

Simulační modely

1.1 Cíle a struktura knihy

Záměrem autorů je nabídnout čtenářům ucelený, nikoliv však všezahrnující úvod do teorie a praxe simulačních modelů se zaměřením na aplikace z podnikové sféry. Při setkání s pojmem *simulace* se mnohým určitě vybaví slovo simulant, to jest ten, kdo předstírá, napodobuje příznaky nemoci. Předem upozorňujeme, že o simulantech tato kniha určitě není. Simulace je metoda analýzy složitých podnikových procesů, které obsahují prvky náhodného a dynamického chování. Simulace je v podstatě jedinou dostupnou metodou, jak takové složité systémy studovat, neboť analytické postupy nejsou pro rozsáhlejší úlohy použitelné. Simulace je úspěšnou metodou analýzy podnikových procesů: aplikace v praxi ukázaly, že podniky, které optimalizovaly své podnikové procesy, dosáhly finančních, materiálových a personálních úspor. Proto se domníváme, že seznámit se se simulačním modelováním je výhodnou investicí.

Jestliže jste se chtěli o simulaci podnikových procesů dozvědět něco víc, zjistili jste, podobně jako autoři, že na českém knižním trhu nebyla dostupná aktuální literatura o simulačním modelování. Rozhodli jsme se tuto mezeru zaplnit vlastními silami a dali se do psaní této knihy, kterou jsme obsahově rozdělili do tří částí. V první tematické části, do které bychom zařadili kapitoly 1 až 5, se zabýváme **teoretickými základy simulace**. Čtenáře seznámíme se zachycením pravděpodobnostních a dynamických stránek v simulačním modelu, navrhováním simulačních experimentů, analýzou výsledků simulace a výběrem nejlepší varianty řešení (optimalizací).

Teoretické základy simulace

1. SIMULAČNÍ MODELY
2. MODELOVÁNÍ VARIABILITY PROCESŮ
3. MODELOVÁNÍ STRUKTURY A DYNAMIKY SYSTÉMŮ
4. SIMULAČNÍ EXPERIMENTY A ANALÝZA VÝSLEDKŮ
5. SROVNÁNÍ A OPTIMALIZACE SYSTÉMŮ

Druhá tematická část textu, která se skládá z kapitol 6 až 8, je věnována **simulačním nástrojům (simulačním jazykům)**. Závislost simulace na vývoji výpočetní techniky a programového vybavení je zásadní, bez výkonných počítačů není simulace možná. Přehled vývoje a současného stavu na trhu simulačních programů obsahuje kapitola 6. V kapitolách 7 a 8 jsou popsány simulační programy SIMPROCESS a SIMUL8. Tyto kapitoly mohou sloužit jako stručný český manuál uživatelům zmíněných programů, nebo jako inspirující materiál pro ty, kteří dosud nemají představu o tom, jak simulační program vypadá, jak se v simulačním programu tvoří počítačový model reálného systému, jaké výsledky simulační program nabízí.

Simulační nástroje

6. PŘEHLED SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ
7. SIMULAČNÍ PROGRAM SIMPROCESS
8. SIMULAČNÍ PROGRAM SIMUL8

Třetí tematickou část, kterou tvoří kapitoly 9 až 11, bychom mohli nazvat **využití simulace v praxi**. Obsahuje jednak konkrétní případové studie z praxe, jednak možnosti řešení jednodušších úloh v prostředí tabulkového kalkulátoru. Případové studie mají za cíl přiblížit reálné využití simulace pro zlepšování podnikových procesů. Příklady v tabulkových kalkulátorech jsou zaměřeny na jednodušší úlohy, které mají pravděpodobnostní charakter. Možnosti zachycení dynamických vlastností v tabulkových kalkulátorech jsou poměrně omezené, proto aplikace v tabulkových kalkulátorech mají především ilustrativní charakter. Nespornou výhodou tabulkových kalkulátorů je jejich dostupnost velkému počtu uživatelů a možnost jejich rozšíření doplňkovými programy. Modely v tabulkových kalkulátorech jsou vhodnou vstupní branou do světa modelování podnikových procesů.

Využití simulace v praxi

9. APLIKACE V TABULKOVÝCH KALKULÁTORECH

10. PŘÍPADOVÁ STUDIE: NÁVRH A OVĚŘENÍ SYSTÉMU
MANIPULACE VE VÝROBNÍM ZÁVODU11. PŘÍPADOVÁ STUDIE: ZÁSOBOVÁNÍ MONTÁŽNÍCH
PRACOVÍŠŤ SPOJOVACÍM MATERIÁLEM

Součástí druhého upraveného vydání je nově též kapitola 12, ve které spekulujeme o budoucnosti simulace.

1.2 Simulace jako metoda analýzy podnikových procesů

Počítačová simulace je moderním nástrojem pro analýzu komplikovaných výrobních, zásobovacích, obslužných, komunikačních a dalších podnikových procesů (systémů). Simulace je metodou, která pomocí počítačového modelu podnikového procesu umožňuje manažerům předvídat chování systému při změně vnitřních či vnějších podmínek, optimalizovat podnikové procesy vzhledem k zadaným kritériím (zisk, náklady, spolehlivost), porovnat mezi sebou navrhované alternativy organizace studovaného procesu. Značnou výhodou simulace je fakt, že vše se děje jen v počítačovém modelu, bez nutného zásahu do provozu podniku. Pomocí simulace je možné prozkoumat různé alternativy změn v systému, ověřit dopady a důsledky těchto změn a vybrat takové řešení, které je pro danou situaci nejvhodnější. Riziko chybných rozhodnutí je díky simulačnímu modelování sníženo na minimum, neboť chyba objevená již při experimentech s počítačovým modelem je vždy levnější než chyba, která je odhalena až při realizaci konkrétního, předem nezkoumaného návrhu řešení.

Základní myšlenka simulace je vlastně velmi jednoduchá: napodobit chod poměrně složitého reálného podnikového systému pomocí počítačového modelu a poté při experimentování s modelem pozorovat chování systému. Možnosti využití simulace podnikových procesů jsou poměrně široké a různorodé, neboť komplikované podnikové systémy, které mají pravděpodobnostní a dynamické chování, jsou spíše pravidlem než výjimkou. Přitom systémy od určité úrovně složitosti jsou již zcela neuchopitelné alternativními analytickými postupy, jako například teorie zásob, teorie hromadné obsluhy, matematické programování, řízení projektů. U simulace je tomu naopak, protože čím složitější modelovaný systém je, tím výrazněji vyniknou přednosti simulace. Není proto divu, že počítačová simulace je nejpoužívanější metodou analýzy a optimalizace podnikových procesů vůbec.

Manažeři se při hledání metod zvyšování efektivnosti podnikových procesů setkávají s pojmy jako business process improvement, reengineering, process redesign, process mapping, activity-based costing apod. Simulace podnikových procesů je jednak praxí odzkoušeným efektivním nástrojem, který lze při aplikaci výše zmíněných přístupů

Simulační modely

v podniku využít, jednak simulace podnikových procesů tyto techniky zvyšování efektivnosti sama o sobě zahrnuje.

Například *activity-based costing* (čili kalkulace nákladů na základě činnosti) představuje metodiku měření nákladů a výkonů pro nákladové objekty, činnosti a zdroje. Nákladové objekty (výrobky, služby, projekty či jiné jednotky, pro které je žádoucí samostatné určení nákladů) vyžadují realizaci činností, během kterých jsou spotřebovány či dočasně obsazeny zdroje. Činnostem se přiřazují náklady na použité zdroje a nákladovým objektům se přiřazují náklady na realizované činnosti. Simulace tento postup stanovení nákladů používá automaticky, neboť to vyplývá ze struktury simulačního modelu, takže jiný způsob přiřazování nákladů simulace ani nikdy nepoužívala. Zastavme se ještě u metody *process mapping* (mapování procesů), která slouží k popisu podnikových procesů a jim přiřazených personálních, materiálových a finančních zdrojů. Simulační programy běžně kombinují grafické znázornění procesů a jejich vstupů a výstupů se současnou textovou dokumentací. To je totiž běžný postup, jakým se počítačový model v simulačním programu vytváří.

Po úvodních (motivačních) odstavcích bychom měli již konkrétněji specifikovat to, co simulace může nabídnout potenciálnímu uživateli a pro jaké podnikové procesy je simulace především vhodná. Počítačový simulační model nabízí výstupy ve formě uživatelem definovaného souboru ukazatelů, které byly získány při simulaci analyzovaného podnikového procesu. Typické ukazatele, které mají numerickou nebo grafickou formu, uvádíme níže v krátkém přehledu. Reálná podoba souboru ukazatelů samozřejmě závisí na povaze modelovaného systému a požadavcích uživatele.

Typické ukazatele, které poskytuje počítačová simulace

- Využití výrobních kapacit a zdrojů všech druhů v absolutních hodnotách a procentech (provoz, porucha, nečinnost). Grafy využití zdrojů v čase.
- Minimální, průměrné a maximální doby čekání a délky front vznikající u zdrojů s omezenou kapacitou. Identifikace úzkých (kritických) míst. Grafy vývoje délky front v čase.
- Spotřeba zásob a periodicita jejich doplňování. Grafy vývoje zásob.
- Minimální, průměrné a maximální doby trvání jednotlivých činností. Celková doba trvání procesu, cyklu.
- Počet požadavků (výrobků, služeb, zakázek), které byly obslouženy systémem během simulace. Průměrný počet požadavků, které byly v daném okamžiku v systému. Grafy vývoje počtu požadavků v čase.
- Počet neobsložených požadavků, počet závad a reklamací. Statistiky poruchovosti a ztráty tím způsobené.
- Přímé, režijní a celkové náklady na výrobky, služby, zakázky, procesy, činnosti atd. Variabilita nákladů (minimální, průměrné a maximální hodnoty).
- Spolehlivost výše uvedených ukazatelů na základě statistické a citlivostní analýzy.

Kromě souboru ukazatelů, které popisují výkonové charakteristiky systému, je třeba do výstupu simulace započítat též:

- Získání dat, která byla nezbytná pro simulační model a která dosud nebyla v podniku sledována.
- Detailní popis struktury podnikového procesu, který nemusel být před vytvořením modelu k dispozici.

- Možnost vizualizace studovaného procesu, což samo o sobě může poskytnout nový náhled na studovaný proces.
- Těžko měřitelný, ale důležitý proces „učení se“, který nastává u účastníků simulačního projektu během identifikace problémů, formulace cílů, tvorby a interpretace simulačního modelu.

V některých případech proces „učení se“ při tvorbě modelu přinese tolik nových poznatků, že lze hovořit o tzv. „sebezničujících“ simulačních modelech. Změna v organizaci studovaného podnikového procesu totiž díky získaným poznatkům nastane dříve, než je vlastní simulační model dokončen. Již vytvořený simulační model nemusí sloužit jen pro analýzu daného procesu, ale také pro zaškolování pracovníků po zavedení nové organizace práce, pro řízení a zdokonalování procesu v budoucnosti.

V kterých aplikačních oblastech lze simulaci využít? Simulace je univerzální metodou zkoumání složitých systémů, takže může být aplikována v biologii, medicíně, chemii, technických vědách, ve vojenství apod. Zatímco na jedné straně existuje simulace válečného konfliktu či simulace vyzvednutí ruské ponorky Kursk, můžeme se na straně druhé setkat i se simulací pohybu bublin v pivě (tuto simulaci jako jistou raritu uvádíme v příloze ke kapitole 1). Podobně různorodé jsou aplikace v podnikovém managementu, které však z hlediska rozsahu praktického využití simulace doposud zaostávají za aplikacemi v přírodních a technických oborech. Zvyšující se možnosti počítačové techniky a simulačních programů zvyšují atraktivitu simulace, což vede k rostoucímu počtu aplikací ve všech oblastech, simulaci podnikových procesů nevyjímaje. V následujícím přehledu uvádíme tradiční aplikace simulace, především na úrovni podniku, ale i některé další.

Aplikace simulace v praxi

- Optimalizace rozsáhlých výrobních systémů různých typů (strojírenství, potravinářská a chemická výroba) s cílem zkrátit výrobní proces, minimalizovat náklady, zvýšit produktivitu, zlepšit přidělování zdrojů, připravit projekty nových výrobních systémů, navrhnout dispoziční uspořádání výrobních zařízení v prostoru atd.
- Analýza logistických procesů v podniku i v prostředí dodavatelsko-oběratelských řetězců (supply chain management) s cílem snížit nutné zásoby a nedokončenou výrobu, minimalizovat riziko vzniku nepokrytých požadavků.
- Optimalizace pravidel skladování, např. zlepšit systém manipulace s materiálem či s výrobky, zvýšit propustnost příjmu a expedice (případně příjmových a expedičních ramp).
- Systémy řízení zásobovacích procesů (variabilita druhů požadavků a jejich výskytu, víceúrovňové zásobovací procesy).
- Rozvrhování výroby (např. víceproduktové vsádkové procesy), systémy on-line plánování (přidělování zdrojů, kontrola dodržování termínů).
- Optimalizace obslužných systémů různého typu, např. zajištění prodeje a servisu výrobků, organizace záchranné zdravotnické služby, využití lůžek a drahých zdravotnických technologií.
- Řízení a plánování rozsáhlých projektů.
- Vnitropodnikové dopravní systémy, železniční, silniční a letecký provoz.
- Komunikační systémy, pravidla pohybu dokumentů.
- Finanční plánování a řízení rizik.

Simulační modely

- Simulace složitých odstávek výrobních zařízení při plánované údržbě

Zatím jsme spíše zdůrazňovali přednosti simulace, ale je nutné počítat s náklady, protože simulace není zadarmo. V případě simulace půjde především o následující nákladové položky:

- personální náklady na kvalifikovaného analytika, který je schopen vytvářet simulační modely podnikových procesů,
- čas manažerů, který věnují komunikaci s analytikem v průběhu řešení projektu,
- náklady na výpočetní techniku, (hardware),
- náklady na programové vybavení (pořízení vhodného simulačního nástroje), což může být v případě specifických požadavků uživatele nezanedbatelná finanční částka,
- náklady na sběr dat, pokud data nezbytná pro vytvoření modelu dosud neexistovala.

Jestliže jde o jednorázový projekt, bývá obvykle výhodnější zadat jeho řešení zkušené konzultační firmě, než se pouštět bez předchozích zkušeností do rozsáhlých simulačních projektů. Výhodu mají větší firmy, ať už využívají pro simulační projekty interní nebo externí zdroje. Ve větších firmách lze i při menších jednotkových úsporách díky rozsahu produkce dosáhnout celkově významné přínosy, které při úspěšném projektu několikanásobně převýší vynaložené náklady. Manažeři z menších firem by měli důkladněji zvážit, v jakém rozsahu je přínosné realizovat simulační projekt. Tím nechceme menší firmy odrazovat od simulace, jde o to vyhnout se nespokojeným očekáváním a následnému zklamání. Malým firmám doporučujeme zamyslet se nad tím, zda pro analýzu jednodušších procesů není možné využít tabulkových kalkulátorů (případně jejich rozšíření pomocí různých doplňkových programů) nebo jiných dostupnějších modelovacích nástrojů. Tento postup je výrazně levnější, a přesto může pro podnik znamenat zajímavé přínosy, vést ke změně myšlení a přístupu k řešení problémů, k získání zkušeností pracovníků s tímto typem projektů. Inspiraci lze nalézt v kapitole 9, kde jsou uvedeny příklady jednodušších aplikací v tabulkovém kalkulátoru MS Excel.

1.3 Simulace jako vědní disciplína

Simulace vznikla z *metody Monte Carlo*, od které se postupně oddělila v samostatnou disciplínu. Stále však simulaci a metodu Monte Carlo považujeme za blízké příbuzné. Metodou Monte Carlo rozumíme numerické řešení pravděpodobnostních i deterministických úloh pomocí statistického experimentu. Při této metodě je pro experimentování sestrojena pravděpodobnostní úloha, která má shodné řešení s původní úlohou. Řešení získané metodou Monte Carlo má samozřejmě pravděpodobnostní charakter, jde o statistický odhad, jehož přesnost roste s počtem pokusů. Simulace a metoda Monte Carlo nejsou svým původem ekonomické disciplíny. Jedná se o obecné metody, které se využívají ve fyzice, chemii, biologii, strojírenství, vojenství a dalších disciplínách, včetně podnikového managementu.

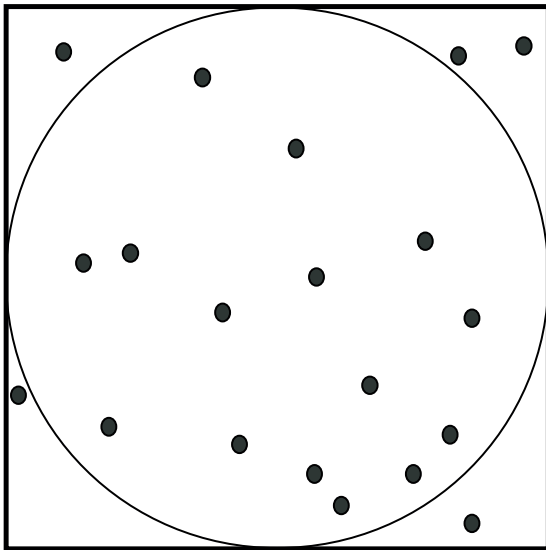
Za autora metody Monte Carlo je označován Stanislaw Ulam, polský matematik, který za druhé světové války pracoval ve Spojených státech spolu s Johnem von Neumannem na vývoji jaderných zbraní (projekt Manhattan). Ulam metodu Monte Carlo údajně vymyslel při zkoumání pravděpodobnosti výhry v kartách. Pravdou je, že metoda jako taková byla známá již v minulosti, ale Stanislaw Ulam, John von Neumann

a Nicholas Metropolis navrhli první počítačové algoritmy pro tuto metodu a ukázali převod deterministických úloh na úlohy náhodné a jejich řešení statistickými postupy. První článek o metodě Monte Carlo, jejíž název prý navrhl Nicholas Metropolis podle známého města hazardu, byl publikován v roce 1949. Metoda Monte Carlo a simulace tak vděčí za svůj rozvoj do jisté míry druhé světové válce a jadernému zbrojení.

Převod jedné úlohy na jinou si ukážeme na výpočtu *Ludolfova čísla* π . Mějme místnost o rozměru 2 x 2 metry. Na podlahu nakreslíme kruh o poloměru jednoho metru se středem uprostřed místnosti. Náhodně rozházíme po místnosti N mincí (obr. 1.1). Počet mincí, které padnou do kruhu, označíme M . Potom podíl M/N se bude s rostoucím počtem mincí N limitně přibližovat poměru obsahu kruhu ($\pi r^2 = \pi 1^2 = \pi$) k obsahu podlahy místnosti (4 m^2). Pro dostatečně velká N dostáváme vztah

$$\pi/4 \approx M/N \text{ a odtud } \pi \approx 4(M/N).$$

Obrázek ukazuje situaci po hodu dvaceti mincemi ($N=20$), z nichž patnáct leží v kruhu ($M=15$). Získáváme tak odhad Ludolfova čísla $\pi = 4 \times 15/20 = 3$. Ve skutečnosti bychom úlohu neřešili rozhazováním mincí, ale napodobením (simulací) rozhazování mincí na počítači. Náhodně bychom generovali souřadnice bodů v místnosti a testovali jejich vzdálenost od středu. Jestliže tato vzdálenost je menší nebo rovna poloměru kruhu, bod leží uvnitř kruhu. Na rozdíl od simulace se v této úloze neuvažuje žádné dynamické chování. V některých případech je těžké říci, zda se jedná o simulaci či metodu Monte Carlo. Někteří autoři tyto dva přístupy vůbec nerozlišují, jiní vidí rozdíl mezi těmito metodami zejména v jejich odlišném použití: metoda Monte Carlo je metodou řešení úloh (deterministických i stochastických) pomocí statistického pokusu, simulace se oproti tomu zabývá studiem složitých dynamických systémů. Jako dobré se zdá být pravidlo, že pokud je čas (dynamika) podstatnou součástí studovaného systému, jedná se o simulaci, v opačném případě jde o metodu Monte Carlo.



Obr. 1.1 – Házení mincemi po místnosti pro získání odhadu Ludolfova čísla

Simulační modely

Simulaci můžeme definovat jako metodu studia „složitých“ pravděpodobnostních dynamických systémů pomocí experimentování s počítačovým modelem. *Simulovat* znamená napodobit fungování reálného systému pomocí počítačového modelu. *Složitost* je relativní pojem, který znamená, že model reálného systému není možné řešit analytickými postupy, které vedou k přesnému řešení. Proto se simulace věnuje systémům pravděpodobnostním a dynamickým, neboť právě takové systémy jsou pro analytické řešení složité. S modelem provádíme experiment, to znamená, že pozorujeme model systému během jeho chodu, nastavujeme různé parametry modelu a zjišťujeme, jaký vliv mají dané změny na chování systému. V simulačním modelu, který obsahuje náhodné chování, jde o *statistický experiment*, z čehož vyplývá, že výsledkem simulace je *odhad* parametru (bodový či intervalový), nikoliv přesná hodnota. Na rozdíl od laboratorního experimentu je simulační experiment proveden s *počítačovým modelem*. Simulace jako vědní i praktická disciplína úzce souvisí s rozvojem výpočetní techniky, bez níž by nebylo možné rozsáhlé numerické výpočty realizovat. Postupně byly vyvinuty specializované simulační programy, které zjednodušují tvorbu simulačních modelů, provádění simulačních experimentů a analýzu výsledků.

Pokud se na simulaci podíváme jako na interdisciplinární obor, je simulace založena na propojení poznatků teorie pravděpodobnosti, statistiky, operačního výzkumu, teorie systémů a informatiky. Simulace slouží jak k řešení teoretických problémů vědy a výzkumu, tak k řešení praktických problémů z podnikové praxe. Počítačová simulace je jednou z mnoha metod využitelných pro řešení konkrétních úloh, ale u složitých systémů obvykle metoda jediná možná. Může být využita pro:

- analýzu dynamického chování složitého reálného nebo projektovaného podnikového systému za pomoci počítačového modelu,
- analýzu citlivosti získaného řešení na změnu různých parametrů modelu (tzv. what-if analýza),
- srovnání výkonnosti různých variant uspořádání systému podle zadaných kritérií pro optimalizaci systému,
- nahrazení experimentu s podnikovým systémem, který nelze z nějakých důvodů uskutečnit v praxi, experimentem na počítači.

Simulovat znamená napodobovat, v tomto významu se simulace vyskytuje i v dalších spojeních. Při výcviku pilotů, řidičů a jiných profesí se využívají tzv. simulátory či trenažéry. Jde o zařízení, která určitým způsobem napodobují reálné situace, a tak slouží k procvičení správných reakcí a návyků pro jejich zvládnutí. Podobné určení mají ekonomické/podnikové hry. Tyto hry simulují investiční rozhodování, řízení podniku, marketingovou strategii apod. Bývají určeny pro více osob, které spolupracují nebo hrají proti sobě. Cílem je cvičit týmovou spolupráci a strategické myšlení, a to pokud možno atraktivní formou. Simulátory a ekonomické hry odlišuje od počítačové simulace (neinteraktivní) možnost člověka do průběhu simulace zasahovat. Poněkud jiné je i jejich poslání: cílem simulace je řešit konkrétní problém, cílem simulátoru či hry je se na řešení problémů připravit, naučit se zvládat běžné, nebo naopak výjimečné krizové situace. Ve vojenství se též užívá pojem živá simulace, což je simulace za účasti reálných lidí v reálném systému. Pohyb a aktivita jednotek jsou průběžně monitorovány a výsledek cvičení na základě sebraných údajů vyhodnotí počítač. Někdy se za simulaci označuje analýza citlivosti (analýza stability řešení) nebo predikce možného budoucího vývoje.

1.4 Simulační projekty

Simulační projekty, jejichž cílem je zlepšení podnikových procesů (vyšší produktivita, nižší náklady, vyšší spolehlivost), procházejí určitými, i když nikoliv pevně danými fázemi. Přeskočení nebo podcenění určité fáze projektu sice v některých případech opravdu může ušetřit čas a peníze, častějším výsledkem však bude celkové zdržení projektu a vyšší náklady. Různí autoři a také různé konzultační firmy používají a propagují různá dělení projektů na fáze, etapy či kroky, vesměs jde však o obsahově podobná schémata. Dělení projektů prezentované zde není rozhodně jediné možné a univerzálně použitelné, přesto může sloužit jako rozumný soubor doporučení pro realizaci úspěšného simulačního projektu.

Fáze 1: Rozpoznání problému a stanovení cílů

Správná formulace problému je pro úspěšnost projektu zásadním krokem. Je běžné, že ani dobří manažeři nejsou schopni ihned formulovat, v čem spočívá příčina problémů, jak přistoupit k řešení problému a jaké realistické cíle si vytyčit. Výroky typu „naš podnik je ztrátový“, „nejsme schopni dodržet smluvené termíny“ nebo „chci zlepšit efektivnost nemocnice“ jsou značně nekonkrétní a nejsou správnou formulací řešitelného problému. V této fázi je klíčová schůzka klienta s řešitelským týmem, na které dojde:

- ke shodě ohledně vymezení problému a stanovení dosažitelných cílů, např. problémem je nedostatečná kapacita skladu, cílem je optimalizace skladovacích procesů, přičemž zlepšení procesu v rozmezí 10 až 15 % je již dostatečné k řešení situace;
- k rozhodnutí, zda bude projekt realizován a je-li simulace vhodnou metodou;
- k dohodě o tom, kdo bude za projekt odpovědný a jak bude probíhat komunikace mezi klientem a řešitelským týmem.

Fáze 2: Vytvoření konceptuálního modelu

Před začátkem tvorby počítačového modelu v simulačním programu je třeba si vytvořit určitou základní představu o modelovaném systému, tzv. *konceptuální model*. Bez promyšleného konceptuálního modelu se řešitelskému týmu sotva podaří vytvořit smysluplný počítačový model složitého systému.

- Jaký podnikový systém modelujeme? Kdo jsou zákazníci systému?
- Podle jakých kritérií je hodnocena efektivnost systému?
- Jak podrobná úroveň modelování je nutná?
- Jaké objekty, činnosti a zdroje modelovaný systém zahrnuje?
- Jak požadavky vstupují do systému? Jaká jsou pravidla při obsluze požadavků?
- Jakým způsobem se přidělují omezené zdroje jednotlivým procesům?

Fáze 3: Sběr dat

Simulace je datově náročnou metodou a problém nastává, když požadovaná data nejsou k dispozici. Model je možné vytvořit i bez dat, jsou-li k dispozici rozumné předpoklady o charakteru modelovaných procesů (názory expertů, analogie s podobnými procesy). Musíme si však dát pozor i v situaci, kdy data k dispozici jsou: jak byla data získána, lze

Simulační modely

data pokládat za vypovídající? Například v situaci, kdy je čas určitých prací normován, bychom měli zjistit, zdali to, co je vykazováno, odpovídá realitě. Měření dob trvání konkrétních činností může ukázat na problémy při stanovování norem v podniku. Zkušební měření rovněž zachytí variabilitu trvání činností, což z norem samotných není možné zjistit. Pokud bude model vytvářen tzv. „bez dat“, je potřeba se spolehnout na realnost expertních odhadů od pracovníků, kteří mají s danou činností nejvíce zkušeností.

Fáze 4: Tvorba simulačního modelu

Tvorba modelu v simulačním programu znamená „zakódování“ konceptuálního modelu z fáze 2. Systém, který obsahuje neobvyklé charakteristiky, je zkouškou programátorského umu. Ve výjimečných případech může řešitelský tým při tvorbě simulačního modelu zjistit, že zvolený simulační program není pro daný projekt vhodný. Tvorba počítačového modelu je první kontrolou konceptuálního modelu, neboť nekompromisní přesnost počítačové logiky odhalí to, co bylo přehlédnuto při tvorbě konceptuálního modelu.

Fáze 5: Verifikace a validace modelu

Verifikaci modelu rozumíme ověření toho, zda vytvořený počítačový model je v souladu s původním konceptuálním modelem. Jde o kontrolu správného přepisu představy řešitelského týmu o fungování reálného systému do simulačního programu. *Validaci* chápeme ověření toho, zda počítačový model je ve shodě s realitou. Ověřujeme, jestli představa o fungování reálného systému byla správná. Pokud vytváříme model existujícího systému, je nejjednodušším způsobem kontroly srovnání výstupů modelu s reálnými daty. Neočekávejme úplnou shodu modelu a reality, neboť model vždy zůstane zjednodušením reality. Z určitého pohledu se doporučuje vyvarovat se modelování přehnaných detailů, protože takový přístup odvádí pozornost od principiálních vlastností systému a komplikuje případné pozdější změny modelu.

Fáze 6: Provedení experimentů a analýza výsledků

Pro řešitelský tým je tato fáze nejzajímavější částí projektu, neboť práce vložená do předešlých fází začíná přinášet výsledky. Plán experimentů a statistická analýza výsledků je samozřejmou součástí projektu, kromě toho může být přínosné uspořádat volnější diskusi nad chodem modelu (zde poslouží animace pohybu entit, průběžné grafické výstupy) za účasti řešitelského týmu a klienta. Doporučuje se připravit různé varianty, nejen prezentovat variantu nejlepší podle řešitelského týmu.

Fáze 7: Dokumentace modelu

Základní chybou mnoha začátečníků je naprosté podcenění dokumentace projektu. Bez popisu struktury modelu, vývoje modelu a výsledků experimentů je prakticky nemožné se k modelu později vrátit (spokojený klient se může vrátit s novým zadáním) nebo použít určité části modelu v budoucích aplikacích (objeví se nový klient s podobným zadáním).

Fáze 8: Implementace

Analýzou výsledků a dokumentací simulační projekt pro řešitelský tým nekončí, řešitelský tým by měl být vtažen do implementace projektu do praxe. Ponechávat implementaci zcela na uživateli snižuje pravděpodobnost úspěchu projektu. Navíc to znamená, že v případě neúspěšné implementace se zklamaný klient nevrátí.

Přehled fází simulačního projektu nelze zakončit jinak než konstatováním, že standardní projekt neexistuje – každý projekt je samozřejmě jiný a má svá specifika. Dodržování určitých principů při organizaci práce na projektu zvyšuje pravděpodobnost úspěchu, zvyšuje efektivitu práce a snižuje riziko zbytečných stresových situací na straně řešitelského týmu i klienta. Na závěr zlaté pravidlo: komunikace s klientem, komunikace s klientem, komunikace s klientem.

1.5 Typy simulačních modelů

Podle výchozích předpokladů a postupu tvorby modelu lze rozlišit čtyři simulační modelové přístupy, které vycházejí z myšlenky napodobení chování systému za pomoci počítače: simulaci Monte Carlo, simulaci diskrétních událostí, systémovou dynamiku a multiagentní systémy.

Simulací Monte Carlo rozumíme numerické řešení pravděpodobnostních i deterministických úloh pomocí statistického experimentu (Fabian, Kluiber, 1998). Při této metodě je pro experimentování sestrojena nová pravděpodobnostní úloha, která má shodné řešení s původní úlohou. Řešení takto získané má pravděpodobnostní charakter, jde o statistický odhad, jehož přesnost roste s počtem pokusů.

Simulace diskrétních událostí (či zkráceně diskrétní simulace) modeluje systémy jako provázanou síť dynamických a statických objektů. Simulovaný čas je sice spojitý, ale změny stavu systému se vyskytují pouze v určitých diskrétních časových okamžicích. Dynamické objekty v simulovaném systému jsou zachyceny jako individuální entity, které mají své charakteristiky (vlastnosti) ovlivňující průchod entity systémem. Při průchodu systémem entity vyžadují vykonání různých obslužných aktivit (činností). Pro realizaci aktivit jsou potřeba určité zdroje (statické objekty), pro něž je typická omezená kapacita, což vede ke vzniku front. Cílem je analýza fungování podnikového systému nebo jeho optimalizace za pomoci detailního počítačového modelu.

Oproti tomu *systémová dynamika* (system dynamics) zobrazuje systém jako provázanou řadu úrovnových a tokových veličin, jejichž změny mají spojitý charakter (Mildeová, Vojtko, 2003). Na rozdíl od diskrétní simulace se model systémové dynamiky nezabývá detailem, ale klíčovými zpětnými vazbami a jejich vlivem na celkový vývoj systému (např. neomezený růst, pokles, cyklický vývoj). Původní modely systémové dynamiky byly vytvořeny J. W. Forresterem (Forrester, 1961, 1969, 1971) a jeho kolegy na Sloan School of Management při Massachusetts Institute of Technology.

Multiagentní systémy představují počítačové modely pro simulaci interakcí mezi velkými počty autonomních agentů, kteří se chovají podle předem definovaných pravidel (Cahlík, 2006). Modelování jednotlivých agentů umožňuje zachytit existující různorodosti agentů v systému. Cílem modelu je hodnocení toho, jak individuální rozhodování velkého počtu různorodých agentů ovlivňuje chování systému jako celku. Typický model multiagentního systému se skládá ze tří částí: a) z množiny agentů, jejich charakteristik a pravidel chování; b) z množiny vztahů a způsobů komunikace mezi agenty; c) ze systémového okolí, se kterým jsou agenti také v interakci. Simulace ukazují, že i velmi jednoduchá pravidla vedou k velmi komplexnímu chování systému. Často též můžeme v modelech pozorovat, že vzájemné interakce mezi agenty vedou k určité sebeorganizaci. Heterogenita agentů a možnost vzniku sebeorganizace jsou zřejmě dvě nejdůležitější vlastnosti, které multiagentní systémy odlišují od ostatních

simulačních metod. Multiagentní systémy prozatím nenajdeme v tradičních učebnicích simulačního modelování, operačního výzkumu, managementu či ekonomie. Přitom v posledních letech pozorujeme rostoucí zájem o tuto metodu simulace.

V tomto textu se budeme zabývat využitím simulace pro analýzu podnikových procesů. Využití je poměrně široké a různorodé, nebo komplikované podnikové systémy, které mají pravděpodobnostní a dynamické chování, jsou spíše pravidlem než výjimkou. Praxe ukázala, že pro modelování podnikových procesů se jako nevhodnější jeví simulace diskretních událostí.

Podle toho, zda jsou, či nejsou v modelu obsaženy pravděpodobnostní charakteristiky, rozlišujeme modely na deterministické a stochastické. Toto rozdělení není ani tak důležité při tvorbě simulačního modelu, neboť se mění pouze charakter parametrů modelu, je však důležité pro interpretaci výsledků. V případě deterministických modelů získáme přesné řešení, zatímco v případě stochastických (pravděpodobnostních) modelů je výsledkem statistický odhad skutečných hodnot výstupních ukazatelů. Pro modely, které jsou charakterizovány vztahem mezi stochastickými vstupními a výstupními daty, existuje v angličtině pěkné označení *RIRO* (random in, random out).

Významnou součástí simulační metodologie je algoritmické zachycení simulačního modelu, neboť model se stává ve své konečné podobě počítačovým programem. Simulační jazyk (program) musí mít k dispozici algoritmické nástroje:

- pro modelování struktury systému (kapitola 3);
- pro modelování dynamického chování systému (kapitola 3);
- pro zachycení pravděpodobnostních charakteristik systému (kapitola 2);
- pro sběr dat o průběhu simulace a pro zpracování výsledků (kapitola 4);
- pro navrhování a řízení experimentů s modelem (kapitoly 4 a 5).

1.6 Příloha: simulace odhalila tajemství bublin v pivu

Počítačový model umožnil odhalit tajemství jevu poutajícího pozornost návštěvníků po celá staletí: proč bubliny ve sklenici piva Guinness klesají, namísto aby stoupaly? Bez ohledu na známou skutečnost, že bubliny v kapalině vyplouvají k hladině, jsou pijáci piva svědky toho, že značná část bublin v pivu se ve skutečnosti pohybuje ke dnu sklenice. Profesor Clive Fletcher a jeho studenti z University of New South Wales v Sydney použili k objasnění tajemství bublin nejnovější simulační metody – modelovali pohyby bublin pomocí programu pro modelování dynamiky tekutin *FLUENT*. Pomocí počítačové simulace lze graficky znázornit rychlost proudění, tlak, teplotu a koncentraci látek v libovolném bodě v tekutině, a lépe tak porozumět problémům souvisejícím s prouděním. Výzkumníci podle očekávání zjistili, že většina bublin se skutečně pohybuje směrem vzhůru. Bubliny uprostřed sklenice, neovlivňované blízkostí stěn, ovšem stoupají rychleji a strhávají s sebou kapalinu. Kapalina stoupající středem sklenice musí ale po dosažení hladiny někam odtékat, což činí, a to směrem ke stěnám a podle stěn zpět dolů ke dnu sklenice. A při pohybu dolů se snaží s sebou unášet bubliny. Větší bubliny s dostatečným vztlakem odolávají, ale ty malinké (o průměru menším než asi 0,05 mm) jsou nepřetržitě strhávány ke dnu. Jde o zajímavý příklad toho, jak nám počítačové modely pomáhají lépe porozumět okolnímu světu. (Zdroj: časopis *Automatizace*, č. 3/2000, str. 166).