

Cost-Benefit analýza a riziko v socioekonomickém hodnocení projektů¹

Patrik SIEBER – Jiří HNILICA*

Cost-Benefit Analysis and Risk in Socioeconomic Evaluation of Projects

Abstract

The paper focuses on frequently omitted mathematical and statistical intricacies related to risk quantification in the process of measuring the value of public projects and policies especially within the most prevalent context of cost-benefit analysis (CBA). First it deals with the appropriateness of inputs into cost-benefit analysis usually expressed in terms of expected values rather than option prices. After the discussion of theoretical findings and practical relevance it hastens to conclude that expected values are well-acceptable if all limited restrictions are properly taken into any considerations. Then it shows the practical problems in quantifying expected values of net social benefits based just upon point estimates and suggests applying Monte Carlo simulation to derive them instead.

Keywords: social cost-benefit analysis, risk analysis, option price

JEL Classification: H30, H43

Úvod

Cost-benefit analýza (*cost-benefit analysis* – CBA) se velmi dobře etablovala jako metoda i jako teoretický rámec při socioekonomickém hodnocení projektů a politik veřejné sféry na celém světě. Stále ale existuje v rámci ní celá řada témat, která nejsou dořešena, a to jak z hlediska aplikačního, tak i teoretického. Jedním z takových je i zahrnutí nejisté povahy budoucích důsledků ekonomických

* Patrik SIEBER – Jiří HNILICA, Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta podnikohospodářská, Katedra podnikové ekonomiky, nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha 3; e-mail: patrik.sieber@vse.cz; jiri.hnilica@vse.cz.

¹ Příspěvek byl zpracován v rámci řešení výzkumného záměru MSM 6138439905 *Nová teorie ekonomiky a managementu organizací a jejich adaptační procesy*.

rozhodnutí pro ten či onen projekt či zdržení se projektu, resp. politiky. Hlavním cílem tohoto příspěvku je ukázat, že při kvantifikaci čistých společenských přínosů (*net social benefits* – *NSB*) coby rozdílu mezi společenskými přínosy (*social benefits*; *SB*) a společenskými náklady (*social costs* – *SC*) je vhodnější odhadovat současnou hodnotu čistých společenských přínosů (*present value of net social benefits* – PV_{NSB}) pomocí simulace Monte Carlo, než ji odhadovat pouze na základě statických bodových odhadů. V rámci toho cíle autoři článku nejprve ukazují, že i při kvantifikaci PV_{NSB} lze vycházet ze středních hodnot čistých společenských přínosů.² Dále pak s využitím vlastností náhodných veličin dokazují, že při odhadu těchto středních hodnot je v celé řadě (běžných) situací nemožné vycházet z bodových odhadů vstupních veličin, a že je nutné aplikovat simulace Monte Carlo.

Ještě než postoupíme k meritu článku, připomeňme pro jednodušší orientaci v textu několik základních teoretických pojmů z teorie blahobytu a *CBA* samotné. *Cost-benefit analysis* vnímáme v kontextu ekonomické teorie blahobytu v jejím tradičním pojetí jako teoretický rámec, a současně metodu pro hodnocení projektů, programů a politik (obecně ekonomických změn a zásahů), jejíž podstata spočívá v odhadu důsledků ekonomického zásahu, jejich kvantifikaci, peněžním ocenění a časové agregaci pomocí kritériálních ukazatelů. Od řady jiných postupů se liší zejména tím, že všechny společenské důsledky ekonomického zásahu (změny) jsou vyjádřeny v penězích, díky kterým je možné různé efekty agregovat jak v rámci jedné periody, tak i řešit jejich časové hodnoty napříč obdobími. Teoretický základ pro rozhodnutí o přijatelnosti či nepřijatelnosti zásahu spočívá v Kaldor-Hicksovu kritériu efektivity (Hicks, 1939, resp. Kaldor, 1939), které říká: „Politika je přijatelná tehdy a jen tehdy, pokud ti, kteří politikou získávají, jsou plně schopni kompenzovat ty, kteří politikou ztrácejí a stále jsou na tom lépe, než bez zavedení dané politiky.“ Jedná se vlastně o rozšíření potenciálního paretovského zlepšení v rámci paretovského pojetí efektivity. Zjednodušeně řečeno, součet společenských přínosů musí být vyšší než součet společenských nákladů ($SB > SC$). Konceptem pro ocenění jak tržních, tak netržních statků v peněžních jednotkách je na straně výstupů zásahu (projektu, politiky) tzv. ochota zaplatit (*willingness-to-pay* – *WTP*), tedy maximální částka, kterou je jedinec ochoten zaplatit za získání pro něj pozitivního dopadu, resp. za možnost vyhnout se negativnímu dopadu. Alternativně může být použita i tzv. ochota akceptovat (*willingness-to-accept* – *WTA*), tedy minimální částka, za kterou je ochoten jedinec akceptovat negativní důsledek, resp. vzdát se pozitivního důsledku. Na straně vstupů do intervence lze pak použít koncept společenských

² Podobně jako při kvantifikaci hodnoty komerčního podniku se vychází ze střední hodnoty budoucích volných peněžních toků.

oportunitních nákladů. Z technického hlediska je tedy obecný postup, který hodnotí projekt veřejné sféry se zahrnutím společenských nákladů a společenských přínosů, obdobný postupu pro hodnocení projektů sféry soukromé – místo volných peněžních toků se ale pracuje s čistými společenskými přínosy (*NSB*), místo diskontní sazby s tzv. společenskou diskontní sazbou (*r*).³

$$PV_{NSB} = \sum_{t=0}^T \frac{\text{společenské přínosy v čase } t - \text{společenské náklady v čase } t}{(1+r)^t} =$$

$$= \sum_{t=0}^T \frac{\text{čisté společenské přínosy v čase } t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{NSB_t}{(1+r)^t}$$

Podobně jako nelze budoucí příjmy či výdaje při odhadu volných peněžních toků investičního projektu soukromé sféry s jistotou předpovídat, nelze obvykle ani společenské přínosy a náklady předem jednoznačně za sledované období stanovit. Nabízí se tak velmi podstatná otázka, jaké číselné hodnoty nakonec vlastně máme ve vztazích výše uvažovat. Povšimněme si, že jak čitatel, tak i jmenovatel tohoto vztahu je reprezentován jedním číslem (tj. bodovým odhadem): čistými přínosy a diskontní sazbou. Musíme se proto ptát:

- Jaké (teoreticky) správné hodnoty by do vztahů měly vstupovat?
- Jak spolehlivé tyto hodnoty jsou?
- Jak moc se nakonec tyto hodnoty mohou od skutečnosti lišit?

Odpovědi na tyto otázky jsou zcela fundamentální při analýze rizika ohledně našeho výchozího hodnotícího kritéria – současné hodnoty čistých společenských přínosů.

Neurčitost při odhadu čistých společenských přínosů a možnosti jejich kvantifikace

Čitatel vztahu pro výpočet současné hodnoty čistých společenských přínosů reprezentuje „nějaký“ odhad čistých společenských přínosů v jednotlivých sledovaných letech. Jak ale získáváme tyto bodové odhady? Jedná se o nejpravděpodobnější hodnoty, střední hodnoty, poměrně optimistické hodnoty, anebo spíše pesimistické hodnoty? Další závažnou komplikaci představuje skutečnost, že *NSB* reprezentují v naprosté většině případů určitou agregátní veličinu, která je závislá na mnoha dalších vstupních předpokladech. Opět se musíme ptát, jak odhadovat tyto vstupní předpoklady včetně jejich vzájemných vztahů.

³ Diskusi o stanovení společenské diskontní sazby se z důvodů značného rozsahu problematiky a z důvodů tematického zaměření tohoto příspěvku nevěnujeme. Podrobněji k *CBA* viz např. Kissingerová a Sieber (2008).

Uvažujme pro ilustraci jednoduchý příklad vybudování přehrady v zemědělské oblasti, která bude moci tuto oblast zásobovat vodou při nedostatečných srážkách. Čím menší bude množství srážek, tím větší bude přínos přehrady. Jedním z postupů, jak odhadnout čisté přínosy (viz tab. 1), je vytvořit určitý počet scénářů možných stavů světa N , jim přiřadit pravděpodobnosti jejich výskytu P_j ($j = 1, \dots, N$), hodnotu čistých společenských přínosů NSB_j ($j = 1, \dots, N$) a spočítat jejich střední hodnotu $E(NSB)$:

$$E(NSB) = \sum_{j=1}^N NSB_j \times p_j$$

T a b u l k a 1

Roční srážky a čisté přínosy přehrady

Roční srážky (Q)	Pravděpodobnost srážek (P)	NSB_j
Q_1 – vysoké	p_1	NSB_1 – nízké
Q_2 – průměrné	p_2	NSB_2 – průměrné
Q_3 – nízké	p_3	NSB_3 – vysoké

Zdroj: Vlastní zpracování.

Při stanovování střední hodnoty NSB při analýze veřejných projektů pomocí *CBA* čelíme dvěma základním problémům:

1. Je střední hodnota čistých společenských přínosů teoreticky správnou hodnotou?
2. Pokud odpovíme kladně na předchozí otázku, spočítali jsme střední hodnotu správně?

Při oceňování soukromých aktiv existuje mezi odborníky prakticky jednoznačná shoda na tom, že diskontovat by se měly střední hodnoty sledované veličiny, kterou je nejčastěji tzv. volný peněžní tok či tzv. ekonomická přidaná hodnota (např. Hirschleifer, 1965, resp. Cochrane, 2005). Také v praxi ohodnocování veřejných projektů se nejčastěji pracuje se střední hodnotou čistých společenských přínosů, tj. odhadují se změny čistých společenských přínosů veřejného projektu v závislosti na různých možných budoucích stavech světa (Boardman et al., 2005). Ekonomové ovšem teoreticky pracují s tzv. *opční cenou* (*option price*), která reprezentuje částku, kterou jsou jednotlivci ochotni zaplatit za realizaci veřejného projektu *předtím*, než jsou známy konečné stavy světa. Jedná se o tzv. *willingness-to-pay* při nejistotě ohledně budoucích stavů světa. Sečtením opčních cen všech jednotlivců, kterých se realizace veřejného projektu bude dotýkat, získáme celkovou částku společenských přínosů, které z realizace veřejného projektu plynou (např. Arrow a Lind, 1970; Graham, 1981; Plummer a Hartman, 1986; resp. Meier a Randalls, 1991).

Opční cena⁴ a střední hodnota při odhadu čistých společenských přínosů

Vraťme se k našemu ilustračnímu příkladu s přehradou, avšak analyzujeme (čisté) společenské přínosy z pohledu určitého „stylizovaného“ zemědělce. Uvažujeme pouze dva stavy světa: vysoké a nízké srážky. Zisk zemědělce při vysokých, resp. nízkých srážkách *bez* realizace přehrady je $Z_{1,1}$, resp. $Z_{2,1}$. Obdobně zisk zemědělce při vysokých, resp. nízkých srážkách *při* realizaci přehrady je $Z_{1,2}$, resp. $Z_{2,2}$ (viz tab. 2).

T a b u l k a 2

Roční srážky a zisk

Stav světa	Pravděpodobnost stavu světa	Přehrada realizována	Přehrada nerealizována
Vysoké srážky	p_1	$Z_{1,2}$	$Z_{1,1}$
Nízké srážky	p_2	$Z_{2,2}$	$Z_{2,1}$

Zdroj: Vlastní zpracování.

S použitím von Neumannovi-Morgensternovi věty (ve verzi rozšířené J. Hirschleiferem), bude užitková funkce zemědělce vypadat při obou politikách, tj. $U(1)$ při současném stavu bez přehrady a $U(2)$ při postavení přehrady, následujícím způsobem:

$$U(1) = p_1 \times U(Z_{1,1}) + p_2 \times U(Z_{2,1})$$

$$U(2) = p_1 \times U(Z_{1,2}) + p_2 \times U(Z_{2,2})$$

Očekávaný přínos pro zemědělce z realizace projektu $E(S)$ – ve smyslu výpočtu střední hodnoty – odráží celkový dopad stavby přehrady na zisk zemědělce, a tedy i případnou maximální úhradu zemědělce za přehradu. S přehradou se zisk zemědělce v jednotlivých stavech světa mění způsobem, který zachycuje tabulka 3.

T a b u l k a 3

Roční srážky a změna zisku při realizaci přehrady

Stav světa	Pravděpodobnost stavu světa	Změna zisku S
Vysoké srážky	p_1	$S_1 = Z_{1,2} - Z_{1,1}$
Nízké srážky	p_2	$S_2 = Z_{2,2} - Z_{2,1}$

Zdroj: Vlastní zpracování.

⁴ Rádi bychom hned na tomto místě předešli případnému nedorozumění. Koncept opční ceny v *cost-benefit* analýze, definovaný v tomto článku, nemá žádnou významovou spojitost s opční cenou z finanční ekonomie (např. v Blackově-Scholesově modelu).

Maximální částky, které by zemědělec měl být ochoten zaplatit (ve smyslu racionality rozhodování homo oeconomicus) za realizaci přehrady v jednotlivých stavech světa, jsou S_1 resp. S_2 . Známe-li pravděpodobnosti jednotlivých stavů světa, střední hodnota stavem světa podmíněných plateb zemědělce za přehradu je určena vztahem:

$$E(S) = p_1 \times (Z_{1,2} - Z_{1,1}) + p_2 \times (Z_{2,2} - Z_{2,1}) = p_1 \times S_1 + p_2 \times S_2$$

Otázkou zůstává, do jaké míry tato částka koresponduje s opční cenou, tj. částkou, kterou by zemědělec měl být ochoten za realizaci přehrady (veřejného projektu) zaplatit *ex ante*. Výpočet střední hodnoty $E(S)$ totiž nevzal do úvahy dopady realizace přehrady na užitkovou funkci zemědělce. Z obecného předpokladu konkávnosti funkce užitku jednotlivců se totiž ochota zaplatit (*WTP*) může od střední hodnoty přínosů $E(S)$ významně lišit, a to oběma směry. Opční cena OP musí splňovat při realizaci přehrady následující podmínku:

$$p_1 \times U(Z_{2,1} - OP) + p_2 \times U(Z_{2,2} - OP) = U(1)$$

Opční cena tak nyní skutečně představuje maximální *ex ante* fixní částku, kterou by zemědělec měl být ochoten za realizaci přehrady uhradit. Při *ex ante* úhradě OP se zemědělec dostává na stejnou hodnotu užitku jako při stavu, kdyby přehrada nebyla realizována. Rozdíl mezi hodnotou $E(S)$, se kterou se obvykle v *CBA* pracuje, a OP závisí nejenom na zvýšení zisku (přínosů) realizací přehrady (veřejného projektu), ale na změně celkového rizika, kterému je zemědělec po realizaci přehrady (veřejného projektu) nakonec vystaven. Bude-li riziko v realizační variantě výrazně nižší, bude nejspíše OP vyšší než $E(S)$. Při výrazně vyšším riziku lze očekávat mezi OP a $E(S)$ opačný vztah. Standardně se rozdíl mezi OP a $E(S)$ nazývá opční hodnota (OV):

$$OV = OP - E(S)$$

I když teorie doporučuje pracovat primárně s opční cenou, v praxi jsme vystaveni při odhadu opční ceny, resp. opční hodnoty OV mnoha potížím, které nejsou dodnes uspokojivě vyřešeny. Akademická literatura se zatím neshoduje nejenom na velikosti opční hodnoty, ale dokonce ani na znaménku (Graham, 1981; Meier a Randal, 1991; resp. Boardman et al., 2005). Praxe tedy nejspíše i nadále bude pracovat s hodnotou $E(S)$. Pro obhajobu použití $E(S)$ existuje nicméně i několik podpůrných tvrzení (Boardman et al., 2005):

a) Pokud předpokládáme, že dopady veřejných projektů výrazným způsobem neovlivní jednotlivce, resp. že se rovnoměrně rozloží mezi jednotlivce společnosti, pak změna související s veřejným projektem v přínosu (nákladu) pro jednotlivce bude malá, čímž můžeme předpokládat rizikovou neutralitu a z toho plynoucí lineární tvar užitkové funkce. Pak platí, že $OP = E(S)$ a $OV = 0$.

b) V případě, že jednotlivce je plně diverzifikován ve smyslu přínosů jednotlivých veřejných projektů, může se při existenci dokonalých pojišťných trhů zajistit proti rizikům plynoucím z jednotlivých veřejných projektů. V tomto případě je možné ukázat (Boardman et al., 2005), že za správnou míru dopadu projektu máme uvažovat $\max[E(S); OP]$. Při použití $E(S)$ tak můžeme hodnotu projektu buď podhodnocovat, anebo správně ocenit (tj. nikoliv nadhodnocovat).

c) Při existenci velkého počtu „preferenčně podobných“ jednotlivců, které bude realizace veřejného projektu ovlivňovat se stejnými pravděpodobnostmi, ale vždy vzájemně nezávisle, platí, že při vynásobení $E(S)$ jednotlivce počtem jednotlivců získáváme hodnotu pro celou společnost, jež můžeme díky zákonu velkých čísel považovat za přibližně jistou.

Pokud tedy ohodnocovaný projekt nesplňuje některé z uvedených kritérií, při použití $E(S)$ v CBA je nutná zvýšená opatrnost. Takovou typickou situaci představují projekty s tzv. kolektivním rizikem (*collective risk*), kdy realizace jednoho stavu světa postihne vždy všechny jednotlivce společnosti. Učebnicovým příkladem je havárie jaderné elektrárny. Ať už nastane či nenastane, vždy postihne všechny jedince v okolí. $E(S)$ a OP jednotlivců se pak budou pravděpodobně lišit. Oproti tomu například nově vybudovaná silnice bude dopadat ve smyslu kolize dopravního prostředku na jednotlivce různě, ale pravděpodobnosti kolize se nijak nemění a zůstávají pro všechny jednotlivce stejné. Proto v tomto případě můžeme postupovat analogicky dle bodu c).

Vybrané problematické aspekty odhadu střední hodnoty čistých společenských přínosů

Uvažujme tedy v následujícím textu již pouze střední hodnoty čistých společenských přínosů $E(NSB)$ a zamysleme se, jak je počítat. Důležité je vnímat, že $E(NSB)$ je výsledkem agregace mnoha vstupních (mnohdy vzájemně různě závislých) veličin, jejichž hodnoty nejsou obvykle předem známy, a proto se musí odhadovat (včetně vzájemných závislostí). Abychom mohli s nejasností odhadu vstupních veličin dále nějak pracovat (ve smyslu jejich případné kvantifikace), je nutné si vyjasnit, co touto „nejasností“ budeme v textu dále rozumět. Tato „nejasnost“ je v literatuře různě dekomponována, a tedy i různě definována. Z hlediska srozumitelnosti textu se budeme držet nadále hlavního pojmu i jeho definice – pojmu *riziko*. Riziko budeme chápat jako možnou odchylku od očekávané, resp. uvažované hodnoty dané veličiny. Toto pojetí je rovněž v souladu s klasickou mikroekonomickou definicí rizika, kterou se označuje situace, kdy známe možné stavy světa i s jejich pravděpodobnostmi možného výskytu. K různým dalším pojetím tohoto pojmu a s ním pojmů souvisejících odkazujeme čtenáře zejména na Vose (2000) či Mun (2006).

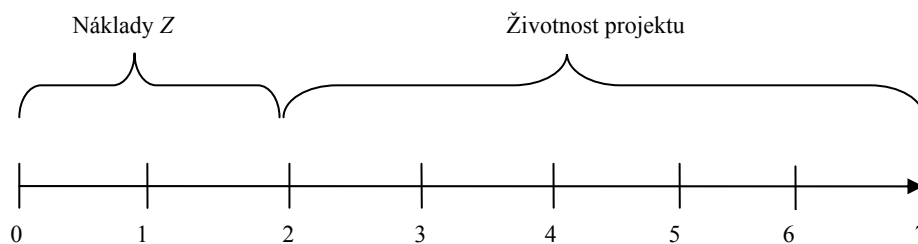
Jelikož model PV_{NSB} pracuje se *střední hodnotou* (čistých) společenských přínosů, tuto hodnotu potřebujeme nějak odhadnout na základě odhadu vstupních veličin, kdy existuje s každou ze vstupních veličin celá řada neznámých vlivů. Z tohoto důvodu si nemůžeme vystačit již s pouhým bodovým odhadem byť středních hodnot vstupních veličin,⁵ ale musíme využít intervalové odhady ideálně ve formě pravděpodobnostních rozdělení. Volit, resp. spíše odhadovat vhodná pravděpodobnostní rozdělení můžeme v zásadě pomocí dvou metod, resp. jejich kombinací:

- pomocí expertních názorů;
- pomocí statisticko-matematických metod.

Podívejme se tedy v následujícím textu, jak se ke středním hodnotám nejlépe dostat a na jaká úskalí si zejména dávat pozor. Přistupme k problému určení střední hodnoty sice obecně, ale s pomocí následujícího příkladu na projekt vybudování určité infrastruktury. Uvažujme tři vstupní veličiny pro výpočet $E(NSB)$ a to X , Y a Z , jejichž hodnota sice není jednoznačně známa, ale které vstupují do výpočtu $E(NSB)$ za jednotlivá období, např. v podobě $X \times Y - Z$, resp. jako $X_j \times Y_j - Z_j$, budeme-li uvažovat časový horizont T období, kde $j = 1, 2, \dots, T$. Parametr X může například představovat společenskou hodnotu času (v Kč/hod.) a Y počet uspořené hodin ve společnosti při realizaci projektu, jehož celkové společenské náklady budou Z .

O b r á z e k 1

Realizace projektu a jeho společenské přínosy a náklady v čase



Zdroj: Vlastní zpracování.

Abychom situaci poněkud zpřehlednili, necht' výstavba projektu trvá dva roky a necht' následná životnost projektu, kdy jsou všechny společenské přínosy generovány, je pět let. Pro ohodnocení smysluplnosti projektu musíme odhadnout, zda společenské přínosy z projektu budou převažovat nad společenskými náklady. V první fázi analýzy musíme odhadnout hodnotu času, počet uspořené hodin a společenské náklady projektu v jednotlivých letech životnosti projektu.

⁵ Jak ukážeme dále, se středními hodnotami nelze jednoduše provádět klasické aritmetické operace.

Za první rok můžeme například předpokládat, že částka odhadnutých nákladů Z bude rovnoměrně vynaložena v prvních dvou letech. Za první dva roky proto projekt bude generovat pouze záporné „benefity“, resp. pouze společenské náklady. V dalších pěti letech pak již pouze společenské přínosy⁶ určené odhadem X a Y .

$$PV_{NSB} = \frac{-0,5 \times Z}{(1+r)^1} + \frac{-0,5 \times Z}{(1+r)^2} + \frac{X_3 \times Y_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{X_7 \times Y_7}{(1+r)^7}$$

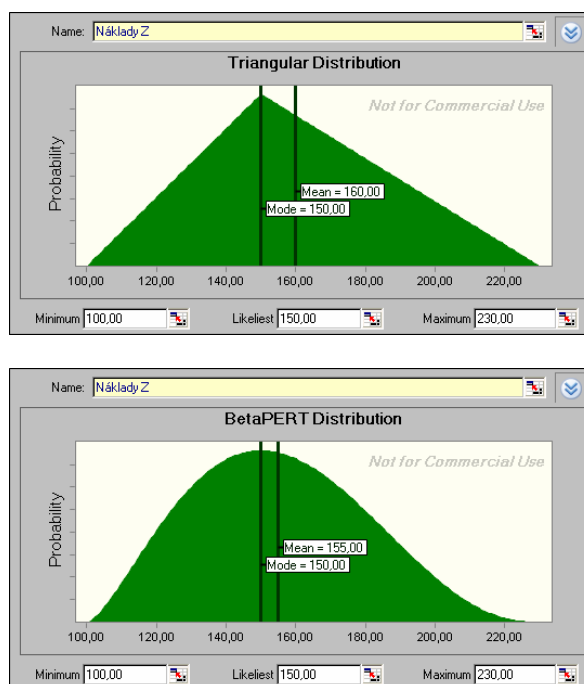
Do čitatele modelu musíme ovšem dosazovat střední hodnoty čistých přínosů, které musíme spočítat na základě veličin X , Y a Z . Zastavme se nejdříve u jednodušší situace s náklady Z . Bude-li se jednat o poměrně krátkodobý horizont, a bude-li existovat již určitá zkušenost z obdobných projektů, můžeme považovat hodnotu veličiny Z za poměrně jistou. Z pravidel počtu pravděpodobnosti plyne, že střední hodnota konstanty je konstanta, a tedy, že expertní odhad nákladů na realizaci projektu je:

$$E(Z) = Z, \text{ resp. } E(0,5Z) = 0,5Z$$

Pokud by hodnota vstupní veličiny Z jistá nebyla, můžeme její střední hodnotu spočítat tak, že vyjdeme z určitých tzv. scénářů a jejich pravděpodobností. Nicméně vzhledem k tomu, že na trhu již existuje celá řada softwarů, které umožňují simulaci Monte Carlo, doporučujeme využít právě tento typ simulací pro výpočet střední hodnoty (v návaznosti na Mun, 2006; resp. Savvakis, 1994). Víme-li například od odborníků, že náklady by neměly klesnout pod 100, dále že je velmi pravděpodobné, že se budou pohybovat kolem 150 a že by určitě neměly překročit 230, můžeme pracovat s tzv. trojúhelníkovým, příp. BetaPert pravděpodobnostním rozdělením (Vose, 2000). Budeme-li předpokládat tzv. trojúhelníkové rozdělení, střední hodnota nákladů bude rovna $(100 + 150 + 230)/3 = 160$, v případě BetaPert rozdělení pak $(100 + 4 \times 150 + 230)/6 = 155$. Většina softwarových produktů se simulacemi Monte Carlo umí střední hodnotu přímo spočítat. I když v případě trojúhelníkového či BetaPert rozdělení je to triviální, pro jiná rozdělení již nemusí existovat tak jednoduchý vztah. Důležité je si povšimnout, že v obou dvou případech pravděpodobnostních rozdělení existuje rozdíl mezi nejpravděpodobnější hodnotou (*mode*) a hodnotou střední (*mean*). Do vzorce pro PV_{NSB} by tedy jako hodnoty parametru Z vstupovaly hodnoty 160 (střední hodnota při trojúhelníkovém rozdělení), resp. 155 (střední hodnota při BetaPert rozdělení), a nikoliv 150, tj. nejpravděpodobnější hodnota.

⁶ Samozřejmě, pokud by například šlo o nějakou dočasnou úpravu komunikace s životností pět let, můžeme uvažovat i určité provozní náklady Q . Pak bychom počítali čisté společenské přínosy jako rozdíl $X \times Y - Q$, nicméně postup zůstane obdobný jako v následujícím textu.

Obrázek 2

Trojúhelníkové a BetaPert rozdělení nákladů projektu Z

Zdroj: Vlastní zpracování s využitím simulačního software Crystal Ball.

Podívejme se nyní na další část výpočtu, kterou je odhad přínosů⁷ $X \times Y$. Jako v případě odhadu Z potřebujeme i zde znát střední hodnotu $E(X \times Y)$. Nyní je ale nutná již určitá obezřetnost, jelikož obecně platí vztah

$$E(XY) = E(X)E(Y) + \text{cov}(X, Y)$$

a proto nelze do vztahu pouze jednoduše dosadit násobek $E(X)$ a $E(Y)$. To by bylo možné, pouze pokud by veličiny X a Y byly nezávislé, tj. kovariance $\text{cov}(X, Y) = 0$. V případě závislosti mezi veličinami X a Y kvantifikované pomocí korelačního koeficientu ρ_{XY} pak vzhledem ke vztahu

$$\rho_{XY} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \times \sigma_Y} \rightarrow \text{cov}(X, Y) = \rho_{XY} \times \sigma_X \times \sigma_Y$$

platí, že

$$E(XY) = E(X)E(Y) + \rho_{XY} \times \sigma_X \times \sigma_Y$$

⁷ Pro přehlednost uvažujme, že hodnoty v X a Y se v jednotlivých letech životnosti projektu nemění.

Je zřejmé, že v případě závislosti není jednoduché střední hodnotu čistých přínosů přímo spočítat. Pouze v našem konkrétním příkladě můžeme uvažovat nulovou korelaci mezi X a Y , čímž získáváme vztah:

$$\begin{aligned} PV_{NSB} &= \frac{E(NSB_1)}{(1+r)^1} + \frac{E(NSB_2)}{(1+r)^2} + \frac{E(NSB_3)}{(1+r)^3} + \dots + \frac{E(NSB_7)}{(1+r)^7} = \\ &= \frac{-0,5 \times EZ}{(1+r)^1} + \frac{-0,5 \times EZ}{(1+r)^2} + \frac{E(X \times Y)}{(1+r)^3} + \dots + \frac{E(X \times Y)}{(1+r)^7} = \\ &= \frac{-0,5 \times EZ}{(1+r)^1} + \frac{-0,5 \times EZ}{(1+r)^2} + \frac{EX \times EY}{(1+r)^3} + \dots + \frac{EX \times EY}{(1+r)^7} \end{aligned}$$

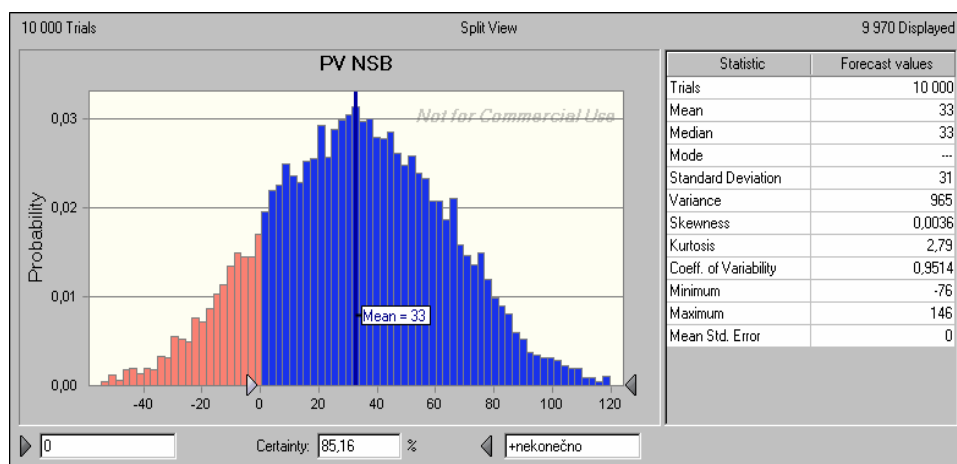
Pokud by mezi X , Y , resp. obecně X , Y a Z existovaly závislosti, musíme střední hodnoty čistých společenských přínosů počítat pomocí simulace Monte Carlo. Obdobně jako u vstupní veličiny Z i u X a Y jsme často vystaveni nejistotě spojené s jejich odhadem. Jejich odhad může plynout, jak již bylo zmíněno, ze statistické analýzy dat, příp. z expertních názorů. Modely statistické analýzy dat (regrese apod.) můžeme velmi jednoduše do simulace Monte Carlo integrovat (včetně nejistot ohledně hodnot jednotlivých parametrů!), obdobně i expertní názory, ale tomuto tématu se tento příspěvek přímo nevěnuje (blíže např. Hnilica a Fotr, 2009; Vose, 2000; Mun, 2006 či Boardman et al., 2005). Pro přehlednost uvažujme pouze intervalové odhady,⁸ tj. rovnoměrného rozdělení, obou veličin. Například necht' pro hodnotu času platí $X \in \langle 2; 4 \rangle$ a pro počet uspořádaných hodin platí $Y \in \langle 10; 20 \rangle$. Jelikož neuvažujeme žádné závislosti, můžeme přímo spočítat střední hodnoty veličin X a Y , a tedy i hodnotu projektu:

$$\begin{aligned} PV_{NSB} &= \frac{E(NSB_1)}{(1+r)^1} + \frac{E(NSB_2)}{(1+r)^2} + \frac{E(NSB_3)}{(1+r)^3} + \dots + \frac{E(NSB_7)}{(1+r)^7} = \\ &= \frac{-0,5 \times 155}{(1+r)^1} + \frac{-0,5 \times 155}{(1+r)^2} + \frac{3 \times 15}{(1+r)^3} + \dots + \frac{3 \times 15}{(1+r)^7} \end{aligned}$$

Při uvažování časově stabilní společenské 5% diskontní sazby má projekt hodnotu 33. Výsledek můžeme porovnat s tím, jaké hodnoty nám vygeneruje simulace Monte Carlo. V našem konkrétním příkladě uvažujeme BetaPert rozdělení pro veličinu Z s parametry [100; 150; 230], rovnoměrné rozdělení veličiny X s parametry [2; 4] a rovnoměrné rozdělení veličiny Y s parametry [10; 20]. Histogram četností a korespondující pravděpodobnostní rozdělení našeho modelového příkladu zachycuje obrázek 3:

⁸ Z důvodu obecnosti neuvádíme jednotky, nicméně prakticky by se, samozřejmě, jednalo o peněžní vyjádření.

Obrázek 3

Pravděpodobnostní rozdělení PV_{NSB} 

Zdroj: Vlastní zpracování s využitím simulačního software Crystal Ball.

Z histogramu četností můžeme spočítat celou řadu statistických charakteristik jako například střední hodnotu, medián, rozptyl, směrodatnou odchylku, maximum, minimum, šikmost či špičatost (viz pravá část obr. 3). Prvním důležitým údajem je ovšem střední hodnota (*mean*), která vychází 33 a neliší se tedy od našeho bodového odhadu. Za další zajímavé číslo, které má velmi silnou vypovídací schopnost z hlediska analýzy rizika, a které získáme pouze simulací Monte Carlo, je šance, že PV_{NSB} bude větší než nula. V našem konkrétním případě je to číslo blízké hodnotě 85 %.

Další neméně zajímavou analýzou je analýza citlivosti, která vychází ze simulace Monte Carlo, tj. již v sobě implicitně zahrnuje případný simultánní vliv všech proměnných modelu,⁹ a která nám ukazuje příspěvek jednotlivých vstupních veličin k celkovému riziku odhadu PV_{NSB} . Vstupní veličiny, které nejvíce přispívají k riziku odhadu kritériální veličiny (PV_{NSB}), si pak zaslouží největší pozornost, příp. zpřesnění jejich odhadu.

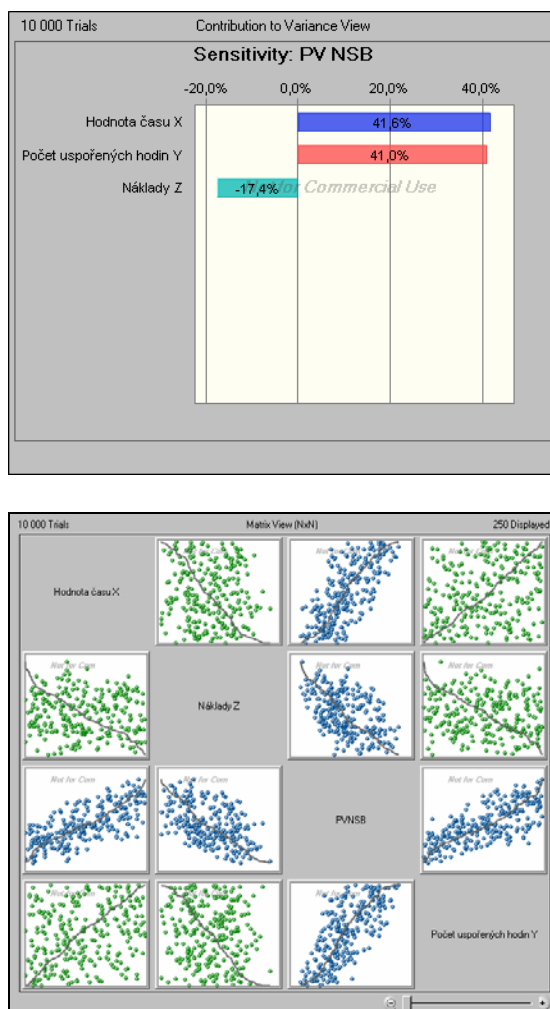
Nevýhodou analýzy citlivosti je, že nezachytí různé nelineární vztahy mezi proměnnými. I když to není situace našeho modelové příkladu, tak při vyšším počtu vstupních veličin a složitějších vazbách mezi nimi je zcela běžné, že vztah mezi vstupní veličinou a kritériální veličinou může být díky komplexnosti vztahů v konečném důsledku nelineární. K analýze těchto případných nelineárních

⁹ Obvykle se počítá jako míra pořadové korelace mezi kritériální veličinou a danou vstupní proměnnou (samozřejmě, při zahrnutí vlivu ostatních vstupních proměnných). Na obrázku 4 je sice analýza citlivosti charakterizovaná pomocí podílu na celkovém rozptylu, nicméně jedná se o přepočet z měř pořadové korelace.

vztahů můžeme využít hodnot vygenerovaných simulací Monte Carlo pro vstupní veličiny a pro kritériální proměnnou, které zachytíme v grafu obdobně jako na obrázku 4 vpravo. Pokud je vztah výrazně nelineární, je zřejmé, že k interpretaci výsledků v rámci analýzy citlivosti (postavené na linearitě vztahů) musíme přistupovat velmi obezřetně.

Obrázek 4

Citlivostní analýza odhadu PV_{NSB}



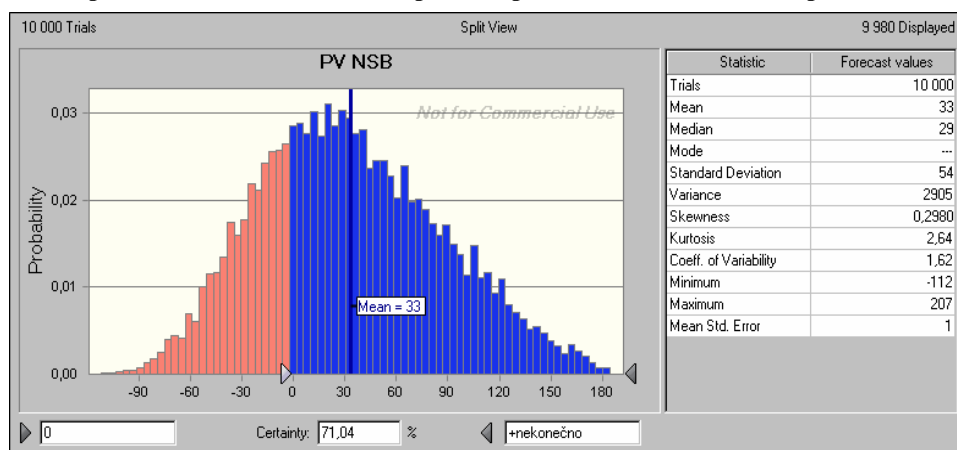
Zdroj: Vlastní zpracování s využitím simulačního software Crystal Ball.

Další často opomíjenou skutečností je, že v mnoha případech při odhadování společenských čistých přínosů může docházet k časové závislosti (autokorelaci) mezi jednotlivými odhady každé ze vstupních veličin, tj. např. pro uvažované

investiční náklady v předchozím příkladě platí, že $\rho(Z_{t+1}, Z_t) \neq 0$. Jelikož obecně platí, že autokorelace mezi vstupními veličinami nemá vliv na jejich střední hodnoty, a tedy nepřímo ani na PV_{NSB} , tak stejný závěr již neplatí pro odhad rizika. Situaci dokumentuje obrázek 5, který zachycuje pravděpodobnostní rozdělení veličiny PV_{NSB} v případě, kdy všechny vstupní veličiny Z , X a Y jsou pozitivně autokorelované, tj. $\rho(Z_{t+1}, Z_t) > 0, \rho(X_{t+1}, X_t) > 0, \rho(Y_{t+1}, Y_t) > 0$. Tento předpoklad bývá v mnoha situacích mnohem reálnější, než že by veličiny byly v čase zcela nezávislé. Pokud náš odhad např. nákladů Z bude výrazně vyšší (nižší) v čase $t = 1$ než skutečnost, je pravděpodobnější, že stejný závěr bude platit i o nákladech v čase $t = 2$. Porovnáním obrázku 3 a obrázku 5 zřetelně vidíme významný rozdíl mezi směrodatnými odchylkami (31 vs. 54) a z toho plynoucí rozdílné pravděpodobnosti, že PV_{NSB} bude nezáporné (85 % vs. 71 %). I když se tedy PV_{NSB} nemění a pro obě situace zůstává na úrovni 33, tak se ale výrazně mění riziko, kterému jsme s odhadem PV_{NSB} vystaveni.

Obrázek 5

Pravděpodobnostní rozdělení PV_{NSB} při silné pozitivní autokorelaci vstupních veličin



Zdroj: Vlastní zpracování s využitím simulačního software Crystal Ball.

Závěr

Vzhledem k argumentaci uvedené v první části tohoto příspěvku je i přes určitou teoretickou nejednoznačnost naším doporučením na úrovni aplikace PV_{NSB} setrvat u využití středních hodnot očekávaných čistých společenských přínosů, než primárně vycházet z opčních cen. Jelikož jsme ve skutečnosti ale vystaveni riziku při odhadu vstupních proměnných, ze kterých se střední hodnota čistých společenských přínosů počítá, je vhodné při výpočtu PV_{NS} využívat simulace

Monte Carlo. Vyhne se tak nejčastějším chybám, které plynou při nesprávném použití pouhých bodových odhadů vstupních proměnných (podrobněji Hnilica a Fotr, 2009). Jak v příspěvku ukazujeme, existují situace, kdy bodové odhady vstupních proměnných nelze bez použití simulací spočítat. Správným postupem při ohodnocování projektů a politik zejména ve veřejné sféře tak můžeme získat využitím současné hodnoty čistých společenských přínosů včetně analýzy související s rizikem tohoto odhadu další zajímavý „alternativní ukazatel“ ekonomické výkonnosti a blahobytu (Spěváček, 2007).

Literatura

- ARROW, K. J. – LIND, R. C. (1970): Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions. *The American Economic Review*, 60, June, s. 364 – 378.
- BOARDMAN, A. – GREENBERG, D. – VINING, A. – WEIMER, D. (2005): *Cost Benefit Analysis: Concepts and Practice*. 3rd edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- COCHRANE, J. H. (2005): *Asset Pricing*. Revised edition. New Jersey: Princeton University Press.
- GRAHAM, D. A. (1981): Cost-Benefit Analysis under Uncertainty. *The American Economic Review*, 71, September, č. 4, s. 715 – 725.
- HICKS, J. (1939): The Foundations of Welfare Economics. *Economic Journal*, 49, č. 196, s. 696 – 712.
- HIRSCHLEIFER, J. (1965): Investment Decision under Uncertainty: Choice-Theoretic Approaches. *Quarterly Journal of Economics*, 79, November, s. 506 – 536.
- HNILICA, J. – FOTR, J. (2009): *Aplikovaná analýza rizika ve finančním managementu a investičním rozhodování*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing.
- KALDOR, N. (1939): Welfare Propositions in Economics and Interpersonal Comparisons of Utility. *Economic Journal*, 49, č. 195, s. 549 – 552.
- KISLINGEROVÁ, E. – SIEBER, P. (2008): Specifika hodnot PPP projektů. In: *Evropské finanční systémy*. [Sborník z konference, Brno 26. 06. 2008 – 26. 06. 2008.] Brno: Masarykova univerzita, s. 40 – 45.
- MEIER, E. – RANDALL, A. (1991): Use Value Under Uncertainty: Is There a “Correct Measure”? *Land Economics*, 67, č. 4, s. 379 – 389.
- MUN, J. (2006): *Modelling Risk*. New York: John Wiley & Sons.
- PLUMMER, M. L. – HARTMAN, R. C. (1986): Option Value: A General Approach. *Economic Inquiry*, 24, č. 3, s. 455 – 471.
- SAVVAKIS, S. (1994): Risk Analysis in Investment Appraisal. *Project Appraisal*, 9, č. 1, březen, s. 3 – 18. In: HARBERGER, A. C. and JENKINS, G. P. (eds): *Cost-Benefit Analysis*. Cheltenham: Elgar 2002.
- SPĚVÁČEK, V. (2007): Česká ekonomika ve světle alternativních ukazatelů ekonomické výkonnosti a blahobytu. *Ekonomický časopis/Journal of Economics*, 55, č. 7, s. 676 – 696.
- VOSE, D. (2000): *Risk Analysis. A Quantitative Guide*. New York: John Wiley and Sons.