.

- Bezchybně zpracovávají logické důsledky modelářových předpokladů.
- Jsou srozumitelné a schopné zahrnovat mnoho faktorů najednou.

Počítačový model, který má takové vlastnosti má jistě převahu nad modelem mentálním. Ve skutečnosti ale běžné počítačové modely nabízejí méně:

- Jsou často tak špatně dokumentovány, že není možné zkoumat předpoklady, na nichž jsou založeny. Jsou to zkrátka „černé skříňky“.
- Jsou tak komplikované, že uživatel není přesvědčen o jejich úplnosti nebo platnosti.

- Nejsou schopny poradit si s obtížně identifikovatelnými vztahy a faktory, nebo nepostihují ty části systému, pro něž neexistují číselná data, nebo jsou konstruovány osobou, jež o modelovaném problému vůbec nic neví.

Kvůli těmto nebezpečím by měly být modely zkoumány jejich budoucími uživateli. Ale na jakém základě by měli být posuzovány? Jak má člověk vědět, že je model dobře nebo špatně navržen, zda jsou jeho výsledky platné nebo ne? Jak může potenciální uživatel rozhodnout o vhodnosti či nevhodnosti použité modelovací metody? Jak lze objevit plánované zneužití modelu a jak se proti němu bránit? Jednoznačná odpověď neexistuje, ale na dalších stránkách najdete jakéhosi „průvodce“ touto problematikou.

Důležitost účelu

Model musí mít jasný účel a tímto účelem má být řešení určitého problému. Jasný smysl je nejdůležitější součástí každé úspěšné modelovací studie. Jistě, model s jasným účelem může být klidně nesprávný, zbytečně rozsáhlý nebo těžko pochopitelný. Ale jasný smysl umožňuje uživateli pokládání otázek, odhalujících použitelnost modelu k řešení daného problému.

Je dobré dát si pozor na analytika, který tvrdí, že radši namodeluje celý ekonomický systém, než daný **problém**. Každý model reprezentuje systém – skupinu funkčních prvků, zformovaných do komplexního celku. Ale aby byl model použitelný, musí být zaměřen na specifický problém a musí **zjednodušovat**, ne být stejně složitým jako modelovaný systém.

V čem je rozdíl? Model, určený ke zkoumání hospodářských cyklů a stabilizačních opatření je modelem problému. Zabývá se částí celého ekonomického systému. Model, sestavený za účelem nalezení strategie nejlepšího

přechodu od ropných k alternativním zdrojům energie je také modelem problému, také se zabývá pouze určitou částí celé ekonomiky. Model ekonomiky je modelem celého systému. Proč na tom záleží? Užitečnost modelů je dána tím, že zjednodušují realitu, převádějí ji do pochopitelné formy. Opravdu přesný model bude stejně komplikovaný jako studovaný systém a my budeme tam, kde jsme byli. Mapa, která by obsahovala úplně dokonalou informaci o reprezentovaném území by byla zřejmě nepoužitelná.

Umění stavby modelů je dáno schopností vybrat v modelovaném systému to podstatné. Je to umění použití jakéhosi „logického nože“. Pokud budeme modelovat celou ekonomiku, mnoho toho zanedbat nemůžeme. Musíme implementovat celou řadu dlouhodobých i krátkodobých jevů. Vzhledem k rozsáhlosti takového modelu jsou předpoklady, jež jsou základem analýzy, obtížně prozkoumatelné. Modeláři – a to nemluvíme o uživateli, nebudou chování takového modelu rozumět a jeho platnost bude pouze otázkou velikosti uživateli víry.

Model, sestavený ke zkoumání hospodářských cyklů, nebo k transformaci energetiky bude mnohem menší a závislý na faktorech, které se bezprostředně týkají problému. Model hospodářských cyklů nemusí obsahovat dlouhodobé trendy vývoje populace a spotřebovávání zdrojů. Model transformace zdrojů energie nemusí naopak obsahovat jevy krátkodobé, např. zaměstnanost nebo úrokové sazby. Výsledný model bude dostatečně jednoduchý a tím i jeho výsledky. Za fenoménem hospodářských cyklů stojí teorie. Tu je potom možno využít spolu se všemi dostupnými informacemi k ověřování platnosti modelů a tím zajišťovat, že plní svůj účel.

Dva druhy modelů: Optimalizační versus simulační a ekonometrické

Existuje mnoho typů modelů a jsou klasifikovány podle různých kritérií. Mohou být statické nebo dynamické, matematické nebo fyzikální, stochastické nebo deterministické. Jednou z nejužitečnějších klasifikací je ta, rozdělující je na simulační a optimalizační. Právě rozdíl mezi optimalizačními a simulačními modely je velmi zřetelný, protože jsou konstruovány k úplně jiným účelům.

Optimalizace

Oxfordský slovník definuje slovo *optimize* jako „vytvořit nejvhodnější ze všeho; vyvinout k nejlépe vyhovujícímu stupni“. Výstupem optimalizačního modelu jsou údaje o nejlepší způsobu, kterým lze dosáhnout určitého cíle. Optimalizační modely vám nesdělí co se stane v určité situaci. Řeknou vám co dělat, aby jste dosáhli chtěného cíle, jsou to normativní nebo preskriptivní modely.

Uveďme dva příklady. Dietář by rád věděl, jak vytvořit jídelníček tak, aby dodržel nutriční hodnotu, požadavky na dietu a to vše s co nejnižšími náklady. Obchodní cestující musí navštívit určitá města a chce vědět, jak to učinit co nejrychleji, přičemž je závislý na dostupných leteckých linkách. Aby cesták a dietář zamezili chybám při sestavování plánu, měli by k nalezení nejlepší cesty využít optimalizační model.

Optimalizační modely se většinou skládají ze tří částí. *Cílová funkce* specifikuje cíl nebo záměr. Pro dietáře to bude nejnižší cena jídel. Pro cestáka minimalizace času na cestě. *Rozhodovací proměnné* jsou možnosti, mezi kterými je možné vybírat. V našich příkladech to bude jídlo, které má být podáváno a pořadí

navštěvovaných měst. *Meze* omezují výběr přijatelných rozhodovacích proměnných. V dietním programu může jedna určovat minimální nutriční hodnotu. Jiná možný počet opakování stejných jídel během týdne. V cestákově případě musí být navštíveno každé vybrané město a omezení je dáno dostupností leteckých spojů.

Vstupem do optimalizačního modelu je tedy cíl, jehož má být dosaženo, výběr, který má být uskutečněn a meze, které nesmí být překročeny. Výstupem je nejlepší t.j. optimální řešení. V našich příkladech to bude nejlepší jídelníček a neefektivnější cestovní plán.

Optimalizace a její omezení

Mnoho optimalizačních modelů má různá omezení a problémy, o kterých by měl potenciální uživatel vědět. Problémem jsou: těžkosti při specifikaci cílové funkce, nereálná linearizace, absence zpětné vazby a absence dynamiky.

Určení cílové funkce:

Jaké hodnoty? První těžkostí s optimalizačními modely je problém specifikace cílové funkce, cíle, jehož má být dosaženo. V našich příkladech nebylo těžké určit cestákovův či dietářův cíl, ale jak tomu bude v případě starosty New Yorku? Zajištění adekvátních veřejných služeb s minimální místní daní (významným zdrojem příjmů měst v USA je tzv. „local tax“, která je odváděna do městské pokladny, pozn. překl.)? Podpora umění a kultury? Zlepšení dopravní situace ve městě? Odpověď je závislá na představách osoby, které se zrovna ptáte.

Cílová funkce zahrnuje hodnoty a preference, ale jaké hodnoty a preference čeho? Jak mohou být do cílové funkce zahrnuty neuchopitelné (soft) faktory? Jak objevit konflikt mezi různými zájmovými skupinami a jak se s nimi vyrovnat? Jsou

to těžké otázky, nikoli však neřešitelné. Soft proměnné (např. stres, kvalita, dobré jméno, růstový potenciál, pozn. překl.) mohou být často kvantifikovány, alespoň přibližně, rozložením na měřitelné komponenty. Například kvalita života ve městě může být vyjádřena závislostí na míře nezaměstnanosti, míře znečištění ovzduší, kriminalitě apod. Existují také techniky na zjišťování takových údajů z různých dotazových akcí a podobně. Pouhý pokus o explicitní vyjádření těchto hodnot je velmi užitečným cvičením a může být důležitý pro všechny zúčastněné.

Je důležité, aby potenciální uživatelé při zkoumání modelu měli neustále na mysli otázku hodnot a účelu. Mělo by být neustále zjišťováno, jaké hodnoty zahrnuje cílová funkce. Představte si úředníka, který rozhoduje o umístění čističek vody u řeky používajícího k rozhodování optimalizační model. Cílovou funkcí modelu je nejlevnější rozmístění čističek, mezi je určitá kvalita vody. Bylo by záhodné, aby model bral v úvahu též dopad čističek na rybolov, rekreaci, divoké rostliny a potenciální rozvoj oblastí, ve které budou umístěny. Jestliže tyto úvahy nejsou explicitně do modelu zavedeny, jsou implicitně považovány za nedůležité.

Linearita.

Další problém, a to takový, že může vážně ohrozit důvěryhodnost optimalizačních modelů je v linearizaci. Protože typický optimalizační problém je velmi komplexní, zahrnující stovky a tisíce proměnných, podmínek a mezí, je klasický matematický způsob hledání optima velmi složitý. Aby bylo možné problém vůbec modelovat, používá modelář často řadu zjednodušení. Mezi jinými i to, že vztahy mezi prvky systému linearizuje. Opravdu, jedna z nejpoužívanějších optimalizačních technik, lineární programování vyžaduje lineární cílovou funkci a všechny meze.

Linearita je z matematického hlediska žádoucí, ale v reálném světě je téměř vždy nevhodná. Představte si třeba model firemní politiky distribuce výrobků. Model obsahuje specifický vztah mezi zásobami a dodávkami – pokud je zásoba zboží ve skladu 10% pod normálem, budou dodávky sníženy o, řekněme 2%, poněvadž určité položky ve skladu nebudou. Pokud je v modelu lineární závislost mezi těmito prvky, potom 20% pokles zredukuje dodávky o 4%, 30% o 6% atd. A pokud bude deficit 100%? Podle modelu budou dodávky 80% normálu. Ale ve skutečnosti při prázdném skladu nejsou žádné dodávky možné. Nevhodná linearizace vede velmi často k nesmyslným závěrům.

Model skladu vypadá triviálně, ale nutnost respektovat nelinearity je dobře vidět na osudu stěhovavých holubů, *Ectopistes migratorius*. Když začali Evropané kolonizovat Severní Ameriku, stěhovaví holubi byli velmi rozšíření. Ohromná hejna migrujících ptáků na několik dní zatemňovala oblohu. Často byly pohromou pro úrodu a byly loveni jako škůdci i jako potrava. Celá léta měl lov jen malý vliv na jejich populaci, vypadalo to, že ptáci se stačí rozmnožovat. Potom se počet holubů začal snižovat, nejprve pomalu, potom rychle. Do roku 1914 byl stěhovavý holub vyhuben.

Zmizení stěhovavých holubů zapříčinil nelineární vztah mezi hustotou jejich populace a plodností. Ve velkých hejnech se mohli rychle rozmnožovat, v malých prudce klesala jejich plodnost. A tak když lov snižoval jejich počet, klesala i reprodukční schopnost menšího hejna. Nižší plodnost vedla k dalšímu poklesu ve velikosti populace, nižší hustota populace ke snížení porodnosti a tak dále, ve zlomyslném cyklu.

Bohužel drtivá většina optimalizačních modelů předpokládá, že svět je lineární. Nicméně existují techniky k řešení určitých nelineárních

optimalizačních problémů a i výzkum v této oblasti pokračuje.

Absence zpětné vazby.

Komplexní systémy jsou v reálném světě značně propojené, mají mezi jednotlivými prvky mnoho zpětných vazeb. Důsledky rozhodnutí přes naturální, ekonomické a sociální cesty zpětně ovlivňují podmínky, na základě kterých byla rozhodnutí původně učiněna. Většina modelů s touto realitou vůbec nepočítá. Představte si optimalizační model, který vyhodnocuje nejlepší počet čističek vody v určité oblasti. Model pravděpodobně usoudí, že požadavek na množství čištěné vody se nebude měnit, nebo že poroste určitou měrou. Ale pokud se v důsledku práce těchto čističek kvalita vody zlepší, stane se i příslušná oblast atraktivnější, což způsobí rozvoj a ten přinese potřebu vody větší, než bylo očekáváno.

Modely, které ignorují zpětnou vazbu spoléhají na *exogenní proměnné* a mají úzké meze. Exogenní proměnné jsou ty, které ovlivňují ostatní proměnné v modelu, ale nejsou modelem vypočítávány. Jsou prostě vyjádřeny číselnými hodnotami neměnicími se v důsledku působení zpětné vazby. Hodnoty exogenních proměnných mohou pocházet z jiných modelů, spíše jsou ale výplodem nějakého neprozkoumatelného mentálního modelu. Na druhé straně *endogenní proměnné* jsou počítány samotným modelem. Jsou dány strukturou modelu, jsou těmi proměnnými, pro něž má modelář explicitní vysvětlení, a které reagují na zpětnou vazbu.

Ignorování zpětné vazby dává vzniknout politikám, generujícím nečekané vedlejší efekty, nebo jsou neúčinné, zpožděné či překonané samotným systémem (Meadows 1982). Příkladem je stavba dálnic v 50. a 60. letech k zabránění kolapsu dopravy ve velkých městech Spojených států. V Bostonu trvalo půl hodiny, než jste se dostali ze čtvrti

Dorchester do centra - pouhých několik mil. Potom byl kolem města postaven dálniční okruh s omezeným přístupem a tím se cesta výrazně zkrátila.

Ale příběh pokračuje dál. Stavba dálnice vedla ke změnám způsobujícím vedlejší účinky. V důsledku snížení provozu a zkrácení doby transportu z předměstí se stala předměstí atraktivním místem k bydlení. Zemědělská půda byla přeměněna na stavební parcely nebo na ní vznikly nové silnice. Jak se lidé stěhovali z center, populace na předměstích vzrostla. Mnoho obchodů v centrech se přesunulo za zákazníky, nebo bylo zničeno konkurencí nákupních center na předměstích. Vnitřní město začalo chátrat, ale stále v něm pracovalo mnoho lidí, kteří se tam dostávali novými dálnicemi. Výsledek? Boston je dopravně daleko přetíženější s více znečištěným ovzduším než před stavbou dálnic a cesta z Dorchesteru do centra opět trvá půl hodiny.

Teoreticky může být zpětná vazba do optimalizačních modelů implementována, ale výsledná komplexnost a nelinearita způsobí zdánlivou neřešitelnost daného problému. Mnoho optimalizačních modelů proto ignoruje většinu zpětnovazebních efektů. Potenciální uživatel by si na to při zkoumání modelu měl dát dobrý pozor. Měl by se neustále ptát, jaké zpětné vazby a jaké prvky v modelu chybí a jak to může negativně ovlivnit pozdější chování modelu a tím i znehodnotit rozhodnutí na něm založená.

Absence dynamiky.

Mnoho optimalizačních modelů je statických. Určují optimální řešení v daném okamžiku bez ohledu na to, jak má být optimálního stavu dosaženo nebo jak se bude systém chovat v budoucnosti. Příkladem je model, sestavený metodou lineárního programování na konci 70. let Lesní službou Spojených států, jehož cílem byla optimalizace využití vládních pozemků. Model byl ohromný, s tisíci

rozhodovacími proměnnými a trvalo měsíce, než byly odstraněny jen topografické chyby v rozsáhlé databázi modelu. Když byl konečně spuštěn, hledání řešení trvalo sálovému počítači několik dnů.

Navzdory tomuto ohromnému úsilí model určoval optimální využití lesních porostů a půdy pouze pro jediný časový okamžik. Nepočítal s vlivem kácení na budoucí ekologický rozvoj. Nebral v úvahu potřebu budoucího využívání půdy nebo vývoje cen řeziva. Nezkoumal, jak dlouho bude trvat, než stromy v daných oblastech vyrostou do potřebných rozměrů nebo jaká bude rekreační atraktivita oblastí během vzrůstu. Model poskytoval optimální rozhodnutí pro jediný rok, ignorující fakt, že tato rozhodnutí budou dále ovlivňovat rozvoj lesních zdrojů po celá desetiletí.

Ne všechny optimalizační modely jsou statické. Například model MARKAL je rozsáhlý model vzniklý lineárním programováním, sestavený pro zjišťování optimálního výběru energetických technologií. Byl zkonstruován v Brookhaven National Laboratory ve Spojených státech, jeho výstupem je nejlepší (nejlevnější) mix uhlí, ropy, plynu a ostatních energetických zdrojů v příštím století. Vyžaduje řadu exogenních proměnných – jako je poptávka po energii, budoucí cenu paliv, stavební a operační náklady různých energetických technologií (všimněte si, že model ignoruje zpětnou vazbu od dodávky energie k cenám a poptávce). Model je dynamický tím, že poskytuje „snímek“ optimálního stavu systému v pětiletých intervalech.

Model Brookhavenu není také úplně dynamický, ignoruje zpoždění. Předpokládá, že lidé, kteří budou vědět o optimálním mixu energetických zdrojů na dosažení tohoto mixu začnou pracovat s dostatečným předstihem. A tak model nezahrnuje např. zpoždění dané stavbou energetických zařízení. V reálném světě

pochopitelně trvá nějakou dobu a často mnohem více než pět let vybudování elektráren, vývoj nových technologií, výstavba odpadového hospodářství, těžba a doprava nezbytných surovin.

V reálném světě jsou zpoždění všudypřítomná. Zpoždění objevená v komplexních systémech jsou zvláště nebezpečná, neboť jsou hlavním zdrojem nestability systému.

Doba, potřebná k rozhodnutí nebo k dosažení určitého efektu může způsobit přehnanou reakci systému nebo zabránit včasnému zásahu. Dobrým příkladem jsou kyselá deště. Ačkoli je mimo pochybnost, že poškození lesů Nové Anglie, Appalachians a Bavorska jsou způsobeny kyselými dešti, mnoho vědců se obává, že bude trvat léta, než se podaří zjistit, jak kyselý déšť vzniká a jak na lesy působí. Dokud nedojde mezi vědci a politiky ke konsensu, budeme mít pouze slabé legislativní prostředky k odstranění příčin poškozování lesů. Programy pro řízení a kontrolu znečištění (už schválené) je nutné uvádět do praxe celé roky. Již existující elektrárny a jiné zdroje znečištění budou dále pracovat, po celou dobu své životnosti, odhadované na desítky let. Ještě déle bude trvat, než se podaří něco udělat se závislostí našeho životního stylu na automobilech. Až budou emise síry a oxidu dusíku významně zredukovány, může být pro lesy už stejně pozdě.

Zpoždění jsou kritickým prvkem dynamického chování systému, ale podobně jako nelinearitu je jejich implementace do klasických optimalizačních modelů obtížná. Běžným zjednodušením je předpoklad, že všechna zpoždění v modelu mají stejnou neměnnou délku. Výsledky takového modelu jsou potom pochybné. Lidé v rozhodujících funkcích, používající takové modely k hledání optima mohou zjistit, podobně jako pověstný Americký turista v ulicích Maine, že „odsud se tam nedá dostat“.

Kdy použít optimalizaci

Neuvažujme nyní o výše zmíněných omezeních, optimalizační techniky mohou být i velmi užitečné. Musí být ale použity pro řešení náležitých problémů. Optimalizace významně zlepšila kvalitu rozhodování v mnoha oblastech, zahrnujících počítačový design, letové řády, řízení výroby, zpracování ropy apod. Kdekoli se vyskytne problém výběru mezi několika velmi dobře popsányými možnostmi, je použití optimalizace namístě. Pokud je dobře znám význam výrazu *nejlepší* z a systém, jež má být optimalizován je relativně statický a bez zpětných vazem, optimalizace může být tou nejlepší technikou. Naneštěstí tyto poslední podmínky jsou zřídka pravdivé v ekonomických, sociálních a ekologických systémech a právě tyto oblasti často vyžadují rozhodnutí podpořená modely.

Pohledme na optimalizační modely, předpovídající aktuální chování. Výstupem optimalizačního modelu je způsob nejlepšího dosažení daného cíle. Interpretace výsledků jako předpovědi aktuálního chování je předpoklad, že lidé v reálném systému budou činit optimální rozhodnutí. Jedna věc je říci „k dosažení maximálního zisku by lidé měli činit tato rozhodnutí“ a zcela jiná věc říci „lidé budou úspěšní při maximalizaci zisku, protože budou činit následující rozhodnutí“. První prohlášení je preskriptivní (co dělat), druhé deskriptivní (co se stane).

Optimalizační modely jsou využitelné k tvorbě preskriptivních prohlášení. Platí pouze v případě, že lidé skutečně optimalizují, činí nejlepší možná rozhodnutí. Možná to vypadá jako normální požadavek, že se lidé budou chovat optimálně – nebylo by trochu nerozumné vybírat druhou nejlepší možnost, když můžete vybrat úplně

nejlepší? Pravda je ale jiná: lidé se nechovají jako optimalizační modely. Jak již bylo řečeno, my lidé činíme rozhodnutí na základě jednoduchých a neúplných mentálních modelů. Tyto jsou často založeny na nesprávných úvahách nebo vedou od zvučných proklamací ke špatným řešením. Jak říká Herbert Simon:

„Kapacita lidské mysli pro formulování a řešení komplexních problémů je velmi malá v porovnání s velikostí problému, jehož řešení je nutné k objektivně racionálnímu jednání ve skutečném světě nebo k pouhému „rozumnému“ přiblížení se k takové objektivní racionalitě“ (Simon 1957, str. 198).

Optimalizační modely rozšiřují omezený obzor lidské mysli k dosažení objektivně racionálního způsobu chování. Mělo by zůstat v paměti, že i optimalizační modely musí přinášet zjednodušující závěry a tak můžeme očekávat maximálně to, jak by se měli lidé přibližně chovat. Modelování aktuálního lidského chování vyžaduje úplně jiné modelovací techniky, o kterých bude řeč nyní.

Simulace

Latinské slovo *simulare* znamená „imitovat“ nebo „napodobovat“. Účelem simulačního modelu je napodobení chování reálného systému, aby mohlo být zkoumáno. Model je laboratorní replikou reálného systému, *mikrosvětlem* (Morecroft 1988). Vytvořením obrazu systému a laboratoře může modelář provádět experimenty, jež jsou v reálném světě nemožné, příliš rychlé nebo naopak pomalé, neetické nebo neúnosně drahé.

Simulace jsou běžné ve fyzikálních systémech, od testů aerodynamických tunelů, přes modely počasí až k čerpání ropných rezerv. Ekonomové a sociologové používají simulaci ke zkoumání závislosti

cen s ekonomikou, chováním společností, reakcí měst na urbanistickou politiku, interakcí růstu populace s dodávkou potravy, zdrojů a životním prostředím, každá ekonomická teorie je statickým modelem ekonomické reality. Je mnoho simulačních technik, zahrnujících stochastické modelování, systémovou dynamiku, diskrétní simulaci a manažerské hry. Navzdory rozdílům mezi jednotlivými technikami simulace existuje společný základ a v modelování.

Optimalizační modely jsou preskriptivní, simulační modely deskriptivní. Simulační model nepočítá co by se mělo učinit, aby bylo dosaženo určitého cíle, ale vyjasňuje co se stane za daných podmínek. Účelem simulací by mělo být *předvídaní (předpověď* jak by se systémy měly chovat za určitých podmínek) nebo *vytváření politiky* (vytváření nové strategie nebo organizační struktury a zjišťování jejich důsledků na chování systému).

Jinými slovy jsou simulační modely nástroje na zjišťování „co se stane, když“. Často je taková informace cennější, než znalost optimálního rozhodnutí. Např. během debaty o deregulaci trhu se zemním plynem ve Spojených státech v roce 1978 byla původní Carterova koncepce před dosažením kompromisu nesčíslněkrát Kongresem změněna. Během projednávání v Kongresu Ministerstvo Energie vždy aktualizovalo rozpočet pomocí systémově dynamického modelu (Departement of Energy 1979). Model neukazoval co by mělo být uděláno, aby byl ekonomický přínos zavedení zemního plynu pro národ co největší. Kongres na to měl utvořen již vlastní názor. Model ale poskytoval informace o tom, jak každá změna ovlivní ceny plynu, dodavatele a poptávku, čímž vznikala pro Carterovu administrativu unikátní „munice“, již použila k bitvě za své zájmy.

Každý simulační model má dvě hlavní části. Nejprve musí obsahovat zobrazení fyzického světa, které studuje. Představte si například model, sestavený ke zkoumání příčin úpadku velkých amerických měst a to přes masivní finanční pomoc a řadu programů obnovy (Forrester 1969). Model musí obsahovat stejné prvky jako modelované město – velikost a kvalitu infrastruktury, zahrnující množství bytů a komerčních objektů; atributy populace, např. její velikost a složení co do vzdělanosti a dovednosti lidí; toky (lidí, materiálu, peněz, atd.) z a do města; a ostatní parametry, charakterizující fyzický a institucionální stav.

Jak podrobné má toto vyjádření reality v modelu být, závisí na problému, který řešíme. Výše zmíněný model urbanismu vyžadoval pouze agregované údaje, společné všem velkým americkým městům. Na druhé straně model, sestavený ke zlepšení rozmístění a nasazení protipožárních zdrojů v New Yorku musí obsahovat mnohem podrobnější informace o ulicích a dopravních situacích vůbec (Greenberger, Crenson and Crissey 1976).

Aby byl model systému úplný, je v něm třeba též postihnout chování jeho prvků. V tomto případě znamená chování způsob, kterým lidé reagují na různé situace, způsob tvorby rozhodnutí. Komponent chování je do modelu vložen ve formě pravidel pro tvorbu rozhodnutí, determinovaných přímým pozorováním aktuálních procedur v reálném systému.

Danou fyzickou strukturou a pravidly pro tvorbu rozhodnutí hraje simulační model roli osob v systému, které napodobuje v jejich rozhodování. V modelu, stejně jako v reálném systému bude kvalita a původ informací k rozhodování záviset na stavu systému. Výstupem modelu je popis očekávaných rozhodnutí. Platnost modelu může být ověřena porovnáním výstupu

s rozhodnutími, činěnými v reálném systému.

Příkladem může být jedna z prvních simulačních studií firemního chování od pánů Cyerta a Marcha (1963). Jejich základní výzkum prokázal, že obchodní domy používají ke stanovení ceny zboží velmi jednoduché pravidlo. Podle tohoto pravidla byla cena stanovena přičtením jakéhosi pevného procenta k velkoobchodní ceně. Procento bylo dáno víceméně tradicí. Bylo možné jej i měnit, ale pouze na základě několika dalších jednoduchých pravidel; pokud byl sklad přečpaný zbožím, byl zaveden výprodej a cena prudce klesla až do úplného vyprodání; pokud byl v prodeji určité položky překročen plán, cena se zvýšila. Ceny byly rovněž přizpůsobovány konkurenci.

Cyert a March sestavili simulační model systému pro stanovování cen, založený na zmíněných pravidlech. Výstupem byl popis očekávaných cen zboží. Když byl výstup porovnán s reálnými daty bylo zjištěno, že model dosti přesně simuloval rozhodnutí příslušných manažerů o cenách.

Omezení simulace

Každý model je tak dobrý, jak jsou dobré předpoklady, na nichž je založen. V případě simulačních modelů se předpoklady skládají z popisu fyzického systému a rozhodovacích pravidel. Vyjádřit adekvátně fyzický systém není obvykle problém; fyzické prostředí může být vyjádřeno v jakémkoli požadovaném detailu. V simulačních modelech jsou zakomponovány zpětné vazby, nelinearita a dynamika; které nejsou obvykle ve své struktuře tak striktně determinovány matematickými omezeními jako optimalizační modely. Koneckonců jedním z hlavních účelů simulačních modelů je objevování vlivu zpětných

vazeb, nelinearity, zpoždění a jejich společného působení na dynamiku, a tím hledání dosud neobjevených řešení problémů. (Např. viz. Sterman 1985, Morecroft 1983 a Forrester 1969).

Ale i simulační modely mají své slabé stránky. Nejvíce problémů se objevuje při popisu rozhodovacích pravidel, kvantifikaci soft proměnných a výběru hranic a mezí systému.

Přesnost rozhodovacích pravidel.

Popis rozhodovacích pravidel je při stavbě modelu jedním z potenciálních zdrojů problému. Model zobrazuje, jak jednotliví „účinkující“ v systému tvoří rozhodnutí, ať už jsou jejich rozhodovací pravidla správná nebo nejsou. Model by je také měl měnit stejným způsobem, jakým je mění skutečné osoby v reálném světě. To se ale bude dít jen v případě, že modelář má k dispozici předpoklady, které věrně popisují rozhodovací pravidla v různých situacích. Model tedy musí zobrazovat aktuální rozhodovací strategie používané lidmi v modelovaném systému a postihnout i omezení a chyby v těchto strategiích.

Objevování rozhodovacích pravidel je často obtížné. Nemohou být zjištěna z agregovaných statistických dat, musí být „z první ruky“. Primární údaje o chování „účinkujících“ mohou být zjištěna pozorováním rozhodování v praxi, tj. v konferenční místnosti, v továrně, na cestě dodávkového automobilu, na sídlišti atd. Modelář musí zjistit, jaké informace má ten který člověk k dispozici, zjistit její časovou závislost a platnost a vypořádat, jak je použita ke tvorbě rozhodnutí. Modelování často vyžaduje schopnosti antropologa a etnografa. Jedním ze způsobů sběru informací může být i pozorování lidí při simulacích – manažerských hrách (Sterman 1989). Nejlepší simulační modely vznikají na multidisciplinární bázi, zahrnující

psychologii, sociologii a behaviorální vědu.

Soft proměnné

Většinu dat představují soft proměnné. Tj. nejvíce našich znalostí jsou popisná data, kvalitativní, obtížně kvantifikovatelná a nikdy nebyla zaznamenána. Takové informace mají pro popis chování systému a jeho modelování rozhodující význam. A tak se někteří modeláři při popisu rozhodovacích pravidel omezuje na hard proměnné, ty které mohou být přímo měřeny a vyjádřeny číselně. Brání se tím, že pracují „vědeckěji“, že používají to, co je prokazatelné a „nevymyšlejí“ hodnoty proměnných, pro které nejsou číselná data k dispozici. Ptají se: „Jak může být testována platnost soft proměnných?“. Jak můžeme provádět statistická šetření, pokud nemáme číselná data?

Ale použití soft proměnných nemá žádná omezení a mnoho simulačních modelů je obsahuje. Úkolem simulačního modelu je především dostatečně přesné zobrazení reálného systému a soft proměnné – neuchopitelné jako potřeby, kvalita výrobku, reputace, očekávání a optimismus mají pro pravdivé vyjádření rozhodovacích pravidel největší význam. Představte si například, že se pokoušíte řídit školu, továrnu nebo město pouze na základě dostupných číselných dat. Bez kvalitativní znalosti faktorů, třeba operačních procedur, organizační struktury, politických záměrů a individuálních motivací bude výsledkem chaos. Vynechání těchto proměnných při stavbě modelu je mnohem méně „vědecké“ než jejich zahrnutí a odhad jejich vlivu. Ignorování soft proměnných způsobí, že mají v modelu nulovou hodnotu – pravděpodobně jedinou hodnotu o níž víme, že je chybná! (Forrester 1980).

Ovšem, všechny vztahy a parametry v modelech, ať už založené na hard či soft

proměnných jsou od jisté hranice nepřesné. Určití lidé nemusí souhlasit s nastavenou důležitostí určitých faktorů. Modeláři tedy musí provést analýzu citlivosti, aby zjistili, jak se změni jejich předpoklady v závislosti na určitých rozhodnutích. Analýza citlivosti by neměla být omezena na neuchopitelné hodnoty soft parametrů, ale také na zjištění citlivosti výsledků na různé předpoklady a změny omezení v modelu.

Analýze citlivosti se ale nevyhnou ani modeláři, ignorující soft proměnné. I tak hard data, jako ekonomická a demografická statistika jsou často předmětem velkých chyb. Bohužel není analýza citlivosti používána příliš často nebo dostatečně. Mnoho modelářů se dostalo do trapné situace, když se uživatelé snažili zopakovat výpočet modelu na vstup umístili ve všech případech velmi podobná čísla (odpozorovaná z chování reálného systému) a získaly zcela rozdílné výsledky (Viz. níže diskuse o experimentu Joint Economic Committee se třemi nejuznávanějšími ekonometrickými modely).

Hranice modelu.

Definice přijatelných hranic modelu je další výzvou pro konstruktéry simulačních modelů. Které faktory budou exogenní a které endogenní? Které zpětné vazby do modelu zavést? V teorii platí, že jednou z nejsilnějších stránek simulačních modelů je schopnost postihnout působení zpětných vazeb na chování systému jeho odpověď na různě zvolenou politiku. V praxi ale platí, že mnoho simulačních modelů má velmi úzké hranice. Ignorují faktory ležící mimo oblast znalostí modeláře nebo zájmu investora a tím ignorují důležité zpětné vazby.

Důsledky omezení hranic nebo opomenutí zpětné vazby mohou být vážné. Skvělým příkladem může být model Project Independence Evaluation System

(PIES), používaný v 70. letech US Federal Energy Administration a poté i Ministerstvem energie. Účelem modelu bylo vyhodnocení různých strategií v závislosti na následujících kritériích: dopad na rozvoj alternativních zdrojů energie, dopad na ekonomický růst, inflaci a nezaměstnanost, jejich regionální a sociální dopad, náchylnost ke komplikacím a dopady na životní prostředí (Federal Energy Administration 1974, str. 1).

Model však překvapivě bral ekonomické ukazatele jako exogenní. Ekonomika – včetně ekonomického růstu, úrokových sazeb, inflace, světové ceny ropy a ceny nekonvenčních paliv – byly úplně nezávislé na stavu energetiky Spojených států – zahrnující ceny, politiku a výrobu. Model byl sestaven tak, že ani úplné ropné embargo nebo zdvojnásobení cen ropy nemělo žádný vliv na ekonomiku.

Exogenní vyjádření ekonomiky v modelu PIES bylo kontraproduktivní. Model ukázal, že potřeba investic v energetickém sektoru významně vzroste v důsledku zvýšení cen při dobývání ropy a vývoji syntetických paliv. Ale v tu samou dobu model usoudil, že potřeba vyšších investic v sektoru energetiky by měla být uspokojena bez snížení investic v ostatních oblastech ekonomiky a bez zvyšování úrokových sazeb nebo inflace. Výsledkem bylo, že model sice umožnil ekonomice cosi vytvořit, ale okamžitě to i spotřebovat.

Model mimo jiné ignoroval zpětné vazby mezi sektorem energetiky a zbytkem ekonomiky a byl „přehnaně optimistický“. V roce 1974 projektoval, že od roku 1985 budou Spojené státy na dobré cestě k energetické nezávislosti: import bude pouze 3,3 milionu barelů denně a výroba umělé nafty bude 250.000 barelů denně. Navíc bude tento vývoj spojen s cenou ropy 22 dolarů za barel (dolarů roku 1984) a mohutným ekonomickým růstem. Nestalo se. Ve skutečnosti v době, kdy je psána tato přednáška (1988) představuje

import ropy okolo 5,5 milionu barelů denně a umělá nafta zůstala v říší snů. Tato situace nastala v důsledku prudkého poklesu spotřeby ropy, neboť ceny se vyšplhaly nad 30 dolarů za barel a v důsledku nejvážnější ekonomické recese od dob Velké Deprese v 30. letech.

Určení hranic modelu, které zahrnují důležité zpětné vazby je důležitější, než detailní popis jednotlivých prvků. Bylo úplně k ničemu, že model PIES obsahoval údaje o poptávce a ceně paliv ve všech částech země. Stejně jeho agregované výhledy do roku 1985 nebyly ani jen přibližně správné. Člověk se může oprávněně ptát, k čemu je údaj o vývoji poptávky po leteckém benzínu na severozápadě, když základní předpoklady jsou naprosto neadekvátní a výsledky tak žalostně nepřesné.

Poctivě je ale potřeba říci, že model PIES není ve svých nepřesnostech žádnou výjimkou. Skoro všechny energetické modely všech typů se mýlí v odhadech výroby energie, spotřeby a cen. Skutečnost nám ukazuje, že odhady v energetice spíše odrážejí minulost než odhalují budoucnost (Ministerstvo Energie 1983). Plodná diskuse o omezeních modelu PIES je k dispozici v příloze od Stobaugh a Yergina (1979).

Úzké hranice modelu ale nejsou jen problémem energetických modelů. Zpráva, nazvaná *The Global 2000 Report to the President* (Barney 1980) ukázala, že většina modelů, používaných vládními institucemi je závislá z velké míry na exogenních proměnných. Modely populace počítají s produkcí potravin jako s exogenní proměnnou. Modely zemědělství předpokládají, že ceny energie a jiné vstupní ceny jsou exogenní. Modely energetiky berou ekonomický růst a životní prostředí jako exogenní. Ekonomické modely předpokládají, že populace a ceny energie jsou exogenní. A tak dále. Protože ignorují zpětné vazby mezi jednotlivými

odvětvími, produkují nekonzistentní výsledky.

Ekonometrie

Striktně vyjádřeno je ekonometrie simulační technika, ale z několika důvodů si zaslouží zvláštní diskusi.

Zprvė vznikla z ekonomie a statistiky, zatímco většina ostatních simulačních technik z operačního výzkumu nebo technických oborů. Rozdíl v původu vede k velkým rozdílům v účelu a použití.

Za druhé, ekonometrie je jednou z nejrozšířenějších formálních modelovacích technik. Byla vyvinuta nositelem Nobelovy ceny, ekonomem Janem Tinbergenem a Lawrencem Kleinem, je přednášena snad ve všech hospodářských a ekonomických oborech. Ekonometrické předpovědi se běžně objevují v médiích a předpřipravené statistické rutiny pro ekonometrické modelování existují pro většinu dnešních počítačů.

A za třetí, velmi dobře či velmi čteně publikovaná selhání ekonometrických modelů při predikci budoucnosti nejlépe na „křídovém papíře“ podkopala důvěru ve všechny modelovací techniky.

Ekonometrie je doslova měření ekonomických vztahů a v základu se jedná o statistickou analýzu ekonomických dat. Dnes má běžně ekonometrické modelování tři stádia – specifikaci, odhad a předpovídání. Nejprve je rovnicemi specifikována struktura systému. Poté jsou na základě znalosti historických dat určeny koeficienty (jak změna jedné proměnné působí na změnu jiné). Nakonec je k odhadnutí budoucnosti použit výpočet soustav rovnic.

Specifikace.

Specifikace modelu je popis jeho struktury. Tato struktura se skládá ze vztahů mezi proměnnými, ať již popisují

fyzickou hodnotu nebo chování. Vztahy jsou vyjádřeny rovnicemi a velké ekonometrické modely mohou obsahovat stovky až tisíce rovnic, znázorňujících vzájemné vztahy mezi proměnnými.

Například typický ekonometrický model makroekonomie bude obsahovat rovnice, specifikující vztah mezi hrubým domácím produktem a spotřebou, investicemi, vládními zásahy a mezinárodním obchodem. Také bude obsahovat rovnice chování popisující, jak jsou tyto jednotlivé hodnoty determinovány. Modelář by měl například očekávat, že vysoká nezaměstnanost snižuje inflaci a naopak, vztah známý jako Phillipsova křivka. Jedna z rovnic modelu bude tudíž vyjadřovat Phillipsovu křivku, specifikující, že míra inflace závisí na nezaměstnanosti. Jiná rovnice připojí nezaměstnanost k poptávce po zboží, úrovni mezd a produktivitě. A další rovnice mohou vyjadřovat úroveň mezd ve závislosti na jiných faktorech.

Nikoho nepřekvapí, že ekonometrie při specifikaci modelů staví na ekonomické teorii. Platnost modelů tedy závisí na platnosti ekonomických teorií, na nichž jsou založeny. I když je ekonomických teorií celá řada, mají společnou malou zásobu vysvětlení lidského chování, moderní neoklasickou teorii a školu „racionálních očekávání“ nevyjímaje. Těmito předpoklady jsou: optimalizace, dokonalá informace a rovnováha.

V ekonometrii jsou lidé považováni za tvory, jejichž jediným zájmem je maximalizace zisku (v žargonu „ekonomičtí agenti“). Od spotřebitelů je očekávána optimalizace „prospěchu“ který vzniká z jejich zdrojů. Rozhodnutí o tom kolik vyrábět, které zboží koupit, kdy spořit a kdy si půjčovat jsou považována za výsledek optimalizace rozhodovacího procesu jednotlivých lidí a to vždy podle módní ekonomické teorie. Neekonomické vlivy (definované jako jakékoli chování, které se liší od maximalizace zisku nebo

užitku) je ignorováno nebo považováno za lokální úchylku nebo zvláštní případ.

Ovšem, k optimalizaci budou ekonomičtí agenti potřebovat dostatečné informace o světě. Požadovaná informace půjde za současnou oblast zájmů; bude také obsahovat úplnou znalost o všech možnostech a jejich důsledcích. Ve většině ekonometrických modelů jsou takové znalosti považovány za „zdarma k dispozici a dostatečně známé“.

Vezměme si například ekonometrický model, simulující práci firmy, která používá ve své výrobě optimální mix energie, práce, strojů a ostatních vstupů. Model bude usuzovat, že firma zná nejen platy dělníků, ceny strojů a ostatní vstupy, ale i výrobu dosažitelnou při různých kombinacích lidí a strojů a to i když tyto kombinace nebyly nikdy vyzkoušeny. Modely racionálního očekávání jdou dosti daleko, předpokládají, že firma zná budoucí ceny, technologie, možnosti, může tedy dokonale předpokládat důsledky svých vlastních akcí a akcí konkurence.

Třetím předpokladem je, že ekonomika se nachází, nebo není vzdálena rovnovážnému stavu. Pokud je z rovnováhy vychýlena, rychle se do ní opět vrátí, hladce a jistě. Rozšířenost statického myšlení je intelektuálním odkazem průkopníků matematiky a ekonomie. Na konci devatenáctého století, ještě před vynálezem počítačů a kybernetiky vycházely základní otázky ekonomické teorie v různých situacích z rovnovážného stavu. Dané schopnosti člověka a technologické možnosti k výrobě zboží, za jaké ceny budou komodity obchodovány, v jakých množstvích? Jak to bude s platy? Jaké budou zisky? Jak daně a monopoly ovlivní rovnováhu?

Tyto otázky jsou dost obtížné bez úvah o chování systému v pohybu. Výsledkem byla dynamická ekonomická teorie – zahrnující rekurentní fluktuace

inflace, hospodářského cyklu, růstu a poklesu průmyslu a národů – zůstaly pouze v deskriptivní a kvalitativní formě ještě dlouho poté, co byla teorie rovnováhy vyjádřena matematicky. Ještě nyní bývá dynamické chování chápáno jako přechod z jedné rovnováhy do druhé a o přesunu se předpokládá, že je ustálený.

Bohaté dědictví statické teorie v ekonomii zanechalo odkaz rovnováhy ekonometrům. Mnoho ekonometrických modelů předpokládá, že trhy jsou stále v rovnováze. Když je modelována dynamika přechodu, proměnné obvykle přecházejí hladce a vyváženě do optimálního, rovnovážného stavu a případná zpoždění nejsou uvažována nebo mají pevnou délku. Například většina makroekonomických modelů předpokládá, že zásoba kapitálu ve firmách směřuje k optimálnímu, zisk maximalizujícímu stavu a to s několikaletým zpožděním. Zpoždění je stejné, ať už průmysl, který dodává zboží má dostatek kapacity k uspokojení poptávky nebo ne (Viz. např. Eckstein 1983 a Jorgenson 1963).

A tak, zcela jasně, pokud trh žádá výrobky, musí být rychle vyřízeny objednávky, jestliže není kapacita, zákazníci čekají ve frontě. Pokud je do modelu vložena dynamika zpoždění, má to svůj význam. Modely, které obsahují explicitně určené vlivy, určující zpoždění, poskytnou značně rozdílné výsledky, než modely, předpokládající pevné zpoždění, nezávislé na schopnosti ekonomiky uspokojit poptávku (Senge 1980). V zásadě modely, které explicitně vyjadřují zpoždění a jeho determinanty poskytnou jiné výsledky, než modely předpokládající hladký přechod z jednoho optimálního stavu do druhého.

Odhad.

Druhé stádium v ekonometrickém modelování je statistický odhad parametrů modelu. Parametry určují sílu vazeb,

specifikovaných ve struktuře modelu. Například v případě Phillipsovy křivky použije modelář data z minulosti, aby zjistil jak silný je vztah mezi inflací a nezaměstnaností. Odhad parametrů zahrnuje statistické regresní rutiny, které jsou v základě hraním s křivkami. Odhad statistických parametrů charakterizuje stupeň korelace mezi proměnnými. Používají historická data k hledání hodnot parametrů, jež nejlépe vyjadřují sama data.

Všechny modelovací techniky musí specifikovat strukturu systému a určit parametry. Použití statistických metod ke zjištění parametrů modelu je puncem ekonometrie a odlišuje ji od ostatních forem simulace. Dává ekonometřům neukojitelný hlad po číselných datech, protože bez nich nemohou použít statistické metody k určení parametrů modelů. Není náhodou, že vzrůst ekonometrie šel ruku v ruce s kvantifikací ekonomického života. Vývoj národního produktu národních účtů Simonem Kuznetsem ve 30. letech znamenal velký pokrok v kodifikaci ekonomických dat, umožňující konzistentní měření národní ekonomické aktivity. Od toho dne se všechny makroekonomické modely začaly orientovat na data z národních účtů a přizpůsobila se tomu i celá makroekonomická teorie.

Prognostika.

Třetím krokem v ekonometrickém modelování je předpovídání, tvorba předpovědí o budoucím chování reálného systému. V tomto kroku modelář provádí odhady budoucích hodnot exogenních proměnných a sleduje chování modelu. Ekonometrický model obsahuje kvanta těchto proměnných a před použitím modelu musí být všechny určeny.

Omezení ekonometrického modelování

Hlavním slabinou ekonometrických modelů jsou ekonomické teorie, jež jsou jejich základem; předpoklady o racionalitě lidského chování, o dostupnosti informací, které má ve skutečnosti málokdo a o rovnováze. Mnoho ekonomů o této idealizaci a abstrakci těchto předpokladů ví, ale ihned ukazuje na významné údaje, které z nich byly získány. Nicméně stále více uznávaných ekonomů nyní tvrdí, že zmíněné předpoklady nejsou abstraktní, že jsou chybné. E.H. Phelps-Brown ve své prezidentské poznámce k British Royal Economics Society řekl:

Problémem není to, že chování těchto ekonomických osob bylo zjednodušeno, neboť zjednodušení se jeví býti částí celého poznání. Problémem je, že předpokládané chování není to, které v současné ekonomice vidíme. (Phelps-Brown 1972, str. 2)

Nicholas Kaldor z Cambridge University je ještě méně vybíravý:

...já to vidím tak, že obecná teorie hodnoty – jinými slovy „ekonomika rovnováhy“ – je jako prostředek chápání jalová a irelevantní... (Kaldor 1972, p. 1237)

Jak jsem již uvedl, rozsáhlé práce na empirickém výzkumu v psychologii a chování organizací ukázaly, že lidé neoptimalizují a pokud ano, nemají na to mentální schopnosti, a pokud použijí počítače, chybí jim data, která by optimalizovali. Místo toho se snaží uspokojit řadu osobních a firemních potřeb použitím standardizovaných procedur, rutinně tvoří rozhodnutí a většinu dostupných informací ignorují, aby redukovali komplexnost problému a byli schopni mu trochu rozumět. Herbert Simon ve své řeči při předávání Nobelovy ceny za ekonomii v roce 1978 říká:

Nemůže být dále pochyb o tom, že mikro předpoklady teorie – předpoklad dokonalé racionality – neodpovídají skutečnosti. Není to otázka aproximace; nepopisují ani vzdáleně proces, který lidé používají pro tvorbu rozhodnutí v komplexních situacích (Simon 1979, str. 510).

Ekonometrie má také svá statistická omezení. Regresní metody, používané při stanovení parametrů umožní jejich určení pouze za určitých podmínek. Tyto podmínky jsou známy jako *maintained hypotheses*, protože se jedná o předpoklady, jež musí být pro použití statistických metod splněny. Tato hypotéza nemůže být nikdy ověřena, dokonce ani v principu, musí být brána jako dogma. V nejběžněji používané regresní metodě, metodě nejmenších čtverců platí hypotéza, že proměnné jsou měřeny dokonale, že model dokonale odpovídá reálnému světu a že náhodné chyby v proměnných z jedné časové periody do druhé jsou úplně nezávislé. Sofistikovanější techniky nevyžadují tak restriktivní předpoklady, ale vždy obsahují jiné apriori hypotézy, které nelze ověřit.

Dalším problémem je, že ekonometrie nerozlišuje mezi korelací a příčinnými vztahy. Simulační modely musí zobrazovat příčinné vztahy v systému, pokud mají ukazovat jeho chování, zvláště chování v nových situacích. Ale statistické techniky, použité k určení parametrů v ekonometrických modelech neurčí, kdy je vztah příčinný. Pouze zobrazí stupeň minulých korelací mezi proměnnými, ale tyto korelace se mohou změnit nebo zvrátit při dalším vývoji systému. Uznávaný ekonom Robert Lucas (1976) činí stejný závěr v jiných souvislostech.

Představme si Phillipsovu křivku jako příklad. Přestože je ekonomy Phillipsova křivka uváděna jako příčinný vztah – kompromis politiky mezi inflací a

nezaměstnaností – nikdy nezobrazovala příčinné síly, které determinují inflaci nebo růst mezd. Přesněji byla Phillipsova křivka způsobem, jak vyjádřit chování systému v minulosti. V minulosti, řekl Phillips, se objevovala nízká nezaměstnanost v dobách, kdy byla vysoká inflace a naopak. Potom, někdy kolem roku 1970 přestala Phillipsova křivka fungovat; vzrostla inflace a nezaměstnanost se zhoršila. Ekonomové vysvětlovali, že to je změnou struktury systému. Ale modelářova pohnutka ke „strukturální změně“ obvykle znamená, že neadekvátní struktura modelu musí být změněna, neboť výsledky se netrefily do chování reálného systému!

V 70. letech se stalo následující: když inflace dostala ceny do v průmyslové éře nevídaných hladin, lidé se naučili očekávat pokračující nárůst. Výsledkem tohoto zpětnovazebního adaptivního procesu učení, bylo vyrovnání se s inflací pomocí indexování, a různé jiné druhy chování, jež inflaci braly jako součást života. Struktura, příčinné vztahy systému, se nezměnily. Místo toho příčinné vztahy, které zde byly vždy (ale v prostředí nízké inflace utlumené), ale při zvyšování inflace získaly na síle a staly se určujícími pro chování systému. Zejména schopnost lidí přizpůsobit se neustálé inflaci zde byla vždy, ale nebyla vyzkoušena do té doby, než se inflace dostatečně zvýšila byla dostatečně trvalá. Potom se změnilo chování systému a historická korelace mezi inflací a nezaměstnaností přestala platit.

Závislost ekonometrie na číselných datech je další z jejich slabých stránek. Úzký pohled na čísla modeláře „oslepuje“, nutí jej k hledání hmatatelnějších, ale méně důležitých faktorů. Ignorují potenciálně pozorovatelné jevy, které dosud nebyly měřeny a nebo ty, pro něž nejsou dostatečná numerická data (Nebo použijí proměnnou, pro níž data existují a snaží se nahradit jí tu původní i když jejich vztah je někdy více než pochybný – např. použití

dat o výdajích na vzdělání na hlavu jako náhrady za údaj o gramotnosti.).

Kromě faktorů, jež jsou z ekonometrických modelů vyloučeny z důvodu nedostupnosti dat je zde problém existence mnoha důležitých determinantů tvorby rozhodnutí – včetně tužeb, cílů a dojmů. Numerická data mohou měřit výsledky tvorby rozhodnutí, ale čísla nevysvětlují, jak nebo proč se lidé rozhodují právě tak. Výsledkem je, že ekonometrické modely není možné použít ke zjištění reakcí lidí na změnu v okolnostech.

Podobně nejsou ekonometrické modely schopny být návodem k výkonu za podmínek, které dosud nebyly vyzkoušeny. Ekonometrie předpokládá, že korelace historických dat budou platit i v budoucnosti. Ve skutečnosti tato data obvykle platí chvíli a dále je není možné jako návod pro budoucnost použít. Výsledkem je to, že modely jsou méně robustní, tváří v tvář nové politice či podmínkám zklamávají a vedou k nekonzistentním závěrům.

Příkladem může být model, použitý firmou Data Resources Inc. v roce 1979 k testování politik, zaměřených na eliminaci importu ropy. Na základě historických dat model usoudil, že odezva poptávky po ropě v závislosti na její ceně je slabá – 10 procentní nárůst v ceně ropy zapříčinilo pokles poptávky 2 procenta a to ještě za dlouho. Kdyby spotřeba klesla o 50 procent, tvrdí model (dost na to, aby byl zlikvidován import) musela by cena vyskočit na 800 dolarů za barel. Ale při této ceně by náklady na ropu (zbývajících 50 procent) vysoce překročili hrubý národní produkt, což je evidentní nesmysl (Sterman 1981). Závislost modelu na historických datech vedla k nekonzistenci. (Dnes víme, že poptávka je velice závislá na ceně, mnohem více než kdykoli předtím. Vidíme, že zjišťování robustnosti modelu je nejrychlejší za extrémních

podmínek.). Ověření platnosti je v ekonometrickém další z problémových oblastí. Hlavní kritérium používané ekonometrickými modeláři ke zjištění platnosti rovnice nebo modelu je míra, do jaké souhlasí s daty. Mnoho ekonometrických textů (např. Pindyck a Rubinfeld 1976) učí, že statistická významnost určených parametrů v rovnici je indikátorem správnosti vztahu. Takové pohledy jsou nesprávné. Statistická významnost ukazuje, do jaké míry se rovnice shoduje s pozorovanými daty; neukazuje, kdy je vztah správný nebo zdali je to způsob, kterým svět skutečně funguje. Statisticky významný vztah mezi proměnnými v rovnici ukazuje, že jsou velmi korelované a že domnělá korelace není výsledkem pouhé náhody. Ale to v žádném případě nedokazuje, že je příslušný vztah příčinný.

Použití statistické významnosti jako testu platnosti modelu může vést modeláře k zaměňování historických korelací za příčinný vztah. Může to dále způsobit, že vyloučí platné rovnice, popisující důležité vztahy. Mohou například vyloučit rovnici, jako statisticky nevýznamnou, protože je k dispozici jen několik málo dat o proměnných nebo proto, že dat je příliš málo ke statistické analýze.

Je jistou ironií, že nedostatek statistické významnosti nevede nutně ekonometrické modeláře k závěru, že daný model nebo rovnice je nesprávná. Pokud je daný vztah nemožné označit za statisticky významný, modelář může zkusit jiný tvar rovnice, doufajíc, že bude statistice vyhovovat lépe. Potom může mít příslušná rovnice jen velmi vágní vztah k dané ekonomické teorii nebo chování příslušného systému. Jinak řečeno se mohou modeláři pokoušet vysvětlit rozdíl mezi chováním modelu a reálného systému na nedokonalosti sebraných dat, exogenní vlivy nebo jiné faktory.

K vysvětlení použijme opět Phillipsovu křivku. Když model zklamal, byl proveden bezpočet revizí rovnic. Tyto pokusy o lepší statistické přiblížení se k reálným datům přinesly jen málo užítku. Někteří analytici se snažili nalézt příčinu v cenovém ropném šoku, jiní v Ruské pšenici nebo v jiných příčinách, vysvětlujících danou změnu. A jiní říkali, že došlo k jistým strukturálním změnám, způsobujícím, že se Phillipsova křivka přesunula do vyšších hladin nezaměstnanosti pro jakoukoli hodnotu inflace.

Tato selhání ekonometrie si vysloužila vážnou kritiku celé ekonomické obce. Phelps-Brown k tomu dodává, že řízené pokusy jsou od základu nemožné v ekonomice, kde „regrese mezi časovými řadami je pouze matoucí“ (Phelps-Brown 1972, str. 6). Lester Turnow říká, že ekonometrie, jako metoda k testování teorií zklamala a je nyní používána pouze jako „stánek exhibičních teorií“. Jako nástroj pro obhajobu ekonometrie zahrnuje některá omezení rozhledu modeláře. Thurow říká:

Běžným náhodným výběrem hledá analytik soubor proměnných a funkčních forem, které tvoří nejlepší rovnice. V tomto kontextu budou nejlepší rovnice záviset na názoru analytika. Pokud je analytik přesvědčen o tom, že úroková míra neovlivňuje peněžní zásobu, určí za nejlepší rovnici tu, která vyhovuje jeho názoru... (Thurow 1983 str. 107-8)

Nejdrsnější závěr ale činí nositel Nobelovy ceny ВАСИЛЬ ЛЕОНТЕВ:

Rok za rokem se ekonomičtí teoretikové snaží vytvářet hromady matematických modelů a detailně zkoumají jejich formální stav; a ekonometři hledají algebraické vyjádření všech možných průběhů,

aniž jsou schopni jakýmkoli akceptovatelným způsobem dojít k systematickému chápání struktury a chování reálného ekonomického systému. (Leontief 1982, str. 107)

Tyto teoretické problémy ale vadí jen málo v ekonometrických modelech, které poskytují přesné předpovědi. Konec konců hlavním účelem ekonometrických modelů je krátkodobé předpovídání budoucího stavu ekonomiky a většina atributů ekonometrie (včetně použití regresních metod k určení „nejlepších“ hodnot parametrů a přehnanou důvěru v exogenní proměnné) je těmto funkcím podřízena.

Bohužel ale ekonometrie selhává i v tomto ohledu, v praxi modely příliš dobře nepředpovídají. Schopnost předpovídat je u ekonometrických modelů slabá, zejména při porovnání s ostatními metodami. Pro to existuje hned několik důvodů.

Jak již bylo poznamenáno, při prognózách s ekonometrickým modelem musí modelář určit budoucí hodnoty exogenních proměnných a ekonometrické modely jich obsahují velké množství. Zdrojem hodnot těchto mohou být jiné modely, ale obvykle jsou dány intuicí modeláře. Předpovídání hodnot exogenních proměnných konzistentně, je velmi obtížné.

Není divu, že se výsledky ekonometrických modelů často neshodují s představami modelářů. Pokud mají modeláři pocit, že výstup modelu je nesprávný („Velkou trojku“ ekonometrických firem nevyjímaje – Chase Econometrics, Wharton Econometric Forecasting Associates a Data Resources) prostě svou předpověď upraví. Otto Eckstein z Data Resources říká, že jejich předpovědi vychází z 60% z modelů a ze 40% z vlastních úsudků. Trend vlastních úprav výsledků má stoupající tendenci.

Povězme si něco o experimentu, který provedl Joint Economic Committee of Congress (přes politicky neutrální General Accounting Office). Výbor zadal zmíněným třem ekonometrickým firmám, které byly zmíněny úkol, provést série simulací s jejich modely v různých podmínkách monetární politiky. První série simulací byla vedena samotnými analytiky firem, další prováděla sama Accounting Office. Příkladem nekonzistentních výstupů může být následující: Když byla zásoba peněz ustálena, model firmy DRI určil, že po deseti letech budou úrokové sazby 34% - výsledek naprosto nesmyslný jak z hlediska ekonomické teorie, tak historické zkušenosti. Předpověď byla poté firmou upravena na přijatelných 7%. Druhé dva modely na tom byly s odhadem trochu lépe, ale všechny pokusy ukázaly neschopnost samotných modelů přinést smysluplné výsledky.

Navíc byly tyto post simulační úpravy výsledků modelů označeny mnoha odborníky za nevědecké. Zejména proto, že úpravy výsledků se činí na základě mentálních modelů osob, které mají stejně malou mentální schopnost predikce chování komplexních systémů jako ostatní a kromě toho jsou předpoklady, na nichž je takový odhad založen obvykle neověřitelné a neprozkoumatelné.

Selhání ekonometrických modelů nezůstalo bez povšimnutí. Zde je překlad titulků několika článků, které se toho týkají:

„1980: Rok, kdy to prognostici opravdu přehnali“ (Business Week, 14. července 1980)

„Kde velké ekonometrické modely nefungují.“ (Business Week, 30. března 1980)

„Prognostici zcela předělávají své modely kvůli chybám v roce

1982“ (Wall Street Journal, 17. února 1983)

Přes všechna tato selhání není možné beze zbytku prohlásit, že ekonometrie je zcela k ničemu. Minimálně vyvolala potřebu sběru dat v oblastech, kde by to nikoho ani nenapadlo a dnes můžou být tato data využita platnějšími simulačními technikami. Jinak ale platí vše, co již bylo řečeno.

Co by měl uživatel modelu znát

Předcházející diskuse byla zaměřena na různé modelovací techniky a přístupy, jejich výhody a nevýhody, aby potenciální uživatel modelu získal alespoň přibližný obraz toho, co může očekávat. Nezávisle na jejich omezeních zde není pochyb o tom, že mohou být velmi důležitým nástrojem rozhodování. Dobře sestavené počítačové modely převyšují v mnohém mentální modely sebechytřejších osob.

Následující seznam otázek by měl pomoci potenciálním uživatelům modelů. Obsahuje některé klíčové okruhy, kterými je možné zjistit platnost modelu a jeho použitelnost k řešení daného problému.

Co je problémem? Řešením jakého problému se model zabývá?

Kde jsou hranice modelu?

Které faktory jsou endogenní?

Exogenní? Vynechané? Jsou vloženy soft proměnné? Je počítáno se zpětnými vazbami? Zachycuje model možné vedlejší efekty, ať už užitečné nebo nebezpečné?

V jakém časovém horizontu má smysl problém řešit? Obsahuje model prvky, které se v daném časovém horizontu mohou měnit jako endogenní?

Předpokládá model, že lidé jednají racionálně a optimálně? Počítá model také s neekonomickým chováním?

Předpokládá model, že lidé dokonale znají budoucnost a způsoby, kterými funguje jejich systém, nebo bere na zřetel omezení, zpoždění a chyby při získávání informací, které vadí lidem v reálném světě?

Jsou brány na zřetel reálná zpoždění, omezení a úzká místa?

Je model robustní i při extrémních hodnotách vstupů?

Jsou doporučení, vyplývající z výsledků modelu citlivá na změnu předpokladů?

Jsou výsledky modelu publikovatelné tak, jak jsou? Nebo je třeba, aby je modelář upravoval?

Pracuje s modelem tým, který jej postavil? Jak dlouho trvá, než je modelářský tým schopen zpracovávat novou situaci, modifikovat model a vložit nová data?

Existuje k modelu dokumentace? Je tato dokumentace běžně přístupná? Mohou model používat i třetí osoby a zkusit si vlastní scénáře?

Závěr

Nikdo by neměl tvořit rozhodnutí na základě výsledků počítačového modelu které jsou poskytovány s dovětkem „ber, nebo nechej být“. Ve skutečnosti je primárním účelem modelování spíše výuka než predikce. Modely by neměly být používány jako nástroj pro posílení kritických argumentů, ale jako nástroje pro zlepšení úsudku a intuice. Velmi slibný

rozvoj vidíme již dnes v továrnách, školách, státní správě, zkrátka ve všech oblastech lidského konání.

Reference

Grant, Lindsey, ed. 1988. *Foresight and National Decisions: The Horseman and the Bureaucrat*. Lanham, Md.: University Press of America.

Lucas, R. 1976. *Econometric Policy Evaluation: A Critique*. In *The Phillips Curve and Labor Markets*, K. Brunner and A. Meltzer, eds. Amsterdam: North-Holland.

Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis; Randers, Jorgen.; and Behrens, William. 1972. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.

Greenberger, M., Crenson, M. A., and Crissey, B. L. 1976. *Models in the Policy Process*. New York: Russell Sage Foundation.

Meadows, Donella H. 1982. *Whole Earth Models and Systems*. *CoEvolution Quarterly*, Summer 1982, pp. 98-108.

Hogarth, R. M. 1980. *Judgment and Choice*. New York: Wiley.

Meadows, Donella H.; Richardson, John; and Bruckmann, Gerhart 1982. *Groping in The Dark*. Somerset, NJ: Wiley.

Joint Economic Committee. 1982. *Three Large Scale Model Simulations of Four Money Growth Scenarios*. Prepared for subcommittee on Monetary and Fiscal Policy, 97th Congress 2nd Session, Washington, DC

Morecroft, John D. W. 1983.
System
Dynamics: Portraying Bounded
Rationality. *Omega II*: 131-
142.

1988. System Dynamics and Microworlds for Policy Makers. *European Journal of Operational Research* 35(5):301-320.

Jorgenson, D. W. 1963. Capital Theory and Investment Behavior. *American Economic Review* 53:247-259.

Kahneman, D., Slovic, P., and Tversky, A. 1982. *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge: Cambridge University Press.

1980: The Year The Forecasters Really Blew It *Business Week*, 14 July 1980.

Phelps-Brown, E. H. 1972. The Underdevelopment of Economics. *The Economic Journal* 82:1-10.

Kaldor, Nicholas. 1972. The Irrelevance of Equilibrium Economics. *The Economic Journal* 82: 1237-55.

Pindyck, R., and Rubinfeld, D. 1976. *Econometric Models and Economic Forecasts*. New York: McGraw Hill.

Kim, D. 1989. Learning Laboratories: Designing a Reflective Learning Environment. in *Computer-Based Management of Complex Systems*, P. Milling and E. Zahn, eds., pp. 327-334. Berlin: Springer Verlag

Richmond, B. 1987. *The Strategic Forum*. High Performance Systems, Inc., 45 Lyme Road, Hanover, NH 03755, USA.

Senge, Peter M. 1980. A System Dynamics

Approach to Investment Function Formulation and Testing. *Socioeconomic Planning Sciences* 14:269-280.

Leontief, Wassily. 1971. Theoretical Assumptions and Nonobserved Facts. *American Economic Review* 61(1):1-7.

Barney, Gerald O., ed. 1980. *The Global 2000 Report to the President*. 3 vols. Washington, DC: US Government Printing Office.

Business Forecasters Find Demand Is Weak in Their Own Business: Bad Predictions Are Factor. *Wall Street Journal*, September 1984.

Cyert, R. and March, J. A. *Behavioral Theory of the Firm*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Department of Energy. 1979. *National Energy Plan II*. DOE/TIC-10203. Washington, DC: Department of Energy.

1983. *Energy Projections to the Year 2000*. Washington, DC: Department of Energy, Office of Policy, Planning and Analysis.

Eckstein, O. 1983. *The DRI Model of the US Economy*. New York, McGraw Hill.

Economists Missing the Mark: More Tools, Bigger Errors. *New York Times*, 12 December 1984.

Federal Energy Administration, 1974. *Project Independence Report*. Washington, DC: Federal Energy Administration.

Forecasters Overhaul Models of Economy in Wake of 1982 Errors. *Wall Street Journal*, 17 February, 1983.

Forrester, Jay W. 1969. *Urban Dynamics*. Cambridge, Mass: MIT Press.

Forrester, Jay 1971 *World Dynamics*. Cambridge, Mass: MIT Press.

1980 Informaiton Sources for Modelling the National Economy. *Journal of the American Statistical Association*. 75(371):555574

Graham, Alan K.; Senge, Peter M.; Sterman, John D.; and Morectroft, John D. W. 1989. Computer Based Case Studies in Management Education and Research. In *Computer-Based Management of Complex Systems*, eds. P. Milling and E. Zahn, pp. 317-326. Berlin: Springer Verlag.

1982. *Academic Economics*. *Science*, 217: 104-107.

1989. Catalyzing Systems Thinking Within Organizations. In *Advances in Organization Development*, F. Masaryk, ed. forthcoming.

Simon, Herbert. 1947 *Administrative Behavior*. New York: MacMillan.

1957. *Models of Man*. New York: Wiley.

1979. Rational Decisionmaking in Business Organizations. *American Economic Review*. 69:493-513.

Sterman, John D. 1981. The Energy Transition and the Economy: A System Dynamics Approach. PhD. dissertation, MIT, Cambridge.

1985. A Behavioral Model of the Economic Long Wave. *Journal of Economic Behavior and Organization* 6(1):17-53.

1989 Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science* 35(3): 321-339.

Stibaugh, Robert and Yergin, Daniel. 1979. *Energy Future*. New York: Random House.

Thurow, Lester. 1983. *Dangerous Currents*. New York: Random House.

Weizenbaum, J. 1976. *Computer Power and Human Reason: from Judgement to Calculation*. San Francisco: W.H. Freeman.

Where The Big Econometric Models Go Wrong. *Business Week*, 30 March 1981.

Autor by rád •ekl, •e mnoho myšlenek zde prezentovaných vyplynulo z diskusí nebo bylo formulováno zejména t•mito osobami: Jay Forresterem, Georgem Richardsonem, Peterem Sengem a zvlášt• pak Donnelou Meadows, její• Groping in the Dark (Meadows, Richardson a Bruckman 1982) bylo velkým p•ínosem.