

# **Komparace dopadů metod měření úrokového rizika na kapitálové požadavky**

**Diplomová práce**

**Vedoucí práce:**

**Ing. Petr Toman, Ph.D.**

**Bc. Martin Boleslav**

**Brno 2015**



Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Petru Tomanovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, komentáře, cenné rady a veškeré konzultace, které mi poskytl při psaní této práce.



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Komparace dopadů metod měření úrokového rizika na kapitálové požadavky** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 5. ledna 2015

---



## **Abstract**

BOLESLAV, M. *Comparison of impacts of interest rate risk measuring methods on capital requirements*. Diploma thesis. Brno: Mendel University, 2015.

The goal of the paper is to compare impacts of interest rate risk measuring methods on capital requirements. The first section identifies methods for measuring interest rate risk and capital requirements for interest rate risk set by regulators. The second section compares capital requirements of model portfolio calculated by using standardized methods as well as internal models.

## **Keywords**

Interest rate risk, capital requirements, maturity method, duration method, Value at Risk, historical simulation, Monte Carlo simulation, variance-covariance method

## **Abstrakt**

BOLESLAV, M. *Komparace dopadů metod měření úrokového rizika na kapitálové požadavky*. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015.

Diplomová práce se zabývá komparací dopadů metod měření úrokového rizika na kapitálové požadavky. V první části práce jsou identifikovány metody měření úrokového rizika a požadavky regulátorů na výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku. Druhá část práce se zabývá komparací kapitálových požadavků stanovených pro modelové portfolio na základě standardizovaných metod i na základě interních modelů.

## **Klíčová slova**

Úrokové riziko, kapitálové požadavky, metoda splatností, metoda durací, Value at Risk, historická simulace, Monte Carlo simulace, metoda variancí a kovariancí





# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod a cíl práce</b>	<b>15</b>
1.1	Úvod.....	15
1.2	Cíl práce.....	15
<b>2</b>	<b>Metodika</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b>	<b>18</b>
3.1	Finanční rizika.....	18
3.2	Úrokové riziko.....	19
3.2.1	Gapová analýza.....	20
3.2.2	Metoda analýzy durací.....	21
3.2.3	Durace Gap.....	22
3.3	Value at Risk.....	23
3.3.1	Varianční kovarianční metoda.....	25
3.3.2	Historická simulace.....	27
3.3.3	Monte Carlo Simulace.....	30
3.3.4	Srovnání metod Value at Risk.....	33
3.3.4.1	Exponenciálně vážený pohyblivý průměr.....	33
3.3.5	Mapování finančních toků.....	34
3.3.6	Konverze časového horizontu.....	37
3.3.7	Back testing.....	37
3.3.8	Stresové testování.....	38
3.4	Kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku.....	40
3.4.1	Metoda splatností.....	41
3.4.2	Metoda durací.....	42
3.4.3	Vnitřní modely.....	44
3.5	Dílčí závěr.....	45
<b>4</b>	<b>Empirická část</b>	<b>46</b>
4.1	Vstupní údaje.....	46

4.1.1	Modelové portfolio.....	46
4.1.2	Datový vzorek.....	47
4.1.3	Gapová analýza.....	51
4.1.4	Durace gap.....	52
4.2	Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku na základě standardizovaných metod .....	53
4.2.1	Výpočet kapitálového požadavku založený na splatnosti .....	53
4.2.2	Výpočet kapitálového požadavku založený na duraci dle ČNB .....	55
4.2.3	Výpočet kapitálového požadavku založený na duraci dle Nařízení CRR57 .....	58
4.2.4	Srovnání výsledků získaných na základě standardizovaných metod .....	58
4.2.5	Dílčí závěr .....	59
4.3	Výpočet kapitálového požadavku na základě interních modelů.....	59
4.3.1	Obecné požadavky regulátorů.....	60
4.3.2	Určení tržní ceny portfolia.....	60
4.3.3	Výpočet kapitálového požadavku metodou historické simulace .....	61
4.3.4	Výpočet kapitálového požadavku metodou variancí a kovariancí.....	65
4.3.5	Výpočet kapitálového požadavku metodou Monte Carlo .....	72
4.3.6	Srovnání výsledků získaných na základě interních modelů .....	77
4.3.7	Dílčí závěr .....	79
4.4	Srovnání kapitálového požadavku určeného na základě standardizovaných metod a interních modelů .....	80
<b>5</b>	<b>Diskuse</b>	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>Literatura</b>	<b>86</b>
7.1	Odborné publikace.....	86
7.2	Elektronické zdroje.....	86
7.3	Právní předpisy .....	87
<b>A</b>	<b>CD příloha</b>	<b>89</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1	Určení Value at Risk na základě zisků a ztrát	24
Obr. 2	Histogram denních výnosů portfolia a normální rozdělení	25
Obr. 3	Mapování peněžních toků na vrcholy podle RiskMetrics	35
Obr. 4	Skutečné denní změny a odhad VaR	38
Obr. 5	Stresové testování a konce v pravděpodobnostním rozdělení	40
Obr. 6	Výnosová křivka ke dni 20. 11. 2014	48
Obr. 7	Výnosová křivka ke dni 18. 9. 2009	48
Obr. 8	Vývoj úrokové míry českého bezkupónového dluhopisu se splatností jeden rok	49
Obr. 9	Vývoj úrokové míry českého bezkupónového dluhopisu se splatností pět let	49
Obr. 10	Vývoj úrokové míry českého bezkupónového dluhopisu se splatností deset let	50
Obr. 11	Vývoj denních cenových změn bezkupónového dluhopisu se splatností jeden rok	50
Obr. 12	Vývoj denních cenových změn bezkupónového dluhopisu se splatností pět let	50
Obr. 13	Vývoj denních cenových změn bezkupónového dluhopisu se splatností deset let	51
Obr. 14	Hypotetické denní výnosy od 22. 8. 2013 – 19. 11. 2014 a odhadnutá hodnota VaR	63
Obr. 15	Hypotetické denní výnosy a odhadnutá hodnota VaR a sVaR	64
Obr. 16	Hypotetické denní výnosy a odhadovaná hodnota VaR	65
Obr. 17	Hypotetické denní výnosy a hodnota VaR určená metodou variancí a kovariancí	69

---

<b>Obr. 18</b>	<b>Hypotetické denní výnosy a stresová hodnota sVaR určená metodou variancí a kovariancí</b>	<b>70</b>
<b>Obr. 19</b>	<b>Hypotetické denní výnosy a odhadovaná hodnota VaR určená metodou variancí a kovariancí</b>	<b>71</b>
<b>Obr. 20</b>	<b>Empiricky zjištěné rozdělení zisků a ztrát portfolia v období finanční krize 2008/2009 a normální rozdělení</b>	<b>72</b>
<b>Obr. 21</b>	<b>Empiricky zjištěné rozdělení zisků a ztrát portfolia v období roku 2014 a normální rozdělení</b>	<b>72</b>
<b>Obr. 22</b>	<b>Hypotetické výnosy a odhadovaná hodnota VaR metodou Monte Carlo</b>	<b>74</b>
<b>Obr. 23</b>	<b>Denní výnosy od 1. 10. 2008 – 17. 9. 2009 a odhadnutá stresová hodnota sVaR</b>	<b>76</b>
<b>Obr. 24</b>	<b>Hypotetické denní výnosy a odhadovaná hodnota VaR</b>	<b>77</b>

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b>	<b>Rozdělení časových košů</b>	<b>20</b>
<b>Tab. 2</b>	<b>Zjednodušená gapová zpráva</b>	<b>21</b>
<b>Tab. 3</b>	<b>Současná hodnota portfolia</b>	<b>28</b>
<b>Tab. 4</b>	<b>Historické výnosy</b>	<b>28</b>
<b>Tab. 5</b>	<b>Změny hodnoty portfolio na základě historických výnosů</b>	<b>29</b>
<b>Tab. 6</b>	<b>Sestupně seřazené výnosové scénáře</b>	<b>29</b>
<b>Tab. 7</b>	<b>Srovnání metod Value at Risk</b>	<b>33</b>
<b>Tab. 8</b>	<b>Standardizované vrcholy metodologie RiskMetrics</b>	<b>35</b>
<b>Tab. 9</b>	<b>Časová pásma a koeficienty k metodě splatností</b>	<b>42</b>
<b>Tab. 10</b>	<b>Časové zóny a koeficienty k metodě durací</b>	<b>43</b>
<b>Tab. 11</b>	<b>Časové zóny a předpokládané změny úrokové míry</b>	<b>43</b>
<b>Tab. 12</b>	<b>Vztah mezi počtem překročení a plus faktorem</b>	<b>45</b>
<b>Tab. 13</b>	<b>Struktura aktiv banky v mil. Kč</b>	<b>47</b>
<b>Tab. 14</b>	<b>Struktura pasiv banky v mil. Kč</b>	<b>47</b>
<b>Tab. 15</b>	<b>Gapová analýza</b>	<b>52</b>
<b>Tab. 16</b>	<b>Durace gap</b>	<b>52</b>
<b>Tab. 17</b>	<b>Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku metodou splatností</b>	<b>54</b>
<b>Tab. 18</b>	<b>Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku metodou durací</b>	<b>56</b>
<b>Tab. 19</b>	<b>Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku metodou durací dle Nařízení CRR</b>	<b>57</b>
<b>Tab. 20</b>	<b>Srovnání kapitálových požadavků vypočtených na základě standardizovaných metod</b>	<b>58</b>

<b>Tab. 21</b>	<b>Výpočet současných hodnot portfolia ke dni 19. 11. 2014</b>	<b>61</b>
<b>Tab. 22</b>	<b>Historické změny hodnoty portfolia v procentech</b>	<b>62</b>
<b>Tab. 23</b>	<b>Změny hodnoty portfolia aplikováním historických scénářů</b>	<b>62</b>
<b>Tab. 24</b>	<b>Překročení za předchozích 250 obchodních dnů</b>	<b>63</b>
<b>Tab. 25</b>	<b>Stresové hodnoty sVaR v mil. Kč</b>	<b>64</b>
<b>Tab. 26</b>	<b>Korelační matice C</b>	<b>66</b>
<b>Tab. 27</b>	<b>Matice volatilit V vynásobená hodnotou 2,33 v procentech</b>	<b>66</b>
<b>Tab. 28</b>	<b>Kovarianční matice VCV v procentech</b>	<b>67</b>
<b>Tab. 29</b>	<b>Matice současných hodnot peněžních toků CF ke dni 19. 11. 2014</b>	<b>67</b>
<b>Tab. 30</b>	<b>Matice VCVCF</b>	<b>68</b>
<b>Tab. 31</b>	<b>Matice CF'VCVCF</b>	<b>68</b>
<b>Tab. 32</b>	<b>Hodnoty VaR metodu VCV v mil. Kč.</b>	<b>69</b>
<b>Tab. 33</b>	<b>Stresové hodnoty sVaR metodou VCV</b>	<b>69</b>
<b>Tab. 34</b>	<b>Vygenerované náhodné denní cenové změny v procentech</b>	<b>73</b>
<b>Tab. 35</b>	<b>Změny hodnoty portfolia aplikováním náhodně simulovaných scénářů</b>	<b>74</b>
<b>Tab. 36</b>	<b>Hodnoty VaR metodou Monte Carlo v mil. Kč.</b>	<b>75</b>
<b>Tab. 37</b>	<b>Stresové hodnoty sVaR metodou Monte Carlo</b>	<b>75</b>
<b>Tab. 38</b>	<b>Srovnání hodnot VaR vypočtených různými metodami</b>	<b>77</b>
<b>Tab. 39</b>	<b>Srovnání hodnot VaR vypočtených různými metodami pro krizové období 2008/2009</b>	<b>78</b>
<b>Tab. 40</b>	<b>Srovnání kapitálových požadavků stanovených na základě interních modelů</b>	<b>78</b>
<b>Tab. 41</b>	<b>Srovnání kapitálového požadavku určeného na základě standardizovaných metod a interních modelů</b>	<b>80</b>

# 1 Úvod a cíl práce

## 1.1 Úvod

Identifikace a měření finančních rizik jsou jedním z hlavních problémů dnešního bankovníctví. Moderní metody řízení finančních rizik se ukázaly jako nedostatečné v období světové finanční krize v letech 2008/2009. Jako nedostatečná se projevila i rozsáhlá mezinárodní finanční regulace. V případě mnoha bank, zaznamenané ztráty převýšily minimální kapitálové požadavky stanovené regulátory. Reakcí regulátorů a orgánů dohledu jsou ještě přísnější požadavky na stanovení kapitálových požadavků. Pro měření rizika a stanovení kapitálových požadavků k obecnému úrokovému riziku banky využívají standardizované metody a vnitřní modely založené na výpočtu hodnoty Value at Risk. Value at Risk si získala řadu odpůrců zejména po finanční krizi, které nebyla schopna zabránit. Metody Value at Risk však zůstávají jedním z hlavních a nejučinnějších nástrojů měření tržního rizika a dochází k jejich neustálému vylepšování s cílem uzpůsobit modely rychle se měnícím tržním podmínkám a novým komplexním instrumentům finančního trhu. Banky samy nejlépe znají svá rizika a mají nejlepší předpoklady pro jejich měření. Orgány dohledu a regulace by tak měly motivovat banky k využívání a vývoji těchto metod. Neustále přísnější požadavky regulátorů však mohou být spíše demotivující.

## 1.2 Cíl práce

Cílem práce je pomocí metodického srovnání simulačních metod Value at Risk identifikovat rozdílné dopady na stanovení kapitálového požadavku vůči úrokovému riziku. Prvním dílčím cílem je identifikovat rizika plynoucí z pohybu úrokových sazeb a analyzovat metody používané k měření úrokového rizika. Druhým dílčím cílem je shrnout požadavky pro stanovení kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku a popsat metody jeho výpočtu podle Vyhlášky ČNB č. 123/2007 i podle nového Nařízení EP a Rady č. 575/2013. Třetím dílčím cílem je komparace kapitálového požadavku pro modelové portfolio, který bude stanoven standardními metodami i interními modely založenými na výpočtu hodnoty Value at Risk.

Na základě stanovených cílů byly formulovány následující výzkumné otázky, které budou v práci zodpovězeny.

1. Má Nařízení EP a Rady č. 575/2013 dopad na velikost stanoveného kapitálového požadavku?
2. Liší se hodnoty kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku stanovené na základě výpočtu různými metodami?
3. Poskytují kapitálové požadavky stanovené standardizovanými metodami a požadavky stanovené na základě interních modelů dostatečný kapitálový polštář ke krytí ztrát plynoucích z obecného úrokového rizika?

## 2 Metodika

V literární rešerši bude využita analýza teoretických východisek dané problematiky. Nejdříve budou shromážděny informace týkající se úrokového rizika a metod pro jeho měření. Dále budou popsány požadavky regulátorů na stanovení kapitálového požadavku k úrokovému riziku. Jako hlavní zdroj bude využita odborná česká a zahraniční literatura věnující se úrokovému riziku a metodám jeho měření. K popisu měření rizika pomocí interních modelů založených na výpočtu hodnoty Value at Risk bude čerpáno zejména ze zahraniční odborné literatury a z internetových zdrojů. Výpočet kapitálového požadavku bude popsán podle příslušných právních předpisů a metodických materiálů ČNB a ECB.

V empirické části práce bude využito metody analýzy a komparace kapitálových požadavků k obecnému úrokovému riziku, které budou stanoveny pro modelové portfolio na základě standardizovaných metod a interních modelů založených na výpočtu hodnoty Value at Risk. Vstupní data pro výpočet budou získána z databáze Bloomberg.

Mezi standardizované metody, které budou využity pro stanovení kapitálového požadavku, patří metoda splatností a metoda durací.

- Metoda splatností
  - Tato metoda rozřazuje úrokové pozice do časových pásem dle jejich zbývajících doby do splatnosti, ty se násobí příslušnými koeficienty a získané vážené úrokové pozice se dále kompenzují v rámci časových pásem a zón. Kapitálový požadavek je stanoven součtem jednotlivých kompenzovaných a nekompenzovaných pozic.
- Metoda durací
  - Tato metoda rozřazuje úrokové pozice do zón dle jejich modifikované durace. Ty se násobí příslušnými koeficienty a získané vážené úrokové pozice se dále kompenzují v rámci jednotlivých zón. Kapitálový požadavek je stanoven součtem jednotlivých kompenzovaných a nekompenzovaných pozic.

Postup určení výše kapitálového požadavku těmito metodami je dán Nařízením EP a Rady č. 575/2013.

Stanovení kapitálového požadavku při použití interních modelů je založeno na výpočtu hodnoty Value at Risk a stresové hodnoty Value at Risk. Obecné požadavky jsou dány Nařízením EP a Rady č. 575/2013. Pro výpočet hodnoty Value at Risk bude v práci využito metody historické simulace, metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo.

- Historická simulace
  - Tato metoda využívá pro výpočet VaR empiricky zjištěné rozdělení zisků a ztrát. Její aplikace spočívá v přecenění portfolia historickými scénáři zisků a ztrát. Hodnota VaR se určí jako percentil odpovídající zvolené hladině spolehlivosti.



- Metoda variancí a kovariancí
  - Metoda předpokládá normální rozdělení rizikových faktorů. K výpočtu VaR metoda využívá kovarianční matici sestavenou na základě volatilit rizikových faktorů a korelací mezi nimi.
- Simulace Monte Carlo
  - Metoda spočívá v generování velkého množství scénářů zisků a ztrát, ze kterých je určena hodnota VaR jako percentil odpovídající zvolené hladině spolehlivosti.

Získané hodnoty VaR a stresové hodnoty VaR budou použity ke stanovení výše kapitálového požadavku pro modelové portfolio.

Kapitálové požadavky stanovené standardizovanými metodami a interními modely budou porovnány a vyhodnoceny.

## 3 Literární rešerše

Dílním cílem této kapitoly je identifikovat rizika plynoucí z pohybu úrokových sazeb a analyzovat metody používané k měření úrokového rizika.

Stručně jsou definována finanční rizika, z nichž největší pozornost je věnována právě úrokovému riziku. Kapitola dále popisuje metody využívané k měření úrokového rizika. Jedná se o gapovou analýzu, metodu analýzy durací, durace gap a metody založené na výpočtu hodnoty Value at Risk.

Druhým dílním cílem je srovnání požadavků a metod pro stanovení kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku dle Vyhlášky ČNB č. 123/2007 Sb. a dle nového předpisu Nařízení EP a Rady č. 575/2013.

Definovány jsou způsoby výpočtu kapitálového požadavku metodou splatností, metodou durací a využitím interních modelů.

### 3.1 Finanční rizika

Riziko je nedílnou součástí jakékoliv činnosti. S finančním rizikem se setkáváme v souvislosti s finančními aktivitami. Banky jako finanční zprostředkovatelé čelí celé řadě rizik a finanční rizika hrají významnou roli v bankovním podnikání. Měření a identifikace rizik, které by mohly negativně ovlivnit výsledek hospodaření, je proto důležitou aktivitou pro management bank. Bankovní systém je jeden z pilířů ekonomiky a proto i orgány dohledu a regulace finančního trhu kladou stále přísnější požadavky na řízení rizik. (Jílek, 2000) Měření a identifikace rizik je jedním z hlavních problémů dnešního bankovníctví. (Vlachý, 2006)

V odborné literatuře můžeme najít řadu různých rozdělení finančních rizik. Jílek (2000) dělí finanční rizika na riziko úvěrové, tržní, likvidní, operační a obchodní.

Úvěrové riziko je riziko ztráty v případě, že protistrana nedostojí svým závazkům dle sjednaných podmínek. Jedná se také o nejstarší a nejvýznamnější z finančních rizik.

Tržní riziko je druhým nejvýznamnějším rizikem a Jílek (2000) ho dále dělí na úrokové, akciové, komoditní, měnové, korelační a riziko úvěrového rozpětí. Jedná se o riziko ztráty, která může vzniknout při změně tržních cen na finančních trzích. Jedná se například o pro banku nepříznivý vývoj úrokových měr, tržních cen akcií, komodit nebo měnových kurzů. Korelační nebo také bazické riziko je riziko porušení historické korelace mezi rizikovými nástroji. Credit spread risk neboli riziko úvěrového rozpětí je riziko změny rizikové přírážky u dluhových cenných papírů.

Riziko likvidity se dělí na riziko financování a riziko tržní likvidity. Riziko financování je neschopnost banky dostát svým splatným závazkům. Riziko tržní likvidity vzniká v situaci malé likvidity na trhu finančních nástrojů a neschopnosti banky rychle uzavřít svoje pozice za účelem získání peněžních prostředků.

Operační riziko je riziko ztráty vzniklé selháním lidského faktoru, selháním vnitřních procesů, či selháním IT systému banky.

Obchodní riziko souvisí s rizikem právním, reputačním, daňovým, regulačním, rizikem měnové konvertibility a rizikem pohromy. (Jílek,2000)

### 3.2 Úrokové riziko

Úrokové riziko vzniká v důsledku nejistoty vzhledem k vývoji úrokových sazeb na trhu, zejména s takovým vývojem, který se negativně promítne na výsledku hospodaření banky. Jestli je pro banku nepříznivým vývojem růst anebo pokles úrokových sazeb, se odvíjí od struktury bankovní bilance. Cipra (2002) definuje úrokové riziko jako „*riziko ztráty z cenových změn nástrojů citlivých na úrokové míry*“. Úrokové riziko se dále dělí na specifické a obecné.

Specifické riziko souvisí se změnou rizikové přírážky u dluhových cenných papírů v důsledku zhoršení finanční situace emitenta daného úrokového nástroje. Někdy se specifické riziko považuje za úvěrové riziko. V literatuře se můžeme často setkat také s pojmem „*credit spread risk*“. (Cipra, 2002) Credit spread risk se v posledních letech stal velmi aktuální, kdy významně rostla riziková přírážka u některých státních dluhopisů, které byly dříve považovány za bezrizikové. Do roku 2010 vnímaly trhy státní dluhopisy zemí eurozóny jako stejně rizikové. Jakmile se však na trh dostaly informace o zhoršující se fiskální situaci Řecka a Irska, trhy si u těchto dluhopisů začaly účtovat přírážku za riziko defaultu.

Obecným rizikem se rozumí pohyb bezrizikových úrokových sazeb (PRIBOR, IRS). Obecné riziko není spojeno s finančním nástrojem konkrétního emitenta, ale je ovlivněno makroekonomickými podmínkami. Kašparovská (2006) rozlišuje čtyři zdroje úrokového rizika - riziko gapu, báze, výnosové křivky a vtělené opce.

Riziko gapu nastává v situaci, kdy struktura aktiv a pasiv v bankovní rozvaze je taková, že vzniká časový nesoulad ve zbytkových splatnostech nebo v jejich přečeňování. Změna úrokových sazeb se projeví změnou v úrokových výnosech i v úrokových nákladech. Zvýšení úrokové míry bude mít za následek např. zvýšení úroků z poskytnutých úvěrů, ale banka bude muset rovněž vyplácet vyšší úroky na přijaté vklady. Záleží potom na struktuře aktiv a pasiv v bankovní rozvaze, zda se zvýšení úrokové míry projeví větším růstem úrokových nákladů nebo úrokových výnosů. Rizikem gapu se zabývá gapová analýza. (Kašparovská, 2006)

Jestliže jsou aktiva navázána na jiný druh pohyblivé úrokové míry než pasiva, vystavuje se banka riziku báze. Změna korelací mezi těmito pohyblivými úrokovými měrami může vést k poklesu úrokového výnosu i v případě, že doby přecenění aktiv a pasiv jsou shodné. (Kašparovská, 2006)

Dalším riziko představuje pro banku neparalelní posun výnosové křivky, kdy dochází ke změně tvaru nebo sklonu výnosové křivky. (Kašparovská, 2006) Výnosová křivka je grafickým znázorněním závislosti mezi výnosem do doby splatnosti a dobou do splatnosti. Výnosová křivka může mít rostoucí, klesající, plochý, vyboulený tvar, nebo různé kombinace. (Kohout, 2005)

Dalším rizikem je pro banky riziko vtělené opce nebo také riziko předčasného splacení jistiny. Pokud dojde ke změně situace na trhu úvěrů, klient může

předčasně splatit úvěr a získat jej levněji za aktuálních tržních podmínek. (Kašparovská, 2006)

K měření úrokového rizika můžeme využít metody jako je gapová analýza, metoda analýzy durací, durace gap nebo metodu Value at Risk. (Kašparovská, 2006)

### 3.2.1 Gapová analýza

Díky své jednoduchosti, přehlednosti a snadné interpretovatelnosti je gapová analýza jednou z nejčastěji využívaných metod měření úrokového rizika. Cílem gapové analýzy je zjistit, jaký bude mít vliv změna úrokové míry na změnu čistého úrokového výnosu banky v daném okamžiku. (Polouček, 2013)

Aktiva a pasiva jsou rozdělena na úrokově citlivá a necitlivá. Reálná hodnota úrokově citlivých aktiv resp. pasiv se mění v závislosti na změně tržní úrokové míry. Reálná hodnota úrokově necitlivých aktiv resp. pasiv se při změně tržní úrokové míry nemění. Dále jsou stanovena časová pásma neboli koše, do kterých jsou jednotlivá úrokově citlivá aktiva a pasiva rozdělena. Počet a šíře časových košů závisí na účelu analýzy a na struktuře bilance banky. Většinou se počet košů volí jako pět až dvanáct. Pro kratší splatnosti je vhodné použít užší pásma a postupně je rozšiřovat. Rozdělení časových košů může mít například následující podobu:

Tab. 1 Rozdělení časových košů

Do 1 měsíce	1-3 měsíce	3 měsíce – 1 rok	1 rok – 5 let	Nad 5 let
-------------	------------	------------------	---------------	-----------

Do takto stanovených časových košů jsou rozřazeny všechny položky bilance. Pevně úročené položky jsou zařazeny do příslušného koše dle jejich zbytkové splatnosti. Variabilně úročené finanční instrumenty jsou zařazeny podle doby do nejbližšího přecenění.

Pro jednotlivé časové koše jsou vypočteny rozdíly, tzv. gapy. Gapy jsou vypočteny dle rovnice č. 1 jako rozdíl úrokově citlivých aktiv a úrokově citlivých pasiv v daném časovém koši.

$$GAP = \sum RSA - \sum RSL \quad (1)$$

Kde RSA jsou úrokově citlivá aktiva a RSL představuje úrokově citlivá pasiva.

Dále je dle rovnice č. 2 vypočten kumulovaný gap jako kumulativní součet všech předchozích časových intervalů. Předností kumulovaného gapu je, že přihlíží k vývoji i ostatních úrokově citlivých položek v jiných časových koších a uvažuje jejich provázanost. Má tak větší vypovídací hodnotu než pouze samotný periodický gap.

$$GAP_t^{kum} = GAP_{t-1}^{kum} + GAP_t^{per} \quad (2)$$

Pokud se objem úrokově citlivých aktiv nerovná objemu úrokově citlivých pasiv, pak je banka vystavena úrokovému riziku. V opačném případě banka úrokovému riziku čelit nebude, protože úrokové ztráty na straně pasiv při případném růstu úrokové míry jsou plně kompenzovány úrokovými výnosy na straně aktiv. Metoda uvažuje pouze paralelní posun výnosové křivky. (Polouček, 2013)

Tab. 2 Zjednodušená gapová zpráva

	Doba do splatnosti				
	1 – 30 dnů	31 – 90 dnů	91 – 180 dnů	181 – 365 dnů	366 a více dnů
Aktiva	85	121	72	62	80
Pasiva	120	132	93	52	23
Periodický GAP	-35	-11	-21	10	57
Kumulativní GAP	-35	-46	-67	-57	0

Zdroj: Polouček, 2013

Čistá změna úrokového výnosu při změně úrokové míry je určena dle vzorce č. 3.

$$\Delta NII = \Delta r \times GAP = \Delta r \times (RSA - RSL) \quad (3)$$

kde  $\Delta NII$  je změna čistého úrokového výnosu a  $\Delta r$  představuje změnu úrokové míry. (Polouček, 2013)

Pokud je GAP kladná hodnota, potom přinese růst tržních úrokových sazeb zlepšení čistých úrokových výnosů. Naopak, pokud je GAP záporný, růst úrokových sazeb povede k poklesu čistých úrokových výnosů. Velikost GAPu tak představuje velikost rizika, kterému je banka v dané situaci vystavena. (Kašparovská, 2006)

Mezi slabé stránky gapové analýzy patří předpoklad neměnné výše a struktury bilance banky nebo její nerespektování časové hodnoty peněz. Problémovým se může také stát zařazení některých aktiv a pasiv do časových košů. (Kašparovská, 2006)

### 3.2.2 Metoda analýzy durací

Pomocí výpočtu durace je možno kvantifikovat riziko pohybu úrokových sazeb. Durace určuje průměrnou dobu, za kterou investor obdrží zpět investované prostředky. Durace se však může interpretovat také jako citlivost ceny úrokového instrumentu na změnu tržní úrokové míry. Čím vyšší je durace, tím vyšší je také citlivost úrokového instrumentu a tím větší bude mít změna úrokové míry dopad na jeho cenu. Durace bývá spojována především s instrumenty dluhopisového trhu, nicméně duraci mají i ostatní úvěrové instrumenty jako depozita, úrokové swapy

atd. (Jílek, 2000) Durace se vyjadřuje v letech. Nejčastěji se počítá tzv. Macaulayho durace. (Kašparovská, 2006)

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n PV(CF) \times t}{C} \quad (4)$$

$$D = \frac{\frac{KP}{1+r} \times 1 + \frac{KP}{(1+r)^2} \times 2 + \frac{KP}{(1+r)^3} \times 3 + \dots + \frac{KP+N}{(1+r)^n} \times t}{\frac{KP}{1+r} + \frac{KP}{(1+r)^2} + \frac{KP}{(1+r)^3} + \dots + \frac{KP+N}{(1+r)^n}} \quad (5)$$

kde  $D$  je Macaulayho durace,  $PV(CF)$  je současná hodnota cash flow,  $C$  je cena instrumentu,  $t$  je doba mezi současností a výplatou jednotlivých plateb,  $n$  je počet období,  $r$  je výnos do splatnosti,  $KP$  je kupónová platba a  $N$  je nominální hodnota. (Kašparovská, 2006)

Z rovnice je vidět, že se jedná o podíl součtu diskontovaných peněžních toků z dluhopisu a jeho tržní ceny. Pomocí takto vypočtené durace dluhopisu je potom možno určit, jak se změní cena dluhopisu při změně úrokové míry.

$$\Delta P = -D \times \frac{\Delta r}{(1+r)} \times P \quad (6)$$

Často se také používá modifikovaná nebo dolarová durace.

$$\text{Modifikovaná durace} = \frac{D}{1+r} \quad (7)$$

$$DD = \frac{MD \times C}{100} \quad (8)$$

Modifikovaná durace říká, o kolik procent se změní v opačném směru cena dluhopisu, když se výnos do splatnosti změní o 1 %. Dolarová durace udává změnu ceny dluhopisu při změně úrokové míry v absolutních hodnotách. (Vlachý, 2006)

Duraci celého portfolia lze vypočítat jako skalární součin vah jednotlivých instrumentů a jejich durací.

$$D = w_1 \times D_1 + w_2 \times D_2 + \dots + w_n \times D_n \quad (9)$$

Díky duraci mohou portfolio manažeři určit úrokovou citlivost jednotlivých úrokových instrumentů, určit a řídit úrokovou citlivost celého portfolia a tím i riziko, kterému je banka vystavena při změně úrokové míry. (Kašparovská, 2006)

### 3.2.3 Durace Gap

Durace se využívá i pro měření úrokového rizika pomocí metody durace gap. Výpočet durace se zde provádí pro celkovou bilanční strukturu banky. Pomocí durací je vypočtena citlivost tržní hodnoty aktiv a tržní hodnoty pasiv na změnu úrokové míry. Banka je vystavena úrokovému riziku, pokud se vážená durace celkových aktiv nerovná vážené duraci celkových pasiv. Pro výpočet durace gap slouží následující rovnice:

$$DGAP = D_A - \frac{P}{A} \times D_P \quad (10)$$

kde  $D_A$  je vážená durace aktiv,  $D_P$  je vážená durace závazků,  $A$  je tržní hodnota aktiv,  $P$  je tržní hodnota závazků. (Kašparovská, 2006)

Takto vypočtený durace gap je využit pro zjištění změny tržní hodnoty kapitálu banky při změně tržní úrokové míry dle vzorce:

$$\Delta NW = -DGAP \times \frac{\Delta r}{(1+r)} \times A \quad (11)$$

Pokud je DGAP větší než 0, povede zvýšení úrokové míry k většímu poklesu tržní hodnoty aktiv než pasiv. Tržní hodnota kapitálu tak klesne. DGAP menší než 0 by při poklesu úrokové míry vedl k růstu tržní hodnoty kapitálu. Banky mohou využít DGAP k zajištění proti úrokovému riziku anebo také pro spekulace na vývoj úrokové míry. Banka s portfoliem kde DGAP je roven 0, je zajištěna proti pohybu úrokových sazeb. Pokud by banka chtěla spekulovat například na růst úrokové míry, upravila by strukturu portfolia tak, aby DGAP byl záporný.

Metoda durací je přesnější než metoda splatností. Bere v úvahu skutečné kupónové míry dluhopisů a skutečné splatnosti nástrojů, nikoli středy časových pásem. Předností této metody je její jednoduchost a srozumitelnost. Další výhodou je fakt, že na rozdíl od gapové analýzy bere v úvahu časovou hodnotu peněz. (Jílek, 2000) Nevýhodou je stejně jako u gapové analýzy předpoklad paralelního posunu výnosové křivky. V případě rozsáhlých portfolií je metoda náročná na zdrojová data. Problémem může být také určení durace pro některé instrumenty, kde není stanovená splatnost např. vklady. (Kašparovská, 2006)

### 3.3 Value at Risk

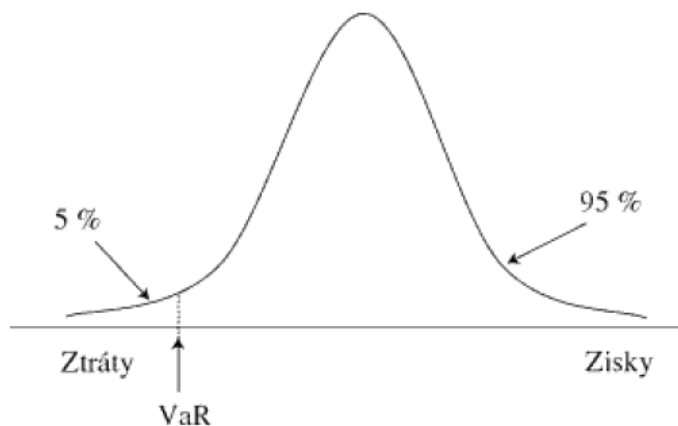
Metoda Value at Risk je jednou z alternativních metod měření tržních rizik využívaná zejména v bankovníctví a pojišťovnictví. (Jílek, 2000) Jedná se o metodu tzv. vnitřních modelů a doporučuje se pro výpočet kapitálových požadavků k tržnímu riziku. (Cipra, 2002) Premisou pro doporučování metod Value at Risk ke stanovení kapitálových požadavků je fakt, že samy finanční instituce nejlépe znají svá rizika a mají lepší podmínky k vytvoření modelů měřících rizika než orgány regulace. Výpočet kapitálových požadavků pomocí vnitřních modelů by měl nejlépe odrážet rizika jednotlivých finančních institucí a podávat přesnější výsledky než jednotná regulační pravidla stanovená regulátory. Výpočet rizika pomocí modelu VaR musí být ověřen a testován orgány regulace a dohledu. VaR také překonává nedostatky metod gapové analýzy a durace gap. Modely VaR zahrnují všechny druhy tržních rizik, dokážou zachytit i neparalelní posun výnosové křivky a zohledňují užitek z diversifikace rizika. (Jílek, 2000)

Metodika Value At Risk byla vyvinuta v 80. letech a nejdříve ji začala využívat k měření rizika americká banka JPMorgan. Velký zájem o tuto metodu vzbudilo její představení na konferenci o risk managementu v roce 1993. JPMorgan posléze metodologii zveřejnila pod názvem Risk Metrics – Technical document. (Jorion,

2000) Metodologii VaR začlenil do svých doporučení pro bankovní sektor i Basilejský výbor pro bankovní dohled. Informace o historii bankovních regulací a jejich implementace včetně aplikace metodologie VaR pro řízení tržního rizika v bankovním sektoru je dostupná v reportech a manuálech Basilejského výboru pro bankovní dohled. (BIS, 1996; BIS, 2006; BIS, 2009) Metoda od té doby prošla velkým vývojem. Dnes je VaR jednou z nejvíce využívaných metod pro měření tržního rizika a stala se součástí bankovní regulace Basel I, Basel II a Basel III i regulace pro pojišťovny Solvency II. (Ambrož, 2011)

Value at Risk neboli hodnotu v riziku definuje Jorion (2000) jako: „*VaR sumarizuje nejhorší očekávanou ztrátu ve stanoveném časovém horizontu a při dané hladině spolehlivosti.*“ Kašparovská (2006) definuje VaR jako: „*Hodnota Value at Risk vyjadřuje potenciální ztrátu portfolia banky během následující doby držení, stanovenou na základě určitého historického období, se stanovenou pravděpodobností.*“ Matematicky se VAR definuje jako jednostranný kvantil z rozdělení zisků a ztrát portfolia během daného časového horizontu vypočítaný na základě stanoveného historického období. (Jílek, 2000)

Měrnou jednotkovou VAR je USD, Euro, CZK nebo jakákoliv jiná měna. Díky tomu jsou výsledky metody snadno interpretovatelné.



Obr. 1 Určení Value at Risk na základě zisků a ztrát  
Zdroj: Kašparovská, 2006

Před samotným výpočtem VaR je třeba stanovit délku časového horizontu, interval spolehlivosti a historické období.

Banky využívají dobu držení jeden den. Setkat se však lze i s dobou držení měsíční nebo i čtvrtletní v případě investičních manažerů nebo pro potřeby podniků. Doba držení jeden den předpokládá dostatečnou tržní likviditu, u které je možné ihned uzavřít pozice při minimálních ztrátách. Tento předpoklad však v době případného extrémního šoku na finančním trhu nemusí platit. Časový horizont se také odvíjí od složení portfolia. VAR pro vysoce likvidní portfolio lépe vystihne krátký časový horizont a naopak pro málo likvidní portfolio je vhodnější delší časový horizont. (Butler, 1999)



Interval spolehlivosti se stanoví zpravidla na 95 % nebo 99 % a odpovídá počtu směrodatných odchylek 1,65, resp. 2,33. (Jorion, 2000)

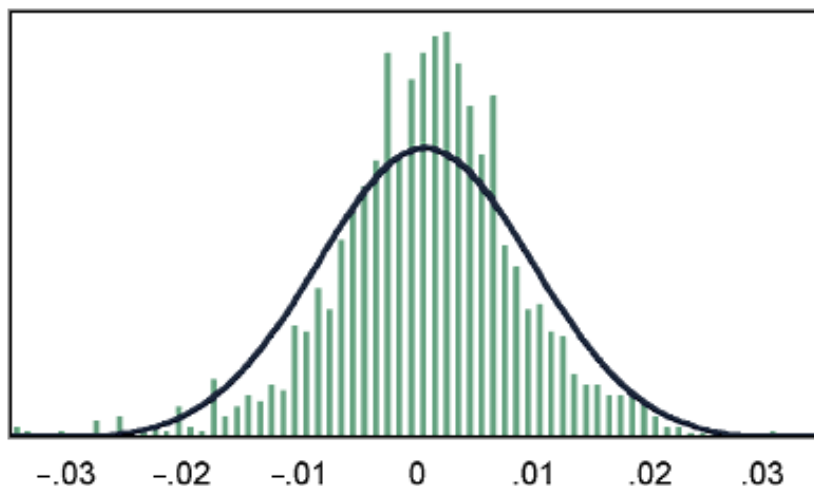
Problematické je i určení historického období. Krátké období zachycuje pouze nedávné tržní turbulence. Výpočet VaR při využití delšího historického období zase málo reaguje na náhlé změny trhu. (Jílek, 2000)

ČNB stanoví pro výpočet rizikové hodnoty pro potřeby stanovení kapitálového požadavku minimální dobu držení deset dní, rozsah vzorku historických pozorování alespoň jeden rok a interval spolehlivosti 99 %. Takto stanovená hodnota VaR tedy udává, že během příštích deseti dní s pravděpodobností 99 % nebude ztráta větší než hodnota VaR. V 1 % případů však ztráta může být větší.

Většina odborné literatury uvádí tři hlavní metody výpočtu VaR. Jedná se o metodu variancí a kovariancí, metodu historické simulace a metodu Monte Carlo.

### 3.3.1 Varianční kovarianční metoda

Metoda variancí a kovariancí je také označována jako tzv. parametrická metoda. K výpočtu maximálních možných ztrát portfolia využívá historické údaje, ze kterých stanoví volatility a korelace hodnot jednotlivých rizikových faktorů. Nejjednodušší podoba této metody předpokládá normální rozdělení rizikových faktorů. V případě jiného rozdělení se pro výpočet VaR použijí parametry daného rozdělení. Dalším předpokladem je neměnnost volatilit a korelací zjištěných z historických dat.



Obr. 2 Histogram denních výnosů portfolia a normální rozdělení  
Zdroj: Holton, 2014

Obrázek zobrazuje empirické rozdělení zisků a ztrát (výnosů) portfolia oproti předpokládanému normálnímu rozdělení. Pokud se empirické rozdělení výnosů podstatně liší od předpokládaného, bude výpočet VaR nepřesný. Jednou z největších slabín předpokladu normálního rozdělení jsou tzv. tlusté konce neboli

„fat tails“. Ceny finančních instrumentů mají větší pravděpodobnost dosažení extrémních hodnot než udává normální rozdělení. V případě propadu cen cenných papírů mohou účastníci trhu začít panikařit a uzavírat své pozice, což způsobí ještě rychlejší propad ceny než předpokládá normální rozdělení. (Butler, 1999)

Hodnotu VaR pomocí přístupu variancí a kovariancí pro jednu pozici lze vypočítat dle následujícího vztahu. Předpokladem je normální rozdělení.

$$VaR = z_{\alpha} \times \sigma \times P \quad (12)$$

Kde  $z_{\alpha}$  je hodnota distribuční funkce normálního rozdělení pro zvolenou hladinu spolehlivosti  $\alpha$ ,  $\sigma$  je volatilita rizikového faktoru a  $P$  současná cena pozice.

Hodnota VaR pro  $n$  rizikových faktorů, interval spolehlivosti  $\alpha$  a časový horizont  $T$  je vypočtena jako:

$$VaR_p = \sqrt{VaR^T \times C \times VaR} \times \sqrt{T} \quad (13)$$

Kde VaR je vektor změn rizikových faktorů ( $VaR^T$  je transponovaný vektor VaR)

$$VaR = \begin{pmatrix} VaR_1 \\ VaR_2 \\ \vdots \\ VaR_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -z_{\alpha} \times \sigma_1 \times W_1 \\ -z_{\alpha} \times \sigma_2 \times W_2 \\ \vdots \\ -z_{\alpha} \times \sigma_n \times W_n \end{pmatrix} \quad (14)$$

$C$  je korelační matice

$$C = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{1,2} & \dots & \rho_{1,n} \\ \rho_{1,2} & 1 & \dots & \rho_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{1,n} & \rho_{2,n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$VaR_1, VaR_2, \dots, VaR_n$  jsou hodnoty v riziku jednotlivých rizikových faktorů,  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$  jsou směrodatné odchylky rizikových faktorů,  $P_1, P_2, \dots, P_n$  jsou současné hodnoty instrumentů,  $P_{ij}$  jsou korelační koeficienty mezi jednotlivými rizikovými faktory  $i$  a  $j$ . (Jílek, 2000)

Z postupu výpočtu je patrné, že takto zjištěný VaR zohledňuje i korelace mezi jednotlivými aktivy a zachycuje tak výhody spojené s diversifikací portfolia. Čím lepší diversifikace je dosaženo, tím bude i hodnota VaR nižší. V případě extrémního finančního šoku však padají ceny všech aktiv a jednotlivé korelace se blíží hodnotě jedna. V případě, že jsou výnosy aktiv v portfoliu perfektně korelovány, stává se korelační matice jednotkovou maticí a VaR je vypočten jako součet jednotlivých nediversifikovaných pozic. Hovoříme potom o diversifikovaném a nediversifikovaném VaR. (Butler, 1999)

Výhodou metody variancí a kovariancí je rychlý výpočet i pro velké množství nástrojů v portfoliu. Navíc není potřeba rozsáhlé množství historických dat. Metoda má i své nevýhody. Problémem je existence tzv. tlustých konců v rozdělení výnosů u většiny finančních aktiv. Předpoklad normálního rozdělení při výpočtu

hodnoty VaR touto metodou tak může vést k podcenění celkového rizika. Dalším problémem je její omezenost při výpočtu hodnoty VaR pro nelineární portfolia. (Jorion, 2000)

### 3.3.2 Historická simulace

Historická simulace využívá empiricky zjištěné rozdělení výnosů rizikových faktorů. Předpokladem pro historickou simulaci je, že potenciální změny v podkladových rizikových faktorech jsou identické s pozorovanými změnami v těchto faktorech za vymezené minulé období. Historické hodnoty rizikových faktorů jsou aplikovány na aktuální portfolio a jsou vypočteny změny hodnoty portfolia. Výsledkem je množství scénářů ukazujících, jak by se pohybovala hodnota současného portfolia hypoteticky drženého po určité období v minulosti. (MSCI, 2001)

Výhodou tohoto přístupu je, že bere v úvahu skutečné rozdělení rizikových faktorů. Tato metoda také obsahuje informace o extrémních hodnotách, pokud jsou obsaženy ve vymezeném historickém období. (Jorion, 2000)

Mějme  $n$  rizikových faktorů. K dispozici mějme také databázi obsahující časovou řadu denních výnosů těchto faktorů. Potom je možno vytvoření  $m \times n$  matice historických výnosů.

$$R = \begin{pmatrix} r_t^{(1)} & r_t^{(2)} & \dots & r_t^{(n)} \\ r_{t-1}^{(1)} & \dots & \dots & r_{t-1}^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{t-m}^{(1)} & r_{t-m}^{(2)} & \dots & r_{t-m}^{(n)} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Každý řádek matice  $R$  koresponduje s historickým scénářem denních změn výnosů pro  $n$  rizikových faktorů.

Mějme portfolio obsahující  $M$  instrumentů, kde současná hodnota každého instrumentu je funkcí  $n$  rizikových faktorů  $V_j(P)$ , kde  $j=1, \dots, M$  a  $P = (P^{(1)}, P^{(2)}, \dots, P^{(n)})$ . Scénáře výnosů portfolia s dobou držení  $T$  dní jsou získány dle následujícího postupu:

1. Vezměme řadu  $r$  z matice  $R$ , která odpovídá scénáři výnosů pro každý rizikových faktor
2. Cena pro každý rizikový faktor s dobou držení  $T$  dní je získána podle vzorce  $P_T = P_0 e^{r\sqrt{T}}$
3. Každý instrument je přeceněn pomocí současných hodnot  $P_0$  a scénářů  $P_T$  pro dobu držení  $T$  dní
4. Výnos portfolia pro dobu držení  $T$  dní je vypočítán jako  $\sum_j (V_j(P_T) - V_j(P_0))$

Výnosový scénář pro dobu držení  $T$  dní ve druhém kroku je získán vynásobením jednodenního výnosového scénáře  $r$  odmocninou z  $T$ . Takový způsob odhadu výnosu po delší dobu držení je pouze přibližný, ale lze použít jako obecně platné

pravidlo. Alternativní způsob je vytvoření sady nepřekrývajících se výnosů s dobou držení  $T$  dní z časové řady denních výnosů. Takový způsob je teoreticky správný, ale prakticky je aplikovatelný pouze pro relativně krátké doby držení, protože použití nepřekrývajících se výnosů vyžaduje dlouhou historickou řadu. Pokud je k dispozici například časová řada obsahující dva roky historických výnosů a požadován je odhad rozdělení výnosů s dobou držení jeden měsíc, sníží se počet pozorování z 500 na 24, ze kterých už však nelze provést spolehlivý odhad VaR. (MSCI, 2001)

Výpočet změny hodnoty portfolia na základě historických výnosů je možno ilustrovat na následujícím příkladu. Předpokládejme, že jsme investor investující v CZK. Portfolio obsahuje pozici v hodnotě 100 000 EUR a 1 000 akcií ČEZ. Současný směnný kurz CZK/EUR je 28,5. Cena akcií ČEZ je 615 Kč za kus. Současná hodnota portfolia v CZK je tedy 3 649 500 Kč. Tabulka ukazuje současnou hodnotu obou pozic.

Tab. 3 Současná hodnota portfolia

Pozice	Hodnota (CZK)
Hotovost	2 850 000
ČEZ	615 000
Celkem	3 465 000

Nyní je možno aplikovat historické výnosové scénáře na pozice portfolia. Výsledkem jsou hypotetické scénáře jednodenních výnosů portfolia. V tabulce jsou naznačeny historické výnosy pro tři po sobě jdoucí dny.

Tab. 4 Historické výnosy

Datum	EUR	ČEZ
7. 11. 2014	0,2 %	1,15 %
8. 11. 2014	0,35 %	-1,5 %
9. 11. 2014	0,5 %	0,6 %

Pokud je aplikován historický výnos ze dne 7. 11. 2014, potom by pozice v eurech získala 0,2 % a výnos by byl  $2\,850\,000 \times (e^{0,002} - 1) = 5\,705,7$  Kč. Stejně tak je vypočten výnos pro pozici v akciích  $615\,000 \times (e^{0,0115} - 1) = 7\,113$  Kč. Pro získání výnosu celého portfolia jsou jednoduše sečteny jednotlivé výnosy pro každou z pozic. Opakováním postupu je získána sada dat hypotetických jednodenních výnosů portfolia na základě historických scénářů. V tabulce jsou výnosové scénáře portfolia vypočtené na základě historických výnosů všech dní.

Tab. 5 Změny hodnoty portfolio na základě historických výnosů

Datum	Výnos (CZK)
7. 11. 2014	12 818,7
8. 11. 2014	698,0
9. 11. 2014	17 986,8

Z historických scénářů lze nyní určit hodnotu Value at Risk. Předpokládejme, že bylo vytvořeno tisíc historických scénářů a chceme vypočítat Value at Risk na hladině spolehlivosti 95 %. VaR na hladině spolehlivosti 95 % je definován jako 5. percentil ze ztrát. Pokud dojde k seřazení jednotlivých scénářů hodnoty výnosů podle velikosti, hodnota VaR je určena jako 50. scénář s největší ztrátou.

Obecně, pokud máme  $m$  výnosových scénářů a chceme vypočítat VaR na hladině spolehlivosti  $\alpha$ , potom seřadíme sestupně všechny scénáře, označíme je jako  $\Delta V_{(1)}, \Delta V_{(2)}, \dots, \Delta V_{(m)}$  a VaR určíme jako:

$$VaR = -\Delta V_{(k)} \quad (17)$$

kde  $k = m \times \alpha$ .

Pokud je sestupné pořadí historických výnosových scénářů jako v tabulce, potom VaR na hladině spolehlivosti 95 % je  $-\Delta V_{(950)} = 865$ . (MSCI, 2001)

Tab. 6 Sestupně seřazené výnosové scénáře

$\Delta V_{(1)}$	$\Delta V_{(2)}$	...	$\Delta V_{(932)}$	...	$\Delta V_{(950)}$	...	$\Delta V_{(968)}$	...	$\Delta V_{(999)}$	$\Delta V_{(1000)}$
1250	1200	...	-850	...	-865	...	-875	...	-950	-1100

Zdroj: MSCI, 2001

Tato metoda patří k nejvyužívanějším pro výpočet VaR. Výpočet VaR touto metodou není nikterak komplikovaný a potřebná data jsou relativně snadno dostupná z veřejných zdrojů. Velkou výhodou historické simulace je, že nečiní žádné předpoklady o rozdělení zisků a ztrát portfolio, ale vychází z empiricky zjištěného rozdělení, které zahrnuje i tlusté konce, zešíkmení a další charakteristiky. Není potřeba odhadovat ani kovarianční matice, jelikož volatility a korelace jsou zachyceny přímo v použitých datech. Oproti metodě variancí a kovariancí, je historická simulace aplikovatelná také na nelineární nástroje např. opce. (Cipra, 2002)

Metoda má však také řadu omezení. Výpočet VaR touto metodou předpokládá dostupnost dostatečně dlouhé historie cenových změn. K získání tisíce nezávislých simulací jednodenních pohybů potřebujeme kontinuální data za poslední čtyři roky. Některá aktiva nejsou na trhu tak dlouho nebo údaje o jejich cenovém vývoji nemusí být dostupná.

Dalším omezením je samotný předpoklad metody, že minulé období může sloužit k odhadování budoucího vývoje. Pokud vzorek historických dat, který využíváme pro výpočet, vynechává důležité události, potom výnosy v ocasech

rozdělení nebudou kvalitně zastoupeny. Naopak, vzorek může také obsahovat extrémní události, které se však v budoucnu znovu neobjeví. (Jorion, 2000)

Metoda je často kritizována pro přiřazování stejných vah všem pozorováním ve stanoveném vzorku dat. Výsledná hodnota VaR se může značně změnit v relaci na vyřazení staršího pozorování ze vzorku vstupních dat. (Alexander, 2008)

Diskutabilní je také volba velikosti vzorku historických pozorování. Odhad VaR na hladině spolehlivosti 99 % ze sta pozorování denních změn udává pouze jedno pozorování z ocasu rozdělení, což vede k nepřesnému odhadu rizika. K získání smysluplnějších kvantilů jsou potřeba rozsáhlejší vzorky dat. Ty však na druhou stranu mohou obsahovat data, která již nejsou relevantní. (Jorion, 2000)

Další problém vyvstává pro opravdu velké portfolio s mnoha nástroji a komplikovanými strukturami. Metoda se potom stává těžkopádnou a je třeba použít různá zjednodušení. Použití příliš mnoha zjednodušení však vede ke ztrátě výhod metody historické simulace plynoucích z empiricky zjištěného rozdělení výnosů. (Jorion, 2000)

### 3.3.3 Monte Carlo Simulace

Monte Carlo simulace patří k neúčinnějším metodám pro výpočet VaR. K výpočtu používá velké množství simulací vývoje hodnoty portfolia. Vývoj hodnoty portfolia je určen náhodným generováním rizikových faktorů dle zvolených modelů. Jako vstupní údaje je možno využít historických dat. Výpočet VaR je velmi podobný výpočtu pomocí historické simulace. Ta vychází ze scénářů v minulosti, zatímco Monte Carlo simulace generuje náhodné scénáře. (Jílek, 2000)

Postup výpočtu hodnoty VaR metodou Monte Carlo se skládá ze tří hlavních kroků (MSCI, 1997):

1. Vygenerování scénářů - na základě odhadu volatilit a korelací nástrojů v portfoliu je vyprodukováno velké množství scénářů budoucích cen.
2. Ocenění portfolia - hodnota portfolia je určena na základě každého z vygenerovaných scénářů.
3. Shrnutí výsledků.

Předpokládejme, že chceme učinit odhad pro časový horizont  $t$  dní. Pokud  $P_0$  je dnešní cena instrumentu a  $\sigma$  je náš odhad jednodenní volatility, pak můžeme modelovat cenu instrumentu za  $t$  dní pomocí vztahu:

$$P_t = P_0 e^{\sigma\sqrt{t}Y} \quad (18)$$

kde  $Y$  je náhodná proměnná normovaného normálního rozdělení. Proces generování scénářů je tedy založen na generování náhodných proměnných normovaného rozdělení a jejich dosazením do vztahu č. 18 pro vygenerování budoucích cen. Proces generování pro vícesložkové portfolio je složitější. Při generování  $Y$  hodnot musí být zachovány korelační vztahy mezi jednotlivými nástroji.

Předpokládejme, že chceme vygenerovat  $n$  normálních proměnných s jednotkovým rozptylem a korelacemi danými  $n \times n$  maticí  $\Lambda$ . Hlavní myšlenkou je vygenerování  $n$  nezávislých proměnných a ty potom zkombinovat tak, aby bylo dosaženo požadovaných korelací.

- Rozložíme matici  $\Lambda$  použitím Choleskyho faktorizace a získáme spodní trojúhelníkovou matici  $A$  tak, že  $\Lambda = AA'$
- Vygenerujeme  $n \times 1$  vektor  $Z$  nezávislých proměnných normálního rozdělení.
- Necht'  $Z = AY$ . Prvky vektoru  $Z$  budou mít jednotkový rozptyl a budou korelovány podle matice  $\Lambda$ .

Pro ilustraci Choleskyho dekompozice uvažujme příklad, kdy chceme generovat dvě proměnné s korelační maticí:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Choleskyho faktorizace  $\Lambda$  je určena jako:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho & \sqrt{1 - \rho^2} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Jednoduchým násobením matic můžeme ověřit že  $AA' = \Lambda$ .  $Y$  je  $2 \times 1$  vektor obsahující nezávislé náhodné normální proměnné  $Y_1$  a  $Y_2$ . Pokud  $Z = AY$ , potom prvky vektoru  $Z$  jsou dány jako:

$$Z_1 = Y_1 \quad (21)$$

$$Z_2 = \rho Y_1 + \sqrt{1 - \rho^2} Y_2 \quad (22)$$

$Z_1$  má jednotkový rozptyl a  $Y_1$  a  $Y_2$  jsou nezávislé. Rozptyl  $Z_2$  můžeme určit ze vztahu:

$$\rho^2 \text{Var}(Y_1) + (\sqrt{1 - \rho^2})^2 \text{Var}(Y_2) = 1 \quad (23)$$

kde  $\text{Var}$  značí rozptyl. Hodnota  $Z_1 Z_2$  se rovná  $\rho$  a korelace zůstává zachována.

Nyní můžeme přikročit ke generování různých scénářů cen aktiv. Předpokládejme, že chceme namodelovat ceny 2 aktiv  $t$  dní dopředu. Necht'  $P_0^{(1)}$  a  $P_0^{(2)}$  jsou dnešní ceny aktiv,  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$  představují denní volatilitu aktiv a  $\rho$  je korelační koeficient. Pro vygenerování budoucího cenového scénáře nejprve vygenerujeme proměnné normálního rozdělení  $Z_1$  a  $Z_2$  podle postupu zmíněného výše a pomocí následujících vztahů vypočteme budoucí ceny.

$$P_t^{(1)} = P_0^{(1)} e^{\sigma_1 \sqrt{t} Z_1} \quad (24)$$

$$P_t^{(2)} = P_0^{(2)} e^{\sigma_2 \sqrt{t} Z_2} \quad (25)$$

Postup jednoduše opakujeme, dokud nezískáme požadované množství scénářů.

Dále vypočteme změny hodnoty portfolia pro jednotlivé scénáře jako

$$\sum_j (V_j(P_T) - V_j(P_0)) \quad (26)$$

Hodnotu v riziku VaR určíme tak, že jednotlivé změny seřadíme a vybereme hodnotu odpovídající zvolené hladině spolehlivosti. Pokud chceme například určit nejhorší ztrátu, která nastane v jednom procentu případů z tisíce opakování, potom vybereme desátou nejnižší absolutní změnu hodnoty portfolia. Nejlepšího výsledku je dosaženo provedením co největšího množství simulací. (MSCI, 1997)

Výpočet VaR pomocí této metody je poměrně náročný a vyžaduje odpovídající IT vybavení, avšak poskytuje vysoce přesné odhady VaR. (Ambrož, 2011) Velkou výhodou je možnost užití metody Monte Carlo pro všechny typy finančních instrumentů, včetně nelineárních nástrojů. Metoda navíc generuje celkové pravděpodobnostní rozdělení hodnot a ne pouze jeden kvantil. (Jorion, 2000)



### 3.3.4 Srovnání metod Value at Risk

Tab. 7 Srovnání metod Value at Risk

Metoda	Varianční-kovarianční	Monte Carlo simulace	Historická metoda
<b>Popis</b>	Odhad VaR na základě parametrů jako je korelace a volatilita.	K odhadu VaR využívá simulace náhodných scénářů.	Hodnotu VaR odhaduje na základě historických dat.
<b>Užití</b>	Tradiční aktiva a lineární deriváty.	Vhodná pro všechny typy finančních instrumentů, i pro nelineární portfolia.	
<b>Výhody</b>	Rychlý a jednoduchý výpočet. Nejsou potřeba rozsáhlá historická data.	Vhodná pro všechny typy instrumentů. Nejsou potřeba rozsáhlá historická data. Umožňuje užití různých pravděpodobnostních rozdělení, čímž řeší problém tlustých konců. Poskytuje údaje o celkovém rozdělení hodnot, nejen konkrétní kvantil.	Vhodná pro všechny typy instrumentů. Poskytuje údaje o celkovém rozdělení hodnot, nejen konkrétní kvantil. Nevyžaduje předpoklady o rozdělení. Není nutné odhadovat volatilitu, korelace nebo jiné parametry.
<b>Nevýhody</b>	Nelze použít pro nelineární portfolia. Předpoklad normálního rozdělení.	Početně a časově náročný výpočet, kdy je potřeba přecenit portfolio pro každý scénář.	Nutné velké množství údajů o denních změnách. Riziko hrubého odhadu u vysoké hladiny spolehlivosti (99 % a více).

Zdroj: MSCI, Risk management – A practical guide

#### 3.3.4.1 Exponenciálně vážený pohyblivý průměr

EWMA je zkratkou pro Exponentially Weighted Moving Average, česky exponenciálně vážený pohyblivý průměr. RiskMetrics Technical document (1997) doporučuje užití exponenciálně váženého pohyblivého průměru (EWMA) pro výpočet předpovědí volatilitu a korelace. EWMA je citlivější na tržní šoky než tradiční metody prostých klouzavých průměrů s fixními vahami.

Důvod k použití EWMA je výskyt období s vysokou anebo naopak nízkou volatilitou tzv. volatilitu clustering. Pokud dnes na trhu dochází k velkým pohybům

je velice pravděpodobné, že k nějakým velkým šokům dojde i v následujících dnech. (Cipra, 2002)

Exponenciální vážení přiřazuje aktuálním událostem větší váhy než událostem nejméně aktuálním, na rozdíl od metody prostého průměru, který přiřazuje všem údajům stejnou váhu –  $1/n$ . Pro použitou váhu se používá označení „vyrovnávací konstanta“,  $\lambda$  nebo „faktor rozkladu“. (Butler, 1999) Metoda EWMA přiřazuje předcházejícímu dni vždy  $\lambda$  – krát menší váhu ( $0 < \lambda < 1$ ). Pro  $i$ -tý den je přiřazena váha dle následujícího vztahu: (Ambrož, 2011)

$$\lambda^{i-1} \frac{(1-\lambda)}{1-\lambda^n} \quad (27)$$

Vzorec č. 27 ukazuje rozdílné vztahy pro výpočet odhadu volatility při použití prostého a exponenciálně váženého průměru.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2} \quad \sigma = \sqrt{(1-\lambda) \sum_{t=1}^T \lambda^{t-1} (r_t - \bar{r})^2} \quad (28)$$

Butler uvádí jako nejvhodnější hodnotu  $\lambda$  pro denní údaje 0,94. Tuto hodnotu využívá také RiskMetrics. Pro měsíční údaje se uvádí  $\lambda = 0,97$ . Čím menší  $\lambda$  je, tím větší je kladen důraz na nedávné události. (Butler, 1999)

Hodnota VaR se získá určením příslušného kvantilu (1% resp. 5%) z vypočtených hodnot a to tak, že denní změny hodnoty jsou seřazeny od nejnižší po nejvyšší a dochází ke sčítání vah, dokud součet nepřekročí požadovanou úroveň kvantilu. VaR se rovná změně hodnoty v tomto dni. (Ambrož, 2011)

Pro výpočet VaR historickou simulací lze zohledňovat i další faktory. Do úvahy je možno brát například vývoj volatility, korelace nebo také velikost obchodů. (Ambrož, 2011)

### 3.3.5 Mapování finančních toků

Finanční instrumenty mohou generovat řadu peněžních toků splatných v různé časové okamžiky. Výpočet hodnoty VaR pro portfolia s větším množstvím nástrojů je komplikován velkým množstvím kombinací různých dat splatností těchto peněžních toků. Výsledkem je nutnost vypočítat údaje o volatilitě a korelacích pro všechny dané splatnosti. Tomuto úkolu se však lze vyhnout zjednodušením časové struktury peněžních toků.

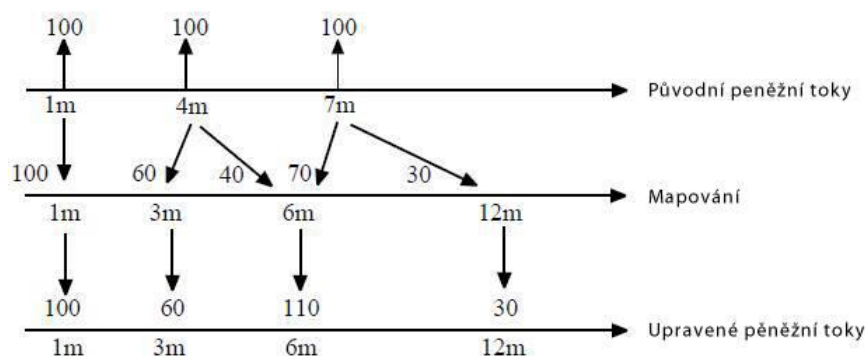
Metodologie RiskMetrics pro takové zjednodušení využívá tzv. cashflow mapping. Cashflow mapping spočívá v rozložení (mapování) jednotlivých peněžních toků mezi dva standardizované vrcholy výnosové křivky. RiskMetrics určuje celkem čtrnáct vrcholů a ke každému z těchto vrcholů a pouze pro tyto vrcholy poskytuje údaje o volatilitách a korelacích. (MSCI, 1997)

Tab. 8 Standardizované vrcholy metodologie RiskMetrics

1m	3m	6m	12m	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	9Y	10Y	15Y	20Y	30Y
----	----	----	-----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

Zdroj: MSCI, 1997

Pokud splatnost peněžních toků není totožná se standardizovanými vrcholy, je třeba využít cashflow mapping. Peněžní tok je namapován rozdělením mezi dva nejbližší vrcholy. Mapována je tržní hodnota, která je určena jako současná hodnota peněžního toku vzniklá diskontováním dle příslušné výnosové křivky. (MSCI, 1999)



Obr. 3 Mapování peněžních toků na vrcholy podle RiskMetrics

Zdroj: MSCI (1999), vlastní úprava

Rozdělený peněžní tok musí splňovat tři podmínky:

1. Zachování tržní hodnoty – součet tržních hodnot dvou peněžních toků vzniklých rozdělením pomocí mapování se musí rovnat tržní hodnotě původního peněžního toku.
2. Zachování rizika – volatilita (vyjadřující tržní riziko) rozdělených částí peněžního toku je stejná jako volatilita původního peněžního toku.
3. Zachování kladného znaménka – peněžní tok 4,25 milionu lze rozdělit jako 5 a -0,75 nebo 1,25 a 3. Druhý způsob je lepší, protože obě hodnoty mají kladné znaménko. Naopak první způsob vede k praktickým početním problémům. (Butler, 1999)

Metodologie alokování peněžních toků na standardizované vrcholy výnosové křivky podle RiskMetrics (1999) je založena na rozptylu výnosů finančních nástrojů. Výpočet rozdělení peněžního toku na dva vrcholy ukazuje následující příklad.

Mějme peněžní tok se splatností 6 let. Jelikož RiskMetrics pro tuto splatnost neposkytuje údaje o volatilitě a korelaci, je nutno peněžní tok rozložit mezi standardizované vrcholy 5 a 7 let. Výpočet se skládá z několika kroků:

1. Určení interpolované úrokové míry

Úroková sazba pro nástroje se splatností 6 let je získána lineární interpolací úrokových sazeb pro splatnosti 5 a 7 let, které jsou získány z RiskMetrics. Lineární interpolace je provedena dle následujícího vztahu:

$$y_6 = \hat{a}y_5 + (1 - \hat{a})y_7 \quad 0 \leq \hat{a} \leq 1 \quad (29)$$

kde  $y_6$  je interpolovaná sazba pro splatnost 6 let,  $y_5$  a  $y_7$  jsou sazby pro splatnosti 5 a 7 let,  $\hat{a}$  je lineární váhový koeficient.

V příkladu je váhový koeficient roven 0,5. Pokud splatnost peněžního toku nemá stejnou vzdálenost od obou standardizovaných vrcholů, potom je vyšší z hodnot  $\hat{a}$  a  $(1 - \hat{a})$  přiřazena k bližšímu standardizovanému vrcholu.

2. Určení současné hodnoty peněžního toku

Pomocí interpolované sazby pro splatnost 6 let je vypočtena současná hodnota peněžního toku  $P_6$ , který nastane za 6 let.

3. Určení směrodatné odchylky cenových změn aktuálního peněžního toku

Směrodatné odchylky pro vrcholy 5 a 7 poskytuje RiskMetrics. Směrodatnou odchylku pro vrchol 6 je určen podobně jako v bodě č. 1 lineární interpolací.

$$\sigma_6 = \hat{a}\sigma_5 + (1 - \hat{a})\sigma_7 \quad 0 \leq \hat{a} \leq 1 \quad (30)$$

kde  $\hat{a}$  je lineární váhový koeficient,  $\sigma_5$  a  $\sigma_7$  jsou směrodatné odchylky výnosů pro splatnosti 5 a 7 let.

4. Vypočtení váhy rozdělení peněžního toku  $\alpha$  a  $(1-\alpha)$  z rovnice:

$$\sigma_6^2 = \alpha^2\sigma_5^2 + (1 - \alpha)^2\sigma_7^2 + 2\alpha(1 - \alpha)\sigma_5\sigma_7\rho_{5,7} \quad (31)$$

Tuto rovnici lze pomocí substituce upravit na kvadratickou rovnici ve tvaru:

$$a\alpha^2 + b\alpha + c = 0 \quad (32)$$

kde

$$a = \sigma_5^2 + \sigma_7^2 - 2\sigma_5\sigma_7\rho_{5,7}$$

$$b = 2\sigma_5\sigma_7\rho_{5,7} - 2\sigma_7^2$$

$$c = \sigma_7^2 - \sigma_6^2$$

Váha  $\alpha$  je potom vypočtena ze vztahu:

$$\alpha = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (33)$$

Rovnice č. 33 má dva kořeny. Vybráno je takové řešení, které splňuje tři podmínky zmíněné výše.

5. Rozdělení peněžního toku na standardizované vrcholy

Původní peněžní tok je rozdělen na dvě hodnoty –  $\alpha$  a  $(1-\alpha)$ , kde hodnota  $\alpha$  je přiřazena standardizovanému vrcholu se splatností 5 let a hodnota  $(1-\alpha)$  vrcholu se splatností 7 let. (MSCI, 1999)

### 3.3.6 Konverze časového horizontu

Metody výpočtů VaR počítají primárně s výpočtem hodnoty VaR na časovém horizontu s dobou držení jeden den. Často nás však zajímá možné riziko pro delší časový horizont. K porovnání hodnot VaR s rozdílnou dobou držení lze využít metody konverze pomocí druhé odmocniny doby držení, která je běžně využívána k přibližné extrapolaci jednodenních hodnot VaR na hodnoty VaR s delší dobou držení. Předpokladem metody je, že denní cenové pohyby jsou na sobě nezávislé a mají normální rozdělení se střední hodnotou nula. (Alexander, 2008)

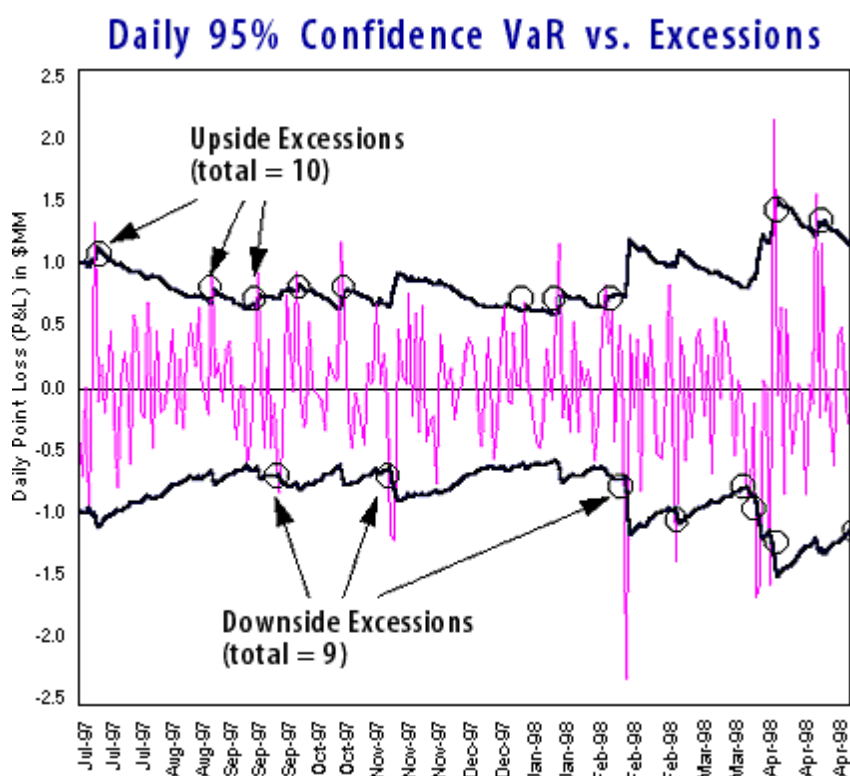
$$VaR_{T \text{ dní}} = VaR_{1d} \times \sqrt{T} \quad (34)$$

Nutno podotknout, že pro přepočítání je využíván počet obchodních dní, nikoli skutečný počet dní. Například pro výpočet hodnoty VaR s dobou držení jeden měsíc bude uvažováno 21 obchodních dnů. (Jorion, 2000)

Tato metoda konverze časového horizontu je užitečná zejména při konvertování jednodenní hodnoty VaR na hodnotu VaR s dobou držení deset dnů, kterou vyžadují regulační standardy stanovené ČNB nebo Basilejským výborem.

### 3.3.7 Back testing

Modely VaR by měly co nejpřesněji odrážet realitu. Backtesty neboli zpětné testování modelů porovnává odhady VaR se skutečně dosaženými výsledky. Backtesting se užívá k ověření nových modelů a k přehodnocení přesnosti stávajících modelů. Banky využívající interní modely musí provádět zpětné testování pravidelně. Orgány regulace a dohledu penalizují banky, jejichž modely nepodávají dobré výsledky, zvýšením multiplikačního faktoru při výpočtu kapitálových požadavků. Nejjednodušší způsob jak provést zpětné testování je porovnat skutečné denní ztráty portfolia s odhadem VaR a zjistit v kolika případech byly skutečné ztráty větší než ztráty odhadované pomocí metody VaR. Přesnost modelu udává, kolikrát dojde překročení hodnoty VaR skutečnými jednodenními ztrátami portfolia. Čím menší počet překročení, tím je model přesnější. (Jorion, 2000)



Obr. 4 Skutečné denní změny a odhad VaR  
Zdroj: MSCI, 1999

Počet překročení by měl být v mezích stanovené hladiny spolehlivosti. Při hladině spolehlivosti 95 % by nemělo dojít k překročení ve více než 5 % případů. Na obr. 4 je vidět, že během 250 obchodních dní došlo k překročení odhadu VaR skutečnými ztrátami v devíti případech. To odpovídá 3,6 % případů. Lze konstatovat, že model je přesný.

BCBS uvádí požadavek na denní zpětné testování. Denní skutečné ztráty jsou porovnávány s hodnotou VaR, která je vypočítaná na hladině spolehlivosti 97,5 % a 99 %. Testují se data v horizontu minimálně jednoho roku. (BIS, 2006)

BCBS uplatňuje tzv. semaforový přístup a klasifikuje modely do 3 zón – zelené, žluté a červené. Pokud během předchozích 250 obchodních dnů došlo k méně než čtyřem překročením, pak je model považován za přesný a spadá do zelené zóny. Žlutá zóna zahrnuje pět až devět výjimek. Při deseti a více výjimkách se model stává neadekvátním. (BIS, 1996)

### 3.3.8 Stresové testování

VaR modely jsou založeny na denním vývoji a výjimečné události zahrnují pouze v případě, že takové události v minulosti opravdu nastaly. Tržní šoky převyšující tři směrodatné odchylky, tedy takové události, které by se s pravděpodobností větší než 99,85 % neměly stát, nejsou na trzích výjimečné a objevují se častěji než předpokládá normální rozdělení. Použití vnitřních modelů VaR pro účely měření

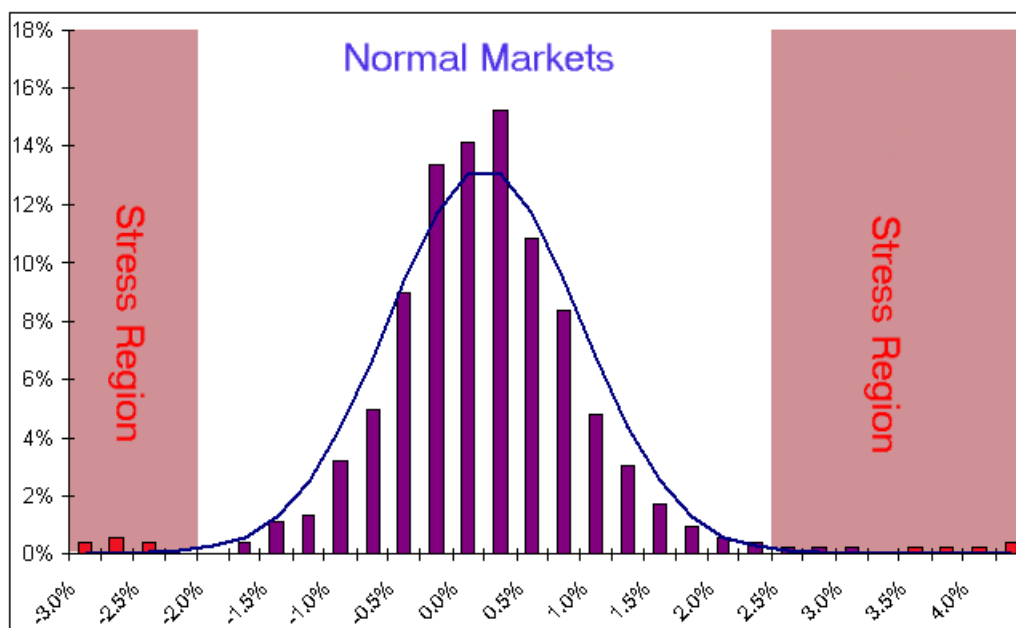
tržního rizika a stanovení kapitálových požadavků tak musí být dle Basel II doplněno stresovým testováním. (Jílek, 2000)

Stresové testování slouží k odhadu potenciálních ztrát portfolia při aplikaci extrémních předpokladů nebo období extrémních šoků, které se staly v minulosti.

Pro stresové testování lze využít buď historické anebo hypotetické scénáře. Historické scénáře jsou založeny na obdobích extrémních tržních podmínek, které se v minulosti skutečně vyskytly. Historickým scénářem může být například světová finanční krize 2008/09, propad světových akciových trhů v r. 1987, Řecká dluhová krize apod. Hypotetické scénáře jsou konstruovány na základě skutečných minulých událostí nebo jako zcela umělé, spekulativní scénáře. (Ambrož, 2011)

Cipra (2002) uvádí také možnost užití normovaných scénářů. Takové scénáře zahrnují následující změny rizikových faktorů:

1. Paralelní posun výnosové křivky o  $\pm 100$  bazických bodů během jednoho měsíce.
2. Otočení výnosové křivky o  $\pm 25$  bazických bodů.
3. Každou ze čtyř kombinací posunu a zakřivení.
4. Změna volatility o  $\pm 20$  %.
5. Změna akciového indexu o  $\pm 10$  %.
6. Změna hodnot hlavních měn o  $\pm 6$  % a vedlejších o  $\pm 20$  %.
7. Změna swapových spreadů o  $\pm 20$  bazických bodů.



Obr. 5 Stresové testování a konce v pravděpodobnostním rozdělení  
Zdroj: MSCI, 1999

Stresové testování je možno vnímat jako doplněk k metodám VaR. Zatímco VaR je vhodný za předpokladu normálního rozdělení, stresové testování je vhodné pro extrémní situace. Stresové testování se zaměřuje na tzv. konce v pravděpodobnostním rozdělení výnosů a spolu s VaR poskytují lepší obrázek o celkovém riziku. (MSCI, 1999)

Dle Nařízení EP a Rady č. 575/2013 jsou banky povinny podrobit svá portfolia stresovému testování. Testy musí být prováděny alespoň jednou týdně, a minimálně čtvrtletně musí být výsledky, včetně porovnání s kapitálovým požadavkem, reportovány oprávněnému orgánu dohledu. Banky musí také stanovovat tzv. stressed Value at Risk, tedy stresovou rizikovou hodnotu. Ta je počítána pro aktuální portfolio s dobou držení deset dní, na hladině spolehlivosti 99 %, avšak s parametry VaR modelu, které odpovídají historickému období v délce souvislých dvanácti měsíců, které se vyznačovalo významně stresovými podmínkami na trhu. Pro většinu portfolií se bude jednat o souvislé dvanáctiměsíční období v letech 2008/09. (Ambrož, 2011) Stresová hodnota VaR, která vznikla právě v reakci na světovou finanční krizi 2008/2009 byla poprvé představena v rámci regulatorního rámce Basel II a je součástí kapitálového požadavku k tržnímu riziku.

### 3.4 Kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku

ČNB umožňuje stanovit kapitálový požadavek k úrokovému riziku obchodního portfolia pomocí dvou odlišných způsobů – standardizovanou metodou nebo metodou vnitřních modelů. (Jílek, 2000) Standardizovaná metoda určuje přesný



postup výpočtu kapitálového požadavku, který je shodný pro všechny banky. Metoda vnitřních modelů umožňuje bankám použití vlastních modelů pro výpočet kapitálového požadavku.

Nový regulatorní rámec pro bankovníctví Basel III je obsažen v Nařízení Evropského parlamentu a rady (EU) č. 575/2013 neboli nařízení CRR (Capital Requirements Regulation) ze dne 26. června 2013 o obezřetnostních požadavcích na úvěrové instituce a investiční podniky a o změně nařízení (EU) č. 648/2012 a ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2013/36/EU neboli směrnice CRD IV (Capital Requirements Directive) ze dne 26. června 2013 o přístupu k činnosti úvěrových institucí a o obezřetnostním dohledu nad úvěrovými institucemi a investičními podniky, o změně směrnice 2002/87/ES a zrušení směrnic 2006/48/ES a 2006/49/ES. Velkou část těchto unijních předpisů implementovala do českého právního řádu dočasná Vyhláška ČNB č. 23/2014 Sb. o výkonu činnosti bank, spořitelních a úvěrních družstev a obchodníků s cennými papíry (později nahrazena Vyhláškou ČNB č. 163/2014 Sb.), která nabyla účinnosti 5. 3. 2014 a která nahrazuje původní Vyhlášku ČNB č. 123/2007 Sb., o pravidlech obezřetného podnikání bank, spořitelních a úvěrních družstev a obchodníků s cennými papíry. Kromě ostatních změn, dochází k úpravě výpočtu obecného rizika založeného na duraci. Dopad této změny bude analyzován.

### 3.4.1 Metoda splatností

Výpočet obecného rizika založený na splatnosti upravuje Nařízení CRR a je totožný s původním výpočtem stanoveným Vyhláškou ČNB č. 123/2007 Sb.

Nejdříve dojde k rozdělení úrokových pozic do časových pásem dle tabulky. Součet úrokových pozic v každém pásmu se vynásobí daným koeficientem a výsledkem jsou vážené úrokové pozice. Vážené dlouhé a krátké úrokové pozice se v jednotlivých pásmech a zónách navzájem kompenzují. Kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku se potom rovná součtu:

- a) 10 % součtu kompenzovaných úrokových pozic v každém časovém pásmu,
- b) 40 % kompenzované úrokové pozice v časové zóně 1,
- c) 30 % kompenzované úrokové pozice v časové zóně 2,
- d) 30 % kompenzované úrokové pozice v časové zóně 3,
- e) 40 % kompenzované úrokové pozice mezi časovými zónami 1 a 2,
- f) 40 % kompenzované úrokové pozice mezi časovými zónami 2 a 3,
- g) 150 % kompenzované úrokové pozice mezi časovými zónami 1 a 3,
- h) 100 % součtu absolutních hodnot úrokových pozic v jednotlivých časových zónách zbývajících po všech kompenzacích.

Tímto způsobem musí banka vypočítat kapitálový požadavek pro každou měnu.

Tab. 9 Časová pásma a koeficienty k metodě splatností

	Časové pásmo		Koeffi- cient	Předpokládaná změna úrokových měr v %
	Kuponová míra 3 % a vyšší	Kuponová míra nižší než 3 %		
zóna 1	do 1 měsíce včetně	do 1 měsíce včetně	0	1,00
	1 až 3 měsíce včetně	1 až 3 měsíce včetně	0,002	1,00
	3 až 6 měsíců včetně	3 až 6 měsíců včetně	0,004	1,00
	6 až 12 měsíců včetně	6 až 12 měsíců včetně	0,007	1,00
zóna 2	1 až 2 roky včetně	1,0 až 1,9 let včetně	0,0125	0,90
	2 až 3 roky včetně	1,9 až 2,8 let včetně	0,0175	0,80
	3 až 4 roky včetně	2,8 až 3,6 let včetně	0,0225	0,75
zóna 3		3,6 až 4,3 let včetně	0,0275	0,75
	4 až 5 let včetně	4,3 až 5,7 let včetně	0,0325	0,70
	5 až 7 let včetně	5,7 až 7,3 let včetně	0,0375	0,65
	7 až 10 let včetně	7,3 až 9,3 let včetně	0,045	0,60
	10 až 15 let včetně	9,3 až 10,6 let včetně	0,0525	0,60
	15 až 20 let včetně	10,6 až 12 let včetně	0,06	0,60
	nad 20 let	12 až 20 let včetně	0,08	0,60
	nad 20 let	0,125	0,60	

Zdroj: Nařízení EP a Rady č. 575/2013

### 3.4.2 Metoda durací

Nejprve je popsán výpočet obecného rizika metodou durací dle Vyhlášky ČNB č. 123/2007. V druhé části je potom popsán aktuálně platný výpočet dle Nařízení CRR.

V případě metody durací dle Vyhlášky ČNB dojde k zařazení úrokových pozic do duračních pásem dle tabulky. Tabulka obsahuje patnáct pásem modifikovaných durací. Součet úrokových pozic v každém pásmu se vynásobí příslušnými modifikovanými duracemi a předpokládanými změnami úrokových sazeb. Tím jsou získány vážené úrokové pozice pro každé durační pásmo. Ty se dále kompenzují v jednotlivých duračních zónách. Kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku dané měny stanovený s použitím metody durací se rovná součtu:

- a) 5 % součtu kompenzovaných úrokových pozic v každém duračním pásmu,
- b) 40 % kompenzované úrokové pozice v zóně 1,
- c) 30 % kompenzované úrokové pozice v zóně 2,
- d) 30 % kompenzované úrokové pozice v zóně 3,
- e) 40 % kompenzované úrokové pozice mezi zónami 1 a 2,
- f) 40 % kompenzované úrokové pozice mezi zónami 2 a 3,
- g) 150 % kompenzované úrokové pozice mezi zónami 1 a 3,

h) 100 % součtu absolutních hodnot úrokových pozic v jednotlivých zónách zbývajících po všech kompenzacích.

Tímto způsobem banka určí kapitálový požadavek pro každou měnu zvlášť.

Tab. 10 Časové zóny a koeficienty k metodě durací

Modifikované durace	Předpokládaná změna úrokových měr v %	Modifikované durace	Předpokládaná změna úrokových měr v %
zóna 1		zóna 3	
do 1 měsíce	1,00	3,3 až 4,0 roky	0,75
1 až 3 měsíce	1,00	4,0 až 5,2 let	0,70
3 až 6 měsíců	1,00	5,2 až 6,8 let	0,65
6 až 12 měsíců	1,00	6,8 až 8,6 let	0,60
		8,6 až 9,9 let	0,60
zóna 2		9,9 až 11,3 let	0,60
1,0 až 1,8 let	0,90	11,3 až 16,6 let	0,60
1,8 až 2,6 let	0,80	nad 16,6 let	0,60
2,6 až 3,3 let	0,75		

Zdroj: Vyhláška ČNB č. 123/2007 Sb.

Celkový kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku je potom určen jako součet kapitálových požadavků stanovených pro každou měnu.

Nařízení CRR upravuje a zjednodušuje výpočet kapitálového požadavku k obecnému riziku založený na duraci. Rozdělení úrokových pozic je provedeno dle tabulky č. 11.

Tab. 11 Časové zóny a předpokládané změny úrokové míry

Zóna	Modifikovaná doba trvání (v letech)	Předpokládaný úrok (změna v %)
1	Do 1 roku	1,0
2	Od 1 do 3,6 let	0,85
3	Nad 3,6 let	0,7

Zdroj: Nařízení EP a Rady č. 575/2013

Výpočet vážených durací a kompenzování dlouhých a krátkých pozic probíhá obdobně, jako je určeno Vyhláškou ČNB č. 123/2007 Sb. Vážená durace úrokového nástroje je získána vynásobením jeho tržní ceny s jeho modifikovanou durací a předpokládanou změnou úrokové sazby. Vážené durace dlouhých a krátkých pozic se vzájemně kompenzují.

Kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku se potom vypočítá jako součet:

a) 2 % kompenzované pozice vážené durací pro každou zónu;

- b) 40 % kompenzovaných pozic vážených durací mezi zónami 1 a 2, 2 a 3;
- c) 150 % kompenzované pozice vážené durací mezi zónami jedna a tři;
- d) 100 % zbylých nekompenzovaných pozic vážených durací.

Výpočet kapitálového požadavku založený na duraci dle nového nařízení stanoví pouhá tři pásma modifikovaných durací namísto původních patnácti pásem. Zjednodušuje se tak výpočet i proces zařazování jednotlivých instrumentů do časových pásem. Dochází však ke změnám koeficientů předpokládaných změn úrokových měr pro většinu pásem modifikovaných durací. Největší změny jsou pozorovány pro instrumenty s modifikovanou durací nad 5,2 let. Těm původní přístup přiděloval koeficient 0,65 pro nástroje s modifikovanou durací do 6,8 let a koeficient 0,6 pro nástroje s modifikovanou durací delší než 6,8 let. Nový přístup sjednocuje koeficient pro zmíněné hodnoty modifikovaných durací a stanoví jeho hodnotu na 0,7. Kapitálový požadavek stanovený dle Nařízení CRR bude pro většinu portfolií vyšší než požadavek stanovený původním přístupem.

### 3.4.3 Vnitřní modely

Určení kapitálového požadavku pomocí vlastních interních modelů založených na metodách VaR regulátor umožňuje pouze při splnění celé řady požadavků. Jejich úplný výčet upravuje Nařízení CRR. Banky musí mít zvláštní oddělení rizik nezávislé na obchodních jednotkách, které denně zpracovává a analyzuje výstupy modelů. Dále musí mít dostatek kvalifikovaných zaměstnanců, musí pravidelně provádět zpětné a stresové testování modelu, alespoň jednou ročně musí dojít k posouzení celkového procesu řízení rizik vnitřním auditem, datové soubory musí být obnovovány alespoň jednou za měsíc a mnohé další.

ČNB stanoví pro výpočet rizikové hodnoty pro potřeby stanovení kapitálového požadavku časový horizont deset obchodních dní, rozsah vzorku historických pozorování alespoň jeden rok (v průměru 250 obchodních dní) a interval spolehlivost 99 %. VaR se počítá denně. Kapitálový požadavek se stanovuje jakou součet vyšší z hodnot:

- rizikové hodnoty předchozího dne, zvýšené o dodatečnou přírážku pro specifické úrokové či akciové riziko, pokud je aplikována, nebo
- součinu multiplikačního faktoru  $M_c$  a průměrné denní rizikové hodnoty za předchozích šedesát pracovních dnů.

A vyšší z hodnot:

- naposledy stanovené stresové rizikové hodnoty, nebo
- součinu multiplikačního faktoru  $M_s$  a průměrné stresové rizikové hodnoty za předchozích šedesát pracovních dnů.

Kapitálový požadavek je tedy dán vztahem:

$$KP = \max \left( VaR_{10d}; M_c \times \frac{1}{60} \sum_{i=1}^{60} VaR_{1d} \right) + \max \left( sVaR_{10d}; M_s \times \frac{1}{60} \sum_{i=1}^{60} sVaR_{1d} \right) \quad (35)$$

Kde  $VaR_{10d}$ ,  $VaR_{1d}$  je riziková hodnota s deseti denním, resp. jednodenním horizontem,

$sVaR_{10d}$ ,  $sVaR_{1d}$  je stresová riziková hodnota s deseti denním, resp. jednodenním horizontem,  $M_s$  a  $M_c$  jsou násobící multiplikační faktory.

Multiplikační faktory  $M_s$  a  $M_c$  jsou určeny regulátorem a mají minimální hodnotu 3, která se navyšuje o plus faktor v závislosti na tom, kolikrát došlo k překročení odhadnuté hodnoty VaR skutečně realizovanými ztrátami během posledních 250 obchodních dnů. Počet překročení se zjišťuje zpětným testováním. Plus faktor může nabývat hodnot 0 až 1.

Tab. 12 Vztah mezi počtem překročení a plus faktorem

Hodnoty plus faktoru	
Počet překročení	Plus faktor
méně než 5	0,00
5	0,40
6	0,50
7	0,65
8	0,75
9	0,85
10 a více	1,00

Zdroj: Nařízení EP a Rady č. 575/2013

### 3.5 Dílčí závěr

Tradiční metody pro měření úrokového rizika jsou gapová analýza, metoda analýzy durací a durace gap. Pokročilejší metody pro měření úrokového rizika jsou interní modely založené na výpočtu hodnoty Value at Risk, mezi které patří historická simulace, metoda variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo. Tyto metody jsou doplněny zpětným testováním a stresovým testováním. Součástí metodologie Value at Risk je také exponenciálně vážený pohyblivý průměr, mapování finančních toků a konverze časového horizontu.

Výpočet kapitálového požadavku orgány dohledu umožňují pomocí metody splatností, metody durací nebo na základě využití interních modelů. Nový regulační rámec Basel III přináší změny ve výpočtu kapitálového požadavku metodou durací. Nový postup upravuje Nařízení EP a Rady č. 575/2013.

## 4 Empirická část

Cílem empirické části je komparace kapitálových požadavků k obecnému úrokovému riziku stanovených na základě standardizovaných metod a interních modelů založených na výpočtu hodnoty Value at Risk.

V první části bude vytvořeno modelové portfolio, pro které bude kapitálový požadavek stanoven. Identifikován bude také vzorek dat, na základě kterého budou jednotlivé výpočty provedeny. Důvodem využití modelového portfolio namísto reálného portfolio je vysoká citlivost takovýchto informací, které si banky přísně střeží. I pokud by některá banka poskytla reálná data, musela by být práce vyloučena ze zveřejnění. Dalším důvodem je výrazné zkomplikování výpočtu při použití reálných dat. Takový výpočet by navíc nebyl možný tabulkovým kalkulátorem Microsoft Office Excel, který bude v práci využíván. I při využití zjednodušeného modelového portfolio dosahují soubory obsahující výpočet velikosti i přes 50 MB a pro získání některých výsledků jsou nutné manuální úpravy. Pro reálné portfolio by musel být využit sofistikovanější software sloužící k výpočtu hodnoty Value at Risk, který však není běžně dostupný. Po konzultaci s vedoucím práce tedy bylo přistoupeno k použití modelového portfolio.

Stanovení kapitálového požadavku standardizovanými metodami bude provedeno pomocí metody splatností a metody durací. Pro stanovení kapitálového požadavku metodou durací bude využit starší přístup daný Vyhláškou ČNB č. 123/2007 Sb. i nový přístup upravený Nařízením EP a Rady č. 575/2013. Tím bude umožněna analýza dopadu Nařízení EU na velikost stanoveného kapitálového požadavku založeného na duraci.

Metodou historické simulace, metodou variancí a kovariancí a simulací Monte Carlo budou určeny hodnoty VaR pro modelové portfolio. Tato hodnota je základem pro výpočet kapitálového požadavku na základě interních modelů. Hodnoty kapitálového požadavku stanoveného využitím různých metod budou porovnány.

Hodnoty kapitálových požadavků na základě standardizovaných metod i interních modelů budou vypočteny pro aktuální období roku 2014 a pro období finanční krize 2008/2009. Následně bude provedena analýza těchto výsledků.

### 4.1 Vstupní údaje

#### 4.1.1 Modelové portfolio

Tabulky č. 13 a 14 představují strukturu portfolio, pro které budou stanoveny kapitálové požadavky.

Tab. 13 Struktura aktiv banky v mil. Kč

Aktiva	Hodnota	Splatnost	Výnos	Durace
Nástroj 1	1 500	2 měsíce	1 %	0,17
Nástroj 2	3 000	3 roky	5 %	2,87
Nástroj 3	2 500	5 let	7 %	4,47
Nástroj 4	3 000	10 let	9 %	7,77

Tab. 14 Struktura pasiv banky v mil. Kč

Pasiva	Hodnota	Splatnost	Výnos	Durace
Nástroj 5	3 700	1 rok	0,7 %	1
Nástroj 6	3 000	3 roky	2,5 %	2,93
Nástroj 7	1 800	6 let	5 %	5,41

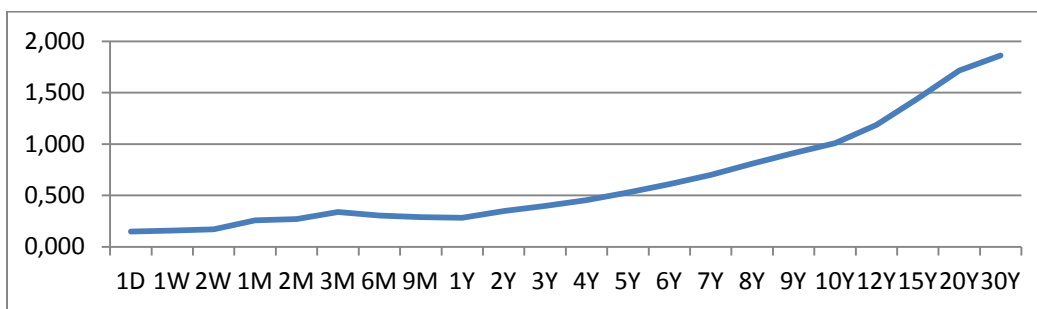
Modelové portfolio je velmi zjednodušeným odrazem bankovního portfolio. Model odráží skutečnost, že banky využívají krátkodobých vkladů k financování dlouhodobých úvěrů. Aktiva s krátkou dobou do splatností jsou obvykle nižší než krátkodobá pasiva. Naopak aktiva s dlouhou dobou do splatnosti jsou vyšší než dlouhodobá pasiva.

Nástroj 1 může představovat například mezibankovní termínová depozita. Nástroje 2 a 3 mohou být například střednědobé spotřební úvěry, zatímco nástroj 4 může představovat dlouhodobý hypoteční úvěr. Nástroje 5 až 7 v bilanci na straně pasiv potom mohou představovat závazky vůči bankám nebo vůči klientům.

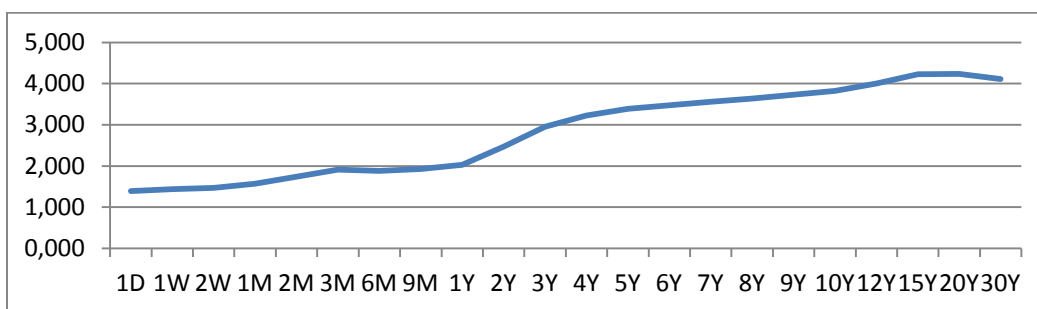
#### 4.1.2 Datový vzorek

K ocenění úrokových nástrojů obsažených v modelovém portfoliu využijeme úrokové míry českých bezkupónových dluhopisů. Tyto data využijeme i pro výpočet dalších parametrů nutných pro stanovení hodnoty VaR pomocí interních modelů. Mezi tyto parametry patří určení výnosových scénářů, korelačních matic a cenových volatilit. Služba Riskmetrics, která tato data pro výpočet VaR poskytuje, není veřejně dostupná a je pouze pro platící uživatele. Data jsou proto získána z terminálu Bloomberg. K dispozici máme úrokové míry pro celkem 22 vrcholů se splatnostmi 1D, 1W, 2W, 1M, 2M, 3M, 6M, 9M, 1Y, 2Y, 3Y, 4Y, 5Y, 6Y, 7Y, 8Y, 9Y, 10Y, 12Y, 15Y, 20Y, 30Y.

Výnosové scénáře, volatility i korelace jsou vypočítány na základě cenových změn. Současná hodnota bezkupónového dluhopisu je rovna diskontnímu faktoru. Cenové změny jsou tedy určeny jako změny v diskontních faktorech.



Obr. 6 Výnosová křivka ke dni 20. 11. 2014



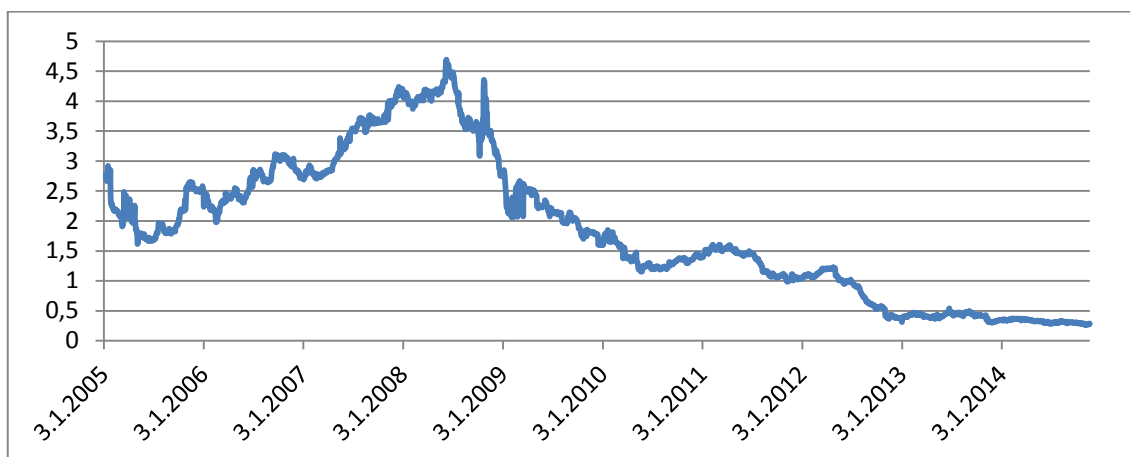
Obr. 7 Výnosová křivka ke dni 18. 9. 2009

Grafy na obrázcích 6 a 7 znázorňují české výnosové křivky ke dni 20. 11. 2014 a ke dni 18. 9. 2009 složené z úrokových měr českých bezkupónových dluhopisů. Patrný je rozdílný tvar i výše úrokových sazeb v jednotlivých obdobích. V období velké finanční krize v letech 2008 - 2009 se úrokové sazby pohybovaly v rozmezí 1,5 až 4 procenta. Po krizi však dochází k prudkému snížení úrokových měr a jejich pokles pokračuje až do současnosti, kdy pozorujeme historická minima těchto hodnot.

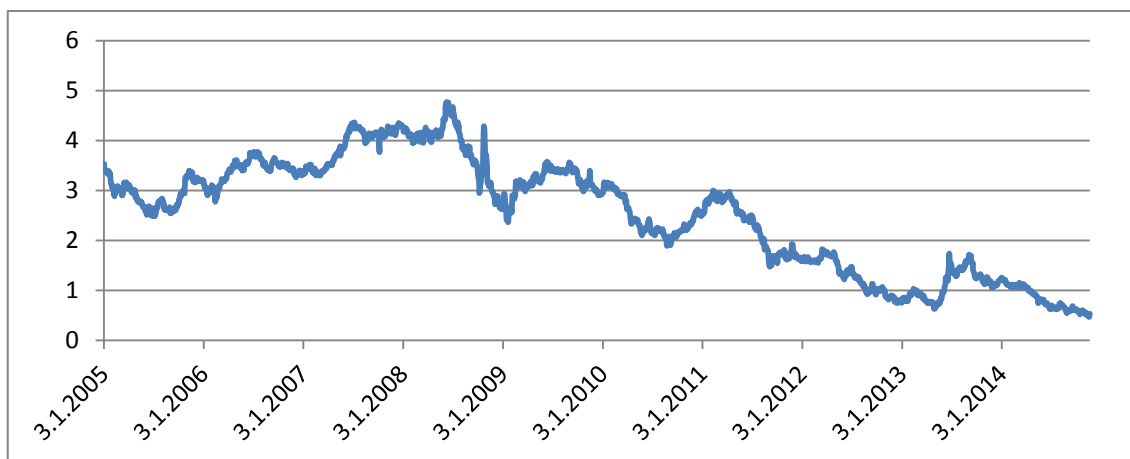
Rozdílné velikosti úrokových sazeb v těchto obdobích mají dopad na velikost současných hodnot modelového portfolia. Současné hodnoty by zároveň měly odrážet tržní ceny. Zatímco v období krize jsou současné hodnoty jednotlivých úrokových nástrojů nízké díky vyšším úrokovým sazbám, potom aktuální současné hodnoty jsou vyšší díky nízkým sazbám. Vývoj jednoletých, pětiletých a desetiletých sazeb je znázorněn na obrázcích 8 až 10.

Obrázky 11 až 13 shrnují vývoj denních cenových změn pro české bezkupónové dluhopisy se splatností jeden rok, pět let a deset let. Nástroje s delší dobou do splatnosti jsou volatilnější než nástroje s kratší splatností. V grafech se objevuje i jev nazývaný „volatility clustering“, kdy pozorujeme výskyt období s vysokou volatilitou a naopak výskyt období s nízkou volatilitou.

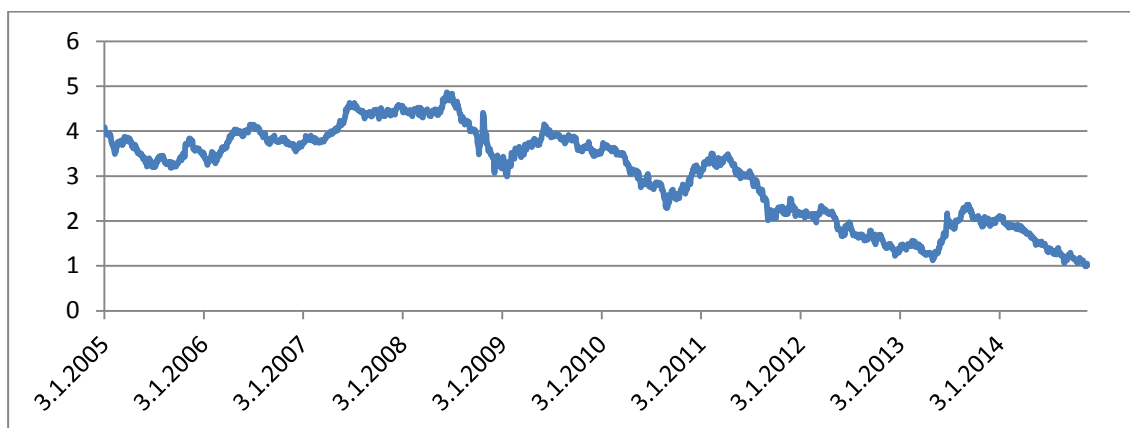




Obr. 8 Vývoj úrokové míry českého bezkupónového dluhopisu se splatností jeden rok

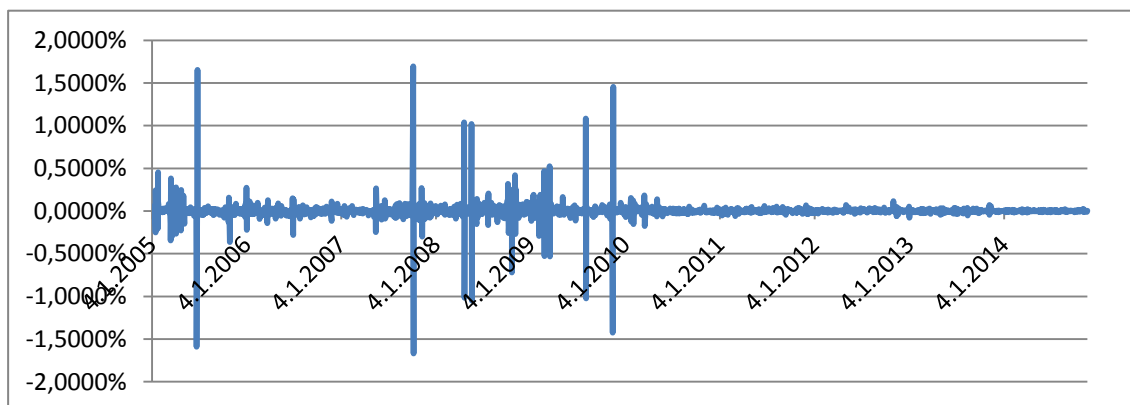


Obr. 9 Vývoj úrokové míry českého bezkupónového dluhopisu se splatností pět let

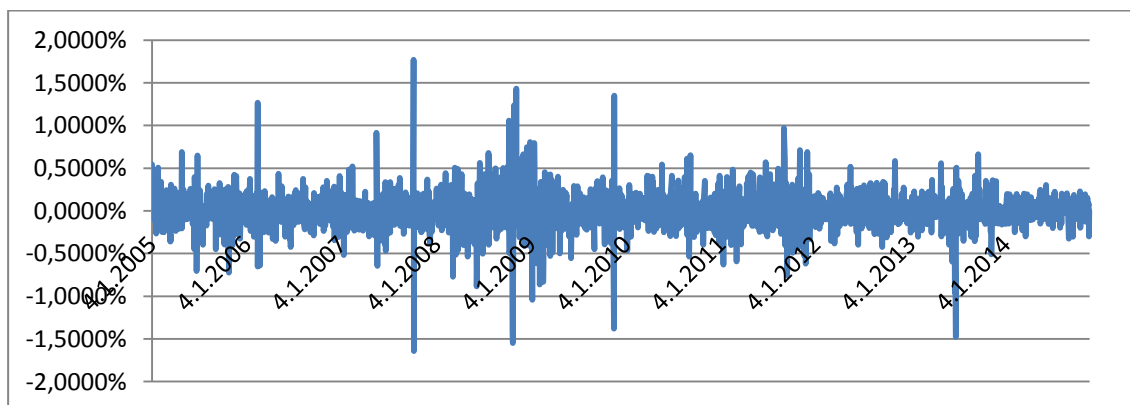


Obr. 10 Vývoj úrokové míry českého bezkupónového dluhopisu se splatností deset let

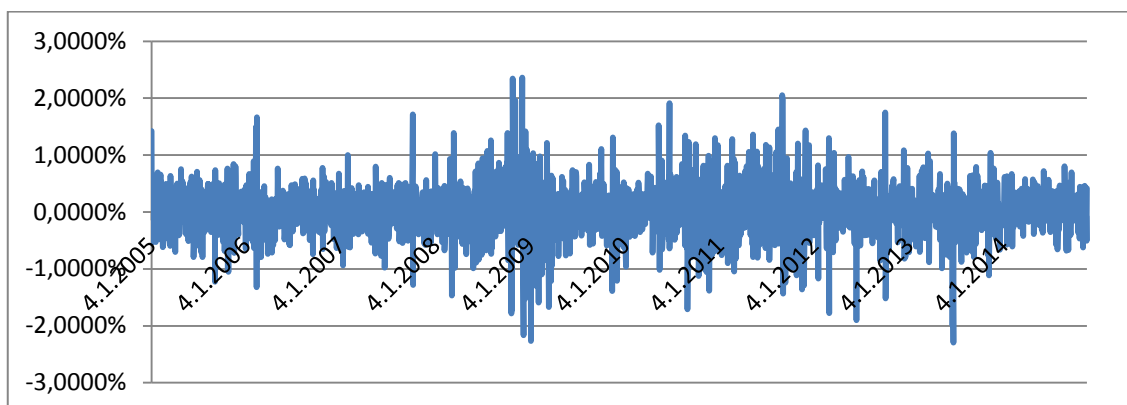
Přibližně do září roku 2008 je pozorován růst sazeb. V tomto období však ve světě vypukla finanční krize, následovaná poklesem sazeb. Ty potom klesají až do současnosti, kdy se nacházejí na historických minimech.



Obr. 11 Vývoj denních cenových změn bezkupónového dluhopisu se splatností jeden rok



Obr. 12 Vývoj denních cenových změn bezkupónového dluhopisu se splatností pět let



Obr. 13 Vývoj denních cenových změn bezkupónového dluhopisu se splatností deset let

U nástrojů s delší dobou do splatnosti je pozorována vyšší cenová volatilita. Cenové změny bezkupónového dluhopisu se splatností jeden rok se pohybují v řádu desetin procenta. U dluhopisu se splatností deset let jsou změny v řádech procent. Všechny tři grafy vykazují roky 2008/2009 jako období s největší cenovou volatilitou. Další období zvýšené volatility je pozorováno v období let 2011/2012. Rok 2014 vykazuje nízké cenové volatility.

#### 4.1.3 Gapová analýza

Gapová analýza je statickou metodou, která hodnotí úrokovou citlivost bankovní bilance. Tato metoda není využívána ke stanovení kapitálových požadavků, pro úplnost je však uvedena. Postup výpočtu je znázorněn v tabulce č. 15.

Jednotlivé položky portfolia jsou rozděleny do časových košů podle jejich zbytkové doby do splatnosti. Pro názornost je zvoleno celkem 5 časových košů podobně, jako bylo naznačeno v kapitole 3.2.1. Pro jednotlivé časové koše je vypočten gap a kumulovaný gap.

Tab. 15 Gapová analýza

	Doba do přecenění / zbytková doba do splatnosti					
	Do 1 měsíce	Do 3 měsíců	Do 1 roku	Do 5 let	Nad 5 let	Celkem
Aktiva	0	1 500	0	5 500	3 000	10 000
	Do 1 měsíce	Do 3 měsíců	Do 1 roku	Do 5 let	Nad 5 let	Celkem
Pasiva	0	0	3 700	3 000	1 800	8 500
<b>GAP</b>	<b>0</b>	<b>1 500</b>	<b>-3 700</b>	<b>2 500</b>	<b>1 200</b>	<b>2500</b>
<b>Kum. GAP</b>	<b>0</b>	<b>1 500</b>	<b>-2 200</b>	<b>300</b>	<b>1 500</b>	

Při paralelnímu posunu tržní výnosové křivky o 1 % dojde krůstu čistého úrokového výnosu v časových koších se zbytkovou dobou do splatnosti do tří měsíců, do pěti let a nad pět let. V časovém koši se splatností do jednoho roku by naopak došlo ke snížení čistého úrokového výnosu.

#### 4.1.4 Durace gap

Pomocí durací lze zjistit, jak se změní tržní hodnota jednotlivých úrokových nástrojů při změně úrokové míry. Metoda durace gap se nevyužívá pro účely stanovení kapitálového požadavku, pro úplnost je však výpočet proveden.

Tab. 16 Durace gap

<b>Aktiva</b>	<b>Tržní cena v mil. Kč.</b>	<b>Durace v letech</b>
	1 501,8	0,17
	3 410,3	2,87
	3 295,5	4,47
	5 267,2	7,77
$\Sigma$ Aktiv	13 474,8	
<b>Vážená durace aktiv</b>		4,88
<b>Pasiva</b>	<b>Tržní cena v mil. Kč.</b>	<b>Durace v letech</b>
	3 715,3	1
	3 187,3	2,93
	2 263,6	5,41
Kapitál	4 308,6	
$\Sigma$ Pasiv	13 474,8	
<b>Vážená durace pasiv</b>		2,76

Dopady změn úrokové míry na kapitál banky je možno určit porovnáním durace aktiv a durace pasiv. V tabulce č. 16 jsou zaznamenány vypočtené tržní hodnoty dluhových nástrojů a jejich durace. Dále je vypočtena vážená durace aktiv a vážená durace závazků. Z takto získaných údajů je dosazeno do vzorce pro výpočet DGAP.

$$DGAP = D_A - \frac{P}{A} \times D_P = 4,88 - \frac{9166,2}{13474,8} \times 2,76 = 3 \quad (36)$$

Durace aktiv se nerovná duraci pasiv. Banka je tedy vystavena úrokovému riziku. Tržní hodnota aktiv při růstu úrokové míry klesne více než tržní hodnota pasiv a dojde k poklesu tržní hodnoty kapitálu. Pokud úroková míra klesne, potom dojde k většímu zvýšení tržní hodnoty aktiv než tržní hodnoty závazků a dojde k růstu tržní hodnoty kapitálu. Pro zvolenou strukturu bankovního portfolia je nejžádanějším vývojem pokles úrokové míry. Pokud by se banka chtěla zajistit proti úrokovému riziku musela by upravit strukturu portfolia. Zajištění proti úrokovému riziku může banka dosáhnout buď zkrácením vážené durace aktiv anebo zvýšením vážené durace závazků.

## 4.2 Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku na základě standardizovaných metod

V této kapitole bude provedena komparace kapitálových požadavků k obecnému úrokovému riziku určených na základě použití standardizovaných metod – metody splatností a metody durací. Na základě použití těchto metod budou stanoveny kapitálové požadavky pro modelové portfolio a následně porovnány. Výpočet kapitálového požadavku bude proveden pro aktuální období roku 2014 i pro období světové finanční krize 2008/2009.

Dále bude analyzován dopad Nařízení EP a Rady č. 575/2013, které upravuje výpočet kapitálového požadavku založený na duraci. Tím dojde k zodpovězení první výzkumné otázky: Jaký dopad má Nařízení EP a Rady č. 575/2013 na stanovení kapitálového požadavku?

### 4.2.1 Výpočet kapitálového požadavku založený na splatnosti

Při výpočtu je postupováno dle instrukcí popsaných v kapitole 3.4.1. Postup výpočtu založený na splatnosti dle Vyhlášky ČNB č. 123/2007 Sb. je stejný jako dle Nařízení EP a Rady č. 575/2013.

Jednotlivé úrokové pozice jsou rozděleny do časových košů podobně jako v gapové analýze. Stanoveno je celkem patnáct časových pásem rozdělených do tří zón. Dále jsou vypočítány vážené úrokové pozice jako součin tržních hodnot úrokového nástroje a koeficientu, který přísluší danému časovému pásmu. Vážené dlouhé a vážené krátké pozice se dále kompenzují v každém časovém pásmu. V každém pásmu tak zůstane jedna kompenzovaná pozice a jedna zbytková. Zbytkové pozice v časových pásmech se dále kompenzují mezi časovými zónami 1 a 2 a časovými zónami 1 a 3. Po tomto kroku zůstane v každé časové zóně 1 kompenzovaná a jedna zbytková pozice. Zbývá poslední krok, ve kterém se

kompenzují časové zóny 1 a 3. Zůstane tak jedna kompenzovaná pozice mezi zónami 1 a 3 a jedna zbytková pozice pro každou zónu.

Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku pro modelové portfolio metodou splatností je znázorněn v tabulce.

Tab. 17 Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku metodou splatností

Zóna	Pásmo splatností			Koef.	Předp. změna úr. měř	Vážená pozice		Kompenzace										
	kupon 3 % a vyšší	kupon menší než 3 %				dlouhá	krátká	v časovém		v časové		mezi		mezi krajními				
								komp.	zbytek	komp.	zbytek	komp.	zbytek	komp.	zbytek			
1	do 1 měs.	do 1 měs.		0,0000	1,00													
	1 až 3 měs.	1 až 3 měs.	1501,82	0,0020	1,00	3,0	0,0	0,0	3,0	B								
	3 až 6 měs.	3 až 6 měs.		0,0040	1,00					3								
	6 až 12 měs.	6 až 12 měs.		0,0070	1,00	0,0	-26,0	0,0	-26,0									
2	1 až 2 roky	1 až 1,9 let		0,0125	0,90													
	2 až 3 roky	1,9 až 2,8 let		0,0175	0,80					C								
	3 až 4 roky	2,8 až 3,6 let	3410,32	0,0225	0,75	76,7	-71,7	71,7	5,0	0	5,0							
3	4 až 5 let	3,6 až 4,3 let	3259,2	0,0275	0,75	89,6	0,0	0,0	89,6									
	5 až 7 let	4,3 až 5,7 let		0,0325	0,70	0,0	-73,6	0,0	-73,6									
	7 až 10 let	5,7 až 7,3 let	5267,16	0,0375	0,65	197,5	0,0	0,0	197,5									
	10 až 15 let	7,3 až 9,3 let		0,0450	0,60													
	15 až 20 let	9,3 až 10,6 let		0,0525	0,60													
	nad 20 let	10,6 až 12 let		0,0600	0,60													
		12 až 20 let nad 20 let		0,0800	0,60													
			0,1250	0,60														
Suma:			13 438,50 Kč	- 9 166,24 Kč						A	H		H		H		H	

Úrokové nástroje modelového portfolia jsou rozřazeny dle splatnosti do časových pásem. Při výpočtu jsou uvažovány tržní hodnoty, nikoli nominální. Dlouhá pozice v nominální hodnotě 1 500 mil. Kč na straně aktiv se splatností dva měsíce a kupónem 1 % je zařazena do časového pásma 1 až 3 měsíce. Krátká pozice v nominální hodnotě 3 700 se splatností jeden rok a kupónem 0,7 % je potom zařazena do časového pásma 6 až 12 měsíců. Stejně tak jsou rozřazeny i zbývající úrokové nástroje. Jednotlivé pozice v časových pásmech jsou vynásobeny příslušným koeficientem. Pro všechny pozice v časové zóně 1 se koeficient rovná 1,0, což je i předpokládaná změna úrokové míry. V časové zóně 1 tak vznikne jedna vážená dlouhá a jedna vážená krátká pozice v hodnotě 3 mil. Kč, respektive -26 mil. Kč. Nyní nastává proces kompenzování. Pro časové pásmo 1 až 3 měsíce existuje pouze jedna dlouhá pozice, která nemůže být vykompenzována krátkou pozicí. Kompenzovaná hodnota je tak 0 a zbytek je 3 mil. Kč. Obdobné vysvětlení platí i pro časovou zónu 6 – 12 měsíců. V časové zóně 3 - 4 roky existuje jak dlouhá tak krátká pozice, které se vzájemně kompenzují. Krátká vážená pozice -71,7 mil. Kč je kompenzována v plné výši a zbytková hodnota se rovná rozdílu dlouhé a krátké vážené pozice, tedy 5,0 mil. Kč. Stejný postup kompenzování pozic platí i pro časovou zónu 3.

Dalším krokem je kompenzování pozic v jednotlivých časových zónách. V časové zóně 1 vznikly 2 zbytkové pozice. Dlouhá zbytková pozice ve výši 3 mil. Kč a jedna krátká zbytková pozice ve výši -26,0 mil. Kč. Dlouhá zbytková pozice je plně kompenzována krátkou a zůstane tak zbytková krátká pozice -23,0 mil. Kč. Stejným způsobem dochází ke kompenzování časových pásem

v zónách 2 a 3. Výsledkem je jedna kompenzovaná pozice pro každou časovou zónu a jedna nekompenzovaná pozice.

Dále dochází ke kompenzování zbytkových pozic mezi sousedními zónami 1 a 2, 2 a 3. V zóně 1 se nachází krátká zbytková pozice ve výši -23,0 mil. Kč a v zóně 2 dlouhá zbytková pozice ve výši 5,0 mil. Kč. Dlouhá pozice je kompenzována v celé výši a zbytkem je rozdíl těchto dvou pozic, který zůstane v zóně 1. Zbytková pozice v zóně 2 zůstane prázdná. Kompenzovaná pozice mezi zónami 2 a 3 se rovná nule, protože zbytková pozice v zóně 2 je nulová. Zbytkovou pozicí pro časovou zónu 3 je 213,6 mil. Kč.

Posledním krokem je výpočet kompenzované a zbytkové pozice mezi zónami 1 a 3. V časové zóně 1 existuje krátká pozice -18 mil. Kč a v zóně 3 dlouhá pozice ve výši 213,6 mil. Kč. Pozice v zóně 1 je tak plně kompenzována a rozdílem je zbytková pozice v zóně 3 ve výši 196,6 mil. Kč.

Kapitálový požadavek, který je stanoven dle Vyhlášky ČNB č. 123/2007 Sb., je vypočítán pomocí vztahu:

$$KP = 0,1 \times A + 0,4 \times B + 0,3 \times (C + D) + 0,4 \times (E + F) + 1,5 \times G + |H| \quad (37)$$

Kde A je součet kompenzovaných pozic v každém časovém pásmu, B, C a D jsou kompenzované úrokové pozice v časových zónách 1, 2 resp. 3, E je kompenzovaná úroková pozice mezi časovými zónami 1 a 2, F kompenzovaná pozice mezi zónami 2 a 3, G kompenzovaná pozice mezi zónami 1 a 3, a konečně H je součet úrokových pozic v jednotlivých časových zónách zbývajících po všech kompenzacích.

Dosažením hodnot z tabulky do vztahu je získán kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku. Hodnota A nabývá výše 71,71 mil. Kč a hodnota H 195,6 mil. Kč. Hodnoty pro B, C, D, E, F a G jsou znázorněny v tabulce. Výsledný kapitálový požadavek je **255,04 mil. Kč**.

Kapitálový požadavek stanovený na základě metody splatností pro den 18. 9. 2009 by dosahoval hodnoty **214,14 mil. Kč**. Nižší hodnota kapitálového požadavku v krizovém období je dána vyššími úrokovými měrami v daném období a tudíž menšími tržními hodnotami nástrojů v modelovém portfoliu.

#### 4.2.2 Výpočet kapitálového požadavku založený na duraci dle ČNB

Stanovy regulátora k výpočtu kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku byly popsány v kapitole 3.4.2. Výpočet kapitálového požadavku založený na duraci je odlišný ve Vyhlášce ČNB č. 123/2007 Sb. a v Nařízení EP a Rady č. 575/2013.

Pro výpočet kapitálového požadavku dle instrukcí vyhlášky ČNB je použita následující tabulka.

Tab. 18 Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku metodou durací

Zóna	Modifikovaná durace	tržní cena (PV)	tržní cena (PV)	Předp. změna úr. měř	Vážená pozice		Kompenzace											
					dlouhá	krátká	v časovém		v časové		mezi sousedními		mezi krajními					
							komp.	zbytek	komp.	zbytek	komp.	zbytek	komp.	zbytek				
1	do 1 měs.			1,00														
	1 až 3 měs.	1501,82		1,00	2,50		0,00	2,50	B									
	3 až 6 měs.			1,00					2,50	-34,55								0
	6 až 12 měs.		-3715,33	1,00		-37,05	0,00	-37,05			E		-31,23					
2	1 až 1,8 let			0,90														
	1,8 až 2,6 let			0,80														
	2,6 až 3,3 let	3410,32	-3187,31	0,75	73,01	-69,69	69,69	3,32	C	3,32		0						0
3	3,3 až 4,0 let			0,75														
	4,0 až 5,2 let	3259,16		0,70	95,90		0,00	95,90										
	5,2 až 6,8 let		-2263,60	0,65		-79,07	0,00	-79,07										
	6,8 až 8,6 let	5267,16		0,60	243,06		0,00	243,06										
	8,6 až 9,9 let			0,60														
	9,9 až 11,3 let			0,60														
	11,3 až 16,6 let			0,60														
	nad 16,6 let			0,60														
Suma:	13438,458	-9166,24						A	H		H		H		H		H	

Jednotlivé úrokové instrumenty jsou zařazeny do duračních pásem dle jejich modifikovaných durací. Dlouhá pozice 1 500 mil. Kč se splatností dva měsíce má modifikovanou duraci 0,17 let a proto je zařazena do duračního pásma 1 až 3 měsíce. Krátká pozice 3 700 mil. Kč se splatností jeden rok má modifikovanou duraci 0,997 let a je zařazena do pásma 6 až 12 měsíců. Modifikovaná durace je vypočtena pro všechny úrokové instrumenty portfolia a ty jsou stejným způsobem zařazeny do jednotlivých duračních pásem. Dále jsou vypočteny vážené úrokové pozice. Ty jsou získány vynásobením tržní hodnoty instrumentu jeho modifikovanou durací a předpokládanou změnou úrokové míry. Tržní ceny úrokových nástrojů, příslušné modifikované durace a vážené úrokové pozice jsou vypočteny v tabulce.

Jednotlivé vážené úrokové pozice se dále kompenzují v jednotlivých duračních pásmech, následně se zbytkové pozice kompenzují v sousedních zónách a poslední kompenzace probíhají mezi zbytkovými pozicemi v zónách 1 a 3. V duračním pásmu 2,6 – 3,3 let je plně kompenzována krátká vážená úroková pozice ve výši 69,69 mil. Kč a zbytková pozice se rovná rozdílu vážené dlouhé a krátké pozice v tomto pásmu, tedy 3,32 mil. Kč. V ostatních duračních pásmech nedochází k žádným kompenzacím, protože se v nich vždy nachází buď dlouhá, nebo krátká vážená pozice. Kompenzovaná pozice v durační zóně 1 vznikla kompenzováním vážené pozice v duračním pásmu 1 až 3 měsíce ve výši 2,5 mil. Kč krátkou pozicí. Z krátké pozice tak zůstává zbytek 34,55 mil. Kč. Stejným způsobem je provedena kompenzace v časových zónách 2 a 3. Kompenzovaná pozice mezi sousedními zónami 1 a 2 je vypočtena kompenzováním zbytkové pozice ze zóny 2 ve výši 3,32 mil. Kč. Tím je získána zbytková pozice pro zónu 1 ve výši -31,23 mil. Kč. Zóna 2 byla kompenzována beze zbytku. Díky tomu mezi zónami 2 a 3 nedochází k žádné kompenzaci a zbytková pozice v zóně 3 nabývá hodnoty 259,89 mil. Kč. Nakonec dochází ke kompenzaci zbytkové pozice v zónách 1 a 3. Kompenzována je celá pozice ze zóny 1 v hodnotě 31,23 mil. Kč a zůstane zbytková pozice v zóně 3 ve výši 228,66 mil. Kč.

Kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku metodou durací potom je vypočten dle následujícího vztahu:



$$KP = 0,05 \times A + 0,4 \times B + 0,3 \times (C + D) + 0,4 \times (E + F) + 1,5 \times G + |H| \quad (38)$$

kde A je součet kompenzovaných pozic v každém duračním pásmu, B, C a D jsou kompenzované úrokové pozice v zónách 1, 2 resp. 3, E je kompenzovaná úroková pozice mezi zónami 1 a 2, F je kompenzovaná pozice mezi zónami 2 a 3, G je kompenzovaná pozice mezi zónami 1 a 3, a konečně H je součet úrokových pozic v jednotlivých zónách zbývajících po všech kompenzacích.

Dosažením hodnot z tabulky do vztahu je získán kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku. Hodnota A nabývá výše 69,69 mil. Kč a hodnota H 228,66 mil. Kč. Hodnoty pro B, C, D, E, F a G jsou znázorněny v tabulce. Výsledný kapitálový požadavek je **305,03 mil. Kč**.

Opět je vypočítán i kapitálový požadavek na základě metody durací pro krizové období. Pro den 18. 9. 2009 by kapitálový požadavek dosahoval výše **220,75 mil. Kč**. Jeho menší hodnota je opět dána nižšími tržními cenami, kterými by byly oceněny nástroje modelového portfolia v daném období.

#### 4.2.3 Výpočet kapitálového požadavku založený na duraci dle Nařízení CRR

Nařízení CRR upravuje a zjednodušuje výpočet kapitálového požadavku k obecnému riziku založený na duraci. Tato změna byla rozebrána v kapitole 3.4.2.

Pro výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku je využita následující tabulka:

Tab. 19 Výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku metodou durací dle Nařízení CRR

Zóna	Modifikovaná durace	Předp. změna úr. měř	Vážená pozice		kompenzace					
			dlouhá	krátká	v časové		mezi sousedními		mezi krajními	
					komp.	zbytek	komp.	zbytek	komp.	zbytek
1	do 1 roku	1,00	2,50	-37,05	2,5	-34,6		-30,8		0
							B			
2	od 1 do 3,6 let	0,85	82,75	-78,98	79,0	3,8	3,8	0	D	0
									30,8	
3	nad 3,6 let	0,70	379,46	-85,15	85,1	294,3	C	294,3		263,5
							0			
Suma:			464,70	-201,18	A	H		H		H

Oproti metodě výpočtu kapitálového požadavku metodou durací stanovené Vyhláškou ČNB č. 123/2007, která obsahovala celkem patnáct duračních pásem, zjednodušuje Nařízení CRR tabulku na pouhé tři durační pásma – do 1 roku, od 1 roku do 3,6 let a nad 3,6 let. Durační pásma jsou totožná s duračními zónami.

Jednotlivé úrokové instrumenty jsou opět rozřazeny do duračních pásem dle jejich modifikovaných durací. Výpočet vážených pozic a kompenzování mezi zónami je stejné jako v předchozím případě.

Postup výpočtu je naznačen v tabulce. Vážené pozice jsou vypočteny jako součin tržních hodnot úrokových instrumentů jejich modifikovanými duracemi a předpokládanou změnou úrokové míry. Úrokové pozice v každé durační zóně se kompenzují. V zóně 1 je vážená dlouhá pozice 2,5 mil. Kč plně kompenzována váženou krátkou pozicí ve výši -37,05 mil. Kč. Zbytková pozice se rovná rozdílu mezi váženou dlouhou a váženou krátkou pozicí. Stejným způsobem jsou kompenzovány vážené pozice v zónách 2 a 3. Dále probíhají kompenzace mezi sousedními zónami. Mezi sousedními zónami 1 a 2 se kompenzuje celá dlouhá pozice ve výši 3,8 mil. Kč ze zóny 2. V zóně 1 tak zůstane zbytková pozice -30,8 mil. Kč, zóna 2 zůstane prázdná. Jelikož pozice v zóně 2 byla vykompenzována pozicí ze zóny 1, nedochází mezi zónami 2 a 3 k žádné kompenzaci. Zbytková pozice v zóně 3 je 294,3 mil. Kč. Konečně následuje poslední kompenzace mezi zónami 1 a 3. Krátká zbytková pozice -30,8 mil. Kč ze zóny 1 je plně kompenzována zbytkovou dlouhou pozicí v zóně 3 ve výši 294,3 mil. Kč. Zbytková pozice v zóně 1 zůstane nulová. Zbytková pozice v zóně 3 se rovná rozdílu dvou zbytkových pozic v zónách 1 a 3.

Vztah pro výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku dle úpravy podle CRR je následující:

$$KP = 0,02 \times A + 0,4 \times (B + C) + 1,5 \times D + |H| \quad (39)$$

Kde A je součet kompenzovaných pozic v každém duračním pásmu, B je kompenzovaná pozice mezi zónami 1 a 2, C je kompenzovaná pozice mezi zónami 2 a 3, D je kompenzovaná pozice mezi zónami 1 a 3, a H je součet úrokových pozic v jednotlivých zónách zbývajících po všech kompenzacích.

Jednotlivé hodnoty vypočtené v tabulce jsou dosazeny do vztahu. Hodnota A nabývá výše 166,6 mil. Kč a hodnota H 265,5 mil. Kč. Hodnoty A, B, C a D jsou vypočteny v tabulce. Výsledný kapitálový požadavek je **314,58 mil. Kč**.

Pro den 18.9.2009, který reprezentuje krizové období by kapitálový požadavek stanovený na základě durací dosahoval výše **246,86 mil. Kč**.

#### 4.2.4 Srovnání výsledků získaných na základě standardizovaných metod

V tabulce jsou vypočteny kapitálové požadavky pro modelové portfolio stanovené metodou splatností a metodami durací podle Vyhlášky ČNB a podle Nařízení CRR. Hodnoty kapitálového požadavku jsou stanoveny jak pro současné tržní podmínky, tak pro období velké finanční krize 2008/2009.

Tab. 20 Srovnání kapitálových požadavků vypočtených na základě standardizovaných metod

	2014	2009
Metoda splatností	255,04	214,14
Metoda durací ČNB	305,03	220,75
Metoda durací CRR	314,58	246,86

Hodnota kapitálového požadavku určeného metodou splatností je nižší než hodnoty stanovené durací. To platí pro aktuální tržní podmínky i pro krizové období. Tento rozdíl vzniká v důsledku nižší citlivosti metody splatností, která nebere do úvahy skutečné splatnosti nástrojů a skutečné kupónové sazby.

Na duraci založený výpočet kapitálového požadavku by měl být přesnější a citlivější. Na rozdíl od metody splatností počítá se skutečnými splatnostmi a se skutečnými kupónovými sazbami úrokových nástrojů. Původní výpočet kapitálového požadavku dle ČNB a nový výpočet podle Nařízení CRR dává velmi podobné výsledky. Kapitálový požadavek dle Nařízení je potom vždy o něco vyšší. Rozdíl by pravděpodobně byl markantnější, kdyby modelové portfolio obsahovalo více nástrojů s modifikovanou durací vyšší než pět let. Těmto totiž nový přístup přiřazuje vyšší koeficienty než by přiřazoval přístup původní.

Hodnota kapitálového požadavku, který by banky musely držet v krizovém období je nižší než jeho hodnota pro aktuální situaci na trhu. V době krize převládaly na trhu vyšší úrokové míry. Při výpočtu kapitálového požadavku jsou proto uvažovány nižší tržní ceny úrokových nástrojů modelového portfolia. Výpočet nezohledňuje vysokou nejistotu na trzích doprovázenou vyšší volatilitou a dochází tak k podhodnocení rizika. Naopak, při aktuálních tržních podmínkách a nízké volatilitě může být kapitálový požadavek zbytečně vysoký.

#### 4.2.5 Dílčí závěr

V této části byly srovnány kapitálové požadavky k obecnému úrokovému riziku stanovené pro modelové portfolio na základě standardizovaných metod – metody splatností a metody durací. Kapitálový požadavek stanovený metodou splatností je nižší než požadavek stanovený metodou durací. Důvodem je nižší citlivost metody splatností, která nezohledňuje skutečné doby do splatnosti a kupónové sazby úrokových nástrojů modelového portfolia

Dále byla provedena analýza dopadu Nařízení EP a Rady č. 575/2013, které upravuje výpočet kapitálového požadavku metodou durací. Kapitálový požadavek stanovený pro modelové portfolio dle Nařízení je vyšší než požadavek stanovený dle postupu definovaného Vyhláškou ČNB č. 123/2007 Sb. Odpověď na první výzkumnou otázku jaký má dopad Nařízení EP a Rady č. 575/2013 na stanovení kapitálového požadavku tedy zní: Nařízením EP a Rady č. 575/2013 se zjednodušuje výpočet kapitálového požadavku založený na duraci. Takto stanovený kapitálový požadavek je vyšší než při použití původního postupu. Rozdíl bude vyšší, čím více nástrojů s modifikovanou durací delší než 5,2 let bude v portfoliu obsaženo.

### 4.3 Výpočet kapitálového požadavku na základě interních modelů

V této části bude provedena komparace kapitálových požadavků k obecnému úrokovému riziku stanovených na základě interních modelů – metody historické simulace, metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo. Využitím těchto

metod budou stanoveny kapitálové požadavky pro modelové portfolio a následně budou porovnány. Na základě získaných výsledků bude zodpovězena druhá výzkumná otázka, jestli různé metody výpočtu kapitálového požadavku dávají rozdílné výsledky. Výpočet kapitálového požadavku bude proveden pro aktuální období roku 2014 i pro období světové finanční krize 2008/2009.

#### 4.3.1 Obecné požadavky regulátorů

Kapitálovému požadavku k obecnému úrokovému riziku pomocí interních metod se věnovala kapitola 3.4.3. Pro jeho výpočet je nutno nejdříve vypočítat tyto hodnoty: hodnotu VaR s dobou držení deset dní z předchozího dne, průměrnou denní hodnotu VaR za předchozích šedesát dní, multiplikační faktor  $M_c$ , naposledy stanovenou stresovou hodnotu VaR s dobou držení deset dní, průměrnou denní stresovou rizikovou hodnotu za předchozích šedesát dní a multiplikační faktor  $M_s$ .

Hodnoty VaR musí být vypočítány alespoň pro předchozích 250 obchodních dnů. Z předchozích šedesáti dnů je určena průměrná denní hodnota VaR a také stresová hodnota VaR. Hodnota VaR s dobou držení deset dní je dána přepočtem vynásobením jednodenního VaRu odmocninou z 10. Stejný postup je aplikován při výpočtu stresové VaR. Velikost multiplikačních faktorů závisí na počtu dní, ve kterých došlo k překročení odhadnuté hodnoty VaR jednodenní změnou hodnoty portfolio v předchozích 250 obchodních dnech.

Kapitálový požadavek je určen stejným způsobem ke dni 20. 11. 2014 a ke dni 18. 9. 2008. Tím bude umožněno srovnat kapitálové požadavky stanovené v období, kdy jsou úrokové míry na historických minimech a dochází k minimálním výkyvům, a kapitálové požadavky stanovené pro období světové finanční krize.

#### 4.3.2 Určení tržní ceny portfolio

Hodnota VaR se vždy stanovuje vzhledem k současné hodnotě portfolio, která by teoreticky měla být shodná s tržní hodnotou. Výpočet současných hodnot portfolio je základem všech tří metod VaR. Pro stanovení hodnoty VaR ke dni 19. 11. 2014 jsou proto nejprve vypočteny současné hodnoty nástrojů v portfoliu k tomuto dni.

Tab. 21 Výpočet současných hodnot portfolia ke dni 19. 11. 2014

Nástroj	Nominální hodnota v mil. Kč	Kupón	Splatnost	Současná hodnota v mil. Kč
1	1 500	1 %	2 měsíce	1 514,3
2	3 000	5 %	3 roky	3 411,0
3	2 500	7 %	4,75 let	3 304,8
4	3 000	9 %	10 let	5 308,9
5	-3 700	0,7 %	1 rok	-3 715,3
6	-3 000	2,5 %	3 roky	-3 187,65
7	-1 800	5 %	6 let	-2 266,23
Celkem	1 500			4 369,8

Současná hodnota druhého nástroje, tedy dlouhé pozice ve výši 3 000 mil. Kč se splatností 3 roky a kupónem 5 % je dána vztahem:

$$PV = C \times DF_1 + C \times DF_2 + (C + F) \times DF_3 \quad (40)$$

Po dosazení hodnot do rovnice je získána současná hodnota nástroje ve výši 3 411,0 mil. Kč.

$$PV = 150 \times 0,997163 + 150 \times 0,993063 + (150 + 3000) \times 0,988092 \quad (41)$$

Současná hodnota portfolia se rovná součtu současných hodnot všech instrumentů.

#### 4.3.3 Výpočet kapitálového požadavku metodou historické simulace

Obecný postup výpočtu hodnoty VaR metodou historické simulace, který byl popsán v kapitole 3.3.2. je nyní aplikován na modelové portfolio.

Prvním krokem je výpočet současné hodnoty modelového portfolia. V dalším kroku jsou vypočteny historické výnosové scénáře a ty jsou aplikovány na modelové portfolio. Jako vzorek historických scénářů slouží předchozích 250 obchodních dnů. Historické výnosy v některých obchodních dnech jsou zachyceny v tabulce.

Tab. 22 Historické změny hodnoty portfolia v procentech

Datum/Nástroj	1	2	3	4	5	6	7
1.8.2013	0	0,088	0,032	0,016	0,030	0,090	0,034
2.8.2013	0	0,02	-0,042	0,007	-0,001	0,020	0,030
...	...	...	...	...	...	...	...
18.11.2014	0	0,011	0,037	-0,059	-0,011	0,012	-0,062
19.11.2014	0	-0,072	-0,228	-0,371	-0,009	-0,074	-0,242

250 historických výnosových scénářů je aplikováno na modelové portfolio obsahující sedm úrokových nástrojů oceněných ke dni 19. 11. 2014. Výsledkem je 250 hypotetických výnosů, kterých by bylo dosaženo držením modelového portfolia po období 250 předchozích dnů.

Tab. 23 Změny hodnoty portfolia aplikováním historických scénářů

Datum	Výnos (mil Kč.)
1.8.2013	0,1546
2.8.2013	-1,5796
...	...
18.11.2014	-0,1282
19.11.2014	-21,5463

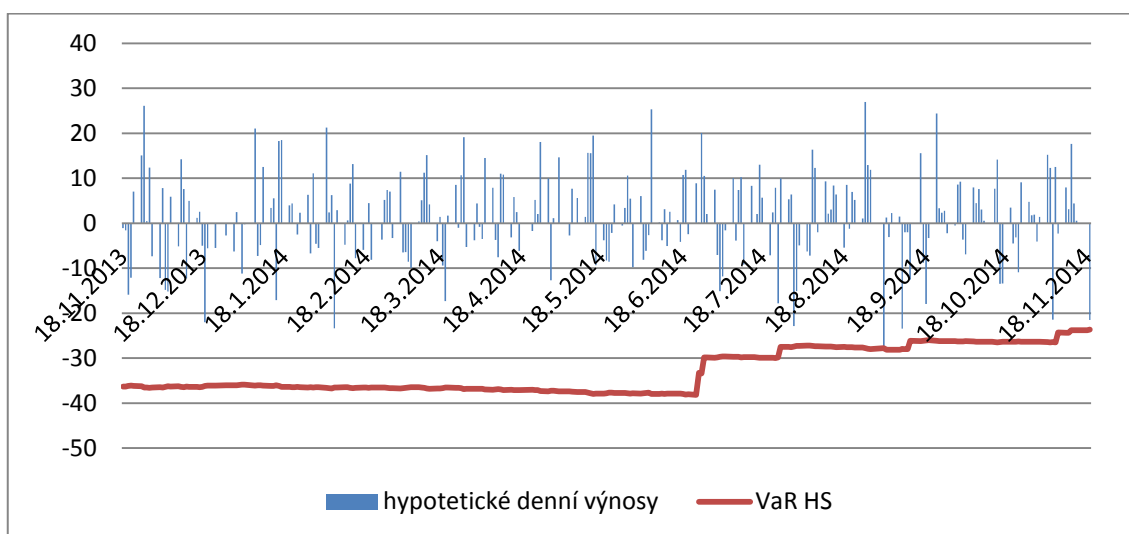
Denní hodnota VaR je určena jako 1% percentil. Ten odpovídá průměru 2. a 3. největší ztráty, případně pro jeho výpočet slouží funkce PERCENTIL, kterou nabízí MS Office Excel. Hodnota VaR je rovna **23,7 mil. Kč.**

Hodnota VaR s dobou držení deset dní je vypočtena konverzí z jednodenní hodnoty VaR.

$$VaR_{10d} = VaR_{1d} \times \sqrt{10} = 23,7 \times \sqrt{10} = 74,9 \text{ mil. Kč} \quad (42)$$

Výsledná hodnota VaR s dobou držení 10 dní pro den 19. 11. 2014 je **74,9 mil. Kč.**

Dalším krokem je výpočet průměrné denní hodnoty VaR z předchozích šedesáti obchodních dnů. Hodnoty VaR vypočtené pro předchozích šedesát obchodních dnů jsou jednoduše sečteny a poděleny 60. Průměrná výše hodnoty v riziku mezi dny 22. 8. 2014 a 19. 11. 2014 je 26,4 mil. Kč. Tato hodnota se dále násobí multiplikačním faktorem  $M_c$ , jehož velikost je závislá na počtu překročení.



Obr. 14 Hypotetické denní výnosy od 22. 8. 2013 – 19. 11. 2014 a odhadnutá hodnota VaR

V grafu je znázorněn vývoj hypotetických denních výnosů v předchozích 250 dnech v porovnání s odhadnutou hodnotou VaR. Překročení nastalo pouze v jednom případě. Pokud je počet překročení menší než pět, nedochází k navýšování multiplikačního faktoru plus faktorem. Multiplikační faktor se rovná hodnotě 3.

Tab. 24 Překročení za předchozích 250 obchodních dnů

Datum	Hypotetický výnos	Odhadnutá VaR
2. 9. 2014	-28,0 mil. Kč	-27,8 mil. Kč.

Průměrná hodnota VaR za předchozích šedesát obchodních dnů se násobí multiplikačním faktorem a výsledkem je hodnota ve výši **79,2 mil. Kč**.

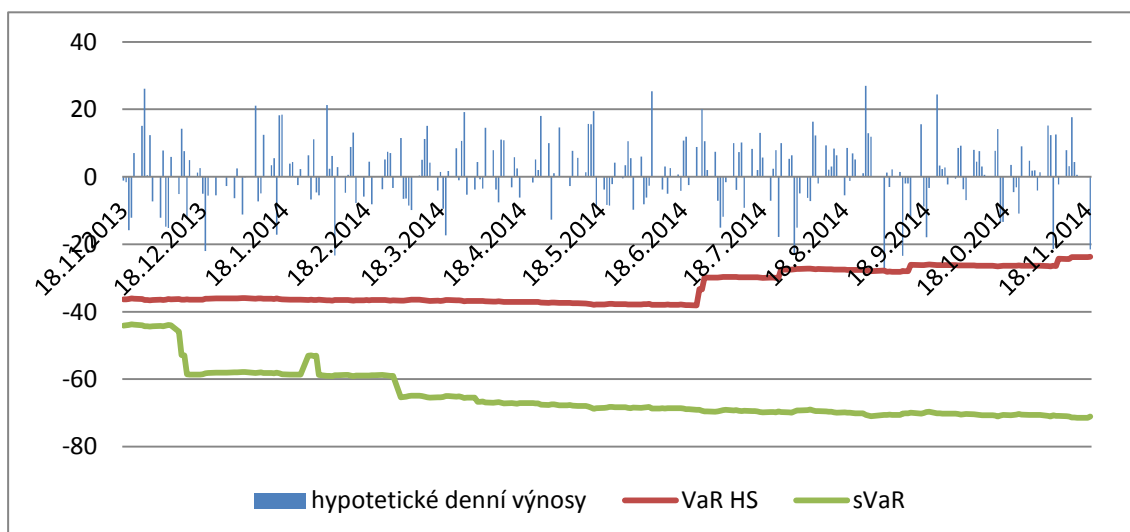
Pro výpočet stresové hodnoty VaR je využito datového vzorku historických výnosů, které nastaly během 250 obchodních dní v časovém horizontu od 1. 10. 2008 – 17. 9. 2009. Aplikací výnosových scénářů na současnou hodnotu modelového portfolia je získáno 250 hypotetických výnosů, kterých by bylo dosaženo držetím modelového portfolia ve zvoleném časovém horizontu. Dále je určena stresová hodnota VaR s dobou držení deset dnů, průměrná denní stresová hodnota VaR za předcházejících šedesát obchodních dnů a multiplikační faktor  $M_s$ , který je dán počtem překročení. Jednotlivé stresové hodnoty VaR jsou vypočtené v tabulce. K překročení odhadované stresové hodnoty VaR hypotetickými výnosy nedošlo ani v jednom případě. Multiplikační faktor se proto nenavýšuje o plus faktor a zůstává na hodnotě 3.

Tab. 25 Stresové hodnoty sVaR v mil. Kč

sVaR <sub>10d</sub>	224,5
Ø sVaR <sub>1d</sub>	70,6
M <sub>s</sub>	3,00
Ø sVaR <sub>1d</sub> × M <sub>s</sub>	218,8

Pro výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku se uvažuje vždy vyšší z hodnot – hodnota VaR s dobou držení deset dní, anebo průměrná denní hodnota VaR vynásobená multiplikačním faktorem. Vyšší z hodnot VaR vypočtených na základě historických výnosových scénářích z předchozích 250 obchodních dnů je průměrná hodnota VaR vynásobená multiplikačním faktorem, která nabývá hodnoty **79,2 mil. Kč**. Naopak u stresové VaR je vyšší z hodnot hodnota VaR s dobou držení deset dní ve výši **224,5 mil. Kč**.

Celkový kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku ke dni 20. 11. 2014 je potom určen jako součet obou hodnot a dosahuje výše **303,7 mil. Kč**.



Obr. 15 Hypotetické denní výnosy a odhadnutá hodnota VaR a sVaR

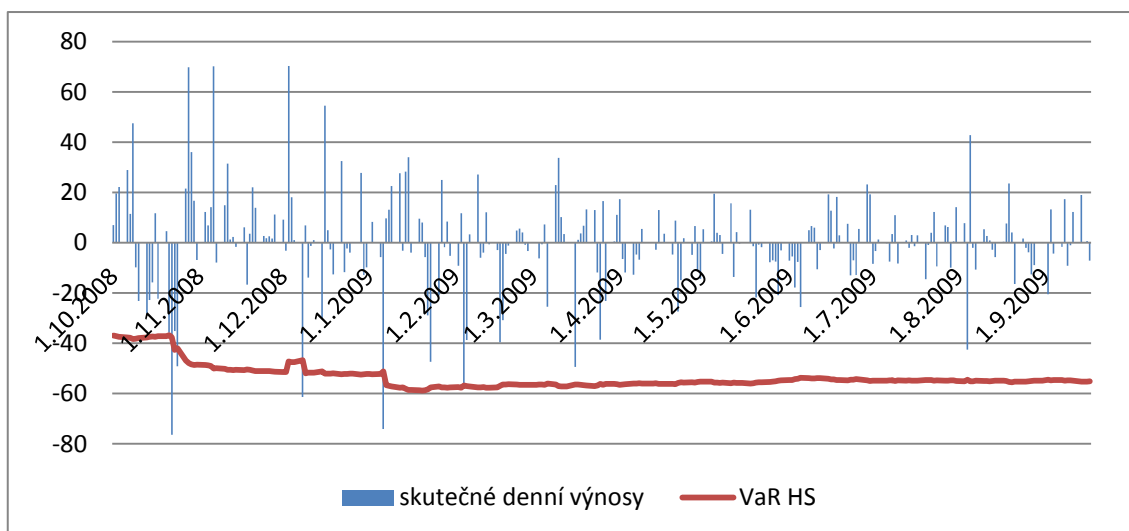
V grafu na obrázku 17 jsou znázorněny hypotetické denní výnosy, kterých by bylo dosaženo držením modelového portfolia po dané období. Znázorněna je také hodnota VaR i stresová hodnota sVaR. Stresová hodnota VaR nemá žádný vztah k hypotetickým denním výnosům, kterých bylo dosaženo v nedávné minulosti, a nereflektuje současnou tržní situaci. Přesto stresová hodnota VaR tvoří více než 2/3 celkového kapitálového požadavku.

Kapitálový požadavek pro den 18. 9. 2009, který by banky musely splnit při uplatnění aktuálních požadavků regulátorů by byl stanoven ve výši **348,4 mil. Kč**. Hodnota VaR pro účely stanovení kapitálového požadavku pro den 17. 9. 2009 dosahuje výše 174,2 mil. Kč. Hodnota stresového VaRu je potom



totožná, jelikož za období velké finanční zátěže je považováno právě předchozích 250 obchodních dní.

Vývoj odhadované hodnoty VaR a hypotetické denní výnosy v období let 2008 a 2009 ukazuje graf.



Obr. 16 Hypotetické denní výnosy a odhadovaná hodnota VaR

I přes velké cenové výkyvy, kterými se vyznačovalo krizové období roku 2008/2009, je odhad hodnoty VaR metodou historické simulace relativně přesný. K překročení došlo pouze v pěti případech na počátku sledovaného období.

#### 4.3.4 Výpočet kapitálového požadavku metodou variancí a kovariancí

Obecnému postupu pro výpočet hodnoty VaR metodou variancí a kovariancí byla věnována kapitola 3.3.1.

Prvním krokem je výpočet variančně kovarianční matice VCV. Nejprve je určena korelační matice C pro úrokové míry nástrojů se splatnostmi 2 měsíce, 9 měsíců, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 a 10 let. Dále je určena také diagonální matice V, kde hlavní diagonála obsahuje cenové volatility hodnot jednotlivých úrokových měr a ostatní pozice obsahují nuly. Tato matice se dále vynásobí hodnotou 2,33, která je rovna hodnotě distribuční funkce normálního rozdělení pro hladinu spolehlivosti 99 %. Korelační matice i matice volatility jsou vypočteny z hodnot z předchozích 250 obchodních dnů tj. 18. 11. 2013 – 19. 11. 2014.

Tab. 26 Korelační matice C

	2M	9M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	6Y	7Y	8Y	9Y	10Y
2M	1,000	-0,068	-0,098	-0,011	0,012	0,053	-0,047	-0,150	-0,165	0,032	-0,035	-0,095
9M	-0,068	1,000	0,975	0,482	0,366	0,433	0,367	0,419	0,401	0,326	0,330	0,346
1Y	-0,098	0,975	1,000	0,557	0,437	0,507	0,446	0,493	0,462	0,382	0,388	0,416
2Y	-0,011	0,482	0,557	1,000	0,873	0,700	0,519	0,564	0,504	0,479	0,484	0,492
3Y	0,012	0,366	0,437	0,873	1,000	0,737	0,589	0,550	0,482	0,466	0,479	0,484
4Y	0,053	0,433	0,507	0,700	0,737	1,000	0,786	0,776	0,714	0,716	0,730	0,728
5Y	-0,047	0,367	0,446	0,519	0,589	0,786	1,000	0,754	0,714	0,705	0,703	0,713
6Y	-0,150	0,419	0,493	0,564	0,550	0,776	0,754	1,000	0,904	0,835	0,850	0,917
7Y	-0,165	0,401	0,462	0,504	0,482	0,714	0,714	0,904	1,000	0,901	0,876	0,828
8Y	0,032	0,326	0,382	0,479	0,466	0,716	0,705	0,835	0,901	1,000	0,946	0,836
9Y	-0,035	0,330	0,388	0,484	0,479	0,730	0,703	0,850	0,876	0,946	1,000	0,895
10Y	-0,095	0,346	0,416	0,492	0,484	0,728	0,713	0,917	0,828	0,836	0,895	1,000

Korelační matice představuje míry závislosti mezi jednotlivými vrcholy. Vyšší korelační koeficienty značící vyšší míru závislosti jsou pozorovány mezi sousedními vrcholy. S rostoucí vzdáleností vrcholů klesá i míra závislosti mezi nimi. Například vrchol se splatností 5 let je nejvíce korelován se sousedními vrcholy se splatnostmi 4 a 6 let.

Tab. 27 Matice volatilit V vynásobená hodnotou 2,33 v procentech

	2M	9M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	6Y	7Y	8Y	9Y	10Y
2M	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9M	0	0,014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1Y	0	0	0,023	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2Y	0	0	0	0,081	0	0	0	0	0	0	0	0
3Y	0	0	0	0	0,148	0	0	0	0	0	0	0
4Y	0	0	0	0	0	0,200	0	0	0	0	0	0
5Y	0	0	0	0	0	0	0,265	0	0	0	0	0
6Y	0	0	0	0	0	0	0	0,385	0	0	0	0
7Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0,501	0	0	0
8Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,554	0	0
9Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,622	0
10Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,700

V diagonální matici jsou na diagonále vyznačené cenové volatilita pro jednotlivé vrcholy. Nástroje s delší dobou do splatnosti jsou rizikovější a vyznačují se vyšší volatilitou. Naopak nástroje s nižší dobou do splatnosti jsou méně volatilní.

Dalším krokem je výpočet kovarianční matice VCV. Matice volatilit V je nejprve vynásobena korelační maticí C a takto vzniklá matice je opět vynásobena maticí V.

Tab. 28 Kovarianční matice VCV v procentech

	2M	9M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	6Y	7Y	8Y	9Y	10Y
2M	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9M	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1Y	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001
2Y	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003
3Y	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005
4Y	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0004	0,0004	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009	0,0010
5Y	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0004	0,0007	0,0008	0,0009	0,0010	0,0012	0,0013
6Y	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0003	0,0006	0,0008	0,0015	0,0017	0,0018	0,0020	0,0025
7Y	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0004	0,0007	0,0009	0,0017	0,0025	0,0025	0,0027	0,0029
8Y	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0004	0,0008	0,0010	0,0018	0,0025	0,0031	0,0033	0,0032
9Y	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0004	0,0009	0,0012	0,0020	0,0027	0,0033	0,0039	0,0039
10Y	0,0000	0,0000	0,0001	0,0003	0,0005	0,0010	0,0013	0,0025	0,0029	0,0032	0,0039	0,0049

Posledním krokem už je vlastní výpočet hodnoty VaR. Kovarianční matice VCV je vynásobena maticí CF, která obsahuje současné hodnoty peněžních toků ke dni 19. 11. 2014. Výsledkem je matice VCVCF. Tato matice je zleva vynásobena transponovanou maticí CF' a výsledkem je matice typu  $1 \times 1$  CF'VCVCF. Hodnotu VaR získáme jako druhou odmocninu CF'VCVCF.

Tab. 29 Matice současných hodnot peněžních toků CF ke dni 19. 11. 2014

2M	1514,3
9M	174,6
1Y	-3418,1
2Y	426,2
3Y	424,0
4Y	950,6
5Y	2142,7
6Y	-1559,7
7Y	256,6
8Y	252,7
9Y	248,2
10Y	2945,1

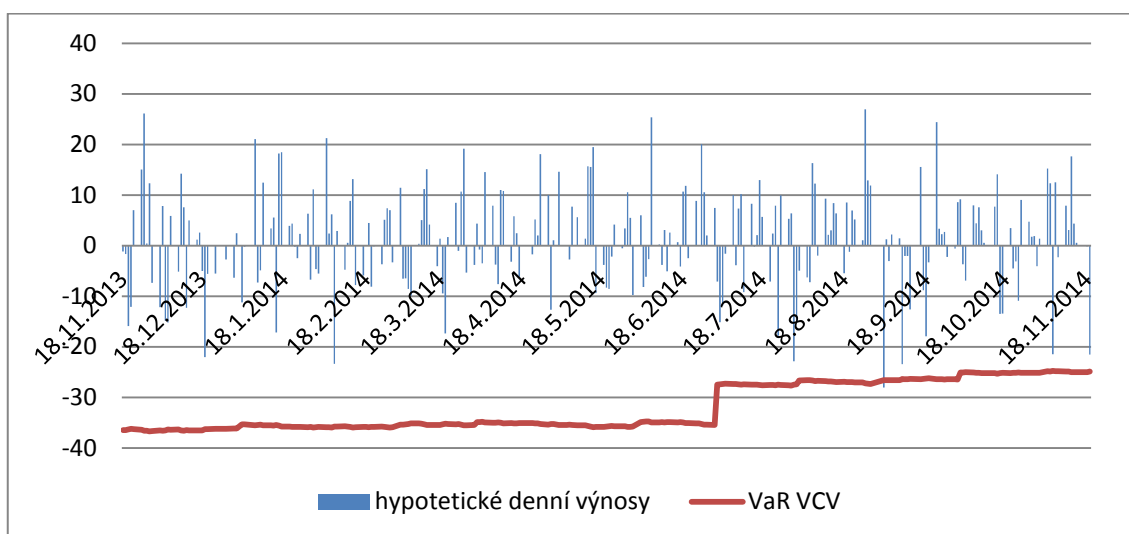
Tab. 30 Matice VCVCF

-0,0000113
0,0011966
0,0024322
0,0110252
0,0208008
0,0400496
0,0543801
0,0864177
0,1054939
0,1207310
0,1425066
0,1702858

Tab. 31 Matice CF'VCVCF

619,6564
----------

Hodnota VaR pro den 19.11.2014 má velikost **24,9 mil. Kč**. Přepočtem z jednodenní hodnoty VaR je určen VaR s dobou držení deset dnů o velikosti **78,7 mil. Kč**. Stejným způsobem jsou určeny hodnoty VaR pro všech předchozích 250 obchodních dnů. Hypotetické výnosy a odhadnuté hodnoty VaR jsou znázorněny v grafu.



Obr. 17 Hypotetické denní výnosy a hodnota VaR určená metodou variancí a kovariancí

Je pozorováno pouze jedno překročení, proto nedochází k navyšování multiplikačního faktoru  $M_c$ . Hodnoty VaR zjištěné aplikováním historických výnosových scénářů z předchozích 250 obchodních dnů jsou vypočteny v tabulce.

Tab. 32 Hodnoty VaR metodu VCV v mil. Kč.

$VaR_{10d}$	78,7
$\emptyset VaR_{1d}$	25,7
$M_c$	3,00
$\emptyset VaR_{1d} \times M_c$	77,1

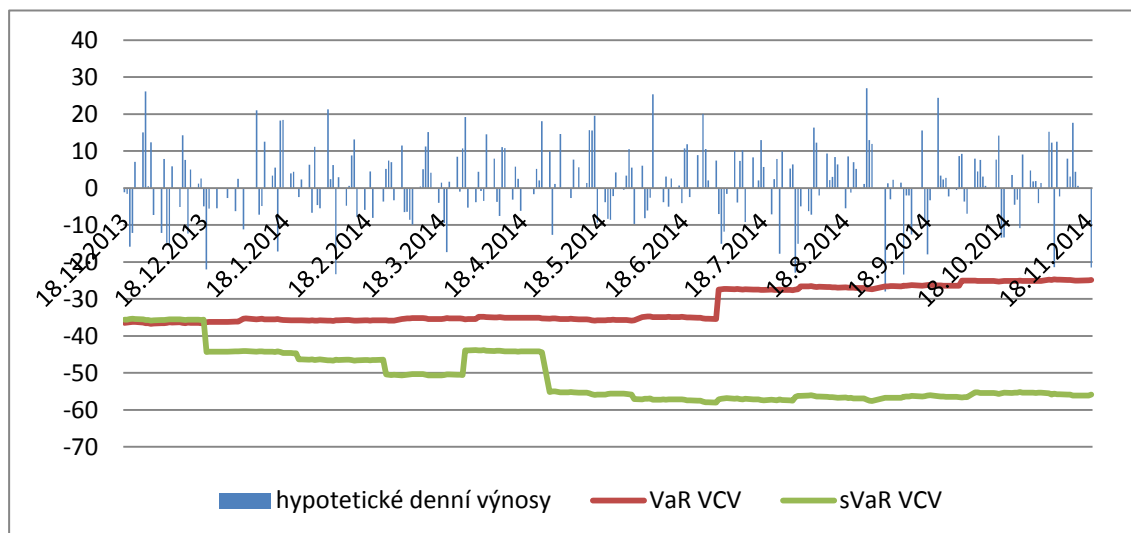
Dále je vypočítána také stresová hodnota VaR. Postup je shodný s postupem popsáním výše. Korelační matice i matice volatilit jsou odvozeny z historických výnosů z období 1. 10. 2008 - 17. 9. 2009. Je vypočtena kovarianční matice, která je aplikována na současné portfolio. Výsledkem je stresová hodnota sVaR.

Jednotlivé stresové hodnoty VaR jsou vypočteny v tabulce č. 33. K překročení nedošlo ani v jednom případě, proto multiplikační faktor zůstává na hodnotě 3.

Tab. 33 Stresové hodnoty sVaR metodu VCV

$sVaR_{10d}$	176,8
$\emptyset sVaR_{1d}$	56,1
$M_s$	3,0
$\emptyset sVaR_{1d} \times M_s$	168,3

Kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku je určen jako součet vyšších z hodnot  $\text{VaR}_{10d}$  a  $\emptyset \text{ VaR}_{1d} \times M_s$  a  $\text{sVaR}_{10d}$  a  $\emptyset \text{ sVaR}_{1d} \times M_s$ . Takto vypočítaný kapitálový požadavek pro den 20. 11. 2014 je roven hodnotě **255,5 mil. Kč**.

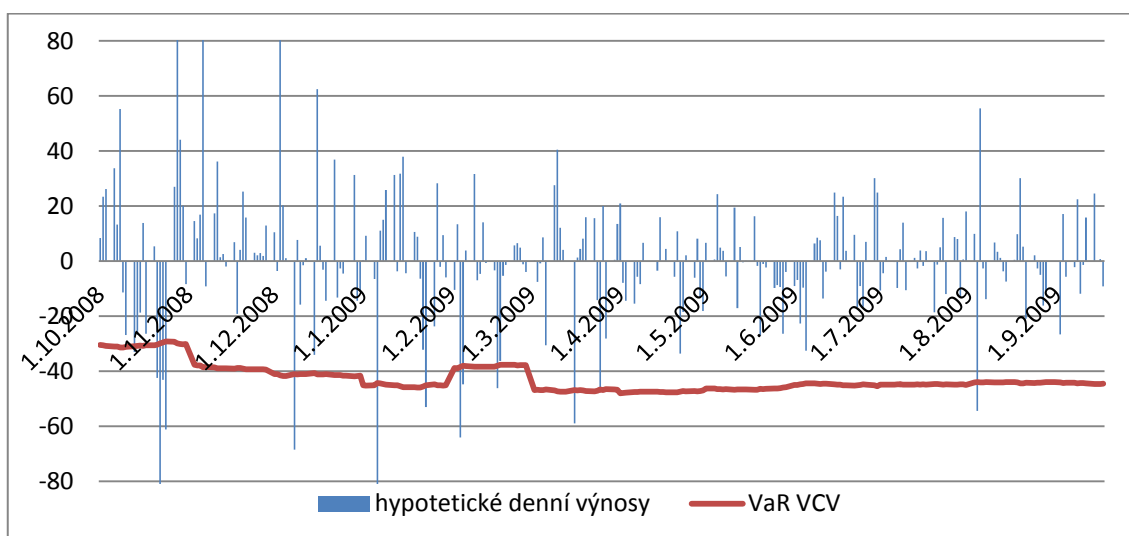


Obr. 18 Hypotetické denní výnosy a stresová hodnota sVaR určená metodou variancí a kovariancí

Výše jsou znázorněny hypotetické denní výnosy a dále hodnota VaR i stresová hodnota sVaR, které jsou vypočítané na základě metody variancí a kovariancí. Skoky v odhadované hodnotě VaR i sVaR, ke kterým dochází přibližně v 21 denních intervalech jsou zapříčiněny měsíční aktualizací kovarianční matice. Stanovení kovarianční matice pro každý den je časově náročné a má jen malý dopad na výslednou hodnotu VaR. Regulátoři požadují aktualizaci datových souborů nejméně jednou za měsíc.

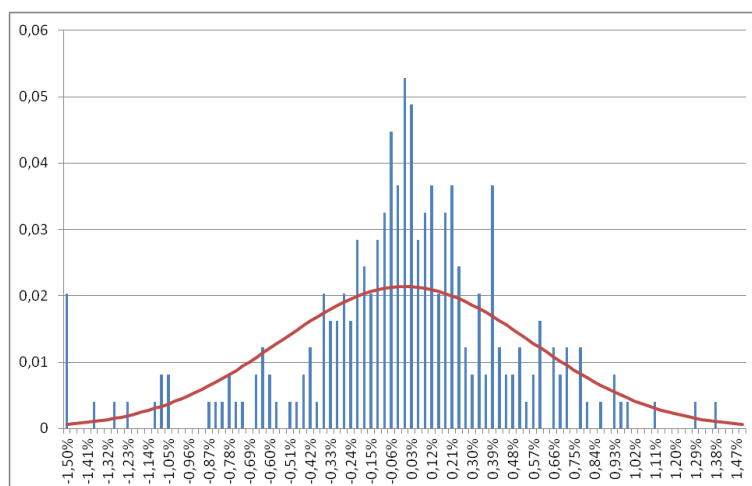
Opět je určen i kapitálový požadavek pro den 18. 9. 2008. Jeho hodnota se při splnění aktuálních požadavků regulátorů rovná **356,2 mil. Kč**.

Hodnoty VaR i sVaR pro den 17. 9. 2009 dosahují výše 44,53 mil. Kč. Ty dále násobíme multiplikačním faktorem 4, který je dán velkým počtem překročení. Vývoj odhadované hodnoty VaR vypočtené metodou variancí a kovariancí a hypotetické denní výnosy v období let 2008 a 2009 jsou znázorněny v grafu.

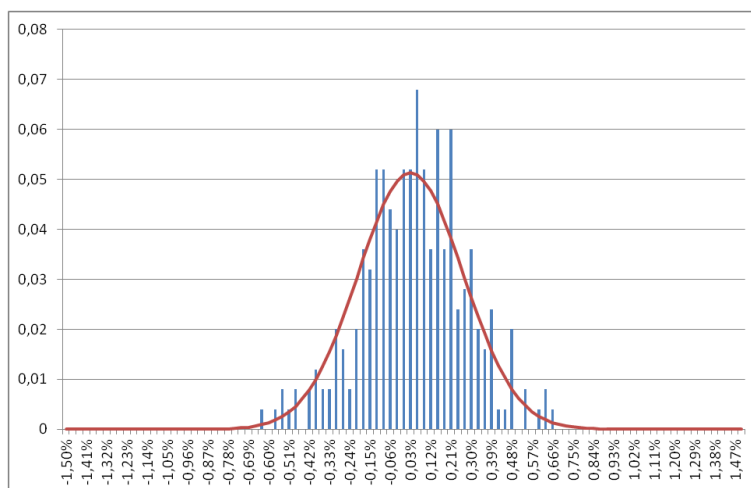


Obr. 19 Hypotetické denní výnosy a odhadovaná hodnota VaR určená metodou variancí a kovariancí

Model založený na variancích a kovariancích v období vysoké volatility nevytváří moc přesné odhady hodnoty VaR. Ve sledovaném období je pozorováno celkem jedenáct překročení. Takto velký počet překročení navyšuje multiplikační faktor na jeho maximální velikost a může vést až k zamítnutí modelu. Důvodem je zřejmě předpoklad normality rozdělení výnosů portfolia. Pokud se empiricky zjištěné rozdělení výnosů značně odlišuje od normálního rozdělení, může model vést k podhodnocování rizika. Obrázky 20 a 21 zobrazují histogramy výnosů portfolia v období finanční krize a v období roku 2014. Výnosy portfolia v období roku 2014 poměrně přesvědčivě následují normální rozdělení. Naopak výnosy v období finanční krize naznačují větší šikmost i špičatost než udává normální rozdělení. Pozorovány jsou také výrazné tlusté konce v ocasu rozdělení. Předpoklad normality rozdělení při výpočtu hodnoty VaR pro modelové portfolio potom vede k podhodnocení rizika.



Obr. 20 Empiricky zjištěné rozdělení zisků a ztrát portfolia v období finanční krize 2008/2009 a normální rozdělení



Obr. 21 Empiricky zjištěné rozdělení zisků a ztrát portfolia v období roku 2014 a normální rozdělení

#### 4.3.5 Výpočet kapitálového požadavku metodou Monte Carlo

Obecný postup výpočtu hodnoty VaR metodou Monte Carlo byl popsán v kapitole 3.3.3. V následujících odstavcích je tento postup aplikován. Při výpočtu je využit software NtRand 3.3. Jedná se o volně dostupný doplněk k Microsoft Office Excel. NtRand 3.3 umožňuje generování náhodných čísel na základě různých typů pravděpodobnostního rozdělení, včetně normálního. Software umožňuje také snadné generování korelovaných náhodných čísel pro data obsahující více proměnných.

Výpočet hodnoty VaR pomocí metody Monte Carlo s využitím doplňku NtRand je následující. Nejprve je vypočtena kovarianční matice denních cenových změn bezkupónových dluhopisů se splatnostmi 2M, 9M, 1Y, 2Y, 3Y, 4Y, 5Y, 6Y, 7Y, 8Y, 9Y a 10Y. Kovarianční matice je odvozena z hodnot z předchozích 250 obchodních



dnů. Postup sestavování kovarianční matice byl již popsán u metody variancí a kovariancí. Výpočet kovarianční matice umožňuje i software NtRand. Po nainstalování tohoto doplňku se v programu Microsoft Office Excel zpřístupní funkce NtMultiCovarp. Jako vstupní hodnoty funkce slouží denní cenové změny pro zvolené období 250 předchozích obchodních dnů. Výstupem funkce jsou potom střední hodnoty denních změn pro jednotlivé splatnosti a kovarianční matice.

Dalším krokem je generování velkého množství náhodných hodnot denních cenových změn. Ve výpočtu bude pro každý den generováno celkem 10 000 náhodných scénářů cenových změn. K tomuto účelu je opět využit doplněk NtRand. Tentokrát je zvolena funkce NtRandMultiNorm. Vstupními parametry funkce je počet uvažovaných generovaných náhodných čísel, kovarianční matice a střední hodnoty. Výstupem je potom 10 000 hodnot denních cenových změn pro každou splatnost.

Tab. 34 Vygenerované náhodné denní cenové změny v procentech

	2M	9M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	6Y	7Y	8Y	9Y	10Y
1	- 0,0048	- 0,0563	- 0,0923	- 0,2012	- 0,5474	- 0,7139	- 0,8598	- 0,8452	- 1,0121	- 1,0601	- 1,1089	- 1,0667
2	0,0111	0,1467	0,1790	0,2245	0,2547	0,1826	0,2626	0,4268	0,7113	0,5879	0,8682	1,0861
3	- 0,0065	- 0,0085	- 0,0009	- 0,0683	- 0,1309	- 0,0754	- 0,0012	- 0,0228	- 0,1639	- 0,1240	- 0,3124	- 0,3465
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9998	- 0,0053	- 0,0321	- 0,0635	- 0,1883	- 0,1610	- 0,2273	- 0,2996	- 0,4146	- 0,4072	- 0,2644	- 0,3782	- 0,4239
9999	- 0,0103	- 0,0729	- 0,1034	- 0,0096	- 0,1421	- 0,1098	- 0,1188	- 0,2347	- 0,1596	- 0,2727	- 0,3518	- 0,4539
10000	- 0,0024	- 0,0525	- 0,0966	- 0,1755	- 0,2776	- 0,2542	- 0,3432	- 0,2959	- 0,1589	- 0,0167	- 0,1924	- 0,5945

Vygenerované denní cenové změny pro jednotlivé vrcholy výnosové křivky nejsou prostými náhodnými čísly, ale je možno pozorovat jakýsi vztah mezi vygenerovanými změnami v rámci jednoho scénáře. Díky simulaci náhodných hodnot na základě kovarianční matice jsou ve výpočtu zachovány jak volatility pro jednotlivé splatnosti, tak korelace mezi těmito splatnostmi.

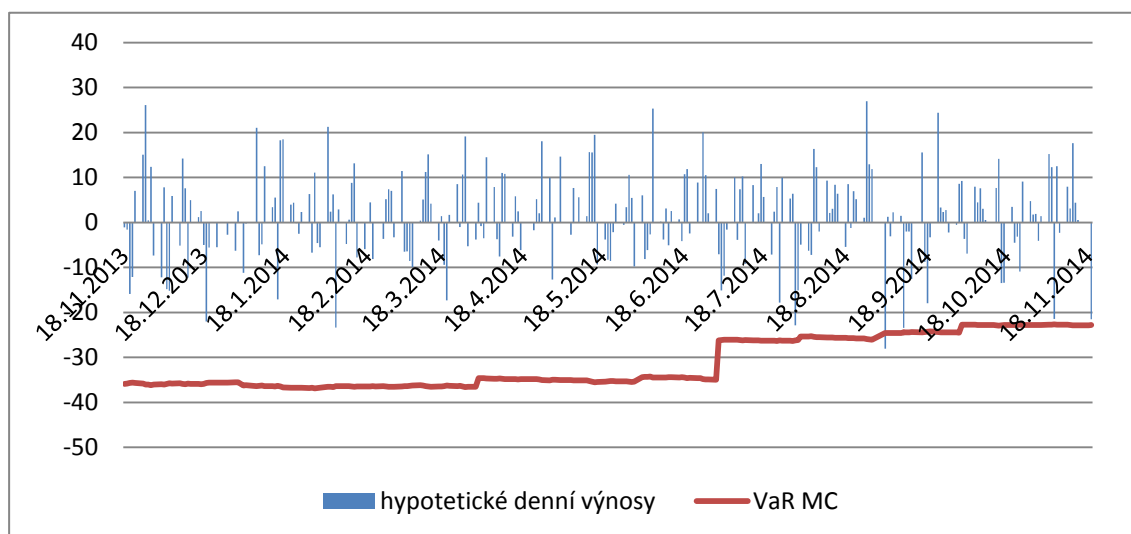
V dalším kroku jsou jednotlivé nasimulované scénáře denních cenových změn aplikovány na současné portfolio, čímž je získáno 10 000 hypotetických scénářů denních změn hodnoty portfolia.

Tab. 35 Změny hodnoty portfolia aplikováním náhodně simulovaných scénářů

Scénář	Výnos (mil Kč.)
1	-51,80
2	34,64
3	11,11
...	...
9 998	19,22
9 999	14,16
10 000	-28,84

Těchto 10 000 hypotetických změn portfolia je seřazeno od největší po nejmenší. Denní hodnota VaR je určena jako 100. největší ztráta. Shodného výsledku je dosaženo také použitím funkce PERCENTIL. Pro den 19. 11. 2014 je hodnota VaR **22,8 mil. Kč.**

Stejný postup platí pro výpočet hodnot VaR i pro předchozích 250 obchodních dnů. Vývoj hypotetických denních změn a hodnoty VaR odhadnuté metodou Monte Carlo je znázorněn v grafu na obrázku.



Obr. 22 Hypotetické výnosy a odhadovaná hodnota VaR metodou Monte Carlo

V modelovém portfoliu došlo k překročení odhadnuté hodnoty VaR určené metodou Monte Carlo pouze v jednom případě. Hodnoty VaR vstupující do výpočtu kapitálového požadavku shrnuje tabulka.

Tab. 36 Hodnoty VaR metodou Monte Carlo v mil. Kč.

VaR <sub>10d</sub>	72,1
∅ VaR <sub>1d</sub>	23,61
M <sub>c</sub>	3,00
∅ VaR <sub>1d</sub> × M <sub>c</sub>	70,8

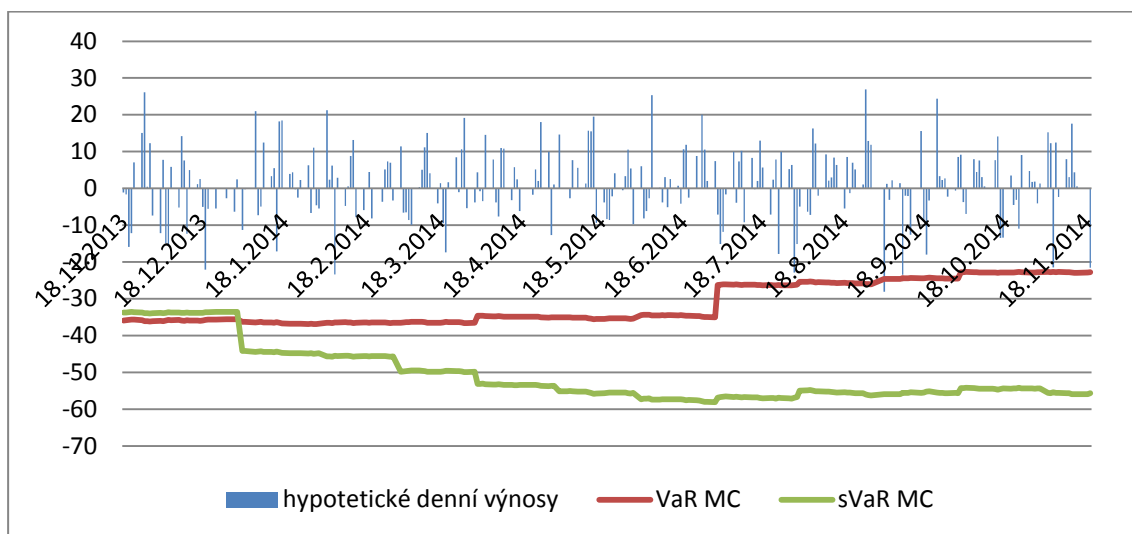
Dále je určen také stresový VaR. Kovarianční matice je sestavena na základě denních cenových změn, které nastaly v období zvýšené finanční zátěže. Takto sestavená kovarianční matice je vstupním údajem pro funkci NtRandMultiNorm, pomocí které je vygenerováno 10 000 náhodných denních cenových scénářů pro jednotlivé vrcholy výnosové křivky. Při generování náhodných čísel touto funkcí jsou zohledněny volatilita a korelace platné ve zvoleném období velké finanční zátěže.

Scénáře výnosů jsou aplikovány na současnou hodnotu portfolia a výsledkem je 10 000 scénářů cenových změn. Denní hodnotu VaR získáme určením 1% percentilu. Stresové hodnoty VaR pro výpočet kapitálového požadavku jsou vypočteny v tabulce.

Tab. 37 Stresové hodnoty sVaR metodou Monte Carlo

sVaR <sub>10d</sub>	176,1
∅ sVaR <sub>1d</sub>	55,2
M <sub>s</sub>	3,00
∅ sVaR <sub>1d</sub> × M <sub>s</sub>	165,6

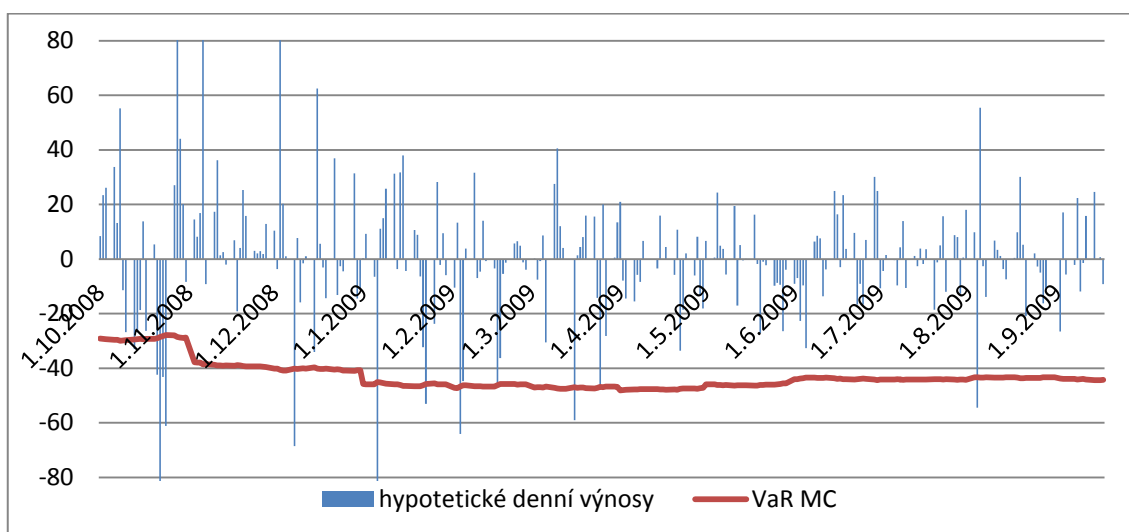
Kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku určíme jako součet vyšších z hodnot: VaR<sub>10d</sub> a ∅ VaR<sub>1d</sub> × M<sub>s</sub> anebo sVaR<sub>10d</sub> a ∅ sVaR<sub>1d</sub> × M<sub>s</sub>. Výsledná hodnota kapitálového požadavku je **248,2 mil. Kč**.



Obr. 23 Denní výnosy od 1. 10. 2008 – 17. 9. 2009 a odhadnutá stresová hodnota sVaR

Vývoj hypotetických cenových změn modelového portfolia a odhadované stresové hodnoty sVaR je zobrazen na obrázku. Výsledné hodnoty VaR stanovené metodou Monte Carlo jsou velmi blízké hodnotám VaR stanoveným metodou variancí a kovariancí. Pozorované skoky v hodnotách VaR i sVaR jsou taktéž důsledkem měsíčního aktualizování kovarianční matice, na základě které jsou scénáře simulovány.

Opět je určen i kapitálový požadavek pro den 18. 9. 2008. Jeho hodnota se při splnění aktuálních požadavků regulátorů rovná **353,6 mil. Kč**. Hodnota VaR i sVaR dosahuje výše 44,2 mil. Kč, kterou dále násobíme multiplikačním faktorem 4 daným velkým počtem překročení.



Obr. 24 Hypotetické denní výnosy a odhadovaná hodnota VaR

Model založený na metodě Monte Carlo je stejně jako model založený na metodě variancí a kovariancí velmi nepřesný. V období finanční krize by došlo k celkem dvanácti překročením. Důvodem je opět předpoklad normality rozdělení, ze kterého metoda vychází.

#### 4.3.6 Srovnání výsledků získaných na základě interních modelů

Tabulka zachycuje jednotlivé hodnoty VaR vypočtené různými metodami ke dni 19. 11. 2011. Jako vstupní údaje pro výpočet byl použit datový vzorek z 250 předchozích obchodních dnů.

Tab. 38 Srovnání hodnot VaR vypočtených různými metodami

	Historická simulace	Variance kovariance	Monte Carlo
VaR <sub>1d</sub>	23,7	24,9	22,8
VaR <sub>10d</sub>	74,9	78,7	72,1
∅ VaR <sub>1d</sub>	26,4	25,7	23,6
∅ VaR <sub>1d</sub> × M <sub>c</sub>	79,2	77,1	70,8
Překročení	1	1	1
sVaR <sub>10d</sub>	224,5	176,8	176,1
∅ sVaR <sub>1d</sub> × M <sub>s</sub>	218,8	168,3	165,6

Jednotlivé metody VaR produkují pro modelové portfolio při aktuálních tržních podmínkách s relativně nízkou volatilitou velmi podobné odhady hodnot VaR. Modely je také možno označit za velmi přesné. U každé z metod pozorujeme pouze jedno překročení z celkem 250 odhadů.

Ve výše uvedené tabulce jsou srovnány také stresové hodnoty sVaR. Výsledné odhady stresové hodnoty sVaR na základě metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo jsou velmi podobné. Zjištěna je však výrazně vyšší stresová hodnota sVaR určená metodou historické simulace. Rozdíl je způsoben pravděpodobně rozdílnými předpoklady o rozdělení. Zatímco historická simulace vychází z empiricky zjištěného rozdělení, metoda variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo jsou založeny na předpokladu normálního rozdělení. Předpoklad normálního rozdělení nezachycuje tzv. tlusté konce v ocasu rozdělení neboli „fat tails“ a může vést k podhodnocení rizika.

Tab. 39 Srovnání hodnot VaR vypočtených různými metodami pro krizové období 2008/2009

	Historická simulace	Variance kovariance	Monte Carlo
VaR <sub>1d</sub>	55,1	44,5	44,2
Překročení	5	11	12
Ø VaR <sub>1d</sub> × M <sub>C</sub>	174,2	178,1	176,8

Ke stejnému problému podhodnocení rizika dochází při výpočtu hodnot VaR v krizovém období 2008/2009. Hodnoty VaR určené metodou variancí a kovariancí a metodou simulace Monte Carlo jsou nižší než hodnoty VaR určené metodou historické simulace. Ta produkuje nejpřesnější odhady a eviduje pouze pět překročení. Naopak metody variance a kovariance a simulace Monte Carlo evidují celkem 11, respektive 12 překročení. Výsledná hodnota VaR, která vstupuje do výpočtu kapitálového požadavku je téměř totožná pro všechny metody. Nižší odhad hodnoty VaR a velký počet překročení pozorovaný u metod variance a kovariance a simulace Monte Carlo je potrestán maximální hodnotou multiplikačního faktoru, čímž dochází ke srovnání výsledků.

Dále jsou uvedeny kapitálové požadavky určené na základě využití interních modelů. Hodnoty kapitálového požadavku jsou vypočteny pro aktuální tržní podmínky a pro období velké finanční krize.

Tab. 40 Srovnání kapitálových požadavků stanovených na základě interních modelů

	2014	2009
Historická simulace	303,7	348,4
Variance a kovariance	255,5	356,2
Monte Carlo	248,2	353,6

Interní modely založené na výpočtu hodnoty VaR stanoví velmi podobné nároky na kapitálový požadavek k obecnému úrokovému riziku v období finanční krize. Kapitálový požadavek stanovený na základě historické simulace, metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo má hodnotu okolo 350 mil. Kč.

Pro období roku 2014 dávají různé metody různé výsledné hodnoty kapitálového požadavku. Kapitálový požadavek stanovený na základě historické simulace je výrazně vyšší než požadavky stanovené na základě metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo, které nabývají přibližně stejných hodnot. Důvodem je podhodnocení rizika z důvodu předpokladu normality rozdělení, který při výpočtu činí tyto dvě metody.

#### 4.3.7 Dílčí závěr

Z modelového portfolia odhadnuté hodnoty VaR pro aktuální období roku 2014 získané na základě metody historické simulace, metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo jsou téměř shodné. Rozdílné výsledky jsou pak pozorovány v odhadnutých stresových hodnotách VaR počítaných na základě období velké finanční zátěže 2008/2009. Metoda historické simulace produkuje výrazně vyšší stresovou hodnotu VaR než metoda variancí a kovariancí a Monte Carlo simulace. Odhad metodou historické simulace je přesnější, jelikož nečiní žádné předpoklady o rozdělení výnosů portfolia, ale využívá empiricky zjištěné rozdělení. Metoda variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo při výpočtu činí předpoklad normálního rozdělení výnosů portfolia. Skutečné rozdělení výnosů portfolia v období finanční krize se však vyznačuje vyšší špičatostí a obsahuje tzv. tlusté konce. U metod založených na předpokladu normality rozdělení pak v tomto období dochází k podhodnocení rizika. Výše zmíněný rozdíl se projevuje i při stanovení kapitálového požadavku. Ten má největší hodnotu při použití metody historické simulace. Nižší kapitálový požadavek je dán při použití metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo, kdy oba výsledky dosahují podobných hodnot.

V případě odhadů hodnoty VaR v období krize 2008/2009 je pozorován podobný výsledek jako v případě odhadů stresové hodnoty VaR pro období roku 2014. Nejvyšší odhady produkuje metoda historické simulace vycházející z empiricky zjištěného rozdělení výnosů portfolia. Odhady VaR metodou variancí a kovariancí a simulací Monte Carlo jsou podhodnocené. Důvodem je učiněný předpoklad o normalitě rozdělení, které se od skutečně zjištěného rozdělení liší a obsahuje tlusté konce. Všechny tři metody však stanoví téměř shodný kapitálový požadavek. Podhodnocené hodnoty VaR odhadnuté metodou variancí a kovariancí a simulací Monte Carlo se z důvodu velkého množství překročení násobí maximálním multiplikačním faktorem.

Na základě získaných výsledků můžeme zodpovědět druhou výzkumnou otázku, jestli se liší hodnoty kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku vypočítané různými metodami. Může docházet k výraznějším odchylkám při stanovení kapitálového požadavku různými metodami, zejména pokud se skutečné rozdělení výnosů portfolia liší od předpokládaného. Pokud se skutečné rozdělení výnosů portfolia blíží normálnímu rozdělení, potom všechny tři metody dávají velice podobné výsledky.

#### 4.4 Srovnání kapitálového požadavku určeného na základě standardizovaných metod a interních modelů

V této části budou porovnány kapitálové požadavky stanovené pro modelové portfolio na základě standardizovaných metod a kapitálové požadavky stanovené interními modely. Porovnány budou požadavky pro aktuální období roku 2014 i požadavky, které by byly stanoveny v období finanční krize 2008/2009.

Tab. 41 Srovnání kapitálového požadavku určeného na základě standardizovaných metod a interních modelů

	2014	2009
<b>Standardizované metody</b>		
Metoda splatností	255,0	213,1
Metoda durací	314,6	257,1
<b>Interní modely</b>		
Historická simulace	303,7	348,4
Variance a kovariance	255,5	356,2
Monte Carlo	248,2	353,6

Nejmenší kapitálový požadavek pro současné období při využití standardizovaných metod klade na banku metoda splatností. Metoda však nezohledňuje skutečné splatnosti a kupónové sazby jednotlivých nástrojů v portfoliu. Přesnější výsledek poskytuje metoda durací. Nejnížší hodnoty kapitálového požadavku při použití interních modelů jsou dosaženy metodou variancí a kovariancí a metodou Monte Carlo, jejichž výsledky se liší jen nepatrně. U těchto metod je však stanovena nižší stresová hodnota VaR, jejíž odhad byl podhodnocen. Faktem ovšem zůstává, že více než 2/3 kapitálového požadavku pro období roku 2014 jsou tvořeny právě stresovou hodnotou VaR, která však nereflektuje aktuální tržní podmínky a kapitálový požadavek tak může být neúměrně velký vzhledem ke skutečnému riziku. Největší desetidenní ztráta modelového portfolia v tomto období činí 117 mil. Kč. Stanovený kapitálový požadavek je tedy více než dvakrát větší, v případě metody durací a historické simulace dosahuje hodnoty téměř třikrát větší. I při zohlednění faktu, že byl výpočet proveden pouze na stanoveném portfoliu je zjištěná rezerva mezi skutečnou ztrátou a stanoveným kapitálovým požadavkem značná.

Kapitálové požadavky stanovené interními modely pro období finanční krize jsou výrazně vyšší než požadavky stanovené standardizovanými metodami. Standardizované metody však nezohledňují tržní situaci s vysokou volatilitou a může dojít k podhodnocení rizika. Interní modely reagují na zvýšenou volatilitu, která vede k vyššímu kapitálovému požadavku, který lépe odráží skutečné tržní podmínky. Největší desetidenní ztráta modelového portfolia v období finanční krize činí 186 mil. Kč. K podobně velkým ztrátám však v tomto období docházelo v krátkém časovém intervalu i několikrát. Kapitálový požadavek stanovený



standardizovanými metodami je jen o málo vyšší než zjištěná největší ztráta a je zde minimální rezerva. Interními modely stanovený kapitálový požadavek je téměř dvakrát vyšší než největší ztráta a poskytuje tak mnohem lepší kapitálový polštář ke krytí rizik. Na základě těchto výsledků je zodpovězena třetí výzkumná otázka: Poskytují kapitálové požadavky stanovené standardizovanými metodami a požadavky stanovené na základě interních modelů dostatečný kapitálový polštář ke krytí ztrát plynoucích z obecného úrokového rizika? V období zvýšené volatility na trzích neposkytují standardizované metody stanovení kapitálového požadavku dostatečnou rezervu. Interní modely naopak ve výpočtu zohledňují vyšší volatilitu a riziko, a stanovený kapitálový požadavek je proto mnohem vyšší. Naopak v období nízké volatility jsou kapitálové požadavky stanovené standardizovanými metodami a interními modely velmi podobné.

## 5 Diskuse

Výsledky práce jsou získány na základě využití modelového portfolia, které je velmi zjednodušené a neobsahuje, v praxi často využívané, komplexní finanční nástroje jako jsou opce a další deriváty. Ceny takovýchto nástrojů jsou citlivější na tržní výkyvy a jejich zahrnutí do výpočtu by mělo další dopad na stanovené kapitálové požadavky. Při zahrnutí komplexních instrumentů do portfolia se však zvyšuje softwarová i informační náročnost výpočtu. Pro složitější portfolia je nutno využít sofistikovaný software určený pro výpočet hodnoty Value at Risk.

Výpočet hodnot VaR a kapitálového požadavku pro modelové portfolio byl založen na úrokových sazbách českých bezkupónových dluhopisů a odráží pouze české úrokové riziko. Zajímavé by bylo srovnání výsledků určených na základě úrokového rizika států eurozóny.

Interní modely založené na výpočtu hodnoty Value at Risk mají daleko lepší předpoklady pro zachycování a měření obecného úrokového rizika než hrubější standardizované metody. Banky využívající interní modely musí navíc plnit řadu dalších požadavků, musí mít vysoce rozvinutý vlastní systém pro řízení rizik a oddělení řízení rizik s kvalifikovanými zaměstnanci. Orgány regulace by proto měly motivovat banky k používání a rozvíjení interních modelů. Kapitálový požadavek stanovený na základě interních modelů je nyní minimálně z poloviny tvořen stresovou hodnotou VaR, která nereflektuje aktuální tržní situaci a není citlivá na změnu tržních podmínek. Stresová hodnota VaR byla zavedena až v reakci na světovou finanční krizi 2008/2009. Kapitálový požadavek určený regulátory se před zavedením sVaR skládal pouze z hodnoty VaR vypočítané na základě předchozích 250 obchodních dnů. Jeho výše tak byla poloviční, než nařizují současné požadavky a jen těsně by pokrýval největší naměřené ztráty v období krize. Tento fakt může ospravedlňovat zpřísnění nároků na kapitálové požadavky. Na druhou stranu může být kapitálový požadavek stanovený při běžných tržních podmínkách příliš vysoký, naopak v období mimořádných událostí nemusí reagovat dostatečně citlivě, protože jeho výše je z větší části determinována nejhorším historickým obdobím, které ale mohlo mít odlišný průběh. Kapitálové požadavky určené pro aktuální období dosahují více než dvakrát větších hodnot než jsou hodnoty skutečně zjištěných největších ztrát. Téměř dvě třetiny kapitálového požadavku jsou však tvořeny stresovou hodnotou VaR. Otázkou je, zda takto zavedený kapitálový požadavek nepůsobí na banky v období nízké volatility příliš restriktivně. Stresová VaR, která výrazně navyšuje kapitálový požadavek, může být demotivující pro zavádění a další vývoj metod Value at Risk.

Nemělo by však docházet pouze k navyšování výše kapitálového požadavku. Orgány regulace by se měly zaměřit také na kvalitativní řízení rizika. Modely VaR ztrácí svoji účinnost i díky neustálé finanční inovaci a rostoucí komplexitě finančních nástrojů. Problémem je krátká tržní historie a neznalost všech vlastností nových finančních instrumentů.

## 6 Závěr

Cílem práce bylo pomocí metodického srovnání simulačních metod Value at Risk identifikovat rozdílné dopady na stanovení kapitálového požadavku vůči úrokovému riziku. Prvním dílčím cílem bylo identifikovat rizika plynoucí z pohybu úrokových sazeb a analyzovat metody používané k měření úrokového rizika. Druhým dílčím cílem bylo identifikovat požadavky na stanovení kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku a metody jeho výpočtu podle Vyhlášky ČNB č. 123/2007 Sb. i podle nového nařízení EP a Rady č. 575/2013. Třetím dílčím cílem byla komparace kapitálového požadavku pro modelové portfolio, který byl stanoven standardizovanými metodami i interními modely založenými na výpočtu hodnoty Value at Risk.

V první části práce byla identifikována rizika plynoucí z pohybu úrokových sazeb, byly analyzovány metody používané k měření úrokového rizika a byly srovnány požadavky regulátorů na výpočet kapitálového požadavku k obecnému úrokovému riziku. Tradiční metody pro měření úrokového rizika jsou gapová analýza, metoda analýzy durací a durace gap. Pokročilejší metody pro měření úrokového rizika jsou interní modely založené na výpočtu hodnoty Value at Risk, mezi které patří historická simulace, metoda variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo. Tyto metody jsou doplněny zpětným testováním přesnosti a stresovým testováním. Součástí metodologie Value at Risk je také exponenciálně vážený pohyblivý průměr, mapování finančních toků a konverze časového horizontu. Výpočet kapitálového požadavku umožňují orgány dohledu pomocí metody splatností, metody durací nebo na základě využití interních modelů. Nový regulační rámec Basel III přináší změny ve výpočtu kapitálového požadavku metodou durací. Nový postup upravuje Nařízení EP a Rady č. 575/2013.

V další části práce byly srovnány kapitálové požadavky k obecnému úrokovému riziku stanovené různými metodami. K tomuto účelu bylo sestaveno modelové portfolio, pro které byly kapitálové požadavky stanoveny. Nejdříve byly srovnány kapitálové požadavky k obecnému úrokovému riziku stanovené pro modelové portfolio na základě standardizovaných metod – metody splatností a metody durací. Kapitálový požadavek stanovený metodou splatností je nižší než požadavek stanovený metodou durací. Důvodem je nižší citlivost metody splatností, která nezohledňuje skutečné doby do splatnosti a kupónové sazby úrokových nástrojů modelového portfolia. Dále byla provedena analýza dopadu Nařízení EP a Rady č. 575/2013, které upravuje výpočet kapitálového požadavku metodou durací. Kapitálový požadavek stanovený pro modelové portfolio dle Nařízení je vyšší než požadavek stanovený dle postupu definovaného Vyhláškou ČNB č. 123/2007 Sb., avšak rozdíl je minimální. Na základě této analýzy byla zodpovězena první výzkumná otázka jaký má dopad nařízení EP a Rady č. 575/2013 na stanovení kapitálového požadavku. Nařízením EU č. 575/2013 se zjednodušuje výpočet kapitálového požadavku založený na duraci. Takto stanovený kapitálový požadavek je vyšší než při použití původního postupu. Rozdíl

bude vyšší, čím více nástrojů s modifikovanou durací delší než 5,2 let bude v portfoliu obsaženo.

Dále byla provedena komparace kapitálových požadavků k obecnému úrokovému riziku stanovených interními modely. Prvním krokem bylo určení hodnot Value at Risk, které jsou základem pro stanovení kapitálového požadavku. Odhadnuté hodnoty VaR pro aktuální období roku 2014 získané na základě metody historické simulace, metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo jsou téměř shodné. Rozdílné výsledky jsou pak pozorovány v odhadnutých stresových hodnotách VaR počítaných na základě období velké finanční zátěže 2008/2009. Metoda historické simulace produkuje výrazně vyšší stresovou hodnotu VaR než metoda variancí a kovariancí a metoda historické simulace. Odhad metodou historické simulace je přesnější, jelikož nečiní žádné předpoklady o rozdělení výnosů portfolia, ale využívá empiricky zjištěné rozdělení. Metoda variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo při výpočtu činí předpoklad normálního rozdělení výnosů portfolia. Skutečné rozdělení výnosů portfolia v období finanční krize se však vyznačuje vyšší špičatostí a obsahuje tzv. tlusté konce. U metod založených na předpokladu normality rozdělení pak v tomto období dochází k podhodnocení rizika. Výše zmíněný rozdíl se projevuje i při stanovení kapitálového požadavku. Ten má největší hodnotu při použití metody historické simulace. Nižší kapitálový požadavek je dán při použití metody variancí a kovariancí a simulace Monte Carlo, kdy oba výsledky dosahují podobných hodnot. V případě odhadů hodnoty VaR v období krize 2008/2009 je pozorován podobný výsledek jako v případě odhadů stresové hodnoty VaR pro období roku 2014. Nejvyšší odhady produkuje metoda historické simulace vycházející z empiricky zjištěného rozdělení výnosů portfolia. Odhady VaR metodou variancí a kovariancí a simulací Monte Carlo jsou podhodnocené. Důvodem je učiněný předpoklad o normalitě rozdělení, které se od skutečně zjištěného rozdělení liší a obsahuje tlusté konce. Všechny tři metody však stanoví téměř shodný kapitálový požadavek. Podhodnocené hodnoty VaR odhadnuté metodou variancí a kovariancí a simulací Monte Carlo se z důvodu velkého množství překročení násobí maximálním multiplikačním faktorem. Na základě získaných výsledků byla zodpovězena druhá výzkumná otázka, jestli různé metody použité pro stanovení kapitálového požadavku dávají rozdílné výsledky. Může docházet k výraznějším odchylkám při stanovení kapitálového požadavku různými metodami, zejména pokud se skutečné rozdělení výnosů portfolia liší od předpokládaného. Pokud se skutečné rozdělení výnosů portfolia blíží normálnímu rozdělení, potom všechny tři metody dávají velice podobné výsledky.

V poslední části byla provedena komparace kapitálových požadavků stanovených na základě standardizovaných metod a na základě interních modelů. Srovnány byly jak kapitálové požadavky stanovené při aktuálních tržních podmínkách, tak kapitálové požadavky stanovené v období finanční krize 2008/2009. Nejmenší kapitálový požadavek pro současné období při využití standardizovaných metod klade na banku metoda splatností. Metoda však nezohledňuje skutečné splatnosti a kupónové sazby jednotlivých nástrojů

v portfoliu. Přesnějšího výsledku je dosaženo metodou durací. Nejnižší hodnoty kapitálového požadavku při použití interních modelů jsou dosaženy metodou variancí a kovariancí a metodou Monte Carlo, jejichž výsledky se liší jen nepatrně. U těchto metod je však stanovena nižší stresová hodnota VaR, jejíž odhad byl podhodnocen. Faktem ovšem zůstává, že více než 2/3 kapitálového požadavku pro období roku 2014 jsou tvořeny právě stresovou hodnotou VaR, která však nereflexuje aktuální tržní podmínky a kapitálový požadavek tak může být neúměrně velký vzhledem ke skutečnému riziku. Největší desetidenní ztráta modelového portfolia činí 117 mil. Kč. Stanovený kapitálový požadavek je tedy více než dvakrát větší, v případě metody durací a historické simulace dosahuje hodnoty téměř třikrát větší. I při zohlednění faktu, že byl výpočet proveden pouze na modelovém portfoliu, je zjištěná rezerva mezi skutečnou ztrátou a stanoveným kapitálovým požadavkem značná.

Kapitálové požadavky stanovené interními modely pro období finanční krize jsou výrazně vyšší než požadavky stanovené standardizovanými metodami. Standardizované metody však nezohledňují tržní situaci s vysokou volatilitou a může dojít k podhodnocení rizika. Interní modely reagují na zvýšenou volatilitu, která vede k vyššímu kapitálovému požadavku, který lépe odráží skutečné tržní podmínky. Největší desetidenní ztráta modelového portfolia v období finanční krize činí 186 mil. Kč. K podobně velkým ztrátám však v tomto období docházelo i několikrát v krátkém časovém intervalu. Kapitálový požadavek stanovený standardizovanými metodami je jen o málo vyšší než zjištěná největší ztráta a je zde minimální rezerva. Interními modely stanovený kapitálový požadavek je téměř 2x vyšší než největší ztráta a poskytuje tak mnohem lepší kapitálový polštář ke krytí rizik. Na základě těchto výsledků je zodpovězena třetí výzkumná otázka: Poskytují kapitálové požadavky stanovené standardizovanými metodami a požadavky stanovené na základě interních modelů dostatečný kapitálový polštář ke krytí ztrát plynoucích z obecného úrokového rizika? V období zvýšené volatility na trzích neposkytují standardizované metody při stanovení kapitálového požadavku dostatečnou rezervu. Interní modely naopak ve výpočtu zohledňují vyšší volatilitu a riziko, a stanovený kapitálový požadavek je proto mnohem vyšší. Naopak v období nízké volatility jsou kapitálové požadavky stanovené standardizovanými metodami i interními modely velmi podobné.

## 7 Literatura

### 7.1 Odborné publikace

- ALEXANDER, C. *Market risk analysis, volume IV: Value at Risk Models*. Chichester: Wiley, 2008, 492 s. ISBN 978-0-470-99788-8.
- AMBROŽ, L. *Měření rizika ve financích*. 1. vyd. Praha: Ekopress, 2011, 232 s. ISBN 978-80-86929-76-7.
- BUTLER, C. *Mastering value at risk: a step-by-step guide to understanding and applying VaR*. 1 st publ. / London: Financial Times/Prentice Hall, 1999, xiii, 242 s. ISBN 0-273-63752-5.
- CIPRA, T. *Kapitálová přiměřenost ve financích a solventnost v pojišťovnictví*. 1. Vyd. Praha: Ekopress, 2002, 271 s. ISBN 80-86119-54-8.
- JÍLEK, J. *Finanční rizika*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 2000, 635 s. ISBN 80-7169-579-3.
- JORION, P. *Value at risk: the new benchmark for controlling market risk*. 2nd. ed. New York: McGraw-Hill, 2000, xxxi, 544 s. ISBN 0-07-135502-2.
- KAŠPAROVSKÁ, V. *Řízení obchodních bank: vybrané kapitoly*. 1.vyd. Praha: C.H. Beck, 2006, xix, 339 s. ISBN 80-7179-381-7.
- POLOUČEK, S. *Bankovníctví*. 2. vyd. Praha: C.H. Beck, 2013, xvi, 480 s. ISBN 978-80-7400-491-9.
- VLACHÝ, J. *Řízení finančních rizik*. Praha, Eupress, 256 s., 2006. ISBN 80-86754-56-1.

### 7.2 Elektronické zdroje

- MSCI. *1996 RiskMetrics Technical Document*. [online]. 1997 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: [http://www.msci.com/resources/research\\_papers/technical\\_doc/1996\\_risk\\_metrics\\_technical\\_document.html](http://www.msci.com/resources/research_papers/technical_doc/1996_risk_metrics_technical_document.html).
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS. *Amendment to the capital accord to incorporate market risks*. [online]. 1996 [cit. 2014-10-15]. Dostupné z: <http://www.bis.org/publ/bcbs24.htm>.
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS. *Basel II: International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: A Revised Framework - Comprehensive Version*. [online]. 2006 [cit. 2014-10-15]. Dostupné z: <http://www.bis.org/publ/bcbs128.htm>.
- MSCI. *Return to RiskMetrics: The Evolution of a Standard*. [online]. 2001 [cit. 2014-10-9]. Dostupné z: [http://www.msci.com/resources/research\\_papers/riskmetricsjournal/return\\_to\\_riskmetrics\\_the\\_evolution\\_of\\_a\\_standard.html](http://www.msci.com/resources/research_papers/riskmetricsjournal/return_to_riskmetrics_the_evolution_of_a_standard.html).

- HOLTON, G. A. *Value-at-Risk: Theory and Practice, Second Edition* - by Glyn A. Holton [online]. 2014 [cit. 2014-11-5]. Dostupné z: <http://value-at-risk.net/>.
- KOHOUT, P. *Ekonomická analýza výnosových křivek* [online]. [cit. 2010-02-05]. Dostupné z: [z: <http://panda.hyperlink.cz/cestapdf/pdf05c3/kohout.pdf>](http://panda.hyperlink.cz/cestapdf/pdf05c3/kohout.pdf).
- MSCI. *Risk Management A Practical Guide*. [online]. 1999 [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: [http://www.msci.com/resources/research\\_papers/technical\\_doc/risk\\_management\\_a\\_practical\\_guide.html](http://www.msci.com/resources/research_papers/technical_doc/risk_management_a_practical_guide.html).
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS. *Revisions to the Basel II market risk framework - final version*. [online]. 2009 [cit. 2014-10-17]. Dostupné z: <http://www.bis.org/publ/bcbs158.htm>.

### 7.3 Právní předpisy

- Nařízení Evropského parlamentu a rady (EU) č. 575/2013 ze dne 26. června 2013 o obezřetnostních požadavcích na úvěrové instituce a investiční podniky a o změně nařízení (EU) č. 648/2012
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/36/EU ze dne 26. června 2013 o přístupu k činnosti úvěrových institucí a o obezřetnostním dohledu nad úvěrovými institucemi a investičními podniky, o změně směrnice 2002/87/ES a zrušení směrnic 2006/48/ES a 2006/49/ES
- Vyhláška č. 123/2007 Sb., o pravidlech obezřetného podnikání bank, spořitelních a úvěrních družstev a obchodníků s cennými papíry
- Vyhláška č. 23/2014 Sb., o výkonu činnosti bank, spořitelních a úvěrních družstev a obchodníků s cennými papíry
- Vyhláška č. 163/2014 Sb., o výkonu činnosti bank, spořitelních a úvěrních družstev a obchodníků s cennými papíry

# Přílohy



## **A CD příloha**

- Vzorek historických dat
- Výpočet hodnoty Value at Risk
- Doplnkový software k Microsoft Office Excel NtRand330\_x86.xll