

Simulace Monte Carlo v analýze rizika investičních projektů[#]

*Jiří Fotr – Lenka Švecová – Ivan Souček –
Lubomír Pešák**

Pro současné období je charakteristické zrychlování změn a výskyt mnoha rizik ovlivňujících prosperitu a někdy i přežití firem z mnoha oborů. Mezi významné faktory zvyšující frekvenci a intenzitu výskytu rizik patří nepochybně globalizace. Vzhledem k tomu výrazně vzrůstá význam adekvátní integrace rizika a nejistoty do klíčových firemních rozhodnutí strategického charakteru, zahrnujících především rozhodnutí investiční povahy.

Zkušenosti z hospodářské praxe však ukazují, že způsoby respektování rizika a nejistoty v investičním rozhodování jsou mnohdy nedostatečné a mají značně negativní dopady na jeho kvalitu i dosažené výsledky. Vzhledem k tomu je možné konstatovat, že dosažení vyšší kvality investičního rozhodování z hlediska integrace faktorů rizika a nejistoty by mohlo značně příznivě ovlivnit hospodářské výsledky a podnikatelskou prosperitu z dlouhodobého hlediska. Jedním z významných nástrojů, které mohou přispět ke zvýšení této kvality, je simulace Monte Carlo.

Cílem příspěvku je proto charakterizovat tento nástroj, demonstrovat jeho použití na příkladu významného investičního projektu z hospodářské praxe, diskutovat některé problémy spojené s aplikací simulace Monte Carlo v investičním rozhodování a specifikovat její přednosti a nedostatky.

1. Přílišný optimismus v investičním rozhodování

Závažným problémem, který do značné míry ovlivňuje výsledky ocenění projektů jakožto podkladů pro investiční rozhodnutí je **značný optimismus** při stanovení odhadu (očekávaného, či nejpravděpodobnějšího) peněžního toku sloužícího jako základ pro stanovení kritérií ekonomické efektivity těchto projektů. Tento peněžní tok je tak často vychýlen směrem k příznivějším hodnotám. Takovýto přístup nemůže sice u investičních projektů malého rozsahu firmy ohrozit, avšak u **velkých projektů jednoúčelového charakteru** (tj. např. u projektů specializovaných na určité produkty, kde nelze měnit sortiment podle vývoje poptávky) představujících závažná **nevratná rozhodnutí**, může být příčinou značných finančních obtíží ohrožujících samu existenci firem.

Přílišný optimismus při hodnocení investičních projektů dokumentují též výsledky empirických výzkumů investičního rozhodování. Mnohé studie srovnávající dosažené

[#] Článek je zpracován jako jeden z výstupů výzkumného záměru *Nová teorie ekonomiky a managementu* registrovaného u MŠMT České republiky pod evidenčním číslem MSM6138439905.

* Prof. Ing. Jiří Fotr, CSc.; Katedra managementu, Fakulta podnikohospodářská, Vysoká škola ekonomická v Praze.
Ing. Lenka Švecová, Ph.D. – zástupkyně vedoucího; Katedra managementu; Fakulta podnikohospodářská, Vysoká škola ekonomická v Praze.

Ing. Ivan Souček – generální ředitel a předseda představenstva; Česká rafinérská, a. s.

Ing. Lubomír Pešák – specialista pro dlouhodobé plánování; Česká rafinérská, a. s.

výsledky investičních projektů, fúzí, akvizicí a pronikání na trh ukazují, že plánované výsledky byly značně příznivější. Např. jedna ze studií zpracovaná ve Spojených státech (viz Lovo-Kahneman, 2003) dospěla k závěru, že více než 70 % nových výrobních závodů v USA končí svoji činnost během prvních deseti let fungování, přibližně tři čtvrtiny fúzí a akvizicí se nikdy nevyplatí (akcionáři přebírající firmy ztrácejí více než získávají akcionáři přebírané firmy) a 80 % nově vznikajících firem nedosáhlo předpokládaný podíl na trhu. Jiná studie zpracovaná společností Rand Corporation (viz Pollio, 1999) týkající se 44 chemických závodů vlastněných velkými americkými koncerny jako jsou 3M, DuPont, Texas aj. zjistila, že v průměru byly investiční náklady na vybudování těchto závodů více než dvakrát vyšší než jejich počáteční odhady a v době jednoho roku po uvedení do provozu bylo využití výrobní kapacity těchto závodů nižší než 75 % projektované kapacity a čtvrtina dokonce pracovala s nižším využitím výrobní kapacity než 50 %.

Výše uvedené poznatky ukazují, že manažeři často zakládají investiční rozhodnutí na **falešných předpokladech úspěchu a optimistických iluzích** spojených spíše s přeceňováním výnosů a podceňováním nákladů, než na racionálním zvažování potenciálních zisků a ztrát investičních projektů. Tyto předpoklady jsou často neadekvátní a podceňují pravděpodobnost nepříznivého vývoje faktorů ovlivňujících výsledky projektů, přičemž každý složitý projekt může ohrožovat velký počet událostí. I když je každá z nich málo pravděpodobná, může být jejich souhrn vedoucí k nepříznivým výsledkům projektu pravděpodobnější, než jediný zvažovaný „nejpravděpodobnější scénář“, který je základem investičního rozhodnutí.

K dalším faktorům ovlivňujícím optimistické pohledy na investiční projekty dále patří:

- **Opomíjení, resp. podceňování konkurence**, která představuje klíčový faktor ovlivňující výsledky investičních projektů.
- **Tlak na optimistické prognózy**. Vzhledem k omezenosti finančních prostředků, času i dalších zdrojů na realizaci nových projektů se snaží předkladatelé projektů zvýšit naději na jejich přijetí tím, že výsledky projektů zakládají na optimistických prognózách faktorů, ovlivňujících tyto výsledky.
- **Přeceňování vlastních schopností** projevující se v tom, že manažeři, resp. podnikatelé předpokládají, že vynaložením dostatečného úsilí mohou zajistit úspěšnost investičních projektů, i když se mohou projevit určité problémy a potíže.
- **Chybné chápání příčin určitých událostí**, kdy si manažeři **přisvojují zásluhy za dobré výsledky** jejich firemní strategie, inovačních programů aj. a **špatné výsledky přičítají externím faktorům**, jako je např. inflace, počasí aj. S tím souvisí **přeceňování stupně ovladatelnosti** těchto externích faktorů a podceňování vlivu náhody či štěstí.
- **Potlačování pesimistických názorů** v organizaci, interpretovaných často jako neloajalita. Pokud jsou ale pesimistické názory zlehčovány, resp. potlačovány, a optimistické naopak oceňovány, oslabuje to výrazně kritické myšlení organizace.

Společným rysem mnoha výše uvedených nedostatků je nedostatečná pozornost věnovaná **rizikové stránce** investičních projektů. Je zřejmé, že přílišný optimismus při zpracování peněžních toků projektů je třeba oslabit a při jejich hodnocení vycházet z vyváženého pohledu na budoucnost.¹

¹ Např. Lovo a Kahneman (2003) doporučují oslabit interní pohled na projekty, zaměřený obvykle na jedinečné, resp. neobvyklé rysy každého projektu a zvýraznit externí pohled založený na začlenění každého projektu do skupiny obdobných minulých projektů, stanovit statistické rozdělení jejich výsledků a umístit projekt na odpovídající místo tohoto rozdělení.

2. Analýza rizika investičních projektů

Náplní této analýzy je identifikace rizikových faktorů, stanovení jejich významnosti a určení velikosti rizika projektů (viz Fotr – Souček, 2005).

- **Identifikace rizikových faktorů** je založena především na zkušenostech a tvůrčím přístupu zpracovatelů investičních projektů, které mohou dílčím způsobem podpořit **kontrolní seznamy** (tj. vyčerpávající přehledy potencionálních rizikových faktorů, které by mohly určitý projekt ohrozit), **pohovory s experty**, **týmové diskuse** a **kognitivní mapy**. Počet zjištěných faktorů rizika je obvykle (a to v závislosti na složitosti projektu) značný a přesahuje obvykle deset až dvacet. Vzhledem k tomu by byly další fáze analýzy rizika pracné a proto je třeba posoudit **významnost faktorů rizika** a dále se omezit pouze na **klíčové faktory** s největšími dopady na výsledky projektu. K posouzení významnosti rizikových faktorů slouží jednak počítačově podporovaná **analýza citlivosti**, jednak **expertní hodnocení**.
- Podstatou analýzy citlivosti je zjišťování dopadů **izolovaných změn jednotlivých faktorů rizika** (ostatní faktory zůstávají na jejich předpokládané úrovni) na **kritérium hodnocení investičního projektu**. **Expertní hodnocení** významnosti rizikových faktorů (viz Vose, 2000) je založeno na posuzování této významnosti pomocí dvou aspektů, které tvoří pravděpodobnost výskytu rizikového faktoru a intenzitu negativního dopadu na projekt.
- **Stanovení velikosti rizika investičního projektu** je dosti náročné a vyžaduje uplatnění určitých nástrojů podpory rizikového rozhodování. Významnou úlohu může sehrát simulace Monte Carlo.

3. Simulace Monte Carlo v analýze rizika

3.1 Náplň simulace Monte Carlo

Simulace Monte Carlo nepředstavuje sice nový nástroj podpory rozhodování za rizika², avšak zatím jsou její aplikace v oblasti investičního rozhodování u nás velice vzácné. Podstatou této simulace je **generování velkého počtu**, řádově tisíců budoucích situací (scénářů) a propočet zvolených kritérií hodnocení pro každý scénář, což pak umožňuje stanovit **rozdělení pravděpodobnosti těchto kritérií i číselné charakteristiky rizika** pro jednotlivé posuzované projekty. Základem uplatnění simulace Monte Carlo v analýze rizika investičních projektů je stanovení plánového výkazu zisků a ztrát projektu, jeho plánových peněžních toků a definování vztahů pro výpočet kritérií hodnocení (všechny tyto výkazy i modely propočtu kritérií hodnocení mají podobu programu v systému MS Excel).

Realizace analýzy rizika projektu simulací Monte Carlo pak dále vyžaduje:

- **Určení klíčových faktorů rizika.** Program bude respektovat nejistotu těchto faktorů, přičemž u ostatních faktorů (málo významných rizikových faktorů, resp. veličin

2 Jeho počátky spadají již do 40. let minulého století a jsou spojeny se jménem jednoho ze zakladatelů teorie her J. von Neumannem, který použil simulaci Monte Carlo v oblasti přírodních věd. První aplikace simulace v ekonomické oblasti, konkrétně v investičním rozhodování, jsou pozdějšího data a spadají do 60. let minulého století. Jejich průkopníkem byl D. Hertz (1964) svým článkem v časopise Harvard Business Review. U nás se uplatňuje simulace Monte Carlo v oblasti logistiky (návrhy distribučních systémů), operačního managementu (simulace toku materiálu výrobním procesem) a existují i aplikace z oblasti řízení rizika (viz Hnilica, 2005).

s malou nejistotou, resp. spolehlivým stanovením) ovlivňujících zvolené kritérium se bude vycházet z jejich nejpravděpodobnějších odhadů.

- **Stanovení rozdělení pravděpodobnosti klíčových faktorů rizika.** U faktorů rizika s několika málo hodnotami je třeba zadat jejich pravděpodobnosti, u spojených rizikových faktorů se obvykle volí určitý typ rozdělení a zadávají jeho parametry.³
- **Stanovení statistické závislosti faktorů rizika.** Některé faktory rizika mohou záviset na jiných rizikových faktorech a proto je v dalším kroku, tj. při vlastní simulaci, nelze generovat nezávisle na sobě (příkladem může být závislost poptávky po produktu na jeho prodejní ceně). Respektování statistické závislosti faktorů rizika je značně obtížné a vyžaduje zpravidla odhad korelačních koeficientů párově závislých faktorů rizika.
- **Vlastní proces simulace s využitím počítačového programu.** Tento proces tvoří značný počet simulačních kroků které se opakují až do získání výsledků. V každém simulačním kroku program vygeneruje hodnoty rizikových faktorů z jejich rozdělení pravděpodobnosti při respektování zadané statistické závislosti (tj. vytvoří určitý scénář) a propočte hodnotu zvolených kritérií, např. čisté současné hodnoty. Po dostatečně velkém počtu simulačních kroků získá uživatel výsledky jednak v **grafické podobě**, tj. v našem případě graf rozdělení pravděpodobnosti čisté současné hodnoty projektu, jednak v **číselné podobě** (charakteristiky rizika v podobě rozptylu, směrodatné odchylky a variačního koeficientu, dále např. pravděpodobnost, s jakou bude čistá současná hodnota záporná aj.).

Kromě těchto základních výstupů simulace lze získat další **analytické výsledky**, které společně významně obohacují a zkvalitňují informační základnu pro rozhodování o:

- přijetí projektu,
- nutnosti jeho modifikace přijetím opatření na snížení rizika,
- zamítnutí projektu v případě jeho nepřijatelného rizika (opatření na snížení rizika projektu nejsou buď možná, nebo vysoce nákladná).

3.2 Příklad aplikace simulace Monte Carlo

Charakteristika projektu

Aplikaci analýzy rizika založené na simulaci Monte Carlo budeme ilustrovat na příkladu reálného projektu, připravovaného k realizaci. Tento projekt spočívá ve výměně hořáků v peci atmosférické destilační kolony, využívající jako topné médium zemní plyn za hořáky umožňující dvoupalivový provoz, tj. zemní plyn nebo kapalné palivo (pyrolýzní olej⁴, jde tedy o přechod z plynného topného média na kapalné médium). Zahájení realizace tohoto projektu se předpokládalo v 2. polovině roku 2006, přičemž projekt by měl být uveden do provozu v průběhu roku 2008 (doba výstavby by tak činila přibližně dva roky).

Pro ekonomické vyhodnocení tohoto projektu a jeho analýzu rizika byl zpracován model v systému MS Excel zahrnující:

- **vstupní údaje** pro stanovení peněžních toků projektu a z nich odvozených ekonomických kritérií,

3 V ekonomických aplikacích se často využívá např. trojúhelníkové rozdělení, resp. normální rozdělení. Pokud pro určitý faktor rizika zvolíme trojúhelníkové rozdělení, je třeba zadat nejpravděpodobnější hodnotu faktoru (ta tvoří vrchol trojúhelníka) a jeho dolní a horní mez. U normálního rozdělení, které slouží k zobrazení symetrických faktorů rizika, je třeba zadat střední hodnotu a směrodatnou odchylku. V intervalu střední hodnota \pm směrodatná odchylka leží cca 68 % hodnot daného faktoru.

4 Pyrolýzní olej představuje produkt podobný nízkosírnému těžkému topnému oleji.

- **peněžní toky projektu** zahrnující jak dobu výstavby projektu, tak období jeho fungování (předpokládaná životnost projektu je 15 let, takže při zahájení provozu v roce 2008 je posledním rokem peněžních toků projektu rok 2022),
- **kritéria (ukazatele)** pro hodnocení ekonomické efektivity projektu a jeho analýzu rizika zahrnující diskontovanou a nediskontovanou dobu úhrady, čistou současnou hodnotu, index rentability a vnitřní výnosové procento.

Zpracované peněžní toky projektu tvoří přírůstkové toky projektu vzhledem ke srovnávací základně, kterou tvoří současný stav. Jedinou výnosovou (příjmovou) položku projektu tvoří úspora nákladů na palivo (přechod z dražšího zemního plynu na levnější pyrolýzní olej). Významnou nákladovou položku tvoří pak (kromě odpisů a nákladů na údržbu) nutnost dodatečného pořízení emisních povolenek vyvolaná nárůstem emisí CO₂ v případě přechodu na kapalné palivo.

Úspora nákladů na palivo v jednotlivých letech života projektu se stanovila jako rozdíl potřeby dražšího zemního plynu a levnějšího pyrolýzního oleje. Východiskem pro stanovení ceny zemního plynu v daném roce (vyjádřené v \$/tunu) je cena ropy v předchozím roce, přičemž cenu zemního plynu ovlivňuje dále i měnový kurz Kč/\$. Cena pyrolýzního oleje byla pak dána cenou zemního plynu sníženou o diskont vztažený k této ceně. Přírůstek nákladů na povolenky CO₂ je odrazem toho, že spalování pyrolýzního oleje na rozdíl od zemního plynu vyvolává vyšší emise CO₂. Plánované investiční náklady projektu činí 89,4 mil. Kč, sazba daně z příjmů se předpokládala ve výši 24 % po celou dobu života projektu a jako diskontní sazba se použily vážené průměrné náklady kapitálu společnosti ve velikosti 6,03 %.

Čistá současná hodnota tohoto projektu stanovená tradičním způsobem, tj. na základě nejpravděpodobnějších vstupních veličin (investičních nákladů, cen ropy, měnových kurzů aj.) ovlivňujících jednotlivé příjmové a výdajové položky peněžního toku projektu, činila 115,7 mil. Kč a jeho vnitřní výnosové procento téměř 25 %. Z tohoto pohledu jde tedy o ekonomicky značně efektivní projekt.

Příprava simulace

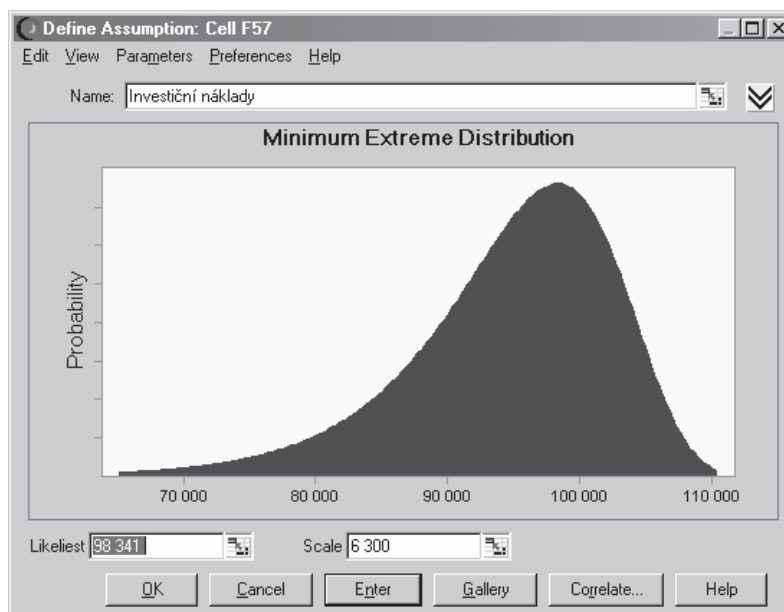
Na základě expertního posouzení nejistoty vstupních veličin, ovlivňujících ekonomické výsledky projektu, se dospělo k závěru, že faktory rizika projektu budou tvořit investiční náklady projektu, diskont ceny pyrolýzního oleje vztažený k ceně zemního plynu (\$/t), cena ropy (\$/barel), cena povolenky CO₂ (€/t), měnový kurz Kč/\$ a Kč/€ (časové řady po dobu předpokládané životnosti projektu, tj. pro roky 2008 až 2022).

Pro zobrazení nejistoty rizikových faktorů byla zvolena tato rozdělení pravděpodobnosti:

- **trojúhelníkové rozdělení** pro diskont ceny pyrolýzního oleje vzhledem k ceně zemního plynu (dolní mez 80 \$/t, horní mez 140 \$/t, nejpravděpodobnější hodnota 115 \$/t), stejné rozdělení pro ceny ropy (dolní mez pro všechny roky 50 \$/t, horní mez 70 \$/t a nejpravděpodobnější hodnoty ve výši vstupních veličin v modelu peněžních toků),
- **normální rozdělení** pro ceny povolenek CO₂, kurzy Kč/\$ a Kč/€ (střední hodnoty převzaty ze vstupů modelu peněžních toků a směrodatné odchylky odhadnuty expertně vzhledem k předpokládané nejistotě těchto veličin),
- **rozdělení typu *minimum extreme*** pro investiční náklady, kde se vyšlo z předpokladu, že tyto náklady se mohou pohybovat v intervalu 89,4 mil. Kč \pm 30 %, přičemž nejpravděpodobnější hodnotou bude překročení investičních nákladů o 10 %, tj. 98,3 mil. Kč (předpokládá se, že deterministický odhad investičních nákladů z modelu

peněžních toků bude spíše překročen než nedosažen - viz obr. 1, kde investiční náklady jsou v mil. Kč).

Obr. č. 1: Rozdělení pravděpodobnosti investičních nákladů projektu



Zdroj: vlastní výpočty v systému Crystal Ball

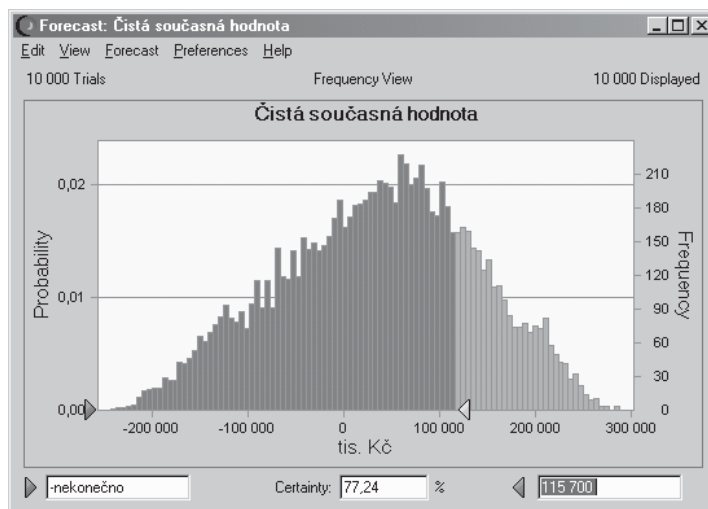
Výsledky simulace

K vlastní analýze rizika investičního projektu byl použit systém Crystal Ball (viz Mun, 2005). Jeden ze základních výstupů této simulace⁵ uvádí obr. 2. Z tohoto obrázku názorně plyne, že za daných předpokladů (vyjadřujících především nejistotu rizikových faktorů) jde o vysoce rizikový projekt. Čistá současná hodnota se pohybuje od cca –240 mil. Kč do cca 285 mil. Kč. Pravděpodobnost, že tato hodnota bude záporná je přibližně 36 % a pravděpodobnost nedosažení hodnoty 115,7 mil. Kč, která byla výsledkem deterministického hodnocení efektivnosti projektu, je dokonce cca 77 % (viz číslo v políčku označeném *certainty* na obr. 2).

Z výsledku simulace též vyplynulo, že zdaleka nejvýznamnější faktor rizika, který přispívá k celkovému riziku projektu, je diskont ceny pyrolýzního oleje vzhledem k ceně zemního plynu (ten se pohyboval od 80 do 140 \$/t). Navazující diskuse se zpracovateli projektu však vedla k závěru, že vzhledem k silné vyjednávací pozici České rafinérské, a.s. vůči dodavateli pyrolýzního oleje lze toto riziko výrazně omezit, přičemž výše tohoto diskontu by se mohla pohybovat mezi 115 a 125 \$/t. Simulace při hodnotách diskontu ve výši 115, 120 a 125 \$/t ukázaly, že eliminace tohoto rizikového faktoru výrazně snižuje riziko projektu (viz tab. 1).

5 Pro simulaci bylo zvoleno 10 000 simulačních kroků, kdy v každém kroku program vygenerovává hodnoty 51 faktorů rizika z jejich rozdělení pravděpodobnosti, propočte velikost zisků a ztrát projektů, jeho peněžní toky a hodnoty kritérií efektivnosti a na závěr výsledky jednotlivých kroků statisticky zpracovává. Doba trvání simulace nepřesáhla 5 vteřin.

Obr. č. 2: Rozdělení pravděpodobnosti čisté současné hodnoty projektu



Zdroj: vlastní výpočty v systému Crystal Ball

Tab. č. 1: Srovnání výsledků simulace v závislosti na velikosti diskontu

Charakteristika	Diskont (\$/t)		
	115	120	125
Dolní mez	-4,8	35,7	76,1
Horní mez	134,6	175,6	216,6
Střední hodnota	61,6	102,3	143,1
Pravděpodobnost ($\text{ČSH} \leq 0$)	0,04	0,0	0,0
Pravděpodobnost ($\text{ČSH} \leq 115,7$)	99,95	77,9	5,8

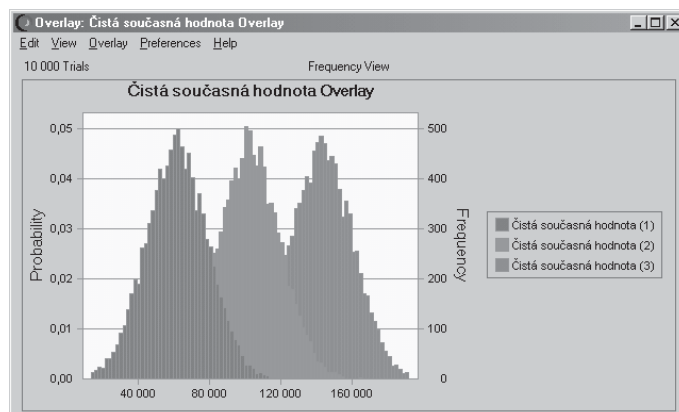
Zdroj: vlastní výpočty

Vysvětlivka: Meze rozdělení pravděpodobnosti čisté současné hodnoty v tab. 1. jsou vyjádřeny v mil. Kč, pravděpodobnosti v procentech.

Z této tabulky plyne, že při hodnotě diskontu 115 \$/t lze téměř vyloučit to, že čistá současná hodnota projektu bude záporná, avšak současně téměř s jistotou se nedosáhne čisté současné hodnoty požadované velikosti 115,7 mil. Kč, při které je vnitřní výnosové procento projektu cca 25 % (společnost vyžaduje u nových investičních projektů dosažení vnitřního výnosového procenta alespoň 25 %). Při diskontu 120 \$/t se čistá současná hodnota projektu pohybuje od 36 mil. Kč do 175 mil. Kč, takže pravděpodobnost její záporné hodnoty je nulová, současně však je poměrně vysoká pravděpodobnost (téměř 80 %) nedosažení požadované výše čisté současné hodnoty projektu. Při diskontu 125 \$/t je však již i tato pravděpodobnost malá (necelých 6 %). Názorné zobrazení dopadů diskontu na rozdělení pravděpodobnosti čisté současné hodnoty projektu a tím i jeho riziko ilustruje obr. 3.

Eliminace diskontu ceny pyrolýzního jako rizikového faktoru znamená, že se současně zvyšuje i váha ostatních faktorů rizika projektu (viz obr. 4).

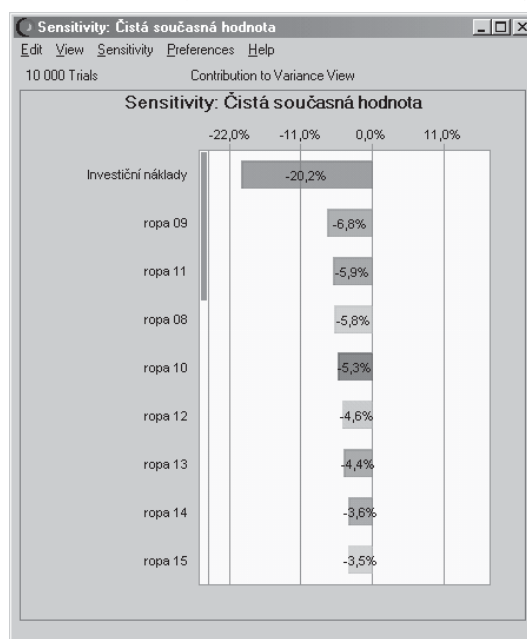
Obr. č. 3: Rozdělení pravděpodobnosti ČSH projektu v závislosti na velikosti diskontu



Zdroj: vlastní výpočty v systému Crystal Ball

Vysvětlivka: Graf vlevo odpovídá diskontu 115 \$/t, graf uprostřed 120 \$/t a graf napravo 125 \$/t.

Obr. č. 4: Příspěvky faktorů rizika k riziku projektu



Zdroj: vlastní výpočty v systému Crystal Ball

Vysvětlivka: Čísla u ropy udávají kalendářní rok (např. ropa 09 se vztahuje k ceně ropy v roce 2009).

Z tohoto obrázku plyne, že nejvýznamnějším faktorem rizika jsou nyní investiční náklady, které přispívají k riziku projektu cca 20 %. Druhý nejvýznamnější rizikový faktor představují ceny ropy v jednotlivých letech provozu projektu (záporné hodnoty příspěvků u těchto cen i investičních nákladů indikují, že vzrůst investičních nákladů i cen ropy negativně ovlivňuje ČSH projektu). Další faktory uvedené na obr. 4 již ovlivňují riziko projektu méně. Příspěvek cen povolenek CO₂ v jednotlivých letech se pohybuje mezi jedním až dvěma procenty, kurzy Kč/\$ a Kč/€ pak přispívají ještě méně (tyto měnové kurzy představují současně jediné faktory, jejichž vzrůst, tj. oslabení Kč, působí na čistou

současnou hodnotu pozitivně). Kvantifikované příspěvky jednotlivých faktorů rizika k celkovému riziku projektu pak představují významné informace pro navazující fáze managementu rizika, tj. pro zaměření případných opatření na snížení rizika projektu (na které faktory rizika se orientovat při respektování nákladů možných opatření).

3.3 Problémy aplikace simulace Monte Carlo v investičním rozhodování

Zkušenosti s uplatněním simulace Monte Carlo v investičním rozhodování ukazují, že její kvalitu a aplikační přínosy ovlivňuje několik problémů, mezi něž patří především stanovení subjektivních rozdělení pravděpodobnosti faktorů rizika, respektování statistické závislosti rizikových faktorů, volba diskontní sazby v případě uplatnění kritérií typu čisté současné hodnoty, obtížnost interpretace výsledků simulace a problémy spojené s jejich praktickou implementací.

Stanovení rozdělení pravděpodobnosti faktorů rizika

Rozdělení pravděpodobnosti rizikových faktorů lze jen v některých případech (pokud jsou k dispozici historické statistické údaje o určitých faktorech rizika v podobě časových řad) založit na konceptu **objektivních pravděpodobností**. V tomto případě lze využít k volbě vhodného typu rozdělení pravděpodobnosti pro jednotlivé rizikové faktory a stanovení parametrů tohoto rozdělení počítačovou podporu (např. procedura Batch Fit v systému Crystal Ball).

Častější jsou však situace, kdy je třeba výsledky zpracování statistických údajů expertně korigovat, resp. kdy žádné statistické údaje z minulosti neexistují (např. stanovení poptávky po zcela novém výrobku). V těchto případech lze dospět ke stanovení rozdělení pravděpodobnosti rizikových faktorů využitím **expertních výpovědí** založených na znalostech, zkušenosti a intuice odborníků z jednotlivých oblastí, ke kterým se faktory rizika vztahují. V tomto případě jde o tzv. **subjektivní rozdělení pravděpodobnosti**.

Stanovení subjektivních rozdělení pravděpodobnosti však klade na procesy usuzování specifické a poměrně značné nároky. Experimentální psychologické výzkumy zabývající se především omezenou schopností subjektu zpracovávat informace ukazují, že člověk je pro úlohy spojené s určováním subjektivních rozdělení pravděpodobnosti poměrně špatně vybaven. V důsledku toho většina lidí stanovuje příliš **úzké intervaly nejistoty odhadovaných (prognózovaných) jevů či faktorů**. Podcenění horních konců, resp. přecenění dolních konců intervalu významných faktorů vede k tomu, že se **opomíjejí atraktivní příležitosti**, resp. vystavujeme se **podstatně většímu riziku**, než si uvědomujeme.⁶

Ke zkvalitnění odhadů subjektivních rozdělení pravděpodobnosti rizikových faktorů mohou přispět empirické výzkumy vycházející z **postauditu** investičních projektů, kdy předmětem zájmu by byly prognózy vývoje rizikových faktorů, ze kterých se vycházelo při zpracování studií těchto projektů a hodnocení jejich efektivnosti, na straně jedné, a skutečné hodnoty těchto faktorů zjištěné ex post. Značným problémem takto zaměřeného výzkumu je však dostupnost podkladů, neboť jde o citlivé informace strategického charakteru, které si firmy značně chrání.

Respektování statistické závislosti faktorů rizika

Statistická (stochastická) závislost nabývá dvou forem. První z nich se týká závislosti **mezi určitými faktory rizika** v daném období, kdy nelze hodnoty vzájemně

6 Např. Savage (viz Savage, 2002) upozorňuje v této souvislosti na zkušenosti z povodní v USA, kdy protipovodňová opatření založená na meteorologických odhadech výšky zvednutí hladiny řek byla nedostatečná a vedla k vysokým ztrátám vzhledem k tomu, že skutečné stoupnutí bylo vyšší než jeho prognóza.

závislých faktorů generovat v jednotlivých krocích simulace nezávisle na sobě. Druhý typ statistické závislosti představuje závislost týchž faktorů rizika v čase (tzv. **autokorelace**). Je zřejmé, že tento typ závislosti se objevuje u objektů simulace, které jsou popsány časovými řadami (např. peněžní toky investičních projektů po celou dobu jejich života aj.).⁷ Respektování statistické závislosti mezi rizikovými faktory, resp. časové závislosti těchto faktorů vyžadují obvykle přímý odhad **párových korelačních koeficientů**, což může být pro hodnotitele značně náročné.

Volba diskontní sazby

Problém volby diskontní sazby při aplikaci simulace Monte Carlo vyvstává v případě oceňování investičních projektů založených na čisté současné hodnotě. Diskusí je zde začlenění **rizikové prémie** do **diskontní sazby**. Na jedné straně existuje názor (viz Brealey – Myers – Marcus, 2001), že riziková prémie by neměla být do diskontní sazby zahrnuta. Jedním z významných cílů simulačních a scénářových přístupů je určení rizika oceňovaného projektu, resp. firmy, přičemž stanovení rizikové prémie již tuto znalost předpokládá (šlo by tedy o dvojí zahrnutí rizika). Jako teoreticky korektní přístup se považuje diskontování rozdělení pravděpodobnosti peněžního toku diskontní sazbou bez rizikové prémie, resp. využití simulace ke stanovení očekávaných hodnot peněžních toků, které se pak diskontují diskontní sazbou zahrnující rizikovou prémii. Jiní autoři (viz Vose, 2000), však upozorňují, že určitým problémem těchto přístupů jsou předpoklady symetričnosti rozdělení peněžních toků a neexistence autokorelací. Proto Vose upozorňuje na obtížnost aplikace, resp. interpretace těchto přístupů a konstatuje, že v praxi je snadnější využít ke stanovení rozdělení pravděpodobnosti čisté současné hodnoty simulace peněžních toků s **diskontní sazbou zahrnující rizikovou prémii**. Tento názor potvrzují do značné míry i aplikace simulace Monte Carlo z hospodářské praxe (viz Mun, 2005).

Obtížnost interpretace a uplatnění výsledků

Výsledky simulace mají pravděpodobnostní charakter a jejich správná interpretace proto vyžaduje, aby měl uživatel alespoň základní znalosti teorie pravděpodobnosti a statistiky. Absenci těchto znalostí lze relativně snadno odstranit, závažnější bariéru však obvykle představují tradiční postupy manažerů při hodnocení a výběru investičních projektů založené na bodových odhadech hodnot kritérií efektivnosti. Uplatnění pravděpodobnostních výsledků simulace však vyžaduje značnou změnu vžitého stylu i podporu vrcholového vedení. Snadnější je dosáhnout této změny přístupu v rámci zavádění firemního **managementu rizika**.

Problémy implementační povahy

Zvládnutí procesně-technické stránky simulačních přístupů v návaznosti na počítačovou podporu sice výrazně zvyšuje kvalitu získaných výsledků, není však zárukou skutečného uplatnění těchto výsledků v hospodářské praxi jako podkladů pro rozhodování.

Míru **praktického využití těchto nástrojů** i jejich výsledků může příznivě ovlivnit především:

- specifikace poznatkové základny, kterou by uživatelé těchto přístupů měli disponovat (především z oblasti teorie pravděpodobnosti, matematické statistiky, finančního managementu a managementu rizika) a forem nabytí této poznatkové základny,

⁷ Jestliže například analyzovaným projektem bude uvedení nového výrobku na trh, pak pokud bude výrobek již z počátku přijat trhem příznivě, existuje menší nebezpečí nepříznivého vývoje v pozdějších obdobích (generovaná výše poptávky v dalších letech bude tedy záviset na její hodnotě generované pro první rok).

- určení typů problémů investičního rozhodování, resp. firemního oceňování, a to především z věcného hlediska, pro které jsou tyto přístupy vhodné,
- vymezení podmínek v organizaci, a to z hlediska organizačních aspektů, systému motivace a stimulace aj., které by vytvářely příznivé prostředí pro aplikaci těchto nástrojů v rozhodování a oceňování.

3.5 Přednosti a nedostatky simulace Monte Carlo

Předností simulace Monte Carlo je především to, že nutí zpracovatele projektů hlouběji přemýšlet a analyzovat tyto projekty z hlediska jednotlivých faktorů rizika, jejich nejistot, vzájemných závislostí a dopadů na projekt. (Cenná je v této souvislosti např. kvantitativní informace o velikosti příspěvku jednotlivých faktorů rizika k nejistotě kritérií hodnocení investičních projektů.) Simulace tedy vede k **hlubšímu poznání projektu** a lépe podloženému rozhodnutí o jeho přijetí či zamítnutí.

Tato metoda má však i určité nedostatky. Patří mezi ně **značná pracnost a někdy obtížnost**, především pokud jde o stanovení rozdělení pravděpodobnosti faktorů rizika a respektování jejich závislosti (zvláště u projektů s dlouhou dobou života). Určitým omezením je i nutnost mít k dispozici vhodný systém počítačové podpory. Největší výhradou k simulaci je však námitka, že **nejvýznamnější faktory rizika**, které nejvíce ovlivňují výsledky investičních projektů, jsou často na základě hodnocení současnosti a minulosti **nepředvídatelné**. Uplatnění simulace může pak vést k tzv. **tunelovému efektu**, kdy se vychází ze známých, v minulosti a přítomnosti vystupujících faktorů rizika (ceny, poptávka, nákladové položky, měnové kurzy aj.) a oslabuje se citlivost k hledání faktorů nových, dříve neznámých. Hlavní riziko simulace spočívá podle tohoto názoru v tom, že může vést ke kvantifikaci nesprávných rizik. Tyto námitky mají jistě určité oprávnění, avšak zmíněný nedostatek je možné alespoň do určité míry oslabit velkým důrazem kladeným na fázi analýzy rizika spočívající v identifikaci rizikových faktorů a její kvalitě.

Závěr

Vzrůstající význam rizika a nejistoty v současném období vyžaduje věnovat zvýšenou pozornost jejich integraci do firemních rozhodnutí především strategického charakteru, jejichž podstatnou složku tvoří investiční rozhodnutí. Jedním z významných nástrojů, který podporuje kvantifikaci dopadů rizika a nejistoty na výsledky investičních rozhodnutí ex ante a poskytuje tak důležité informace pro investiční rozhodování, představuje simulace Monte Carlo. Její uplatnění tak může podstatně přispět ke zvýšení kvality tohoto rozhodování, vyžaduje však vysoce kvalifikovaný přístup a dostupnost vhodného programového vybavení.

Literatura

- [1] BREALEY, R. A. – MYERS, S. C. – MARCUS, A. J. 2001. *Fundamentals of Corporate Finance*. New York : Mc Graw – Hill, 2001.
- [2] FOTR, J. – SOUČEK M. 2005. *Podnikatelský záměr a investiční rozhodování*. 1.vydání. Praha : Grada Publishing 2005.
- [3] HERTZ, D. B. 1964. Risk Analysis in Capital Investment. *Harvard Business Review*, 1964, ročník 42, January, s. 95–106.
- [4] HNILICA, J. 2006. Weather Hedging In The Gas Industry: A Teaching Tool In Risk Management. *The Journal Of The World Association For Case Method Research & Application*. Ročník XVIII, č. 1, březen 2006, s. 52–60.

- [5] LOVALLO, D. – KAHNEMAN, D. 2003. Delusion of Success: How optimism Undermines Executives' Decision. *Harvard Business Review*, 2003, ročník 81, č. 7, s. 45–52.
- [6] MUN, J. 2004. *Applied Risk Analysis*. New York : John Wiley & Sons, 2004.
- [7] POLLIO, G. 1999. *International Project Analysis and Financing*. London : MacMillan Press, 1999.
- [8] SAVAGE, S. 2002. *The Flaw of Averages*. *Harvard Business Review*, 2002, ročník 80, č. 11, s. 15–16.
- [9] VOSE, D. 2000. *Risk Analysis*. Chichester : John Wiley & Sons 2000.

Simulace Monte Carlo v analýze rizika investičních projektů

Jiří Fotr – Lenka Švecová – Ivan Souček – Lubomír Pešák

Abstrakt

V současné době charakteristické zvyšováním míry rizika by mohlo dosažení vyšší kvality investičního rozhodování z hlediska integrace faktorů rizika a nejistoty příznivěji ovlivnit hospodářské výsledky a podnikatelskou prosperitu firem. Článek nejprve charakterizuje nedostatky investičního rozhodování, vyplývající z přílišného optimismu subjektů, podílejících se na přípravě a hodnocení investičních projektů. Významný nástroj, který by mohl odstranit, resp. alespoň oslabit tyto nedostatky, představuje simulace Monte Carlo. Vysvětlení podstaty simulace, její úlohy v rámci analýzy rizika investičních projektů, charakteristice problémových aspektů, předností a nedostatků tohoto nástroje tvoří těžiště článku. Jeho součástí je i praktická ukázka aplikace simulace Monte Carlo při řešení reálného investičního problému z oblasti zpracování ropy.

Klíčová slova: investiční rozhodování; analýza rizika; simulace Monte Carlo.

Monte Carlo simulation in Risk Analysis of Investment Projects

Abstract

At present time, when the rate of risk is increasing, achieving higher quality of investment decision-making by integrating risk and uncertainty factors could positively affect economical results and firm's prosperity. Firstly this article characterizes shortcomings of investment decision making connected with over optimism of people, preparing and evaluating investment projects. Important tool, which could contribute to removing, or at least weakening of these shortcomings, represents Monte Carlo simulation. To description of content Monte Carlo simulation in framework of risk analysis, its problem aspects, advantages and disadvantages is devoted main part of the article. The practical illustration of solving real investment problem from the field of oil industry through Monte Carlo simulation is also involved.

Key words: investment decision-making, risk analysis, Monte Carlo simulation.

JEL classification: G32