Tomáš Tichý*

Posouzení základních metod hedgingu měnového rizika nefinančních institucí[1]

Abstract

By using the term hedging the elimination of financial risks (stock price risk, foreign currency exchange rate risk, commodity price risk, interest rate risk, etc.) is commonly understood. Usually, it can be done by opening positions in financial derivatives, such as forwards, futures, swaps or options. In this paper we examine the simplest hedging strategies (forward and vanilla options). We suppose a producing-like company with exposition to the foreign currency exchange rate risk. We compare various strategies considering possible riskless rate differences (zero, positive, negative) and we also study the effect of true drifts.

Úvod

Jednou ze základních úloh finančních trhů je poskytnout ekonomickým subjektům možnost řídit či zcela eliminovat jednotlivá finanční rizika. To je zvláště důležité u subjektů, jejichž primárním důvodem existence není zaobírání se finančními riziky. Tedy subjektů, které jsou zakládány zejména za účelem výroby, obchodu či poskytování služeb. Takové můžeme označit za nefinanční instituce.

Postupy a metody, vedoucí k řízení a eliminaci finančního rizika, jsou obecně označovány jako hedging. Efektivní aplikace hedgingu umožňuje nefinančním institucím soustředit svou finanční i pracovní kapacitu plně na činnost, pro kterou byly založeny a ve které, jak lze předpokládat, mají konkurenční výhodu.

Z pohledu nefinanční instituce hraje ze skupiny finančních rizik nejvýznamnější roli riziko komoditní, vyplývající ze změny cen vstupů či výstupů, a měnové, které je dáno v případě zapojení do mezinárodní obchodu – je-li nutná konverze prostředků vynakládaných na nákup vstupů či získaných z prodeje výstupů.

V tomto článku je cílem zpracovat problém řízení a eliminace (hedgingu) měnového rizika subjektu výrobního typu. Předpokládá se, že subjekt v blízké budoucnosti očekává potřebu nákupu zahraniční měny. Aplikovanými strategiemi jsou krytá a nekrytá pozice, metody s forwardy a s opcemi.

---

* Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., katedra financí,
Ekonomická fakulta VŠB-TU Ostrava, Sokolská 33, 701 21 Ostrava

[1] Tato práce vznikla v rámci projektu Grantové Agentury České republiky, GAČR: 402/05/P085.

Následující části článku jsou postupně věnovány stručné definici základních pojmů z oblasti finančního modelování a objasnění podstaty základních metod řízení měnového rizika, přičemž je postupováno v souladu s publikacemi Tichý (2006), Zmeškal a kol. (2005) a Zmeškal a kol. (2004).

Kapitola 4 je zaměřena na aplikaci jednotlivých metod a jejich posouzení s využitím simulace Monte Carlo. Jednotlivé varianty hedgingu jsou zpracovány pro případ rizikově neutrálního prostředí, různé úrovně bezrizikových sazeb a volatility a také reálného posílení a oslabení domácí měny při shodnosti bezrizikových sazeb.

1. Základní pojmy

Finanční aktivum obecně představuje právní nárok na výplatu finančních prostředků v (ne)určitém budoucím čase. Ekvivalentním termínem je finanční nástroj (instrument), finanční produkt, případně cenný papír. Tento nárok je ve většině případů uspokojen pomocí výplaty hotovostních prostředků v přesně určeném čase (např. splacení nominální hodnoty dluhopisu). V některých případech se však může jednat o přenesený nárok (opce na jiné finanční aktivum) nebo o aktivum s předem neznámou či nekonečnou životností. Trhy s jednotlivými finančními aktivy mohou mít zcela odlišnou charakteristiku.

Při aktivitě na finančních trzích je nutné rozlišovat *dlouhou pozici* a *krátkou pozici*. V případě dlouhé pozice se jedná o vlastnictví finančního aktiva. S touto pozicí je spojen peněžní výdaj na počátku (v okamžiku pořízení aktiva) a peněžní příjem v okamžiku ukončení pozice. Oproti tomu krátká pozice představuje závazek vůči původnímu vlastníkovi, od nějž bylo předmětné aktivum vypůjčeno. Jelikož bezprostředně po vypůjčení aktiva zpravidla následuje jeho prodej, je s krátkou pozicí spojen peněžní příjem na počátku (z prodeje aktiva) a peněžní výdaj při ukončení pozice – předmětné aktivum je zpravidla zpětně odkoupeno, jelikož je nutné jej vrátit.

V případě hedgingu dochází ke kombinaci budoucích očekávaných pozic tak, aby byla odstraněna citlivost celkové pozice (portfolia dílčích pozic) na vybrané faktory. Hedging nefinančních institucí je zpravidla prováděn za účelem zajištění pozic v primárních aktivech (měny, komodity, apod.) prostřednictvím otevření pozic ve finančních derivátech.

Primární nástroje finančního trhu

Mezi primární nástroje finančního trhu lze zařadit *dluhové cenné papíry*, *majetkové cenné papíry* a také *měny*. Mezi primární finanční aktiva lze rovněž zařadit *komodity*.

Dluhové cenné papíry, jejichž klasickým případem jsou *dluhopisy*, mají zpravidla dva zdroje budoucích hotovostních toků. Jedná se jednak o navrácení původní investované (nominální) hodnoty a dále pak o platbu úroků. U obou typů plateb je více či méně přesně znám jak objem, tak čas plnění. Jsou proto označovány jako *aktiva s pevnými příjmy* (*fixed-income*).

Jednotlivými příklady dluhových nástrojů jsou vládní (státní) dluhopisy a pokladniční poukázky, dluhopisy municipalit a podniků a taktéž půjčky komerčních bank. Těmto produktům jsou velmi blízké *měny* – tedy domácí či zahraniční hotovost. Ve své podstatě se jedná o závazek centrální banky (a potažmo celého státu), který, vzhledem ke své vysoké bezpečnosti a likviditě, není úročen.

V případě majetkových cenných papírů, jejichž typickým případem jsou *akcie*, lze opět rozlišit dva zdroje budoucích toků. Jedním jsou (ne)pravidelně vyplácené dividendy o předem neznámé výši. Druhým je nárok na příslušnou část majetku emitenta. Majetkové cenné papíry zpravidla poskytují též právo podílet se na řízení a správě majetku emitenta.

Dalším zásadním rozdílem mezi dluhovými a majetkovými cennými papíry je riziko a z něho odvozený výnos. Při uspokojování svých nároků jsou v zásadě upřednostňováni majitelé dluhových cenných papírů. To způsobuje vyšší volatilitu a tedy rizikovost výnosů z majetkových cenných papírů.

S dluhovými cennými papíry obecně, a tedy i s měnami, jsou úzce spjaty *výnosové křivky*. Ty představují vztah mezi dobou do splatnosti dluhového cenného papíru (osa x) a jeho výnosem do splatnosti (osa y). Obvykle platí, že tato křivka je s časem rostoucí, tj. výnos do splatnosti y pro dlouhodobá aktiva je vyšší než pro krátkodobá.

Konkrétní výnosová křivka se vztahuje k aktivům určitého typu a kvality. Rovněž je nutné zohlednit měnu, ve které je aktivum denominováno. Základní výnosovou křivkou je bezriziková (odpovídá výnosu do splatnosti státních dluhopisů), přičemž je nutné rozlišit zda se jedná o *spotovou* výnosovou křivku (výnosy platné pro daný okamžik) či *forwardovou* (výnosy se vztahují k určitému budoucímu času).

V této práci vystačíme s domácí a zahraniční bezrizikovou sazbou, označme jako r_d a r_f, přičemž budeme pro zjednodušení předpokládat, že výnosová křivka je plochá. Tedy pro vztah,

$$B(t;T) = NH \cdot \exp(-r_d \cdot \tau),$$

kde $B(t;T)$ je cena dluhového cenného papíru v čase t, se splatností v T a nominální hodnotou NH, platí, že r_d (r_f) představuje roční výnos a je stejné pro všechna τ, kde $\tau = T - t$.

Sekundární nástroje finančního trhu

Důležitou roli u finančních nástrojů hraje taktéž podoba vypořádání. Dochází-li k vypořádání kontraktu s finančním aktivem ve stejném čase, v jakém je kontrakt dohodnut, hovoříme o *spotovém obchodu* na *spotovém trhu*. Pokud je však vypořádání stanoveno pro určitý budoucí okamžik, označujeme kontrakt jako *termínový*. Jinak řečeno, v čase t dochází k dohodě o směně daného aktiva (*podkladové aktivum*, S) za předem dohodnutou částku K v čase $T = t + \tau$, kde τ označuje *dobu do zralosti* (splatnosti, realizace; *time to maturity*). Částku K označujeme jako *realizační* či *dodací* cenu (*exercise price*, *strike price* či *delivery price*).

Příkladem termínových kontraktů jsou *forwardy* či *futures*. Základní odlišností je, že futures představují oproti forwardům kontrakt, který je standardizován takovým způsobem, že s ním je možné jednoduše obchodovat na organizovaném trhu. Na druhou stranu, forward umožňuje vyspecifikování jednotlivých parametrů[2] tak, aby byly splněny konkrétní potřeby obou stran kontraktu. To má za následek odlišnou likviditu obou kontraktů.

Vzhledem k tomu, že oba kontrakty jsou založeny na budoucí směně podkladového aktiva (s neznámou budoucí cenou) za předem známou částku, bude jejich hodnota odvozena od hodnoty podkladového aktiva. Forwardy i futures proto řadíme mezi *finanční deriváty*, nebo-li odvozené cenné papíry. Finanční deriváty je možné alternativně označit jako sekundární aktiva – jejich hodnota je odvozena od podléhajících aktiv primárních. K finančním derivátům se dále řadí *swapy* a *opce*.

Swapem je obecně myšlena opakovaná směna dvou aktiv (tedy například opakující se forward). Vzhledem k oboustranně symetrickému vztahu mezi stranami kontraktu – strana s dlouhou pozicí má povinnost koupit a strana s krátkou pozicí má povinnost prodat – je možné forwardy, futures a swapy označit jako lineární finanční deriváty.

Oproti tomu opce jsou příkladem nelineárního finančního derivátu. Základní vlastností je možnost (tj. *opce*) strany s dlouhou pozicí vybrat si, zda opce bude či nebude uplatněna. Opce obecně představuje právo strany s dlouhou pozicí uskutečnit v daný čas obchod s podkladovým aktivem S, tj. směnit jej za realizační cenu K. Podle typu obchodu rozlišujeme *call opce*, z nichž vyplývá právo koupit podkladové aktivum, proto též kupní opce, a *put opce*, z nichž naopak vyplývá právo prodat podkladové aktivum, proto též prodejní opce.

V závislosti na tom, jakým způsobem je určen možný čas uplatnění opce, hovoříme o *evropských opcích* nebo *opcích amerických*. Předpokládejme vystavení opce v čase $t = 0$. Zatímco evropskou opci bude možné uplatnit pouze v době zralosti $t = T$, právo plynoucí z vlastnictví opce americké bude možné realizovat kdykoliv v průběhu intervalu $[0;T]$. Specifickým případem je *bermudská opce*, kterou je sice taktéž možné uplatnit v průběhu celé životnosti, avšak jen v konkrétních diskrétních okamžicích, tj. $t \in \{0,1,2,\ldots,T\}$.

Opce bez stanovení dalších specifických podmínek ovlivňujících jejich uplatnění jsou zpravidla označovány pro svou jednoduchost jako *PV opce* (*plain vanilla options*). Jsou-li v podmínkách kontraktu stanoveny další údaje, které dále komplikují výplatní funkci, označujeme tyto opce jako *exotické*.

V této práci budou pro účely hedgingu měnového rizika aplikovány opce s nejednoduššími výplatními funkcemi, konkrétně evropská call opce:

$$\Psi^{call} = \max(S_T - K;0)\,,$$

a evropská put opce:

$$\Psi^{put} = \max(K - S_T;0)\,.$$

[2] Zejména typ/druh podkladového aktiva, jeho množství, kvalita, doba zralosti.

Stochastické procesy

Aktivum, jehož vývoj v průběhu budoucího časového úseku τ lze s jistotou charakterizovat, označujeme jako bezrizikové. Hodnota tohoto aktiva pak sleduje *deterministický proces*. Jakákoliv jiná finanční veličina, jejíž vývoj v čase jsme schopni popsat právě prostřednictvím vhodného pravděpodobnostního rozdělení, je považována za náhodnou (stochastickou). Je možno říci, že sleduje *stochastický proces*. Jedná se o posloupnost náhodných veličin v čase. Na stochastický proces lze také nahlížet jako na náhodnou funkci.

Ve finančním modelování je k popisu vývoje finančních veličin často využíván *geometrický Brownův pohyb:*

$$S_T = S_{0+\tau} = S_0 \cdot \exp\left[\left(\mu - \sigma^2 / 2\right) \cdot \tau + \sigma \cdot dW\right].$$

Zde S_0 představuje hodnotu (cenu) finanční veličiny na počátku, S_T hodnotu po uplynutí časového úseku τ, μ je dlouhodobý průměrný výnos, σ jeho volatilita a dW označuje *Wienerův proces* na bázi normovaného normálního pravděpodobnostního rozdělení. Hlavní výhodou uvedeného procesu jsou vždy pozitivní hodnoty bez horního omezení – pravděpodobnostní rozdělení konečného stavu je lognormální.

Za účelem oceňování je nutné uvedený proces přepsat do rizikově neutrální podoby – parametr skutečného výnosu je nahrazen bezrizikovou sazbou pro měnu, ve které je aktivum denominováno:

$$S_T = S_{0+\tau} = S_0 \cdot \exp\left[\left(r_d - \sigma^2 / 2\right) \cdot \tau + \sigma \cdot dW\right].$$

V případě, že aktivum generuje výnos spojitého typu, který lze aproximovat pomocí určité konstanty, je nutné jeho odečtení. Tedy například pro zahraniční měnu při bezrizikové zahraniční úrokové sazbě r_f:

$$S_T = S_{0+\tau} = S_0 \cdot \exp\left[\left(r_d - r_f - \sigma^2 / 2\right) \cdot \tau + \sigma \cdot dW\right].$$

Obdobným způsobem lze postupovat pro akcie s dividendovým výnosem q nebo pro komodity se skladovacími náklady a výnosy držení c.

Ocenění finančních derivátů

Na finančních trzích lze rozlišit tři základní principy aplikovatelné při hledání hodnoty finančních aktiv. Konkrétně se jedná o *rovnovážný přístup*, *princip nemožnosti arbitráže* a *rizikově neutrální princip*. V případě finančních derivátů jsou využívány zejména poslední dva uvedené.

Hodnota forwardu v čase t se splatností v budoucím čase T takto odpovídá rozdílu aktuální hodnoty podkladového aktiva a realizační ceny diskontované bezrizikovou sazbou (v případě nulového dodatečného výnosu):

$$F_{t,T} = S_0 - \exp[-r_d \cdot \tau] \cdot K .$$

Pro forward na zahraniční měnu však má vztah tuto podobu:

$$F_{t,T} = \exp[-r_f \cdot \tau] \cdot S_0 - \exp[-r_d \cdot \tau] \cdot K .$$

V obou případech je rovněž možné formulovat tzv. forwardovou cenu. Ta představuje úroveň realizační ceny kontraktu, při které je jeho hodnota nulová. Konkrétně pro nulový dodatečný výnos:

$$F_{t,T} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad K = \exp[r_d \cdot \tau] \cdot S_0$$

a pro forward na měnu:

$$F_{t,T} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad K = \exp[(r_d - r_f) \cdot \tau] \cdot S_0 .$$

Za účelem určení ceny opcí lze standardně aplikovat model dle Blacka a Scholese (1973), jehož variace na měnu vypadá následovně:

$$f_{t,T} = \exp[-r_f \cdot \tau] \cdot S_0 \cdot N[d_+] - \exp[-r_d \cdot \tau] \cdot K \cdot N[d_-],$$

kde $N[x]$ představuje pravděpodobnost, že náhodná veličina u normovaného normálního rozložení bude menší rovna x (distribuční funkce) a

$$d_\pm = \frac{\ln \frac{S_0}{K} + \left(r_d - r_f \pm \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot \tau}{\sigma \cdot \sqrt{\tau}} .$$

2. Metody eliminace měnového rizika

Za účelem snadnějšího objasnění situace předpokládejme případ, kdy je určitému subjektu známo, že po uplynutí časového úseku τ, $\tau > 0$, bude muset nakoupit zahraniční měnu *ZM* v množství Q_{ZM} za účelem uhrazení cen výrobních vstupů.

Hedgingové strategie lze obecně rozlišit do několika skupin dle toho, s jakými aktivy pracují. Jedná se o metody s *forwardy a futures*, metody s *jednoduchými opcemi*, metody s *exotickými opcemi* a metody *syntetické*.

Krytá a nekrytá pozice

Nebereme-li v úvahu obsáhlou skupinu komplexních strategií na bázi finančních derivátů, existují dvě možnosti, jak v uvedeném případě postupovat. Buď je možné nakoupit zahraniční měnu na počátku v čase $t = 0$ za kurz S_0 (**Varianta A**, možné označit za *krytou* pozici), nebo posečkat a nakoupit měnu až po uplynutí úseku τ, v čase $t = 0 + \tau = T$, za kurz S_T (**Varianta B**, možné označit za *nekrytou* pozici). Shrnující přehled peněžních toků a pozic pro obě varianty obsahuje Tabulka 1.

V prvém případě známe náklady na nákup zahraniční měny již na počátku, měnové riziko tak je zcela odstraněno. Na druhou stranu je potřebné mít k dispozici domácí měnu *DM* ve výši současné hodnoty $S_0 \cdot Q_{ZM}$, tj. dle diskontování bezrizikovou sazbou r_f, která je platná pro zahraniční měnu v rozhodném časovém úseku τ.

Ve druhém případě sice není nutný žádný výchozí kapitál, avšak kurz, za který zahraniční měnu nakoupíme, může být výrazně odlišný od S_0. Zde vzniká riziko odchylky od plánované kalkulace z důvodu stochastického charakteru nákladů na vstupy.

Výsledkem obou variant je konečná pozice Q_{ZM} v zahraniční měně. Obě varianty by rovněž měly v rizikově neutrálním prostředí vycházet v průměru stejně, a to po započtení výdajů v jednotlivých okamžicích.

V případě Varianty A je na počátku nutné disponovat částkou X_0 v domácí měně, tj.

$$X_0 = S_0 \cdot Q_{ZM} \cdot \exp[-r_f \cdot \tau].$$

Převedeme-li tento kapitál do časového okamžiku T pomocí bezrizikové sazby platné pro domácí měnu r_d (nutným předpokladem je dostupnost bezrizikové výpůjčky), získáme:

$$X_T = S_0 \cdot Q_{ZM} \cdot \exp[-r_f \cdot \tau] \cdot \exp[-r_d \cdot \tau] = S_0 \cdot Q_{ZM} \cdot \exp[(r_d - r_f) \cdot \tau].$$

Obdobně, v případě Varianty B je potřeba kapitálu v čase T následující:

$$X_T = S_T \cdot Q_{ZM}.$$

Vzhledem k tomu, že (rizikově-neutrální) očekávání ohledně budoucího kurzu lze zachytit pomocí úrokového diferenciálu, získáme:

$$\mathrm{E}[X_T] = \mathrm{E}[S_T] \cdot Q_{ZM} = S_0 \cdot Q_{ZM} \cdot \exp[(r_d - r_f) \cdot \tau].$$

což odpovídá konečnému vyjádření pro Variantu A.

Tabulka 1: Krytá (Varianta A) a nekrytá pozice (Varianta B); CF je cash flow („–“ označuje peněžní výdaj) a P je pozice

Čas / měna	Varianta A	Varianta B
$t = 0$, DM, CF	$-S_0 \cdot Q_{ZM} \cdot \exp[-r_f \cdot \tau]$	——
$t = 0$, ZM, P	$Q_{ZM} \cdot \exp[-r_f \cdot \tau]$	——
$t = T$, DM, CF	——	$-S_T \cdot Q_{ZM}$
$t = T$, ZM, P	Q_{ZM}	Q_{ZM}
riziko, DM	——	$(S_0 - S_T) \cdot Q_{ZM}$

Je zřejmé, že Varianta A a Varianta B jsou extrémní situace – buď nulové riziko, avšak vysoký požadavek kapitálu, nebo plné riziko, avšak bez potřeby výchozího kapitálu. Chceme-li se dostat mezi tyto dva extrémy, částečná eliminace rizika, minimální potřeba kapitálu, je možné využít některou z komplexních hedgingových strategií.

Metody s forwardy a futures

Využitím jednoduchých finančních derivátů (forwardy a futures) lze dosáhnout jištění obdobného k Variantě A při minimální počáteční potřebě kapitálu. Vzhledem k tomu, že ve zde studovaném případě je zajišťována krátká pozice v zahraniční měně (známá budoucí potřeba koupě zahraniční měny), je potřebné zaujmout dlouhou pozici ve forwardu či futures na nákup zahraniční měny v množství Q_{ZM}.

Tabulka 2: Zajištění pomocí forwardu na zahraniční měnu

Čas / měna	Varianta C	Varianta D
$t = 0, DM$, CF	——	$-(\mathrm{E}[S_T]-K')\cdot Q_{ZM}\exp[r_d\cdot\tau]$
$t = 0, DM$, P	F	F'
$t = T, DM$, CF	$-K\cdot Q_{ZM}$	$-K'\cdot Q_{ZM}$
$t = T, ZM$, P	Q_{ZM}	Q_{ZM}
riziko, *DM*	——	——

V případě forwardu je nutné zohlednit skutečnost, že počáteční potřeba kapitálu je nulová, pouze pokud realizační cena K odpovídá rizikově-neutrálnímu očekávání ohledně budoucího kurzu (forwardové ceně) – jen tehdy je hodnota forwardu nulová (**Varianta C**). Tedy:

$$K = \mathrm{E}[S_T] = S_0\cdot\exp[(r_d - r_f)\cdot\tau].$$

V opačném případě je nutné mít na počátku k dispozici určitý kapitál k uhrazení ceny forwardu – $\mathrm{E}[S_T] > K'$ – nebo naopak lze dodatečný kapitál získat – $\mathrm{E}[S_T] < K'$ (**Varianta D**). Shrnující přehled peněžních toků a pozic pro jednotlivé varianty obsahuje Tabulka 2.

V obou případech je riziko vyplývající z budoucí ceny nulové – cena je fixována na počátku pomocí realizační ceny K, resp. K'. Stejná je rovněž potřeba kapitálu po převedení do časového okamžiku T, neboť:

$$X_T = (\mathrm{E}[S_T]-K')\cdot Q_{ZM} + K' = S_0\cdot Q_{ZM}\cdot\exp[(r_d - r_f)\cdot\tau] = K\cdot Q_{ZM}.$$

Alternativně lze využít krátkou pozici ve forwardu na domácí měnu z pohledu zahraniční měny (budoucí požadavek prodeje domácí měny při obdržení měny zahraniční; **Varianta C'**). Zde však je problémem určení podkladového množství. Optimálně se bude jednat o $Q_{DM} = Q_{ZM}\cdot S_0$, přičemž však úroveň S_T není dopředu známa. Podkladové množství proto musí být nastaveno pomocí $\mathrm{E}[S_T]$.

Varianta krátké pozice kontraktu forward na domácí měnu s realizační cenou

$$K = 1/S_0\cdot\exp[(r_f - r_d)\cdot\tau]$$

a podkladovým množstvím $Q_{DM} = Q_{ZM}\cdot S_0\cdot\exp[(r_d - r_f)\cdot\tau]$ je zpracována pomocí Tabulky 3. Finální pozici lze získat následovně:

$$Q_{DM}\cdot K = Q_{ZM}\cdot\exp[(r_d - r_f)\cdot\tau]\cdot 1/S_0\cdot\exp[(r_f - r_d)\cdot\tau] = Q_{ZM},$$

přičemž výdaje v domácí měně určuje podkladové množství Q_{DM}. Je zřejmé, že výsledná pozice i celkové cashflow je shodné se symetrickou Variantou C. Riziko tak je opět nulové.

Tabulka 3: Zajištění pomocí forwardu na domácí měnu (krátká pozice)

Čas / měna	Varianta C'
$t = 0$, ZM, P	$-F$
$t = 0$, ZM, CF	—
$t = T$, DM, CF	$-Q_{ZM} \cdot S_0 \cdot \exp[(r_d - r_f) \cdot \tau]$
$t = T$, ZM, P	Q_{ZM}
riziko, DM	—

Aplikace kontraktu futures se oproti využití forwardu může odlišovat potřebou průběžného financování pozice v závislosti na měnící se ceně podkladového aktiva (počáteční záloha, udržovací záloha, atd.), což je dáno požadavky trhu (burzy) na snížení (odstranění) kreditního rizika. Jelikož stejnému riziku jsou vystaveni i poskytovatelé kontraktů forward z řad finančních institucí, je i zde snaha o omezení rizika, že protistrana nedostojí svým závazkům. To často způsobuje, že se stírá rozdíl mezi oběma typy derivátů, co se týče financování pozice.

Metody s jednoduchými opcemi

Určitou nevýhodou lineárních finančních derivátů typu forward a futures je skutečnost, že se subjekt vzdává možnosti profitovat z příznivého vývoje podkladové veličiny. To je při zpětném pohledu častým, i když poněkud naivním argumentem proti hedgingu.

Produktem, který umožňuje odstranit riziko nepříznivého vývoje a zároveň zachovává možnost profitovat z vývoje příznivého, jsou opce. Aby byla na trhu zachována rovnováha, je cena opce vždy více či méně pozitivní.

Ve zde studovaném případě je známa nutnost nákupu cizí měny v budoucnu. Jako vhodná se tedy jeví call opce na zahraniční měnu (**Varianty E** a **F**), případně put opce na měnu domácí (**Varianty E'** a **F'**). V obou případech lze uvažovat různé realizační ceny. Předpokládejme tedy opět dvě varianty pro každou z opcí: $\mathrm{E}[S_T] = K'$ a $\mathrm{E}[S_T] \neq K'$.

Shrnující přehled peněžních toků a pozic uvádí Tabulka 4 (call opce) a Tabulka 5 (put opce). Počáteční cashflow je vždy výdaj. Jeho výše je určena hodnotou opce v závislosti na realizační ceně. Výdaj na konci je vždy menší z hodnot daných využitím opce a nákupem zahraniční měny (prodejem domácí) dle aktuálního kurzu.

Pro určení celkových nákladů je nutné zohlednit oba výdaje. Tedy, pro případ varianty E se jedná o:

$$X_T = -f(K)\cdot Q_{ZM}\cdot \exp[r_d\cdot \tau] - \min[K\cdot Q_{ZM}; S_T\cdot Q_{ZM}].$$

Obdobně pro variantu E' získáme:

$$X_T = -f(1/K)\cdot Q_{DM}\cdot S_0\cdot \exp[r_d\cdot \tau] - \min[K\cdot Q_{ZM}; S_T\cdot Q_{ZM}],$$

což je po vyjádření ceny opce zcela stejný vztah.

Tabulka 4: Zajištění pomocí call opce f(x) s realizační cenou x

Čas / měna	Varianta E (call s K)	Varianta F (call s K')
t = 0, DM, CF	$-f(K)\cdot Q_{ZM}$	$-f(K')\cdot Q_{ZM}$
t = 0, DM, P	$f(K)\cdot Q_{ZM}$	$f(K')\cdot Q_{ZM}$
t = T, DM, CF	$-\min[K\cdot Q_{ZM}; S_T\cdot Q_{ZM}]$	$-\min[K'\cdot Q_{ZM}; S_T\cdot Q_{ZM}]$
t = T, ZM, P	Q_{ZM}	Q_{ZM}
riziko, DM	*pozitivní*	*spíše pozitivní*

Tabulka 5: Zajištění pomocí put opce f(x) s realizační cenou x

Čas / měna	Varianta E' (put s 1/K)	Varianta F' (put s $1/K'$)
t = 0, ZM, P	$f(1/K)\cdot Q_{DM}$	$f(1/K')\cdot Q_{DM}$
t = 0, ZM, CF	$-f(1/K)\cdot Q_{DM}$	$-f(1/K')\cdot Q_{DM}$
t = T, DM, CF	$-\min[K\cdot Q_{ZM}; S_T\cdot Q_{ZM}]$	$-\min[K'\cdot Q_{ZM}; S_T\cdot Q_{ZM}]$
t = T, ZM, P	Q_{ZM}	Q_{ZM}
riziko, DM	*pozitivní*	*spíše pozitivní*

Velmi důležitou skutečností je fakt, že riziko má pouze pozitivní dopad – pozice umožňuje profitovat z příznivého vývoje (realizační cena odpovídá forwardové ceně) či spíše profitovat (v ostatních případech).

3. Posouzení jednotlivých metod

Za účelem posouzení a porovnání jednotlivých variant uvažujme následující vstupní data: časový úsek, po jehož uplynutí je nutné zahraniční měnu koupit, je 3 měsíce, tj. τ = 0.25; potřebné množství zahraniční měny Q = 1 000 000 euro. Výchozí kurz je 28 CZK/EUR. Pro zjednodušený zápis bude dále množství měny udáváno v tisících.

Jednotlivé varianty budou ověřeny pomocí simulování 10 000 náhodných scénářů vývoje měnové kurzu na bázi geometrického Brownova pohybu:

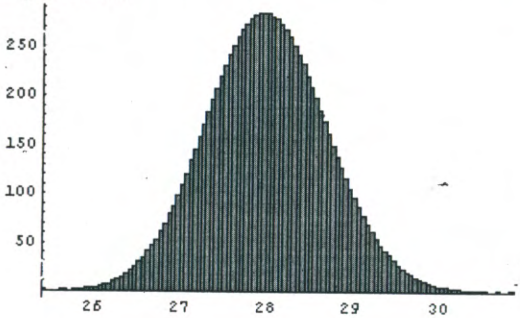
$$S_T = S_{0+\tau}\cdot \exp[(r_d - r_f - \sigma^2/2)\cdot \tau + \sigma\cdot dW],$$

přičemž volatilita je předpokládána na úrovni σ = 0.05. Postupně dojde k posouzení jednotlivých strategií pro všechny přípustné vztahy domácí a zahraniční bezrizikové sazby, tj. $r_d = r_f$, $r_d < r_f$ a $r_d > r_f$.

Shodná úroveň úrokových sazeb

Za předpokladu shodných úrokových sazeb bude očekávaná hodnota budoucího kurzu totožná s hodnotou aktuální, tj. E[S_T] = 28. Generování náhodných prvků pomocí stratifikace jednotkového intervalu a následné aplikaci metody inverzní transformace vede k vcelku dobrým výsledkům, viz histogram pravděpodobnostního rozdělení konečného kurzu (obrázek 1).[3]

Obrázek 1: Histogram pravděpodobnostního rozdělení konečného kurzu při rovnosti bezrizikových sazeb



Statistické charakteristiky celkových nákladů na nákup zahraniční měny v množství Q jsou uvedeny v Tabulce 6 (střední hodnota, medián, směrodatná odchylka, kvantil pro 5% a 95%, tj. VaR pro příslušnou hladinu pravděpodobnosti, a šikmost a špičatost). Příslušné peněžní toky jsou přepočteny pro konečný časový okamžik T. Jednotlivé varianty jsou označeny ve shodě s kapitolou 3.

Varianta A představuje nákup zahraniční měny na počátku za spotový kurz tak, aby po zúročení pomocí zahraniční bezrizikové sazby byla za 3 měsíce k dispozici potřebná částka Q_{ZM}. Kapitál, kterým je na počátku nutné disponovat, tak je roven 27 652 Kč. Po převedení do T (výpůjčka za bezrizikovou sazbu) získáme celkové náklady jako 28 000 Kč.

---

[3] Střední hodnota i směrodatná odchylka jsou shodné, medián je nepatrně nižší (27.99), špičatost je v zásadě odpovídající (3.0036) a šikmost mírně pozitivní (0.075).

Tabulka 6: Statistické charakteristiky jednotlivých variant (konečných nákladů) při rovnosti bezrizikových sazeb

Var.	Počáteční kapitál	Střední hodnota	Medián	σ	Kvantil (5%)	Kvantil (95%)	Šikmost	Špičatost
A	27.652	28 000	28 000	—	—	—	—	—
B	0	28 000	27 991	700	26 864	29 166	0.0754	3.0036
C	0	28 000	28 000	—	—	—	—	—
C'	0	28 000	28 000	—	—	—	—	—
D1	–493.789	28 000	28 000	—	—	—	—	—
D2	493.789	28 000	28 000	—	—	—	—	—
E	275.783	28 000	28 270	403	27 143	28 279	–1.5822	5.1117
E'	275.783	28 000	28 270	403	27 143	28 279	–1.5822	5.1117
F1	98.307	28 000	28 090	556	26 963	28 600	–0.7606	2.9166
F2	588.280	28 000	28 096	234	27 459	28 096	–3.0735	13.5102
F3	25.589	28 000	28 017	650	26 900	29 026	–0.2804	2.5540

Varianta B je nekrytá pozice – na počátku není hrazeno nic, výdaje na konci období vycházejí ze skutečného kurzu. Na základě zde realizované simulace tak střední hodnota, tj. kolik je v průměru nutné zaplatit, činní 28 000 Kč. Vzhledem k mírné nedokonalosti simulovaných hodnot je medián nepatrně nižší (měl by být totožný). Směrodatná odchylka a kvantily indikují, že s pravděpodobností 90% bude vynaložená částka v rozmezí [26 864; 29 166].

Varianty C a C' spočívají ve využití forwardu s realizační cenou na bázi očekávaného kurzu K = 28. Počáteční potřeba kapitálu je nulová, konečné výdaje jsou bezrizikové ve výši 28 000 Kč. Obě varianty vedou k totožnému výsledku.

U variant D1 i D2 se pracuje s forwardem s odlišnou realizační cenou, konkrétně K = 28.5 (D1) a K = 27.5 (D2). Z výsledků je patrné, že konečné náklady jsou totožné, částka je bezriziková. Varianty se však odlišují počáteční potřebou kapitálu, v prvém případě je hodnota kontraktu záporná (jsou získány dodatečné prostředky, které je třeba investovat za bezrizikovou sazbu), ve druhém kladná (je nutná bezriziková výpůjčka).

Varianty E a E' opět vedou ke stejnému výsledku. V prvém případě se jedná o call opci na nákup eur za koruny s realizační cenou K = 28, ve druhém o put opci na prodej korun za eura. Přepočtená počáteční potřeba kapitálu odpovídá ceně opce dle modelu Blacka a Scholese (275.783). Střední hodnota celkových nákladů je 28 000 Kč, medián je mírně vyšší – rozdíl se blíží zúročené ceně opce. Horní kvantil pak je určen přímo pomocí ceny opce:

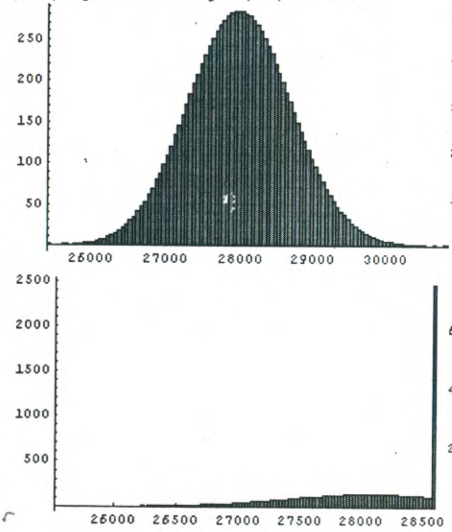
$$28\,000 + 275.783 \cdot \exp[0.05 \cdot 3/12] = 28\,279\,.$$

Doplňme, že jelikož bude opce využita v přibližně 50% případů, musejí být hodnoty kvantilů pro $\alpha \in (0.5;1]$ totožné. To znamená, že s pravděpodobností 50% budou celkové náklady činit 28 279 Kč. Zároveň, s pravděpodobností nepatrně menší než 50%, budou celkové náklady nižší než při aplikaci Varianty C, ale vyšší právě o zúročenou cenu opce oproti Variantě B.

U Variant F1, F2 a F3 jsou rovněž využívány call opce, avšak s odlišnými realizačními cenami, konkrétně $K = 28.5$ (F1), $K = 27.5$ (F2) a $K = 29$ (F3). Počáteční potřeba kapitálu je zcela logicky závislá na stanovené realizační ceně, stejně jako hodnoty kvantilů a pravděpodobnost, s jakou bude opce využita. Průměrné náklady jsou však stejné.

Co se týče směrodatné odchylky celkových nákladů, tak ta roste s realizační cenou call opce. Za účelem posouzení tvaru pravděpodobnostního rozdělení jsou prezentovány rovněž histogramy celkových nákladů pro Varianty B, E, F1 a F2 (vzhledem k charakteru opční výplaty má osa y pro jednotlivé případy odlišné měřítko), viz obrázek 2.

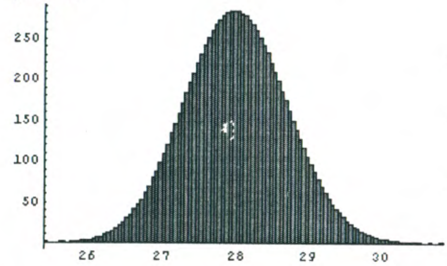
Obrázek 2: Histogram pravděpodobnostního rozdělení celkových přepočtených výdajů pro varianty B, E, F1 a F2

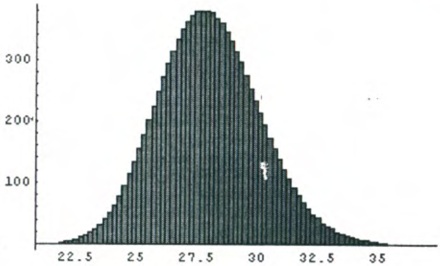


Vliv úrovně volatility

Vyšší volatilita (ve zde studovaném případě trojnásobná, $\sigma = 0.15$) má dopad zejména na rozšíření pravděpodobnostního rozdělení budoucího kurzu (pro srovnání je uveden histogram pravděpodobnostního rozdělení konečného kurzu, obrázek 3) a zvýšení potřeby počátečního kapitálu pro strategie s opcemi. Střední hodnota výsledku zůstává stejná, roste však jeho volatilita (je přibližně trojnásobná). Obdobný dopad lze vypozorovat pro jednotlivé kvantily. Pokud bychom volatilitu snížili, bude vliv obdobný.

Obrázek 3: Histogram pravděpodobnostního rozdělení konečného kurzu při rovnosti bezrizikových sazeb pro různé volatility (σ = 0.05 – vlevo, σ = 0.15 – vpravo)





Odlišná úroveň úrokových sazeb

Pokud budou úrokové sazby v jednotlivých ekonomikách různé, bude se očekávaný budoucí kurz odlišovat od kurzu výchozího. Předpokládejme, že r_d = 0.05 a r_f = 0.06. Pak:

$$\mathrm{E}[S_T] = S_0 \cdot \exp[(r_d - r_f) \cdot \tau] = 27.93.$$

Po vynásobení množstvím Q získáme očekávané náklady na nákup požadovaného množství zahraniční měny, tj. X_T = 27 930 Kč. Tato částka je stejná pro všechny strategie.

Detailní charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 7. Vzhledem k nižší předpokládané částce vynaložené na nákup v budoucnu a vyšší zahraniční sazbě, jsou nižší jak počáteční potřeba kapitálu (Varianta A), tak ceny opcí (Varianty E a F). Hodnota forwardů dle Variant D1 a D2 zůstává stejná, neboť je předpokládán stejný rozdíl mezi realizační cenou a forwardovou cenou (± 0.5) a domácí bezriziková sazba, kterou je třeba očekávaný rozdíl diskontovat, zůstává rovněž nezměněna.

Směrodatná odchylka se sice z absolutního hlediska snižuje, což je způsobeno nižšími celkovými výdaji, při relativním pohledu však je v zásadě nezměněna.

Rovněž lze uvažovat situaci, kdy zahraniční bezriziková sazba bude nižší než domácí, tedy r_f = 0.04. Výsledky však budou obdobné – dojde k mírnému zvýšení předpokládaných nákladů, neboť:

$$\mathrm{E}[S_T] = S_0 \cdot \exp[(r_d - r_f) \cdot \tau] = 28.07.$$

Obdobným způsobem se změní i ostatní charakteristiky.

Tabulka 7: Statistické charakteristiky jednotlivých variant (konečných nákladů) při vyšší zahraniční bezrizikové sazbě

Var.	Počáteční kapitál	Střední hodnota	Medián	σ	Kvantil (5%)	Kvantil (95%)	Šikmost	Špičatost
A	27 583	27 930	27 930	—	—	—	—	—
B	0	27 930	27 921	698	26 796	29 093	0.0754	3.0036
C	0	27 930	27 930	—	—	—	—	—
C'	0	27 930	27 930	—	—	—	—	—
D1	–493.789	27 930	27 930	—	—	—	—	—
D2	493.789	27 930	27 930	—	—	—	—	—
E	275.095	27 930	28 200	402	27 075	28 209	–1.5822	5.1117
E'	275.095	27 930	28 200	402	27 075	28 209	–1.5822	5.1117
F1	69.245	27 930	27 992	588	26 867	28 640	–0.5962	2.7055
F2	487.080	27 930	28 063	278	27 290	28 063	–2.5523	9.9451
F3	16.342	27 930	27 938	664	26 813	29 086	–0.1898	2.5842

Dopad reálného driftu stochastického procesu – oslabení domácí měny

V předchozí analýze jsme předpokládali, že skutečný průměrný přírůstek měnového kurzu odpovídá přírůstku, který lze očekávat v rizikově neutrálním prostředí na bázi rozdílu r_d a r_f. V reálném prostředí však může být situace odlišná. Předpokládejme tedy, že platí shodnost bezrizikových sazeb, domácí i zahraniční, avšak pro účely simulace náhodného vývoje měnového kurzu přepíšeme GBM takto:

$$S_T = S_{0+\tau} \cdot \exp\left[\left(\mu - \sigma^2/2\right) \cdot \tau + \sigma \cdot dW\right]$$

Uvažujme nejdříve, že $\mu = 0.02$ p.a. – tedy domácí měna oslabuje. V tomto případě je třeba rozlišit kurz očekávaný v rizikově neutrálním prostředí, který zůstává $E^Q[S_T] = 28.0$ (podstatný pro určení cen forwardu a opce), a kurz očekávaný v reálném prostředí:

$$E^P[S_T] = S_0 \cdot \exp[\mu \cdot \tau] = 28.14.$$

Ten je průměrným výsledkem simulace.

Přehled základních statistických charakteristik pro jednotlivé varianty je opět obsažen v tabulce 8. Hodnoty ve sloupci počáteční kapitál zůstávají stejné vzhledem k tabulce 6 – skutečný drift procesu nehraje roli při určení ceny derivátů, respektive výdajů nutných k okamžitému nakoupení zahraniční měny.

Stejně tak nejsou ovlivněny celkové náklady pro krytou strategii a metody s forwardy. Na druhou stranu, zvyšují se celkové náklady pro nekrytou pozici i opční strategie (růst závisí na úrovni realizační ceny). Dochází taktéž k mírné změně volatility (růst u nekryté pozice, pokles pro opce). Lze vypozorovat, že čím vyšší riziko (volatilita), tím vyšší jsou i celkové náklady. Dále, levý kvantil se mírně zvyšuje, pravý zůstává pro opce nezměněn (dáno počáteční potřebou kapitálu, tedy cenou opce).

Tabulka 8: Statistické charakteristiky jednotlivých variant (konečných nákladů) pro odlišný skutečný drift procesu

Var.	Počáteční kapitál	Střední hodnota	Medián	σ	Kvantil (5%)	Kvantil (95%)	Šikmost	Špičatost
A	27 652	28 000	28 000	—	—	—	—	—
B	0	28 140	28 132	704	26 998	29 312	0.0754	3.0036
C	0	28 000	28 000	—	—	—	—	—
C'	0	28 000	28 000	—	—	—	—	—
D1	–493.789	28 000	28 000	—	—	—	—	—
D2	493.789	28 000	28 000	—	—	—	—	—
E	275.783	28 064	28 279	356	27 277	28 279	–1.9061	6.4621
E'	275.783	28 064	28 279	356	27 277	28 279	–1.9061	6.4621
F1	98.307	28 102	28 231	520	27 097	28 600	–0.9519	3.2633
F2	588.280	28 029	28 096	194	27 594	28 096	–3.7085	18.7600
F3	25.589	28 127	28 158	633	27 024	29 026	–0.3918	2.5656

Dopad reálného driftu stochastického procesu – posílení domácí měny

Na základě předchozích výsledků lze odvodit dopad reálného posílení domácí měny. Skutečné celkové náklady budou nejnižší pro nekrytou pozici, dále pak pro opce. Budeme-li předpokládat záporný drift μ = – 0.02 p.a., bude skutečně očekávaná úroveň kurzu následující:

$$E^P[S_T] = S_0 \cdot \exp[\mu \cdot \tau] = 27.86.$$

Po vynásobení potřebným množstvím zahraniční měny lze získat celkové náklady pro nekrytou pozici (Varianta B) jako 27 860 Kč, přičemž volatilita je mírně vyšší. Co se týče celkových nákladů na opční pozice, dochází k převrácení pořadí oproti situaci, kdy domácí měna oslabovala.

Vliv dostupnosti bezrizikové sazby

Dostupnost bezrizikové sazby, tedy možnost výpůjčky či zápůjčky za bezrizikovou sazbu, je další z parametrů, který hraje klíčovou roli při posuzování jednotlivých variant v reálném prostředí. Záleží také, za jakých podmínek lze vstoupit do kontraktů forward či futures. Pokud nejsou vyžadovány počáteční a doplňovací zálohy a zároveň realizační cena odpovídá ceně forwardové (výchozí hodnota forwardu je nulová), jsou takové strategie necitlivé na dostupnost bezrizikové sazby.

Citlivost obecně vyplývá z výchozích výdajů. Nejvyšší proto bude u kryté pozice (Varianta A) – není-li možné získat potřebný kapitál za bezrizikovou sazbu, dojde ke zvýšení celkových nákladů úměrně úrokové přirážce. Dále je nutné brát v úvahu skutečnost, že příliš vysoká výpůjčka může omezit dostupnost dalších úvěrů na financování výroby či jiné činnosti. Rovněž je nutné uvažovat možnost bezrizikového uložení zahraniční měny za sazbu r_f.

Jak již bylo uvedeno, v případě varianty C jsou důležité konkrétní podmínky kontraktu. Jsou-li požadovány zálohy a je-li kontrakt dlouhodobý, roste riziko likvidity. V případě byť jen krátkodobě nepříznivého vývoje může dojít k požadavku na vysokou doplňující zálohu. Pokud subjekt nemá dostatečnou úvěrovou facilitu, je nutné pozici uzavřít a v konečném důsledku tak může být realizována (ztráta z forwardu, případná ztráta z následně nezajištěné pozice). V případě využití kontraktů z pohledu zahraniční měny je nutné brát v úvahu rovněž dostupnost (kvantita, rychlost) zahraniční měny prostřednictvím konverze z měny domácí nebo ve formě výpůjčky.

Rovněž u strategií s opcemi se lze setkat s požadavkem na zálohové platby, i když to je relevantní zejména pro případ krátkých pozic. V ostatních případech je třeba brát v úvahu skutečnost, že opce odstraňují pouze část rizika a nejsou poskytovány zdarma. Nedostupnost bezrizikové výpůjčky proto může i zde způsobit růst celkových nákladů.

4. Závěr

Základním smyslem existence finančních derivátů je umožnit eliminaci finančního rizika, neboli hedging, subjektům, které o to projeví zájem. V tomto článku byly posouzeny vybrané základní strategie eliminace měnového rizika (očekávaná potřeba nákupu zahraniční měny).

Byly studovány nekrytá pozice, krytá pozice, dlouhá pozice ve forwardu na zahraniční měnu s různými realizačními cenami, krátká pozice ve forwardu na domácí měnu, call opce na nákup zahraniční měny s různými realizačními cenami a put opce na prodej domácí měny.

Bylo ukázáno, že je-li skutečný drift náhodného procesu totožný s úrokovým diferenciálem (tedy předpokládáme-li rizikově neutrální prostředí), jsou celkové náklady totožné pro všechny varianty, a to ve výši očekávaného kurzu v konečném čase *T*. Pro daný případ byl rovněž analyzován vliv různých úrokových diferenciálů a výše volatilit na počáteční výdaje a riziko výše celkových výdajů.

Jednotlivé přístupy byly taktéž studovány za předpokladu, že skutečný drift procesu není shodný s rozdílem domácí a zahraniční bezrizikové úrokové sazby. Bylo ukázáno, že dochází-li ve skutečnosti k oslabení domácí měny, zvyšuje se střední hodnota celkových nákladů dle rizikovosti strategie. V opačném případě, tedy dochází-li k posílení měny, je střední hodnota celkových nákladů nejnižší pro nejrizikovější variantu.

Na závěr článku byl naznačen problém dostupnosti bezrizikové sazby, tedy možnosti financovat příslušné pozice prostřednictvím výpůjčky za bezrizikovou sazbu.

Literatura:

[1] BLACK, F., SCHOLES, M. (1973): The Pricing of Options and Corporate Liabilities, *Journal of Political Economy*, 81 (May-June 1973), 637-659, 1973.

[2] DLUHOŠOVÁ D. et al. (2004): *Nové přístupy a finanční nástroje ve finančním rozhodování*, VŠB-TU Ostrava, 2004.

[3] HULL, J. C. (2006): *Options, Futures, & other Derivatives*. Prentice Hall, 2006.

[4] SHEREVE, S. E. *Stochastic Calculus for Finance I: The Binomial Asset Pricing Models*. Springer-Verlag, 2004.

[5] SHEREVE, S. E. *Stochastic Calculus for Finance II: Continuous-Time Models*. Springer-Verlag, 2004.

[6] TICHÝ, T. (2004): Aplikace replikačních metod při ocenění a zajištění bariérových opcí. *Finance a Úvěr – Czech Journal of Economics and Finance 54* (7-8), 305-324, 2004.

[7] TICHÝ, T. (2006): *Finanční deriváty – typologie finančních derivátů, podkladové procesy, oceňovací modely*, VŠB-TU Ostrava, 2006.

[8] ZMEŠKAL, Z., ČULÍK, M., TICHÝ, T. (2005): *Finanční rozhodování za rizika. Sbírka řešených příkladů*, VŠB-TU Ostrava, 2005.

[9] ZMEŠKAL, Z., DLUHOŠOVÁ, D., TICHÝ T. (2004): *Finanční modely*, Ekopress, 2004.